

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

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers



## Département de Biologie

*Laboratoire de recherche de Physiologie, Physiopathologie  
et Biochimie de la Nutrition (PPABIONUT)*



# MEMOIRE

Présenté par

**SAIDI Amira**

*En vue de l'obtention du **Diplôme de MASTER***

*En **Sciences alimentaires***

*Option : **Biologie de la nutrition***

## **Composition phytochimique et activités biologiques des écorces d'agrumes : Etude comparative.**

Soutenu le 22/06/2022 devant le jury composé de :

Présidente <b>DIDI Amel</b>	Maître de Conférences	Université de Tlemcen
Examineur <b>BERROUKECHE Farid</b>	Maître de Conférences	Université de Béchar
Encadrante <b>MALTI Nassima</b>	Maître de Conférences	Université de Tlemcen

**Année universitaire 2021/2022**

## *Dédicaces*

*Je dédie ce travail ;*

*A la mémoire de ma défunte mère, que Dieu le tout Puissant l'accueille dans son vaste paradis.*

*Au premier homme de ma vie, mon cher papa qui m'a toujours donné le meilleur. Je prends sa discipline et sa réussite comme un exemple et un moteur de motivation, d'inspiration et d'encouragement.*

*A tous les membres de ma petite famille qui m'ont assuré le confort de la vie et m'ont permis de réussir mes études.*

*A ma deuxième moitié et ma source d'espoir ; mon cher fiancé, qui m'a guidé dans la réalisation de ce travail.*

*A tous mes amis, pour leur encouragement et leur inspiration, qui m'ont permis d'approfondir mes recherches dans ce domaine et particulièrement à mes 2 chères sœurs et amies pour leur soutien et leur aide continuelle durant toute la durée d'accomplissement de ce travail.*

## ***Remerciements***

Je remercie Dieu, le tout puissant de m'avoir accordé la santé, la force et la patience, pour pouvoir mener ce travail à terme.

Mes remerciements les plus cordiaux s'adressent à ma promotrice Madame MALTI Nassima, Maître de conférences au Département de Biologie à l'Université de Tlemcen, de m'avoir guidée et soutenue durant ce travail avec rigueur et tolérance à la fois, ainsi que pour ses conseils et sa disponibilité permanente et pour tous les efforts qu'elle a consenti tout au long de l'élaboration de ce mémoire.

Merci madame de m'avoir donné la chance de travailler avec vous et permis de beaucoup apprendre de vous.

Un grand merci aux membres de mon jury pour le grand honneur qu'ils me font en acceptant d'examiner et de juger ce modeste travail. Veuillez trouver ici l'expression de ma profonde considération.

Enfin, je remercie tous mes professeurs du Département de Biologie, pour leur générosité dans le partage des connaissances et la grande patience dont ils ont su faire preuve pendant mes cinq ans d'études.

## Liste des abréviations

<b>AAS</b> : Acide acétylsalicylique	<b>IC<sub>50</sub></b> : Concentration inhibitrice demi-maximale.
<b>ACPH</b> : Acide phénolique	<b>ICAM I</b> : Intercellulaire Adhesion Molécule 1
<b>ASA</b> : Acide acétylsalicylique	<b>IL-1<math>\beta</math></b> : Interleukin-1 $\beta$
<b>BALF</b> : Liquide de lavage broncho alvéolaire	<b>iNOS</b> : oxyde nitrique synthase inductible
<b>BHA</b> : Hydroxyanisole butylé	<b>LDL</b> : Lipoprotéines de faible densité
<b>BHT</b> : hydroxytoluène butylé	<b>LPS</b> : Lipopolysaccharide
<b>CE</b> : Acide catéchique	<b>MH</b> : Matière humide
<b>CI<sub>50</sub></b> : Concentration inhibitrice demi-maximale.	<b>MS</b> : Matière sèche
<b>COX-2</b> : Cyclooxygenase-2	<b>MT</b> : Milliers de tonnes
<b>E. coli</b> : <i>Escherichia coli</i>	<b>ND</b> : non déterminé
<b>EAC</b> : Equivalent d'acide caféique	<b>NO</b> : Oxyde nitrique
<b>EAE</b> : Extrait d'acétate d'éthyle	<b>ORAC</b> : Oxygen Radical Absorbance Capacity
<b>EAE0</b> : Extraits aqueux d'écorce d'orange	<b>P38</b> : protéines kinases activées par des mitogènes
<b>EAG</b> : Equivalent d'acide gallique	<b>PEO</b> : Poudre d'écorce d'orange
<b>EAQ</b> : Equivalent d'acide quercétine	<b>PGE<sub>2</sub></b> : prostaglandine E <sub>2</sub>
<b>EAT</b> : Equivalent d'acide tannique	<b>ROS</b> : Espèces réactives de l'oxygène
<b>EC50</b> : Concentration efficace demi-maximale.	<b>S. aureus</b> : <i>Staphylococcus aureus</i>
<b>EE</b> : Extrait d'éthanol	<b>SDS</b> : Sulfate de dextrine sodique
<b>EEO</b> : Extraits d'écorce d'orange	<b>SLD</b> : Sous la limite de détection
<b>EEP</b> : Extrait d'éther de pétrole	<b>TAN</b> : Tanin
<b>EMV</b> : Equivalent de Malvidine-3-O-glucoside	<b>TBARS</b> : Substances réactives à l'acide thiobarbiturique
<b>EO</b> : Ecorce d'orange	<b>t-BHP</b> : tert-butyl-hydroperoxyde
<b>FAK</b> : Kinase d'adhésion focale	<b>TIB<math>\beta</math>-c</b> : Test d'Inhibition de la décoloration du $\beta$ -carotène.
<b>FRAP</b> : Ferric reducing antioxidant power	<b>TNF-<math>\alpha</math></b> : Facteur de nécrose tumorale alpha
<b>GRH</b> : Globule rouge humaine	<b>UI</b> : unité internationale
<b>GSH</b> : Glutathion	<b>Vit c</b> : Vitamine C
<b>GSK-3</b> : Glycogène synthase kinase 3	
<b>DPPH</b> : 1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl	
<b>ABTS</b> : Acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique)	

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Classification des agrumes	<b>05</b>
<b>Figure 2 :</b> Hypothèse sur l'origine des formes cultivées d'agrumes	<b>07</b>
<b>Figure 3:</b> Taux de Production d'agrumes et des oranges en 2019 en milliers de tonnes	<b>08</b>
<b>Figure 4 :</b> Pourcentage des diverses variétés d'orange cultivé en Algérie	<b>11</b>
<b>Figure 5 :</b> Schéma de la fleur des agrumes	<b>12</b>
<b>Figure 6 :</b> Anatomie d'une orange	<b>13</b>
<b>Figure 7 :</b> Proportions comestibles, non comestibles et déchets des principales variétés d'agrumes cultivées dans le monde	<b>14</b>
<b>Figure 8 :</b> L'effet anticancéreux de la narirutine d'agrumes	<b>36</b>

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1 :</b> Quelques espèces et hybrides utilisés comme porte-greffes appartenant au genre <i>citrus</i>	<b>06</b>
<b>Tableau 2:</b> Taux de production des principaux types d'agrumes cultivés dans le monde en Milliers de tonnes.	<b>09</b>
<b>Tableau 3 :</b> Teneur en métabolite primaire dans l'écorce des variétés d'écorce d'orange.	<b>17</b>
<b>Tableau 4 :</b> Composition en acides gras dans des huiles obtenues à partir d'écorces séchées de <i>Citrus. Sinensis</i>	<b>18</b>
<b>Tableau 5 :</b> Composition des écorces d'orange de <i>Citrus. Sinensis</i> en monosaccharides	<b>18</b>
<b>Tableau 6:</b> Teneur des écorces d'oranges en fibres alimentaires.	<b>19</b>
<b>Tableau 7 :</b> Teneur des écorces d'oranges en minéraux et oligo-éléments.	<b>20</b>
<b>Tableau 8 :</b> Teneur en vitamines des écorces d'orange.	<b>20</b>
<b>Tableau 9 :</b> Composition phénolique d'écorce d'orange.	<b>22</b>
<b>Tableau 10 :</b> Teneur en d'autre composé phénolique présent dans l'écorce d'orange.	<b>23</b>
<b>Tableau 11 :</b> Composition en flavonoïdes et flavonols des variétés d'écorce d'orange.	<b>24</b>
<b>Tableau 12 :</b> Composition en flavanones des variétés d'écorce d'orange.	<b>25</b>
<b>Tableau 13 :</b> Teneur des flavones et des flavonols dans des variétés d'écorce d'orange	<b>26</b>
<b>Tableau 14 :</b> Teneur des poly-méthoxyflavones de l'écorce d'orange.	<b>27</b>
<b>Tableau 15 :</b> Teneur en Caroténoïdes dans l'écorce d'orange.	<b>28</b>
<b>Tableau 16 :</b> Des tests de l'activité antioxydant de l'écorce d'orange.	<b>33</b>
<b>Tableau 17 :</b> Effets de l'écorce d'orange sur différents cancers.	<b>38</b>
<b>Tableau 18 :</b> Effets antimicrobiens de différents extraits d'écorce d'orange.	<b>41</b>
<b>Tableau 19 :</b> Domaine d'utilisation des écorces d'orange.	<b>47</b>

## Table des matières

<b>Introduction générale.....</b>	<b>01</b>
<b>Chapitre 1 : Généralités sur les agrumes .....</b>	<b>04</b>
<b>Chapitre 2 : Composition phytochimique d'écorces d'orange.....</b>	<b>16</b>
<b>Chapitre 3 : Activités biologiques d'écorces d'orange.....</b>	<b>29</b>
1. Toxicité d'écorce d'orange.....	29
2. Activité antioxydante .....	29
2.1. Test FRAP (Ferric reducing antioxidant power) .....	29
2.2. Test de DPPH (1,1-diphényl-2-picrylhydrazyl) .....	30
2.3. Test de ABTS (Acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-.....	31
sulphonique)	
2.4. Inhibition de la décoloration du $\beta$ -carotène.....	31
3. Activité anti-inflammatoire .....	32
4. Effet anti-hémolytique.....	34
5. Activité anti-cancer .....	35
5.1. Le cancer du poumon. ....	37
5.2. Le cancer du pancréas .....	37
5.3. Le cancer du côlon .....	37
5.4. Le cancer gastrique.....	37
5.5. Le cancer de la prostate .....	37
6. Activité antibactérienne.....	39
7. Activité antifongique.....	40
8. Activité anti virale .....	42
<b>Chapitre 4 : Domaines d'utilisation d'écorces d'orange.....</b>	<b>43</b>
Conservateur et additif .....	43
Dans la boulangerie .....	43
Dans les crèmes glacés et les yaourts.....	44
Dans les produits carnés.....	44
L'alimentation du bétail.....	44
Biocarburant et bio-adsorbants.....	44
Matériaux d'emballage .....	45
Applications pharmacologiques .....	442
Dans la production de protéines unicellulaires.....	442

Application cosmétologique .....	45
<b>Conclusion</b> .....	<b>48</b>
<b>Références Bibliographiques</b> .....	<b>50</b>
<b>Résumé</b>	



# **Introduction générale**

La génération de sous-produits agro-industriels est un problème économique et environnemental. Cependant, ces matières premières pourraient être une source appropriée pour obtenir des composés bioactifs à des fins technologiques ou nutritionnelles (**Jeria et al., 2022**). D'autre part, la demande des consommateurs en matières premières alimentaires naturelles a favorisé l'augmentation des travaux de recherche sur la récupération de composés naturels à valeur ajoutée à partir de déchets d'agrumes (**Marangoni, 2016**). En ce sens, la revalorisation des sous-produits agro-industriels pour les aliments fonctionnels et le développement nutraceutiques a gagné en pertinence (**Jeria et al., 2022**).

Les agrumes sont bien connus pour leur parfum et leur capacité désaltérante. Il est également reconnu pour ses valeurs médicinales depuis l'Antiquité. La partie non comestible des agrumes peut être utilisée dans des variétés de mélange de thé ou de tisane, de décoction médicinale en cas de rhume et de maux d'estomac, et comme sources d'énergie renouvelables (**Mahato et al., 2018**). Le nom scientifique des agrumes est 'CITRUS', ce terme vient du grec "Kedros" qui a été donné à l'arbre de citron (**Abouzar et Nafiseh, 2016**). Les agrumes, originaires d'Asie, résistent et produisent des fruits dans des conditions climatiques assez différentes, ils sont cultivés dans plus de 100 pays à travers le monde (**Peña et al., 2007**). Ainsi, la production mondiale de différents types d'agrumes en 2019 est de 143 755,6 MT (**FAO, 2021**). Après le traitement des parties consommables des agrumes, les déchets des industries de transformation de *citrus* sont estimés à plus de  $15 \times 10^6$  tonnes dans le monde (**Mahato et al., 2018**). Le rendement en jus représente environ la moitié du poids du fruit ; une très grande quantité d'écorces d'agrumes est donc générée comme un sous-produit de l'industrie du jus seul. En Corée, environ 40 000 tonnes de sous-produits d'écorces d'agrumes, sur 100 000 tonnes d'agrumes, sont produites chaque année dans des usines de transformation de jus d'agrumes. (**Senevirathne et al., 2009**). Ces déchets sont très nocifs pour l'environnement car ils contiennent de nombreux composés toxiques et doivent être traités avant d'être éliminés. En

raison de l'insuffisance des infrastructures pour gérer l'énorme quantité de déchet, l'élimination des déchets d'agrumes est un problème majeur dans les pays en développement (**Mahato et al., 2018**).

En parallèle, ces matrices agroalimentaires contiennent une large gamme de composés phytochimique bioactifs par rapport aux fruits, l'isolement de composés fonctionnels à partir d'écorces d'agrumes peut donc intéresser l'industrie alimentaire, car ils peuvent retarder les changements oxydatifs dans les aliments et ainsi améliorer la qualité et leur valeur nutritionnelle et minimisant les dommages environnementaux causés par une mauvaise élimination des déchets (**Senevirathne et al., 2009**). Les extraits d'agrumes possèdent des avantages pour la santé, attribuée à la présence de la vitamine C, des caroténoïdes, des composés phénoliques et des glycosides de flavanone (**Mansour, 2018**). Il a été suggéré que ces composés phytochimiques, consommés dans les produits dérivés des fruits, ont une grande variété de fonctions biologiques, notamment antioxydantes, anti-inflammatoires, antimittotique, anticancérogène et antiviellissement (**Zou et al., 2016**). Ces composés des déchets d'agrumes pourraient être extraits et utilisés pour la préparation d'aliments fonctionnels et de nutraceutiques (**Zhu et al., 2020**). Les écorces d'agrumes sont également riches en fibres alimentaires, le rapport fibres solubles/insolubles est particulièrement élevé dans les agrumes. Leurs fibres solubles préviennent le diabète et abaissent le taux de cholestérol (**Ma et al., 2020**). Par ailleurs, ils peuvent être utilisés en pharmacologie pour la préparation des médicaments contre les maux de dents, la diarrhée, la constipation, l'insomnie et les vomissements (**Singh et Rajam, 2009**). Les composés phytochimiques dérivés des déchets d'agrumes sont également utilisés dans les formulations cosmétiques pour la peau, les cheveux et les ongles, les lotions antifongiques et antibactériennes, les savons, les parfums et les articles de toilette (**Mahato et al., 2018**).

L'objectif de ce mémoire de fin d'étude est de recenser la composition phytochimique ainsi que les activités biologiques des écorces d'agrumes de différentes espèces, mais aussi à démontrer l'intérêt de leurs sous-produits. Nous y avons consacré quatre chapitres : le premier chapitre décrit des généralités sur les agrumes et leurs sous-produits, le second a été consacré à la composition phytochimique d'écorces d'agrumes, le troisième chapitre renferme les activités biologiques de ces sous-produits et le quatrième recense certains domaines des usages actuels de cette biomasse et ce dans un souci écologique mais aussi socio-économique.

# **Chapitre 1**

**:**

## **Généralités sur les agrumes**

L'origine de la diversité des agrumes et de ses genres associés est l'Asie du Sud-Est. **(Wu et al., 2018)**. En effet, il semble que la plupart des historiens croient que les variétés d'agrumes sont originaires du sud de la Chine, d'où elles se sont propagées au reste du monde via des routes commerciales historiques **(Dugo et Giacomo, 2002)**. La plus ancienne citation qui mentionne l'existence d'agrumes en Chine est écrite dans le livre chinois Yu Gong, écrit il y a 4 000 ans, il s'agit probablement des mandarines et des pamplemousses **(Inglese et Sortino, 2019)**. Ces fruits se sont ensuite propagés de l'Asie à d'autres régions le long du chemin de la civilisation depuis l'Antiquité. Les citrons ont été cultivés en Mésopotamie (Irak et Égypte) vers 700 av. j.c. **(Dugo et Giacomo, 2002)**. De là, ont atteint les rives de la Méditerranée et les orangers (oranges douces) n'y apparaissent qu'au XVe siècle et les mandariniers au XVIIIe siècle **(Luro, 2015)**. La culture en zones rapprochées de ces différentes espèces de *Citrus* en Méditerranée, fut propice à l'apparition de nouvelles formes hybrides comme le clémentinier, aujourd'hui l'orange phare de cette zone où il naquit vers la fin du XIXe du côté d'Oran en Algérie dans les vergers de l'orphelinat de Misserghin, par le père Clément où ce fruit fut nommé Clémentine en hommage à son découvreur **(Luro, 2015)**.

Selon la classification taxonomique de **Swingle (1943)**, les agrumes appartiennent à la sous-famille des *angiospermes Aurantioideae* de la famille des *Rutacées*, plus précisément sont classés dans la famille des *Citreae* qui est divisée en trois sous-familles: *Triphasiinae*, *Citrinae* et *Balsamocitrinae* et comprennent 28 genres parmi lesquels on trouve les *Citrus* et les genres apparentés qui sont considérés comme des vrais agrumes et sont : *Poncaseuse*, *Fortunella*, *Microcitrus*, *Eremocitrus* et *Clymenia*. Cependant, les plus connus restent *Citrus*, *Poncirus* et *Fortunella* **(Swingle, 1967) (Figure 1)**.

Dans cette étude nous nous intéresserons essentiellement au genre *Citrus* qui regroupe la majorité des agrumes.

D'après les archives historiques et les analyses phylogénétiques, *Citrus maxima* ou *C. grandis* (L.) Osbeck (pamplemoussiers), *Citrus medica* (Cédratier), *Citrus reticulata*, (mandarinier), sont des espèces ancestrales dites espèces mères de tous les agrumes connus aujourd'hui **(Moore, 2001)** ; où *Citrus maxima* était probablement le premier ancêtre, originaire de Malaisie et d'Asie du Sud-Est insulaire, ce fruit est le plus gros parmi les agrumes, *Citrus medica* probablement d'origine du nord-est de l'Inde et *Citrus reticulata* de Chine **(Dugo et Giacomo, 2002)**.



**Figure 1: Classification des agrumes selon Swingle (1943)**

À partir de la pollinisation croisée entre ces biotypes, il en a résulté l'apparition de nouvelles espèces et chaque espèce a une base génétique étroite (**Barrett et Rhodes, 1976**). Le **tableau 1** montre l'origine et les hybrides utilisés comme porte-greffes de quelques espèces appartenant au genre *citrus* et la **figure 2** éclaire l'origine des formes cultivées d'agrumes:

\*L'Oranger douce (*C. sinensis Osbeck*) d'origine du Nord-Est de l'Inde, du Sud-Est de la Chine et de l'Indochine, est le type d'agrumes le plus largement cultivé et consommé, l'orange amère (*C. aurantium L*) qui est venue du Sud de l'Himalaya, du nord-est de l'Inde et du Népal (**Inglese et Sortino, 2019**) est moins cultivés. **Barrett et Rhodes (1976)** suggèrent que toutes les deux dérivent du croisement entre le pamplemoussier (*C. maxima*) et le mandarinier (*C. reticulata*).

\*La clémentine, orange far de la méditerranéenne (**Luro, 2015**) est un hybride entre une mandarine et une orange douce (**Inglese et Sortino, 2019**).

\*Le citron vert (*C. aurantifolia*), appelé agrume de l'Asie du Sud-Est (**Barrett et Rhodes, 1976**) est né probablement d'un croisement tri hybride impliquant *C. medica* (citron), *C. maxima*(pamplemousse) et une espèce de *Microcitrus* (**Dugo et Giacomo, 2002**).

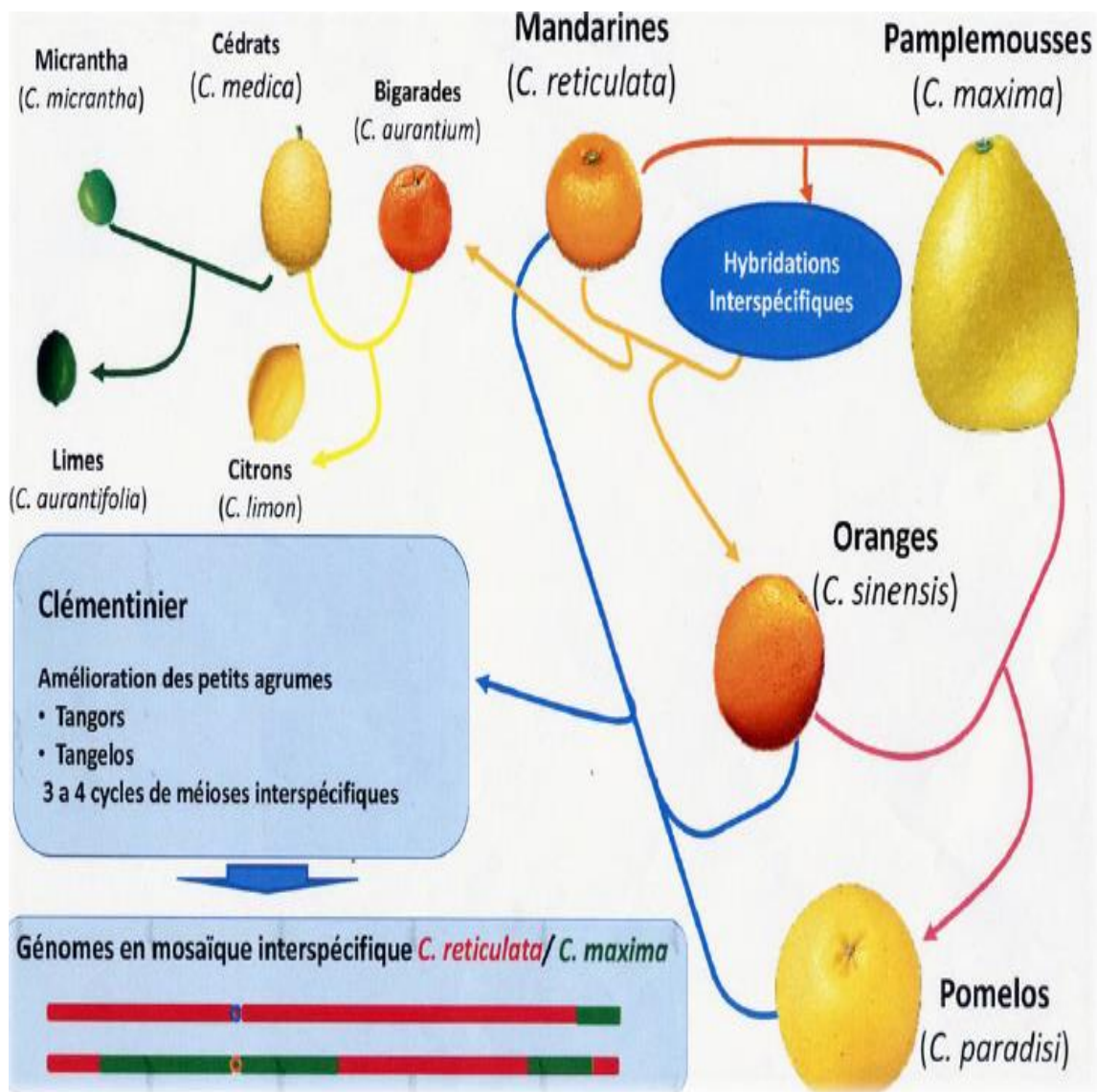
**Luro (2015)** pense que le citron vert (*Cirrus aurantifolia*) et le citronnier (*Citrus lemon*) sont issus de l'hybridation du *C. cédratier* avec quelques Papeda primitifs (groupe d'agrumes originaires d'Asie tropicale qui produisent des fruits désagréable) (*C. micrantha*).

\*Le Pomélos *C. paradisi Macf* est un hybride issu du croisement naturel entre l'orange douce de la mer des Caraïbes et le Pamplemousse (**Nicolosi et al., 2000**).

**Tableau 1 : Quelques espèces et des hybrides utilisés comme porte-greffes appartenant au genre citrus**

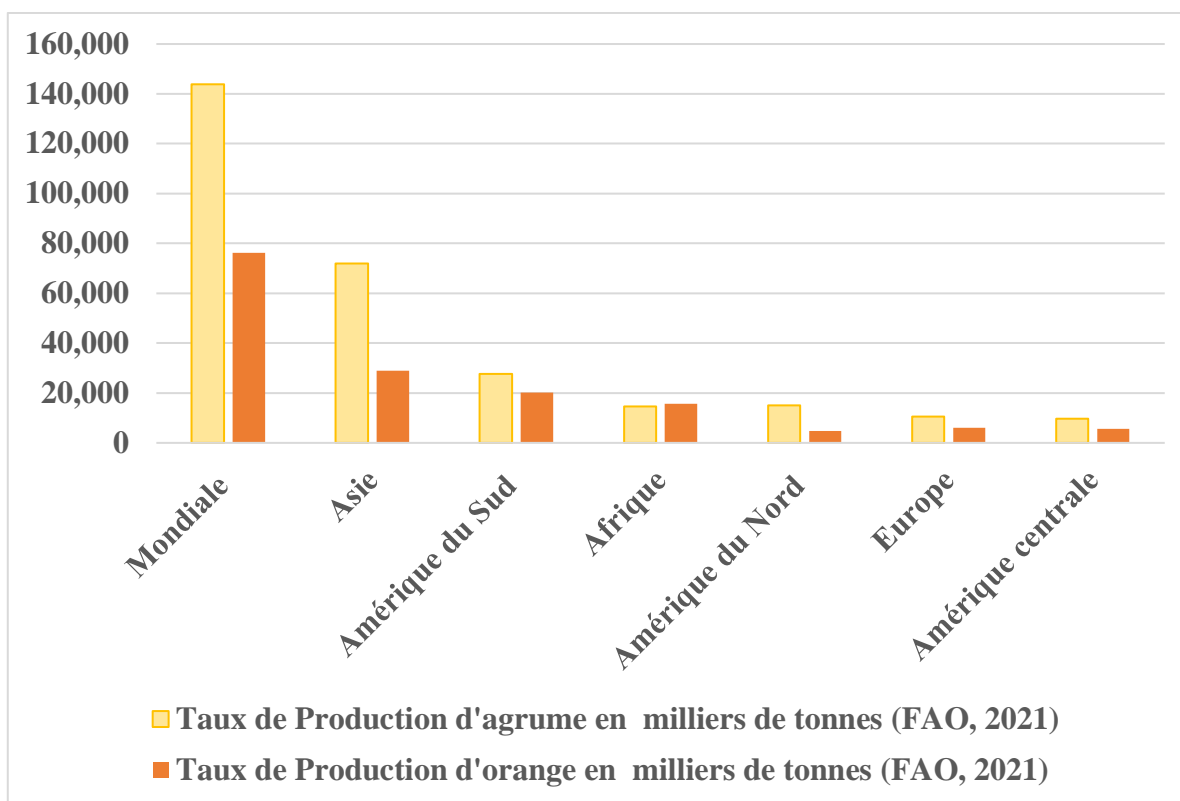
Non commun	Espèce	Payé Origine	Croisement	Référence
<b>Cédratier</b>	<i>Citrus. Medica L,</i>	Nord de l'Inde	Véritable espèce	(Barrett et Rhodes, 1976) (Dugo et Giacomo, 2002)
<b>Mandarinier</b>	<i>Citrus. Reticulata Blanco</i>	L'Île Maurice de Chine	Véritable espèce	(Nicolosi <i>et al.</i> 2000) (Dugo et Giacomo, 2002)
<b>Pamplemoussier</b>	<i>Citrus. Maxima, C. grandis</i> <i>ou C. decumana</i>	Malaisie et d'Asie du Sud- Est insulaire	Véritable espèce	(Dugo et Giacomo, 2002)
<b>Pomélos</b>	<i>Citrus. Paradisi Macf</i>	Les Caraïbes	<i>C. maxima</i> × <i>C. sinensis</i>	(Nicolosi <i>et al.</i> ,2000) (Dugo et Giacomo, 2002)
<b>Citronnier</b>	<i>Citrus. limon L. Osbeck</i>	nord de l'Inde et du sud-est de la Chine	<i>C. aurantium</i> × <i>C. medica</i>	(Nicolosi <i>et al.</i> ,2000) (Inglese et Sortino, 2019)
<b>Limettier</b> (Citrons verts)	<i>Citrus. Aurantifolia Christm</i> <i>Swingle</i>	Sud-Est asiatique	<i>C. micrantha</i> × <i>C. medica</i>	(Barrett et Rhodes, 1976) (Luro, 2015) (Dugo et Giacomo, 2002)
<b>Oranger</b> (Orange douce)	<i>Citrus. sinensis (L.) Osbeck</i>	Sud-Est asiatique et du nord-est de l'Inde	<i>C. reticulata</i> × <i>C. maxima</i>	(Dugo et Giacomo, 2002) (Inglese et Sortino, 2019)
<b>Bigaradier</b> (Orange amer)	<i>Citrus. Aurantium</i>	Sud de l'Himalaya, et nord- est de l'Inde	<i>C. reticulata</i> × <i>C. maxima</i>	(Barrett et Rhodes, 1976) (Inglese et Sortino, 2019)
<b>Clémentiniers</b>	<i>Citrus. Clementina</i>	Oran en Algérie	<i>C. sinensis</i> × <i>C. reticulata</i>	(Luro, 2015)





**Figure 2 : Hypothèse sur l'Origine des formes cultivées d'agrumes (Ollitrault *et al.*, 2012).**

À l'échelle mondiale, environ 10,07 millions d'hectares de terres sont réservés à la production d'agrumes (Suri *et al.*, 2022). La production mondiale globale d'agrumes était d'environ 143 755,6 Milliers de tonnes (MT) en 2019, où l'Asie représentant la production totale d'agrumes la plus élevée (71 887,8 MT), suivi de l'Amérique du Sud (27 736,3 MT), de l'Afrique (15 579,3 MT), de l'Amérique du Nord (15 043,4 MT) et enfin de l'Europe (10 537,8MT) (FAO, 2021) (Fig. 3).



**Figure 3: Taux de Production d'agrumes et des oranges en 2019 en milliers de tonnes (FAO, 2021).**

Parmi les pays producteurs d'agrumes, la Chine est en tête avec une production d'agrumes de 37 739,0 MT. Le Brésil, l'Inde et le Mexique produisent, chacun, plus de 5 % de la production mondiale totale d'agrumes. L'Algérie, derrière l'Égypte et le Maroc, produit 1 593,5 MT (FAO, 2021) (Tableau 2).

L'importation mondiale d'agrumes est estimée à 16 560,4 MT en 2019, les oranges contribuant à 7 193,6 MT suivi des mandarines. Concernant la transformation mondiale des oranges, le Brésil est le premier pays avec 10 159 MT d'oranges utilisées pour la transformation, suivi de l'Amérique et l'Europe (FAO, 2021).

La production d'agrumes en Algérie a atteint 1,5 MT en 2019, selon le ministère de l'Agriculture et du Développement rural (APS, 2020). 97% de la production est destinée à la consommation fraîche et seul 8000 T/an sont destinés à la transformation (Biche, 2012).

Le Centre du pays occupe une surface de 39305 ha d'agrumes (62%), dont la superficie agrumicole de la capitale est estimée à 6119 hectares (ha). Alger occupe la 6<sup>ème</sup> place à l'échelle nationale (1 113670 quintaux). Selon la direction de l'agriculture de la Wilaya de Blida, cette 2020 4388347 quintaux sont produits sur une superficie de 18035 ha (APS, 2021 ; APS, 2020;

**Biche, 2012).** Par ailleurs, la surface des agrumes occupe 9,7% (6134 ha) dans l'Est de l'Algérie et 2,2% dans le Sud (1404 ha) (**Biche, 2012**).

L'Ouest représente 26% de la superficie du pays (16453 ha). Au niveau de la Wilaya de Tlemcen, les agrumes (oranges, mandarines, clémentines et citrons) occupent une superficie de 3148 ha, où 2844 ha sont actuellement en production (12025 quintaux). Selon la direction de l'agriculture de Tlemcen, la clémentine, la mandarine et le citron ainsi que les variétés Thomson navel et les oranges sanguines sont les plus produits dans les zones agricoles de Hennaya, Remchi, Bensekrane, Fehoul et Maghnia (**Boumediene, 2022**).

Parmi les principales espèces les plus cultivées en Algérie, les oranges douces (*Citrus sinensis*). De forme sphérique à oblong, avec un faible nombre de graines et une bonne teneur en sucre. Elle est classée en quatre groupes: oranges rondes, oranges Navel, oranges sanguines et oranges sans acide (**Vashisth et al., 2020**). (**Fig. 4**)

→ Les oranges rondes : dite « Oranges communes ou blonde » sont largement utilisées pour produire du jus. Les variétés les plus populaires de ce groupe sont : « Jaffa » « Hamlin » et « Valencia » (**Fanciullino et al., 2008**).

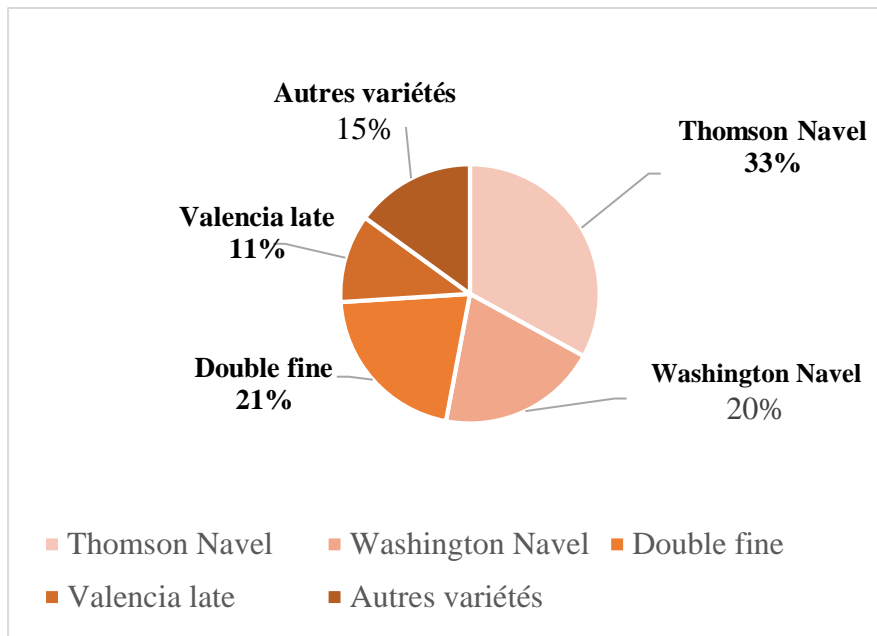
→ Les oranges Navel : oranges dites « nombril », se distinguent par la présence d'un nombril à l'extrémité styloïde du fruit et l'absence de pépins. Ils comprennent des cultivars comme 'Washington', 'Thompson', 'Navelina', 'Navelate' et 'Newhall' (**Dugo et Giacomo, 2002**). Ce sont les plus populaires et sont consommées, les Thomson Navel à eux seuls occupent 19300 ha en Algérie et 11700 ha sont occupés par les Washington Navel (**Biche, 2012**).

→ Les oranges sanguines ne se distinguent des blondes que par la présence d'anthocyanes dans le fruit leur conférant une couleur rouge plus ou moins intense du jus, de la pulpe ou de l'écorce. Les cultivars de ce groupe sont 'Moro', 'Tarocco', 'Sanguinelli' et 'double fine' (**Dugo et Giacomo, 2002**). Cette dernière est cultivée dans 12300 ha en Algérie (**Biche, 2012**).

→ Oranges sans acide : aussi appelées oranges sucrées en raison de la faible acidité du jus, les deux cultivars sont 'Sucreia' ou 'Imperial' et 'Succari' (**Dugo et Giacomo, 2002**).

**Tableau 2: Taux de production des principaux types d'agrumes cultivés dans le monde en milliers de tonnes (FAO, 2021)**

<b>Région</b>	<b>Agrumes</b>	<b>Oranges</b>	<b>Mandarines</b>	<b>Citrons/Limettes</b>	<b>Pamplemousses</b>
<b>Mondiale</b>	<b>143 755,6</b>	<b>76 292,6</b>	<b>37 429,3</b>	<b>20 529,6</b>	<b>9 504,1</b>
<b>Asie</b>	<b>71 887,8</b>	<b>28 920</b>	<b>26 700</b>	<b>9 1522</b>	<b>7115,6</b>
Chine	37 739,0	10 435,7	19 707,2	2 666,1	4930
Inde	13 314 ,3	9 509	/	3 482	323,3
<b>Amérique du Nord</b>	<b>15 043,4</b>	<b>4 832,6</b>	<b>986,1</b>	<b>876,3</b>	<b>511,7</b>
<b>Amérique du Sud</b>	<b>27 736,3</b>	<b>20 189,8</b>	<b>2 859,2</b>	<b>4 414,4</b>	<b>272,9</b>
Brésil	19 652,8	17 073,6	984,9	1 5112	83,1
Argentine	3 469,3	1 026,4	425,5	1 904,8	112,6
<b>Amérique centrale</b>	<b>9 676,5</b>	<b>5 728,9</b>	<b>492,8</b>	<b>2 911,0</b>	<b>543,8</b>
Mexique	8 413,7	4 736,7	486,4	2 701,8	488,8
<b>Europe</b>	<b>10 537,8</b>	<b>6 098,5</b>	<b>2903,1</b>	<b>1 444,2</b>	<b>92</b>
Italie	2864,97	1 650,2	763,6	446,0	5,2
Espagne	6008,57	3 226,9	1 826,3	884,9	70,5
<b>Afrique</b>	<b>15 579,3</b>	<b>9 833,7</b>	<b>3 304,7</b>	<b>1607,6</b>	<b>833,3</b>
Égypte	4 632,7	3197,0	1096,0	338	/
Afrique du Sud	2 771,7	1686,5	196,1	510,5	378,6
Maroc	2 604,3	1182,5	1374,6	44,9	/
<b>Algérie</b>	<b>1 593,5</b>	<b>1199,5</b>	<b>305,3</b>	<b>87</b>	<b>/</b>

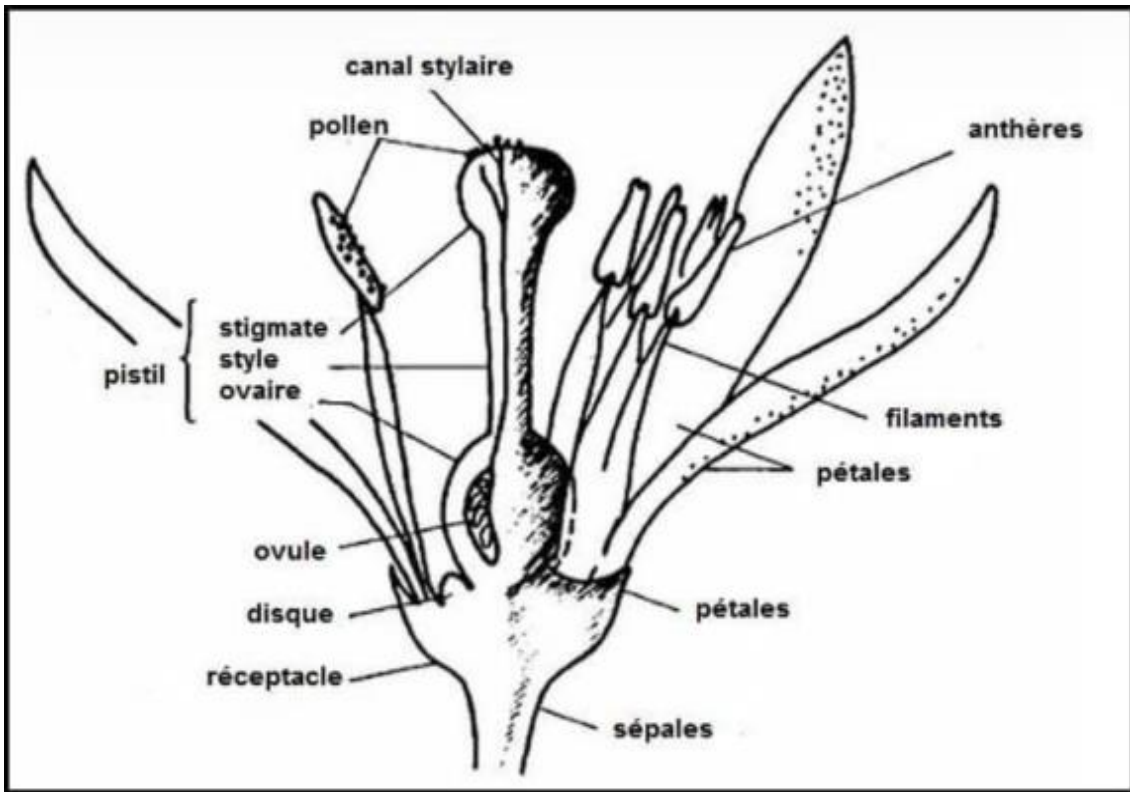


**Figure 4 : Pourcentage des diverses variétés d'orange cultivé en Algérie (Biche., 2012)**

### **Caractéristique botanique des agrumes**

Les espèces des *Citrus*, généralement de grands arbustes et parfois un petit arbre, ont un tronc droit atteignant de 5 à 15 m de hauteur, avec des pousses épineuses pointues et situées latéralement avec la pousse (Sofiyanti et al., 2022). Les feuilles sont généralement subcoriaces, disposées en alternance, leur forme est variable dans quelque espèce comme dans les Cédriers avec des feuilles de forme oblongue et les Citrons verts ont une forme de feuille elliptique. La plupart des feuilles de *Citrus* ont une couleur allant du vert au vert foncé. (Sofiyanti et al., 2022).

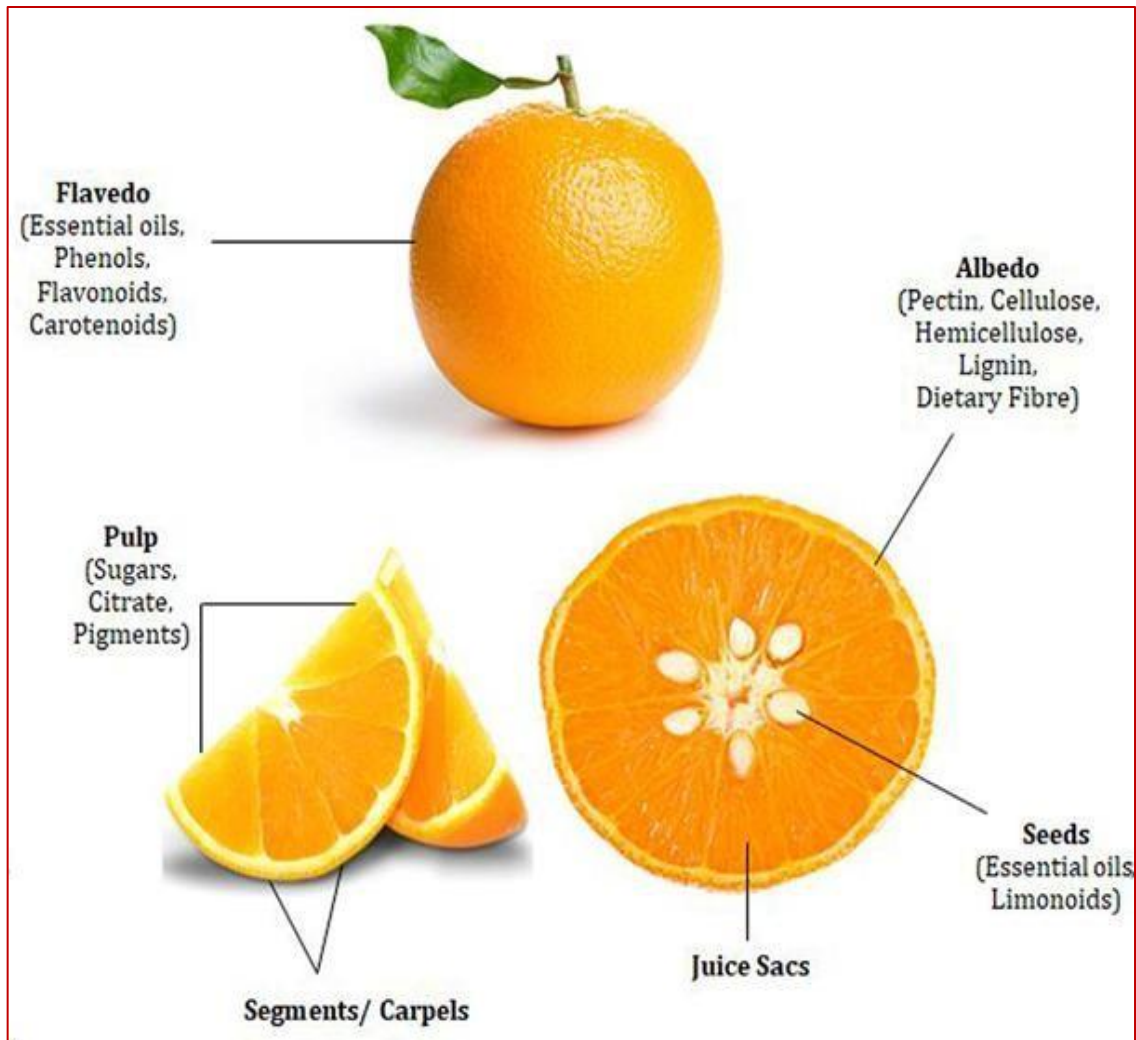
Les fleurs d'agrumes sont généralement actinomorphes et petites (1,5 à 2,5 cm de diamètre), avec des pétales très fortement parfumés généralement blanches ou crème (Groppo et al., 2022). Les étamines fertiles sont entre 20 et 30 étamines, selon la variété d'agrumes. Les carpelles (8 à 12) sont unis ou libres avec deux à plusieurs ovules (Dugo et Giacomo, 2002). Quant à l'ovaire, à de très rares exceptions près, est supérieure et entourée d'un disque nectarifère intra staminal (Groppo et al., 2022) (Figure 5).



**Figure 5 : Schéma de la fleur des agrumes (Spiegel-Roy et Goldschmidt, 1996)**

Tous les fruits des agrumes ont la même structure, seuls la dimension et la forme changent d'une espèce à une autre (**Figure 6**). La forme la plus courante des agrumes est sphéroïdale (pamplemousses et des oranges amers), elle peut être aussi aplatie (mandarines) ou ellipsoïdales (citrons et limes) (**Dugo et Giacomo, 2002**). Le poids du fruit varie entre 15 et 475 g (**Sofiyanti et al., 2022**).

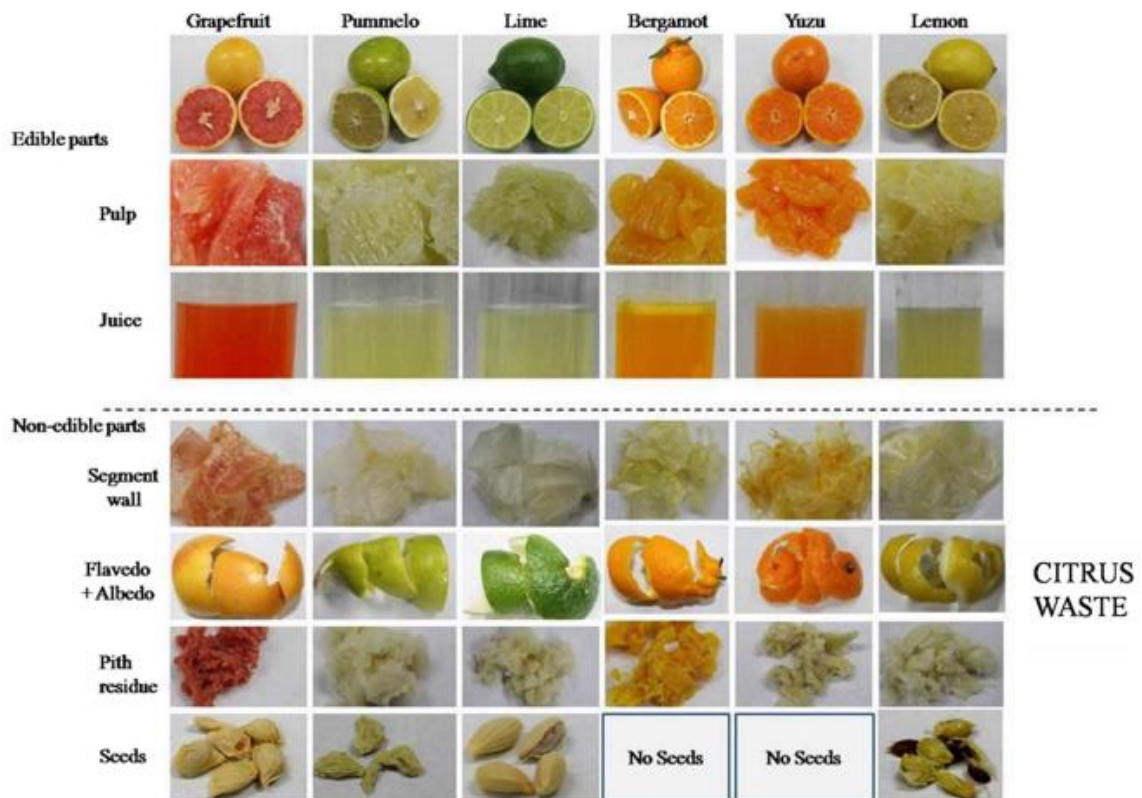
D'un point de vue biologique les fruits des agrumes sont des baies charnues composées de deux parties: la peau appelée péricarpe et la pulpe appelée endocarpe qui est juteuse (**Ladanyia, 2008**). La partie comestible du fruit dite endocarpe est intégrée par les segments ou loges, souvent autour de 8-12 dans la plupart des agrumes. Chaque loge est recouverte d'une membrane légèrement grossière, à l'intérieur des membranes se trouvent les vésicules de jus en grand nombre, chacune contenant le jus dans la vacuole de la cellule. Au milieu de l'endocarpe se trouve l'axe central du fruit (columelle), qui a une consistance et une texture très similaires à l'albédo (**Dugo et Giacomo, 2002**) (**Fig. 6**).



**Figure 6 : Anatomie d'une orange (Suri et al., 2022)**

L'écorce d'agrumes, appelée péricarpe, est composée de (Dugo et Giacomo, 2002; Ramful et al., 2010):

- Un épicarpe : partie externe mince de la croûte appelée aussi flavédo en raison de la présence de composés flavonoïdes, qui ont une capacité à protéger les dommages de l'ADN. Leur pigmentation varie avec des couleurs allant de l'orange foncé ou rougeâtre à l'orange clair, jaune ou verdâtre, et contiennent de nombreuses glandes à huile essentielle.
- Un mésocarpe qui correspond à l'albédo, de texture spongieuse, il forme la partie non comestible du fruit (partie interne de la croûte), son nom qui vient du latin (signifie blanc) a une couleur blanchâtre ou jaune pâle. Son épaisseur et sa consistance varient selon les espèces. **Figure 7** montre les parties comestibles et non comestibles des variétés d'agrumes.



**Figure 7 : Proportions comestibles, non comestibles et déchets des principales variétés d'agrumes cultivées dans le monde (Mahato et al.,2018)**



**Chapitre 2 :**  
**Composition phytochimique de**  
**l'écorce d'orange**

Dans ce chapitre nous nous sommes basés particulièrement à recenser la composition phytochimique des écorces de *citrus sinensis* et ces diffère variété notamment les *Thomson Navel*. La différence dans les niveaux de composés nutritionnels dans les variétés peut être attribuée à des facteurs pédoclimatiques (type de sol, ensoleillement), à des facteurs génétiques (variété) et à des facteurs agricoles (agriculture biologique, production d'arbres fruitiers, état de maturation et zone de culture) et avec différent méthodes analytiques (**M'hiri et al., 2015**) (**Tableaux 3, 4, 5, 6, 7, et 8**).

Le tableau 3 décrit la composition des écorces d'agrumes (humidité, sucres, protéines, cendres et matières grasses) et qui montre que celui-ci est riche en eau et en ingrédients nutritionnels tels que les sucres (52,90 g/100 MS). Cependant, ce sous-produit contient une faible teneur en matières grasses contenu (0,800 g/100g MS). La teneur en eau est très élevée rendant ce sous-produit hautement périssable et nécessitant l'utilisation immédiate pour éviter la fermentation et le développement de moisissures.

Concernant la teneur en acides gras, les acides oléique, linoléique, palmitique et linoléique sont les principaux acides gras des huiles de poudre d'écorce d'orange (EO) (**Özcan et al., 2020**) (**Tableau 4**).

Selon **Wang et al. (2015)**, il y'a divers sucres simples qui constituent la fibre soluble d'écorce d'orange, le monosaccharide majoritaire dans la fibre est le glucose (64 mg/g de matière sèche), la composition en monosaccharides des EO est présentée dans le **Tableau 5**.

Les EO sont des sous-produits sont très riches en fibres (63,24 g/100g MS), la plus petite teneur en fibre est trouvée dans la variété de Thomson navel (41,644 g/100g MS). Ces fibres sont majoritairement insolubles avec une proportion importante de cellulose et de pectine (20,20 et 15,23 g/100g MS respectivement) (**Ghanem et al., 2012; Wang et al., 2015; Huang et al., 2021**) (**Tableau 6**).

Les données présentées dans le **tableau 7** montrent la richesse des EO en minéraux, à savoir le calcium, le potassium et le sodium. L'azote, le magnésium sont détecté en quantités modérées. Le fer, le cuivre, le zinc et le manganèse sont présents en de très faibles quantités. Thomson navel est la variété qui contient le plus de potassium (816,237 mg/100g MS) et la Maltaise blonde a une teneur très élevée en calcium et magnésium (1201,053 et 156,753mg/100g MS). **Le tableau 8** rassemble la composition des EO en vitamine : la vitamine A et l'acide ascorbique y sont majoritaires, et une présence minoritaire des vitamines du groupe B (Thiamine, Riboflavine et Niacine) et une teneur moyenne de la vitamine E.

**Tableau 3 : Teneur en métabolite primaire dans l'écorce des variétés d'écorce d'orange**

Composé	Groupe des Navels		Groupe des Sanguines
	Variété non déterminé	Thomson navel	Maltaise blonde
<b>Humidité</b>	9,2 g/100 MS (1)	3,140 g/g MS	2,970 g/g MS (1)
	24,50 g/100 MS (2)	75,23 g/100g MH	3,169 g/g MS (2)
	2,20 g/100 MS (3)		
<b>Protéine</b>	12,43 g/100 MS (1)	1,797 g/100 g MS	8,015 g/100g MS (1)
	4,82 g/100 MS (2)	0,434 g/100g MH	8,120 g/100g MS (2)
	4,50 g/100 MS (3)		
<b>Lipide</b>	10,65 g/100 MS (2)	1,667 g/100 g MS	0,955 g/100g MS (1)
	10,00 g/100 MS (3)	<b>0,403 g/100g MH</b>	0,800 g/100g MS (2)
<b>Sucre</b>	<b>52,90 g/100 MS (1)</b>	<b>15,006 g/100 g MS</b>	46,649 g/100g MS (1)
	42,90 g/100 MS (3)	3,628 g/100g MH	46,241 g/100g MS (2)
<b>Cendre</b>	7,8 g/100 MS (1)	3,456 g/100 g MS	3,313 g/100g MS (1)
	2,45 g/100 MS (2)	0,835 g/100g MH	3,170 g/100g MS (2)
	14,35 g/100 MS (3)		
<b>Référence</b>	(Gotmare et Gade 2018) (1) (Oikeh EI et al., 2013) (2) (Osarumwense et al. 2013) (3)	(Ghanem et al., 2012)	(Bejar et al., 2012) (1) (M'hiri et al., 2015) (2)
<b>Légende :</b>	MH : Matière humide – MS : Matière sèche		

**Tableau 4 : Composition en acides gras dans des huiles obtenues à partir d'écorces séchées de *Citrus. Sinensis* par différent méthode (Özcan et al., 2020)**

<b>Composé</b>	<b>Pourcentage</b>
<b>Teneur en huile</b>	<b>1,20 %</b>
<b>Oléique</b>	<b>61,65 % d'huile</b>
<b>Linoléique</b>	<b>37,08 % d'huile</b>
<b>Palmitique</b>	<b>16,61 % d'huile</b>
<b>Linoléinique</b>	<b>9,87 % d'huile</b>
<b>Stéarique</b>	4,17 % d'huile
<b>Myristique</b>	<b>2,47 % d'huile</b>
<b>Elaïdique</b>	2,30 % d'huile
<b>Arachidonique</b>	<b>2,01 % d'huile</b>
<b>Béhénique</b>	0,43 % d'huile
<b>Arachidique</b>	<b>0,32 % d'huile</b>

**Tableau 5 : Composition des écorces d'orange de *Citrus. Sinensis* en monosaccharides (en mg/g MS) (Wang et al., 2015)**

<b>Composé</b>	<b>Poids en ( mg/g Matière sèche)</b>
<b>Sucre naturel</b>	188,94
<b>Glucose</b>	64,00
<b>Arabinose</b>	54,72
<b>Galactose</b>	25,80
<b>Fructose</b>	15,40
<b>Rhamnose</b>	13,34
<b>Mannose</b>	8,00
<b>Xylose</b>	7,68

**Tableau 6: Teneur des écorces d'oranges en fibres alimentaires (g/100g MS).**

<b>composé</b>	<b>Poids en ( mg/g Matière sèche)</b>
<b>Fibres totales</b>	63,24 <b>(1)</b> Variété ND 57,03 <b>(2)</b> Variété ND 41,644 <b>(3)</b> Thomson Navel 42,129 <b>(4)</b> Maltaise blonde
<b>Fibres insolubles</b>	49,53 <b>(1)</b> Variété ND 40,95 <b>(2)</b> variété ND
<b>Fibres solubles</b>	13,62 <b>(1)</b> Variété ND 16,08 <b>(2)</b> Variété ND
<b>Cellulose</b>	20,20 <b>(2)</b> Variété ND
<b>Pectine</b>	15,23 <b>(2)</b> Variété ND
<b>Hémicellulose</b>	10,09 <b>(2)</b> Variété ND
<b>Lignine</b>	8,76 <b>(2)</b> Variété ND
<b>Référence</b>	<b>(Wang et al., 2015) (1)</b> <b>(Huang et al., 2021) (2)</b> <b>(Ghanem et al., 2012) (3)</b> <b>(Bejar et al., 2012) (4)</b>

**Tableau 7 : Teneur des écorces d'oranges en minéraux et oligo-éléments (mg/100g MS).**

Composé	Variété ND	Thomson navel	Maltaise blonde
<b>K</b>	480	<b>816,237</b>	222,373
<b>Ca</b>	134	485,734	<b>1201,053</b>
<b>Na</b>	55	148,276	312,858
<b>Mg</b>	/	111,093	<b>156,753</b>
<b>Fe</b>	<b>9,37</b>	7,958	1,585
<b>Zn</b>	0,30	1,43	<b>1,867</b>
<b>Cu</b>	<b>3,27</b>	1,580	1,128
<b>N</b>	230	/	/
<b>Mn</b>	0,40	/	
<b>P</b>	51	/	/
<b>Référence</b>	<b>(Abdelazem et al., 2021)</b>	<b>(Ghanem et al., 2012)</b>	<b>(Bejar et al., 2012)</b>

**Tableau 8 : Teneur en vitamines des écorces d'orange**

Composé	Variétés de <i>Citrus Sinensis</i>
<b>Acide ascorbique</b>	<b>59,6 (b) (4) Variété ND</b> 30,33(b) (7) Variété ND 12,91 (b) (23) Variété ND <b>105 (b) (19) Maltaise</b> 766,80 (µg d'extrait/g) (15) Valencia
<b>Thiamine (vitamine B1)</b>	0,11 (b) (23) Variété ND
<b>Riboflavine (vitamine B2)</b>	0,15 (b) (23) Variété ND
<b>Niacine (vitamine B3)</b>	0,81 (b) (23) Variété ND
<b>Rétinol (vitamine A)</b>	85,71 UI/100g (23) Variété ND
<b>Vitamine E</b>	5,60 mg/kg
<b>Référence :</b>	<b>(Gorinstein et al., 2001) (4) ; (Czech et al., 2021) (7) ; (Guimarães et al., 2010) (15) ; (M'hiri et al., 2015) (19) (Egbuonu et Amadi., 2016) (23) ; (Zhou., 2012) (24)</b>
<b>Unité :</b>	(a) (mg/100 g Matière sèche) - (b) (mg/100 g Matière humide)

**Les tableaux (9,10,11,12,13,14, 15)** montrent la composition en composés bioactifs dans l'EO : La teneur en composés phénoliques, en flavonoïdes et en caroténoïdes

Dans *Citrus sinensis*, la teneur en polyphénols totaux est plus élevée dans l'EO frais (284,19 Mg EAG/100 g MH) par rapport à l'EO sèche (177,92mg EAG/ 100 g MS) et plus faible dans l'extrait gallique d'EO (149,42 Mg EAG/g extrait). La variété *Thomson navel* a la concentration la plus importante de polyphénols totaux (25,60 Mg EAG/g MS) par rapport à la variété *Washington navel* (9,61Mg EAG/g MS). Et parmi les variétés recherchées, la *Valencia* contient la teneur la plus élevée en polyphénols (275,8 Mg EAG/g MS).

L'EO renferme une large gamme des composés phénoliques. **Le tableau 9** compare la concentration de certains de ces composés dans 6 variétés différentes.

- Les *Washington navel* ont la plus haute concentration en phénols solubles (3,48 Mg EAG/g MS)
- Les *Thomson navel* renferment plus des Tanins hydrolysables (11,46 mg EAT/g MS) et des proantho-cyanidines (6,43 mg CE/g MS) par rapport aux autres variétés.
- Les Anthocyanes sont présents seulement dans les groupes des sanguines avec une concentration de (32,91 µg EMV/ 100g MS)
- D'autres acides phénoliques sont présents dans l'EO : l'acide p-coumarique (27,9 mg/100 g MH), les anthraquinones (9,37 Mg EAG/g), l'acide sinapique (41,39 mg/100 g) et l'acide caféique (40,86 mg/100 g) (**tableau 10**)

**Le tableau 11** affiche la composition en flavonoïdes totaux et en Flavonols de différentes variétés d'EO. Ce dernier peut contenir jusqu'à 186,81 Mg EAG/g de flavonoïdes, la *Washington navel* contient 23,2 mg équivalent EAQ/g de flavonoïdes. La *Thomson navel* contient 1,43mg EAQ/g MS de Flavonols, il s'agit de la concentration la plus élevée parmi les 6 variétés. La variété Portugaise en possède la plus faible concentration avec 0,12 mg EAQ/g MS. De plus, l'EO est riche en Hespéridine, Naringénine, Narirutin, et l'Hespéretine. **Le tableau 12** montre la composition générale d'EO en flavanone, et le **tableau 13 et 14** illustre la composition en Flavones, Flavonols et poly-méthoxyflavones

L'EO est riche en Caroténoïdes la variété *Cara Cara* du groupe des *Navel* est la plus riche elle contient 218,04 (µg/g MS) et les *Thomson* contiennent 91,10 (µg/g MS) l'écorce de *sinensis* est riche en carotènes, xanthophylles et en Phytoène mais pauvre en ξ-carotène, β-carotène et en lycopène. **Le tableau 15** montre la composition d'EO en Caroténoïdes et d'autre composé bioactive.

**Tableau 9 : Composition phénolique d'écorce d'orange**

Composé	Variété ND	Groupe des Navels	Groupe des Sanguines	Groupe des Blondes
Composé phénolique Totale (CPT)	312,2 (a)(7) 284,19 (a)(1) 179 (b)(4) 177,92 (c)(2) 149,42 (d)(3)	25,60 (e)(10) Thomson 2,86 (f)(8) Thomson 2,16 (g)(9) Thomson 160,3 (d)(11) Washington 9,61 (e)(10) Washington	12,28 (e)(10) Double fine 153,8 (d)(11) Sanguin 14,95 (e)(10) Sanguin 14,94 (e)(10) Portugaise	1,058 (i)(12) maltaise. 14,31 (e)(10) Jaffa 275,8 (e)(16) Valencia 132,9 (d)(11) Valencia 79,75 (d)(15) Valencia
Phénol soluble	/	2,94 (e)(10) Thomson 3,48 (e)(10) Washington	1,08 (e)(10) Double fine 1,69 (e)(10) Sanguin 1,64 (e)(10) Portugaise	2,33 (e)(10) Jaffa
Phénol polymérisé	/	6,78 (j)(10) Thomson 6,71 (j)(10) Washington	4,96 (j)(10) Double fine 5,12 (j)(10) Sanguin 5,63 (j)(10) Portugaise	6,78 (j)(10) Jaffa
Tanins hydrolysables	/	11,46 (j)(10) Thomson 7,09 (j)(10) Washington	4,48 (j)(10) Double fine 6,33 (j)(10) Sanguin 7,37 (j)(10) Portugaise	9,39 (j)(10) Jaffa
Anthocyanes	/	Non déterminé (10)	28,28 (k)(10) Double fine 32,91 (k)(10) Sanguin 15,35 (k)(10) Portugaise	Non déterminé (10)
Proantho-cyanidins	/	6,43 (h)(10) Thomson 4,56 (h)(10) Washington	4,33 (h)(10) Double fine 4,43 (h)(10) Sanguin 3,87 (h)(10) Portugaise	5,88 (h)(10) Jaffa
Référence	(Casquete et al., 2015) (1) (Özcan et al., 2020) (2)	(huang et al., 2020) (3) (Gorinstein et al., 2001) (4) (Czech et al., 2021) (7) (Ghanem et al., 2012) (8)	(Rezaee et al., 2020) (9) (Iagha-Benamrouche et Madani 2013) (10) (Guimarães et al., 2010) (15)	(Ghasemi et al., 2009) (11) (Bejar et al., 2012) (12) (Khan et al., 2010) (16)
Unité :	(a) (mg EAG/100g Matière humide) (b) (mg/100g Matière humide) (c) (mg EAG/ 100 g Matière sèche) (d) (mg EAG/g extrait) (e) (mg EAG/g Matière sèche) (f) (g d'acide caféique/100g de Matière sèche)		(g) (mg/g Matière humide) (h) (mg EAC/g Matière humide) (i) (mg d'acide caféique /100 g Matière sèche) (j) (mg EAT/g Matière sèche) (k) (µg EMV/ 100g Matière sèche)	



**Tableau 10 : Teneur en d'autre composé phénoliques présents dans l'écorce d'orange**

Composé	Variétés de <i>Citrus Sinensis</i>
Acide p-coumarique	1,38 (a)(5) Variété ND 27,9 (b)(4) Variété ND 0,03 (d)(2) Variété ND 12,56 (d)(7) Variété ND
Acide caféique	1,53 (a)(5) Variété ND 9,5 (b)(4) Variété ND 0,69 (d)(2) Variété ND 40,86 (d)(7) Variété ND
Terpenoids	1,61 (c)(6) Variété ND
Tanin	0,30 (c)(6) Variété ND 22,80 (d)(2) Variété ND
Anthroquinones	9,37 (c)(6) Variété ND
Saponins	16,2 (c)(6) Variété ND
Acide férulique	39,2 (b)(4) Variété ND 0,15 (d)(2) Variété ND 38,11 (d)(7) Variété ND 0,12336 (a)(25) Thomson 0,08368(a)(25) Washington
Acide syringique	0,46 (d)(2) Variété ND
3,4-Dihydroxybenzoïque	6,64 (d)(2) Variété ND
Acide gallique	9,54 (d)(2) Variété ND 6,54 (d)(7) Variété ND 0,1137(a)(25) Thomson 0,11318(a)(25) Washington
Resvératrol	0,43 (d)(2) Variété ND
l'acide transférulique	0,15 (d)(2) Variété ND
Acide sinapique	34,9 (b)(4) Variété ND 41,39 (d)(7) Variété ND
Acide Chlorogenique	26,07 (d)(7) Variété ND
Acide trans-cinnamique	0,12 (d)(2) Variété ND
<b>Référence :</b>	<b>(Özcan et al., 2020) (2)</b> <b>(Gorinstein et al., 2001) (4)</b> <b>(Chen et al., 2011) (5)</b> <b>(Abdelazem et al., 2021) (6)</b> <b>(Czech et al., 2021) (7)</b> <b>(Lagha-benamrouche, 2022) (25)</b>
<b>Unité :</b>	(a) (mg /g Matière sèche) (b) (mg/100 g Matière humide) (c) (mg EAG/g extrait) (d) (mg/100 g Matière sèche)

**Tableau 11 : Composition en flavonoïdes et flavonols des variétés d'écorce d'orange**

composé	Variété ND	Groupe des Navels	Groupe des Sanguines	Groupe des Blondes
<b>Flavonoïdes totaux</b>	186,81 (a)(1)	2,860 (b)(8) Thomson	0,71 (c)(10) Double Fine	1,058 (e)(12) Maltaise
	12,84 (a)(6)	1,28 (c)(10) Thomson	1,7 (d)(11) Sanguin	2,685 (f)(19) Maltaise
		23,2 (d)(11) Washington	0,91 (c)(10) Sanguin	0,56 (c)(10) Jaffa
		1,29 (c)(10) Washington	0,29 (c)(10) Portugaise	79,75 (a)(15) Valencia
<b>Flavonols</b>	/	1,43 (c)(10) Thomson 0,29 (c)(10) Washington	0,34 (c)(10) Double fine 0,41 (c)(10) Sanguin 0,12 (c)(10) Portugaise	0,19 (c)(10) Jaffa
<b>Référence :</b>	<b>(Casquete et al., 2015) (1)</b> <b>(Abdelazem et al., 2021)(6)</b>	<b>(Ghanem et al., 2012) (8)</b> <b>(Iagha-Benamrouche et Madani 2013)(10)</b>	<b>(Ghasemi et al., 2009) (11)</b> <b>(Bejar et al., 2012) (12)</b>	<b>(Guimarães et al., 2010) (15)</b> <b>(M'hiri et al., 2015) (19)</b>
<b>Unité :</b>	(a) (mg EAG/g extrait) (b) (g d'acide caféique/100g de Matière sèche) (e) (mg d'acide caféique /100 g Matière sèche)		(c) (mg EAQ/g Matière sèche) (d) (mg EAQ/g d'extrait) (f) (g/100 g Matière sèche)	

**Tableau 12 : Composition en flavanones des variétés d'écorce d'orange**

<b>Le composé</b>	<b>Variétés de <i>Citrus Sinensis</i></b>
<b>Hespéridine 3', 5, 7-trihydroxy- 4'-methoxyflavanone</b>	<b>148,63 (b)(3)</b> Variété ND 80,9 (c)(4) Variété ND 34,7838 (a)(17) Variété ND 41,17 (a)(18) Variété ND 0,25478(a)(25) Thomson 0,11736(a)(25) Washington
<b>Narirutin 4', 5, 7- trihydroxyflavanone7-rutinoside</b>	<b>21,49 (b)(3)</b> Variété ND 2,2585 (a)(17) Variété ND 0,17312 (a)(25) Thomson 0,06358 (a)(25) Washington
<b>Naringénine 4',5,7-trihydroxyflavanone</b>	4,64 (a)(5) Variété ND 0,71 (d)(2) Variété ND 23,229 (a)(17) Variété ND 1,78 (a)(18) Variété ND
<b>Hespérétine 3',5,7-trihydroxy-4'-methoxyflavanone</b>	ND (18)(17) Variété ND
<b>Naringin 4',5,7- trihydroxyflavanone7-neohesperidoside</b>	2,06 (a)(18) Variété ND <b>ND (25) Thomson</b> ND (25) Washington 0,05064(a)(25) Sanguinelli
<b>Néohespéridine 3',5,7-trihydroxy-4'-methoxyflavanone-7-neohesperidoside</b>	<b>68,89 (a)(5)</b> Variété ND
<b>Ériocitrine tetrahydroxyflavanon -7-rutinoside 4', 5, 7-</b>	0,061 (u)(19) Maltaise blonde
<b>Didymine 5,7-dihydroxy-4'-methoxyflavanone-7- rutinoside</b>	1,3141 (a) (17) Variété ND 0,049 (e)(19)
<b>Référence :</b>	<b>(huang et al., 2020) (3)</b> <b>(Gorinstein et al., 2001) (4)</b> <b>(Chen et al., 2011) (5)</b> <b>(Huang et al., 2018) (17)</b> <b>(Pereira et al., 2017) (18)</b> <b>(M'hiri et al., 2015) (19)</b> <b>(Lagha-benamrouche, 2022) (25)</b>
<b>Unité :</b>	(a) (mg /g Matière sèche) (b) (mg EAG/g extrait) (c) (mg/g extrait) (d) (mg/100 g Matière sèche) (e) (g/100 g Matière sèche)

**Tableau 13 : Teneur des flavones et des flavonols dans des variétés d'écorce d'orange**

<b>Le composé</b>	<b>Variétés de <i>Citrus Sinensis</i></b>
<b>Flavones</b>	<b>Flavones</b>
<b>Rhoifoline 4',5,7-trihydroxyflavone-7-neohesperidoside</b>	0,2042(a)(17) Variété ND
<b>Diosmétine 3',5,7 -trihydroxy-4'-Methoxyflavone</b>	2,16 (a)(20) Orange navel
<b>apigénine 4',5,7 – trihydroxyflavone</b>	0,21 (b)(2) Variété ND
<b>Flavonols</b>	<b>Flavonols</b>
<b>Kaempférol 3,4',5,7-tetrahydroxyflavone</b>	6,63 (a)(5) Variété ND 1,38 (b)(2) Variété ND <b>1,59668 (a)(25) Thomson</b> <b>2,03969 (a)(25) Washington</b>
<b>Quercétine 3,3',4',5,7-pentahydroxyflavone</b>	<b>3,721 (a) (17) Variété ND</b> 1,18 (b)(2) Variété ND
<b>Catéchine</b>	<b>7,63 (b)(2) Variété ND</b>
<b>Rutine 3,3',4',5,7-pentahydroxyflavone 3-rutinoside</b>	<b>7,363(a)(17) Variété ND</b> 0,1864 (a)(25) Thomson 0,12404 (a)(25) Washington
<b>Isorhamnétine</b>	0,98 (b)(2) Variété ND
<b>Référence :</b>	<b>(Özcan et al., 2020) (2)</b> <b>(Chen et al., 2011) (5)</b> <b>(Huang et al., 2018) (17)</b> <b>(Kanaze et al., 2009) (20)</b> <b>(Lagha-benamrouche, 2022) (25)</b>
<b>Unité :</b>	(a) (mg /g Matière sèche) (b) (mg/100 g Matière sèche)

**Tableau 14 : Teneur des poly-méthoxyflavones de l'écorce d'orange**

<b>Poly-méthoxyflavones (PMF)</b>	<b>Variétés de <i>Citrus Sinensis</i></b>
<b>Nobilétine 3',4',5,6,7,8-hexaméthoxyflavone</b>	<b>0,8274(a)(17)</b> Variété ND 73,15 <b>(b)(9)</b> Variété ND 0,0070 <b>(c)(19)</b> Maltaise
<b>Tangerétine 4',5,6,7,8-pentaméthoxyflavone</b>	1,02 <b>(a)(18)</b> Variété ND 0,1815 <b>(a)(17)</b> Variété ND 0,019 <b>(c)(19)</b> Maltaise
<b>Sinensetine 3',4',5,6,7- Pentaméthoxyflavone</b>	0,6824 <b>(a)(17)</b> Variété ND 0,047 <b>(c)(19)</b> Maltaise
<b>Référence :</b>	<b>(Rezaee et al., 2020) (9)</b> <b>(Huang et al., 2018) (17)</b> <b>(Pereira et al., 2017) (18)</b> <b>(M'hiri et al., 2015) (19)</b>
<b>Unité :</b>	(a) (mg /g Matière sèche) (b) (µg /ml d'extrait) (c) (g/100 g MS)

**Tableau 15 : Teneur en Caroténoïdes dans l'écorce d'orange**

<b>Composé</b>	<b>Variétés de <i>Citrus Sinensis</i></b>
<b>Caroténoïdes totaux</b>	<b>218,04 (b) (22) Cara Cara Navel</b> 151,57 (b)(22) Oranges Bonanza 91,10 (b)(2) Thomson 37,3 (b)(9) variété ND <b>31,57 (c)(15) Valencia</b>
<b>Carotènes totaux</b>	<b>90,80 (b) (22) Cara Cara Navel</b> 27,82 (b)(22) Oranges Bonanza
<b>Xanthophylles totaux 127,24</b>	<b>127,24 (b)(22) Cara Cara Navel</b> 123,75 (b)(22) Oranges Bonanza
<b>Phytoène</b>	14,45 (b)(22) Oranges Bonanza <b>79,17 (b)(22) Cara Cara Navel</b>
<b>Phytofluène</b>	10,95 (b)(22) Oranges Bonanza 9,83 (b)(22) Cara Cara Navel
<b>ξ-carotène</b>	2,42 (b)(22) Oranges Bonanza 1,80 (b)(22) Cara Cara Navel
<b>β-carotène</b>	SLD
<b>Lycopène</b>	SLD
<b>Zéaxanthine</b>	0,20 (b)(22) Oranges Bonanza 1,47 (b)(22) Cara Cara Navel
<b>β-cryptoxanthine</b>	4,40 (b)(22) Oranges Bonanza 7,80 (b)(22) Cara Cara Navel
<b>Auroxanthine</b>	47,70 (b)(22) Oranges Bonanza 47,43 (b)(22) Cara Cara Navel
<b>β-citraurine</b>	35,25 (b)(22) Oranges Bonanza 20,02 (b)(22) Cara Cara Navel
<b>Référence :</b>	<b>(Özcan et al., 2020) (2)</b> <b>(Rezaee et al., 2020) (9)</b> <b>(Guimarães et al., 2010) (15)</b> <b>(Xu et al., 2006) (22)</b>
<b>Unité :</b>	(b) (µg/g Matière sèche) - (c) (mg/g extrait)

**Chapitre 3 :**  
**Activités biologiques de l'écorce**  
**d'orange**

## 1. Toxicité d'écorce d'orange

Dans une étude d'évaluation de la toxicité de l'hésperidine isolée à partir d'un extrait méthanolique d'EO chez des rats Sprague-Dawley après 13 semaines de consommation, l'hésperidine, qui abrite un éventail de potentiels antioxydants, anticancéreux et anti-inflammatoires avec des doses de 250 et 500 mg/kg, n'a induit aucune anomalie ni dans le poids corporel ni dans le poids des organes, ni dans la consommation alimentaire, et y'avais aucun signe clinique dans les observations ophtalmologiques, neurologiques et dans l'analyse d'urine ou dans l'hématologie. Cependant, l'hésperidine à une dose de 1000 mg/kg a montré des altérations significatives du poids corporel et des organes, de l'hématologie, de la chimie clinique et de l'histopathologie des tissus. A 5000 mg/kg cette molécule a montré une mortalité de 10% des rats au 11e jour de la période de récupération post-administration. La valeur médiane calculée de la dose létale pour l'hésperidine était de 4837,5 mg/kg (Li et al., 2019).

L'extraits aqueux d'écorce d'orange (EAEO) douce aussi a été évalué dans un test de cytotoxicité, il offre une protection contre les dommages et la cytotoxicité des cellules HepG2 induite par 0,2 mM de t-BHP, à une concentration de 50 µg/ml d'(EAEO) et à 10 µg/ml d'hésperidine, d'hésperétine et de nobilétine une augmentation de manière significative de la viabilité cellulaire était enregistré. Cette protection peut être associé à une régulation positive des niveaux de GSH et des enzymes antioxydantes (Chen et al., 2012). En 2010 une expérience a confirmé qu'aucune cytotoxicité n'a été observée dans l'extraits d'écorces d'orange à des concentrations de 61 mg/ml. Mais l'extrait de zeste de citron présente une cytotoxicité à des doses égales ou supérieure à 0,5 mg/ml (Huang et Ho., 2010).

## 2. Activité antioxydante

Des études ont été réalisées sur divers variétés d'EO ont confirmé leur efficacité en tant qu'antioxydants puissants à un rôle protecteur contre le stress oxydatif, par une gamme des tests, tous les résultats de ces tests sont illustrés dans le tableau 16.

**2.1. Test FRAP (Ferric reducing antioxidant power) :** ce test mesure la capacité de réduction ferrique d'une substance biologique par la méthode de réduction du ferricyanure, le résultat est exprimé par l'augmentation de l'absorbance qui indique un pouvoir réducteur élevé (Huda-Faujan et al., 2007)

L'analyse de Lagma-Benamrouche et Madani (2013) sur 6 variétés des pelures d'orange provenant d'Algérie, a montré qu'ils présentent un pouvoir réducteur des ions ferriques ( $Fe^{3+}$ ) en ion ferreux ( $Fe^{2+}$ ), une concentration de 1 mg/ml a conduit à des absorbances comprises entre (0,075 et 0,238), dont l'absorbance de l'acide gallique utilisé comme standard était (0,2974). Sur



la base du pouvoir réducteur des pelures, Thomson navel a présenté la valeur le plus élevé, les variétés sont classées selon l'ordre suivant :

Acide gallique > Thomson > Sanguinelli > Portugaise > Double fine > Jaffa > Washington, et cela est due au phénol total des pelures qui ont un effet chélateur des ions  $Fe^{3+}$ . Et dans la même expérience de **(Lagha-benamrouche, 2022)** qui confirme que la capacité antioxydantes des pelures est due à la teneur en phénol totale plus que les flavonoïdes, car ces résultats ont montré une faible corrélation entre les teneurs en flavonoïdes des pelures et la capacité de chélation des ions ferreux (0,47), alors que la corrélation entre cette capacité et les teneurs en acides phénoliques des pelures (0,019) reflétant la contribution modérée des flavonoïdes aux capacités antioxydantes des pelures d'orange.

Le test FRAP réalisé par **Long et al. (2019)** a également révélé que 4 extraits d'EO ont une activité réductrice et l'extrait d'acétate d'éthyle EAE a démontré l'activité de puissance la plus réductrice par rapport à l'extrait d'éthanol, l'extrait d'éther de pétrole (EEP) et les extraits aqueux d'écorce d'orange navel.

## **2.2. Test de DPPH (Le radical 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle)**

Le modèle de piégeage du radical DPPH est largement utilisé comme méthode d'évaluation de l'activité antioxydante dans une période relativement rapide par rapport aux autres méthodes **(Antolovich et al., 2002)**.

Selon **(Lagha-Benamrouche et Madani, 2013)** les pourcentage d'inhibition du radicale DPPH des extraits d'écorce d'orange (EEO) variaient entre 55,49 et 81,7 %, les pelures des variétés Thomson Sanguine et Jaffa, possèdent l'activité anti radicalaire la plus prononcée, et les variétés Double fine et Washington ont les activités anti radicalaire les plus faible, avec la présence d'une forte corrélation entre l'activité de piégeage contre le radical DPPH stable et le phénol total des pelures.

De plus les valeurs  $IC_{50}$  confirme les même résultats, L' $IC_{50}$  faible correspond à une forte capacité inhibitrice du radical DPPH, la valeur la plus faible a été des écorces de Thomson (0,612 mg/ml) et la plus élevée été enregistrée pour les pelures de Washington (0,901 mg/ml). **(Lagha-Benamrouche et Madani, 2013)**.

Mais **Czech et al. (2021)** suggère que les propriétés antioxydantes d'EO par le test DPPH est due à la présence des composés phénoliques et d'autres composés comme de l'acide ascorbique et des tanins. Dans cette étude L'EO a une activité antioxydantes inférieur à celle de l'activité de la pulpe d'orange, le résultat du test DPPH était (73,35mmol Trolox/g) et le coefficient de corrélation entre ces 3 composés bioactifs et la DPPH étaient positifs.

Le séchage de l'EO lui aussi influence sur leur teneur en composés phénoliques, flavonoïdes, et caroténoïdes, dans une étude comparative entre l'activité antioxydante des EO fraîches et séchées, ont montré que le DPPH de la poudre d'écorce d'orange (PEO) sèche, à des résultats bas (61,65%) comparant avec celui de l'écorce d'orange fraîche (63,48%), alors que cette dernière contient de faibles teneurs en composés bioactifs par rapport à l'EO séchée (**Özcan et al., 2020**). Ce qui suggère que l'activité antioxydante de l'EO n'est pas liée seulement à ces 3 composés mais aussi à d'autres qui influencent cette activité.

En comparant l'effet de la taille et la durée de stockage d'orange Thomson Navel sur la capacité antioxydante. Les résultats du test de DPPH selon **Rezaee et al. (2020)** ont montré un meilleur pourcentage du DPPH (89,9%) qui était marqué chez les Thomson de taille moyenne après 18 semaines de stockage. D'autres résultats de ce test sont dans le tableau 16.

### **2.3. Test de ABTS (Acide 2,2'-azino-bis(3-éthylbenzothiazoline-6-sulphonique))**

L'ABTS est un test de la capacité de piégeage des radicaux libres (**Re et al., 1999**). Dans l'expérience de (**Czech et al., 2021**) les valeurs de ce test sont de (144,3 mmol Trolox/g), et seuls les acides phénoliques qui ont montré des résultats positifs alors que les tanins et l'acide ascorbique de l'EO ont montré un résultat négatif dans cette expérience. Les zestes d'orange, présentent des capacités antioxydantes bien déterminées au moyen de l'analyse (ABTS) dont les valeurs d'ABTS = 304,05 mg de Trolox/100 g d'extraits de MH (**Casquete et al., 2015**).

### **2.4. Inhibition de la décoloration du $\beta$ -carotène :**

L'évaluation de l'activité antioxydante par le test de blanchissement du  $\beta$ -carotène repose sur la mesure d'inhibition des composés organiques volatils et des hydroperoxydes diènes conjugués résultant de l'oxydation d'acide linoléique (**Dapkevicius et al., 1998**). Dans une étude de **Lagha-Benamrouche et Madani (2013)**, les extraits de 6 variétés d'orange ont aussi la capacité à inhiber la décoloration du  $\beta$ -carotène qui a été mesurée et comparée à celle du témoin positif (BHA à 100 g/ml), en présence des extraits les valeurs d'absorbance étaient élevées ce qui indique que les extraits avaient agi comme des antioxydants efficaces dans le système linoléate de  $\beta$ -carotène, ce qui inhibait l'oxydation du  $\beta$ -carotène. Le Thomson navel a présenté la plus grande valeur d'inhibition des taux de décoloration du  $\beta$ -carotène (72,171 %), le Washington navel a présenté la plus petite inhibition (58,23 %) et le standard BHA a présenté (99,32 %) d'inhibition. Les valeurs des taux de décoloration du  $\beta$ -carotène ont suivi cet ordre décroissant :

BHA > Thomson > sanguinelle > portugaise > jaffa > double fine > Washington (**Lagha-Benamrouche et Madani, 2013**)

La méthode d'estimation des substances réactives à l'acide thiobarbiturique a été utilisée pour doser le degré de peroxydation anti-lipidique in vitro d'agrumes séchés et frais fermentés. Les pourcentages d'inhibition des extraits aqueux séchés et frais fermentés à 100 µg/ml étaient respectivement de 72,58 % et 72,57 % tandis que l'acide ascorbique standard donnait une inhibition de 90,82 %. La valeur IC<sub>50</sub> des pelures séchées fermentées est de 0,72 µg/ml, cette valeur plus élevée montre une activité antioxydante plus faible dans la liaison aux radicaux libres par rapport à la valeur IC<sub>50</sub> des pelures fraîches fermentées de 0,67 µg/ml qui est plus proche à la valeur standard de l'acide ascorbique (0,46 µg/ml) (**Oyawaluja et al., 2021**).

### **3. Activité anti-inflammatoire**

Les méthodes de test de dénaturation anti-protéine d'œuf ont été réalisées par (**Nawrin et al., 2021**) in vitro pour modéliser l'activité anti-inflammation d'EO. Le pourcentage d'inhibition de la dénaturation de l'albumine d'œuf par le standard l'acide acétylsalicylique (ASA) et l'extrait d'écorce (EAEO), était en augmentation progressive avec l'augmentation de ces concentrations et une protection maximale a été observée à 500 µg/ml pour l'ASA avec une protection de (94,32 %) tandis que l'EAEO à la même dose a montré une protection de (88,29 %) où L'IC<sub>50</sub> a été trouvée à 116,26 µg/ml pour l'ASA et 208,05 µg/ml pour l'EAEO (**Nawrin et al., 2021**).

Selon les résultats de **Pacheco et al. (2018)** dont le travail porte sur le rôle de différents sous-produits dérivés de l'extraction industrielle du jus d'orange sur l'effet anti-inflammatoire chez des souris atteintes de colite induite par le sulfate de dextrine sodique (SDS), ces sous-produits peuvent être appliqués comme compléments alimentaires dans l'amélioration potentielle des maladies inflammatoires de l'intestin.

Pendant 15 jours avant de commencer le traitement au (SDS) l'alimentation des souris C57BL/6J était enrichie par le résidu d'orange.

Les composés macroscopiques tels que l'indice d'activité de la maladie et le rapport poids/longueur du côlon ont révélé un effet anti-inflammatoire après l'ingestion des résidus d'orange. De plus, les marqueurs biochimiques de la maladie intestinale inflammatoire sont significativement réduits dans les groupes nourris les coproduits d'orange par rapport au groupe témoin (SDS) comme les FNT- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , iNOS, et des molécules d'adhésion intercellulaire ICAM I, cela est due à la pectine et les composés phénoliques d'écorce d'orange.

**Tableau 16 : Tests des activités antioxydantes de l'écorce d'orange**

	DPPH	Coefficient de corrélation	Chélation du fer ferreux Test FRAP	ABTS	Test de peroxydation anti-lipidique
(Czech et al 2021)	73,35 mmol Trolox/g	0,17 DPPH×ACPH 0,442 DPPH×TAN 0,717 DPPH×Vit c 0,06 ABTS×ACPH - 0,584ABTS×TAN - 0,021 ABTS×vit c	/	144,3 mmol Trolox/g	/
(Özcan et al., 2020)	61,65% PEO sèche 63,48% PEO fraîche	/	/	/	/
(Casquete et al., 2015)	102,39 mg Trolox/100g	/	/	304,05 mg Trolox/100g	/
(Long et al., 2019)	Ec50 = 38,33 µg/ml EAE Orange navel	/	EAE = 21,54 (c) EEP = 9,42 (c) EE = 2,49 (c) EAEO = 2,27 (c)	EC50 = 8,47 (b)	/
(Lagha-Benamrouche et Madani 2013)	81,701% 72,27% 67,31 % 65,88 % 62,80 % 55,49% 92,00 % 64,00%	EC50= 0,612(a) Thomson EC50 = 0,692(a) Sanguinelli EC50=0,743(a) Portugaise EC50=0,759(a) Jaffa EC50 =0,796(a) Double fine EC50=0,901(a) Washington Navel EC50 = 0,543(a) Acide gallique EC50 = 0,781(A) Quercétine	/	0,238 Thomson Navel 0,176 Sanguinelli 0,175 Portugaise 0,097 Jaffa 0,095 Double fine 0,075 Washington Navel 0,297 Acide gallique 0,4475 Quercétine	72,17% Thomson Navel 71,02% Sanguinelli 70,54% Portugaise 65,69% Jaffa 62,63% Double fine 58,23% Washington Navel 99,32% BHA
(Abd El-aal et Halaweish, 2010)	59 % orange navel 90 % Quercétine	/	/	/	/
(Guimarães et al., 2010)	EC50= 4,99 (a)	/	/	/	EC50 (TIBβ-c) = 0,26 (a) EC50 TBARS = 0,23 (a)
(Oywaluja et al., 2021)	EC50=1,60 (b) Matière humide EC50=0,57 (b) Matière sèche EC50=1,25 (a) Vitamine E	/	/	/	0,67 (e) Matière humide 1,72 (e) Matière sèche 0,46 (e) Acide ascorbique
(Rezaee et al., 2020)	89,9%	/	/	/	/
<b>Légende</b>	(a) (mg/ml) - (b) µg/ml - (c) µM d'équivalent Trolox par mg d'extrait sec - ACPH : Acide phénolique - TAN : Tanin - vit c : vitamine c - PEO : poudre d'écorce d'orange - Ec50 : Concentration efficace demi-maximale. - BHA : Hydroxyanisole butylé - EAE : Extrait d'acétate d'éthyle - EE : Extrait d'éthanol - EEP: Extrait d'éther de pétrole - EAEO : Extraits aqueux d'écorce d'orange TBARS : Substances réactives à l'acide thiobarbiturique - TIBβ-c : Test d'Inhibition de la décoloration du β-carotène.				

Selon **Osarumwense (2017)**, des extraits aqueux éthanologiques et méthanolique d'écorce de *sinensis* ont été étudiés pour leur activité anti-inflammatoire dans l'œdème de la patte induit par la carraghénine chez des rats, et comparés à un médicament témoin positif, l'indométhacine.

L'extrait de méthanol, était plus actif que l'extrait hydro alcoolique d'EO, avec une concentration de 40mg/kg l'extrait de méthanol, a produit une inhibition de 95% de l'œdème, qui était aussi élevée que celle du médicament standard (93%).

Dans la médecine traditionnelle chinoise, les pelures d'agrumes séchées sont largement utilisées comme remèdes pour soulager certains syndromes inflammatoires respiratoires et sont considérées comme des sources potentielles de composants anti-inflammatoires.

Dans l'étude comparative entre Sept agrumes (**Huang et Ho., 2010**), il a été déterminé la capacité anti-inflammatoire des extraits d'écorces d'agrumes en inhibant la production de médiateurs pro-inflammatoires, la prostaglandine E<sub>2</sub> (PGE<sub>2</sub>) et l'oxyde nitrique (NO) par de multiples mécanismes, y compris la suppression transcriptionnelle, traductionnelle et post-traductionnelle de COX-2 et iNOS, dans les cellules RAW 264,7 activées par le lipopolysaccharide (LPS). Parmi les pelures d'agrumes testées, le *Citrus reticulata* avait un effet inhibiteur exceptionnel sur la sécrétion de PGE<sub>2</sub> et de NO suivie de *citrus sinensis*.

Et cela est due au polyméthoxy Flavones des agrumes, en particulier la nobilétine, qui semble bien corrélée avec les activités anti-inflammatoires de certains extraits d'écorces d'agrumes.

#### **4. Effet anti-hémolytique**

L'inflammation implique une série de changements cellulaires comprenant la déstabilisation de la membrane des globules rouge et l'hémolyse, pour évaluer la capacité de protection de l'EO sur les hématies in vitro, les méthodes de test de stabilisation de la membrane des globule rouge humain (GRH), de tests d'hémolyse induite par la chaleur et l'hypotonicité ont été adoptées par (**Nawrin et al., 2021**).

L'acide acétylsalicylique (AAS) c'est le standard dans cette étude pour comparer les résultats. Dans l'essai de la stabilisation de la membrane GRH, L'AAS s'est avéré réduire la lyse de la membrane jusqu'à 50 % dans 82,26 µg/ml tandis que l'EAE0 a atteint une activité similaire à une concentration beaucoup plus élevée 263,16 µg/ml.

Dans le test d'hémolyse induite par la température, l'ASA et l'EAE0 ont tous deux atteint leur CI<sub>50</sub> à des concentrations plus élevées (272,42 µg/ml et 318,27 µg/ml respectivement) dans des conditions hyperthermiques. Au contraire, dans les conditions

hypothermiques, la  $CI_{50}$  a été atteinte par les deux groupes à 247,85  $\mu\text{g/ml}$  et 288,25  $\mu\text{g/ml}$  respectivement.

Dans le test d'hémolyse induite par la tonicité, les résultats étaient comparables aux résultats du test de la variation thermique et le pourcentage d'inhibition de l'hémolyse a également été observé dans diverses conditions environnementales et a révélé une  $CI_{50}$  pour l'AAS à 317,43  $\mu\text{g/ml}$  en solution hypotonique et 242,89  $\mu\text{g/ml}$  en solution isotonique alors que la  $CI_{50}$  pour l'échantillon a été atteint à 358,72  $\mu\text{g/ml}$  et 289,89  $\mu\text{g/ml}$  respectivement. Pour les deux solutions, la lyse des GRH décelée était moins importante en pourcentage dans le milieu isotonique que dans le milieu hypotonique. (Nawrin et al., 2021)

Selon ces résultats la peau de *C. sinensis* peut présenter un effet anti-hémolytique dépendante de la concentration.

## 5. Activité anti-cancer

Le cancer est une complication physiologique grave caractérisée par une prolifération cellulaire anormale avec la capacité de s'infiltrer ou de se propager à d'autres régions du corps. Les composés phénoliques sont utilisés pour inhiber la prolifération des cellules cancéreuses qui ont la capacité d'affecter plusieurs voies de transduction de signalisation associées au cancer (Fantini et al., 2015).

Les pelures d'orange Navel sont considérées comme une source d'héspéridine qui peut être utilisée dans l'industrie pharmaceutique comme agent chimio préventif naturel.

Dans un test cytotoxique, contre des lignées cellulaires de carcinome du larynx, du col de l'utérus, du sein et du foie, réalisé par (Al-Ashaal et El-Sheltawy., 2011), l'héspéridine s'est avérée modérément active en tant qu'agent antioxydant et présentant une activité anticancéreuse prononcée contre les lignées cellulaires sélectionnées avec un  $CI_{50}$  inférieur à 4,60  $\mu\text{g/ml}$ . L'héspéridine de l'écorce d'orange navel a un effet cytotoxique contre certaines lignées de cellules cancéreuses humaines dont la lignée du larynx a été la plus touchée avec l'action inhibitrice la plus élevée de l'héspéridine.

La Narirutine est un hydroxyflavanone présente dans l'EO avec une teneur de (2,2585mg /g MS) et de (21,49 mg EAG/g extrait) (Huang, 2020a, 2018b). D'un point de vue pharmacologique, la narirutine est un Phytochimique bioactif à efficacité thérapeutique anticancéreuse, antioxydant, anti-inflammatoires et antiallergique. (Mitra et al., 2022).

Il a été démontré que la narirutine inhibe plusieurs tumeurs malignes par plusieurs méthodes, y compris, l'induction de l'apoptose et l'arrêt du cycle cellulaire, et le contrôle du stress oxydatif, de l'inflammation et de l'angiogenèse via la régulation de plusieurs cascades de signalisation cellulaire (Memariani et al., 2021) (Figure 8).



Figure 8 : L'effet anticancéreux de la narirutine d'agrumes (Mitra et al., 2022)

Parmi les cancers inhibés par la narirutine :

### **5.1. Le cancer du poumon :**

La narirutine à 10 mg/kg prévient le cancer du poumon chez les souris NC/Nga, et diminue l'inflammation allergique des voies respiratoires, les niveaux d'éosinophiles dans la circulation périphérique et le liquide de lavage broncho alvéolaire (BALF), les niveaux d'interleukine (IL-4) dans le BALF et les niveaux d'IgE dans le sérum en stimulant l'IL-4 et IgE. Par conséquent, la narirutine a le potentiel d'être un nouvel outil utile dans la gestion de l'asthme bronchique (**Funaguchi., et al 2007**).

### **5.2. Le cancer du pancréas :**

Selon des études in vitro sur le cancer du pancréas, la naringine, en association avec la narirutine et l'hespéridine, a inhibé la prolifération et la migration des cellules cancéreuses pancréatiques humaines en stimulant la caspase-3 clivage et réduire l'expression cascades de signalisation FAK et p38 (**Lee et al., 2019**). De plus la narirutine d'agrumes a directement inhibé l'activité de la GSK-3 en se liant au site actif de l'enzyme, suggérant sa capacité à réduire la croissance des tumeurs cancéreuses du pancréas dans les cellules (Panc-1 et BxPC-3) in vitro (**Johnson et Mejia., 2011**).

### **5.3. Le cancer du côlon :**

Dans des cellules de carcinome intestinal humain (côlon) HCT116, différentes concentrations (0-400 µg/ml) de résidus d'agrumes hydrolysés, y compris la narirutine, ont été appliquées pendant 24, 48 et 72 heures, démontrant des activités anticancéreuses et antiprolifératives par les radicaux libres, ainsi que le retardement des processus de vieillissement (**Im et al 2014**).

### **5.4. Le cancer gastrique :**

Le cancer gastrique est une maladie caractérisée par la croissance de cellules malignes dans la muqueuse de l'estomac (**Neugut et al., 1996**). Des lignées cellulaires de cancer gastrique ont été traitées avec 35 Citrus où il a été démontré que la narirutine des agrumes avait des effets antioxydants et cytotoxiques sur le cancer de l'estomac (FRAP, DPPH et ORAC), des effets utilisés pour évaluer les effets anticancéreux (**Wang et al., 2017**).

### **5.5. Le cancer de la prostate :**

Une recherche in vitro a révélé que les agrumes contenant de la narirutine à une dose de 1 mg/ml bloquaient la croissance des cellules PC-3 et LNCaP du cancer de la prostate en diminuant les cascades de transduction la narirutine en inhibant une croissance cellulaire et des activités antioxydantes (**Shammugasamy., 2019**). Le **tableau 17** résume les actions de l'EO sur différents cancers.



**Tableau 17 : Effets de l'écorce d'orange sur différents cancers.**

Référence	Type du cancer	Molécule	Effets
(Al-Ashaal et El-Sheltawy, 2011)	Larynx	Hespéridine	Antioxydant Cytotoxicité de 1,67 µg/ml
	Col de l'utérus	Hespéridine	Antioxydant Cytotoxicité de 3,33 µg/ml
	Sein	Hespéridine	Antioxydant Cytotoxicité de 4,17µg/ml
	Foie	Hespéridine	Antioxydant Cytotoxicité de 4,58 µg/ml
(Funaguchi et al., 2007)	Poumons	Narirutine	Diminue l'inflammation Réduit le nombre d'éosinophiles et D'interleukine (IL-4) et les IgE
(Lee et al., 2019) (Johnson et Mejia, 2011)	Pancréas	Narirutine Naringénine Hespéridine	Inhibe la croissance des cellules Réduit des cascades de signalisation FAK p38 Inhibe l'activité GSK-3
(Im et al., 2014)	Tractus intestinal	Résidus d'agrumes hydrolysés	Activités antiprolifératives Retardement des processus de vieillissement
(Wang et al., 2017)	Gastrique	Extrait d'agrumes	Capacités antioxydantes et effets de cytotoxicité
(Shammugasamy, 2019)	Prostate	Narirutine	Inhibition des cellules PC-3 de réintégrer le cycle cellulaire : en supprimant les voies de signalisation PI3K/AKT et ERK/MAPK et en activant la voie PTEN

(HeP2 ) [CCL-23 N+11] Cellule laryngée ; (HeLa ) [CCL2 N+8] Col de l'utérus ; (MCF7 ) [HTB-22 N+5] Sein ; (HPg2) [ATCCHB-8065 N+7] Foie ; Souris NC/Nga Poumons Miapaca-2, Pancréas Panc-1, SNU-213 Pancréas ; Detroit551 (Panc-1 et BxPC-3) Pancréas ; (HCT116) Tractus intestinal ; (AGS) Gastrique ; (BG823) Gastrique ; (SGC-7901) Gastrique ; (LNCaP) Prostate ; (PC-3) Prostate.

## 6. Activité antibactérienne

La résistance bactérienne aux antibiotiques est considérée comme l'un des problèmes courants dans le monde médical dont l'une des étapes les plus importantes dans les recherches microbiologiques.

Pour confirmer l'activité antimicrobienne une étude a montré le pouvoir antibactérien de l'extrait aqueux d'EO contre certains des isolats bactériens obtenus à partir de caries dentaires qui sont des bactéries Gram positives et Gram négatives, appartenant aux genres : *Escherichia*, *Pseudomonas*, *Citrobacter*, *Sphingobacterium*, *Staphylococcus*, *Leuconostoc*, *Acinetobacter*, *Ochrobactrum*, *Klebsiella*, *Enterococcus*, *Yersinia*, *Chromobacterium*. L'extrait aqueux chaud des pelures de *Citrus sinensis* présente un bon pouvoir antimicrobien et ayant un effet le plus élevé contre la bactérie *Sphingobacterium thalpophilum* avec une zone d'inhibition (30 mm à 500mg/ml) alors qu'il n'a révélé aucun effet sur les espèces bactériennes (*Leuconostoc mesenteroides*, *Ochrobactrum anthropi*, *Escherichia coli*). Tandis que l'extrait au méthanol chaud d'EO n'a pas d'effet contre les 32 isolats à l'exception de *Citrobacter freundii* (Al-Kanaany., 2020).

Toutefois dans l'expérience de (Hussain et al., 2015) l'extrait aqueux avait l'activité la plus faible par rapport l'extraits éthanoliques contre *Aggregatibacter actinomycetemcomitans*, *Porphyromonas gingivales* et *Prevotella intermedia*. Tandis que les trois souches ont montré une résistance a une concentration de (28,9 mg/ml) d'extraits aqueux chaude. Par contre l'extrait éthanolique chaud a montré des zones d'inhibition plus élevées que l'extrait éthanoliques froid avec des concentrations minimales inhibitrices de 12 et 15 mg/ml respectivement contre les trois agents pathogènes parodontaux.

Les extraits aqueux et méthanolique d'EO présentent une activité antimicrobienne contre les souches Gram positives *S. aureus* et des souches Gram négatives *E. coli*. Dans une étude in vitro de (Musa et al., 2019), l'extrait de méthanol a affiché une zone d'inhibition maximale contre *E. coli* et *S. aureus* alors que l'extrait aqueux n'a pas affiché une activité antibactérienne aussi élevée. La concentration minimale inhibitrice des extraits a été 500 mg/ml où l'extrait méthanolique avait une zone d'inhibition de (*S. aureus* : 22 mm ; *E. coli* : 19 mm), et l'extrait aqueux a montré des zones de (*S. aureus* : 16 mm ; *E. coli* : 10 mm) et cela est due probablement au tanin, les flavonoïdes, et les sucres réducteurs d'EO.

Selon El-Desoukey et al. (2018) l'extrait d'éthanol a montré des zones d'inhibition plus grande que l'extrait aqueux chaud et froid contre certains agents pathogènes médicalement importants (*Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aerogenes*, *Bacillus cereus*).

L'extrait d'EO à des concentrations de 0,15 mg/ml a aussi inhibé le développement de 20 bactéries Gram-positives et Gram-négatives, la bactérie *Acinetobacter et Listeria innocua* étaient plus sensibles aux extraits et la bactérie *L. monocytogenes, L. monocytogenes et Klebsiella spp* ont montré une résistance même à 1 mg/ml d'extrait. Cette activité peut être liée aux concentrations de rutine, de quercétine et de naringénine qui augmentent la perméabilité de la membrane bactérienne interne, annulant son potentiel, diminuant la production d'ATP, le transport membranaire et sa mobilité (Casquete et al., 2015). Le tableau 18 montre les effets antimicrobiens testé sur différent extrait d'EO.

### 7. Activité antifongique :

Les pelures et les graines d'orange peuvent avoir des nutriments et des propriétés antifongiques contre certains champignons (Egbuonu et Amadi, 2016).

Liu et al., 2021 ont fourni des preuves que les extraits d'EO a une activité antifongique contre l'*Aspergillus flavus* qui est un champignon pathogène associé à des problèmes de sécurité alimentaire. L'extrait d'orange à une concentration de 10 mg/ml inhibe leur croissance mycélienne avec (40%), cela est due probablement à la narirutine et l'hespéridine qui pourraient être développés comme agents antifongiques pour le stockage des matières premières alimentaires. Okwu et al., 2007 ont prouvé que l'extrait d'écorces de *C. sinensis* a un effet inhibiteur de (83,55 %) contre *Fusarium oxysporum*.

Les extraits à l'éthanol et à l'eau des pelures à une concentration de 100 mg/ml ont montré une activité contre les champignons (*Candida albicans et Aspergillus flavus*). Le diamètre de la zone d'inhibition d'extrait aqueux (*C. albicans* = 12,33 mm ; *A. flavus* = 6,67 mm) et le diamètre de la zone d'inhibition d'extrait éthanoliques qui était plus grande pour les 2 champignon (*C. albicans* = 14,67mm ; *A. flavus* = 11,67 mm) (Egbuonu et Amadi, 2016). Alors que dans les teste d'inhibition de la croissance de *Candida albicans* effectué par (El-Desoukey et al., 2018) a un volume de 0,1 ml l'extraits aqueux chauds a montré une zone a un diamètre de 17mm ; et l'extraits aqueux froid le diamètre été de 20 mm alors l'extraits éthanolique avais l'inhibition la plus importante avec un diamètre de zone de 21 mm.

La croissance mycélienne d'*Aspergillus niger* et d'*Alternaria alterne* peuvent être aussi inhibé par 100 mg/ml d'EEO a des zone d'inhibition moyenne de (3,3 mm et 5 mm) respectives. L'activité antifongique de peau d'orange pourrait être due à différentes classes de composés tels que les alcaloïdes, les flavonoïdes, les tanins, les saponines et les phlobatannins qui s'y trouvent. (Olakunle et al., 2019).

**Tableau 18 : Effets antimicrobiens de différents extraits d'écorce d'orange.**

Bactérie	Concentration	Zone d'inhibition	Référence
<i>Staphylococcus aureus</i>	500 mg/ml	16 mm Extrait Aqueux 22 mm Extrait Méthanolique	(Musa et al., 2019)
	0,1 ml	24 mm extraits aqueux chauds 12 mm extraits aqueux froid 15 mm extraits éthanoliques	(El-Desoukey et al., 2018)
<i>Escherichia coli</i>	500 mg/ml	10 mm Extrait Aqueux 19mm Extrait Méthanolique	(Musa et al., 2019)
	0,1 ml	23 mm extraits aqueux chauds 21 mm extraits aqueux froid 25 mm extraits éthanoliques	(El-Desoukey et al., 2018)
<i>Sphingobacterium thalpophilum</i>	500 mg/ml	30 mm Extrait Aqueux	(Al-Kanaany., 2020)
<i>Leuconostoc mesenteroides</i> <i>Ochrobactrum anthropc.</i> <i>Escherichia coli</i>	500 mg/ml	Aucun effet : Extrait Aqueux et méthanolique	(Al-Kanaany., 2020)
<i>Aggregatibacter actinomycetemcomitans</i>	15 mg/ml	Résistances Extraits aqueux 8,77 mm Extraits éthanoliques chauds 8,20 mm Extraits éthanoliques froids	(Hussain et al., 2015)
<i>Prevotella intermedia</i>	15 mg/ml	Résistances Extraits aqueux 9,40 mm Extraits éthanoliques chauds 8,40 mm Extraits éthanoliques froids	(Hussain et al., 2015)
<i>Porphyromonas gingivalis</i>	15 mg/ml	Résistances Extraits aqueux 8,40 mm Extraits éthanoliques chauds 8,25 mm Extraits éthanoliques froids	(Hussain et al., 2015)
<i>Bacillus cereus</i>	0,1 ml	14 mm extraits aqueux chauds 12 mm extraits aqueux froid 21 mm extraits éthanolique	(El-Desoukey et al., 2018)
<i>Pseudomonas aerogenes</i>	0,1 ml	25 extraits aqueux chauds 23 mm extraits aqueux froid 27 mm extraits éthanolique	(El-Desoukey et al., 2018)
<i>Acinetobacter - Listeria innocua</i>	0,15 mg/ml	Sensibilité	(Casquete et al., 2015)
<i>L. monocytogenes,</i> <i>L. monocytogenes</i> <i>Klebsiella spp.</i>	1 mg/ml	Résistance	(Casquete et al., 2015)

## **8. Activité anti virale :**

Le SARS-CoV-2 est un nouveau type de coronavirus qui cause le COVID-19. Grâce à l'héspéridine qui est un flavonoïde abondamment présent dans l'écorce d'orange ce fruit à une activité virale, des études d'amarrage ont montré que l'héspéridine peut se lier à plusieurs régions du coronavirus 2 qui sont responsables de la transformation des protéines précoces du virus en complexe responsable de la réplication virale, ce qui suggère la capacité des flavonoïdes d'agrumes à agir comme agents prophylactiques et empêcher le virus SARS-CoV-2 de se lier à l'enzyme ACE2 de la cellule hôte et d'inhiber la réplication du virus après sa pénétration dans l'organisme, une supplémentation en héspéridine peut être utile contre l'infection par le SRAS-CoV-2 et comme traitement complémentaire des patients infectés par le COVID (**Agrawal PK et al., 2021**). Cela est en effet confirmé aussi par **Mauludya NB et al. (2022)** par une étude d'amarrage moléculaire comparé avec le nelfinavir (médicament antirétroviral), l'héspéridine a le potentiel d'être un inhibiteur du SRAS-CoV-2 mieux que l'héspéridine, présent dans l'écorce d'agrumes.

**Chapitre 4 :**  
**Domaines d'utilisation des écorces**  
**d'orange**

Les déchets d'agrumes peuvent être appliqués dans la transformation des aliments consommés pour obtenir des produits alimentaires sains, comme la viande, produits laitiers et produits de boulangerie ce qui aiderait à surmonter les problèmes actuels de santé, qui sont associés au déficit en nutriment (**Mahato et al., 2018**). **Tableau 19** résume les domaines d'utilisation de l'EO

### **Dans l'industrie alimentaire**

➤ **Conservateur et additif** : Les additifs alimentaires sont des substances qui confèrent une saveur, une couleur, un goût et des qualités nutritionnelles au produit alimentaire. Les déchets générés par l'industrie de jus comprennent une saveur, couleur et des composants bioactifs qui augmente la qualité nutritionnelle et donc ils pourraient être un substitut naturel aux additifs alimentaires synthétiques (**Zhu et al., 2020**).

Les écorces d'agrumes contiennent de grandes quantités de caroténoïdes qui pourraient être utilisés comme pigment naturel par l'industrie alimentaire et des boissons (**Mahato et al., 2018**). Cela permettra de réduire l'utilisation de pigments synthétiques comme la tartrazine dans les produits de boulangerie.

Aussi peuvent être utilisés comme conservateur des huiles alimentaires, (**Abd El-aal et Halaweish, 2010**) ont évalué l'activité conservatrice/antioxydantes de l'écorce d'orange dans l'huile de soja après oxydation. Ces déchets ont la même inhibition de l'oxydation que le BHT et le BHA qui sont des antioxydants synthétiques. Les extraits d'écorce d'orange sont donc une source potentielle d'antioxydants naturels et peuvent être utilisés en toute sécurité à la place des antioxydants synthétiques pour prolonger la durée de conservation des graisses et des huiles. Et permettent de supprimer l'oxydation des lipides responsables du rancissement et des mauvais goûts des graisses des matières alimentaires.

➤ **Dans la boulangerie** : À l'échelle mondiale, les biscuits détiennent la plus grande part de marché dans le secteur de la boulangerie, suivi des pains et petits pains. Après le traitement, les déchets d'agrumes peuvent être incorporés dans des produits de boulangerie. Par exemple : des muffins ont été préparés en incorporant 10 % de bagasse d'orange riche en fibres alimentaires, ces muffins présentaient une teneur élevée en fibres alimentaires (15,3 %) et faible en gras (15 %) avec une baisse de l'indice glycémique prédit a été signalée (**Romero-Lopez et al., 2011**). De plus, des biscuits développés par la poudre d'écorce de mandarine ont montré une amélioration de la qualité nutritionnelle en cendres, acide ascorbique, caroténoïdes et en polyphénol (**Ojha et Thapa, 2017**). Elle peut être utilisée aussi dans la préparation de pain pour

améliorer la rhéologie de la pâte et ceci entraîne une augmentation de l'absorption d'eau de 6,5 % (Miller, 2011).

➤ **Dans les crèmes glacés et les yaourts :** La pectine d'écorce est appliquée comme épaississant, stabilisant, émulsifiant, texturant et gélifiant dans la préparation de confitures de fruits, de gelées ainsi que d'articles à faible teneur en matières grasses/sucre (Sharma et al., 2017). De plus, l'EO sont également utilisées pour améliorer la saveur, l'apparence et l'acceptabilité globale de la crème glacée aux écorces d'agrumes (Mann et al., 2013).

➤ **Dans les produits carnés :** Le Nitrate et le nitrite sont combinés avec les formulations de produits carnés, l'incorporation d'albédo d'orange dans les saucisses va diminuer le niveau de nitrite (Nagy et al., 1992). Cette diminution a des implications importantes en termes de bienfaits pour la santé car elle réduit la formation de nitrosamines, cette mixture pourrait aider à surmonter le déficit en fibres dans l'alimentation humaine actuelle et prévenir le risque de cancer et d'autres maladies (Mahato et al., 2018).

➤ **L'alimentation du bétail :** L'utilisation des déchets des agrumes comme source de ration pour le bétail est rapportée par certaines études (Seidavi et al., 2020) qui ont suggéré l'utilisation des déchets d'écorce d'orange comme aliment sain, modeste et hygiénique pour l'alimentation des volailles. Pourhossein et al. (2015) ont décrit que leur utilisation comme aliment pour les poulets contribuait à augmenter la concentration de globules blancs, de lymphocytes, d'immunoglobuline G. Cependant, une utilisation modérée des déchets d'agrumes dans l'alimentation animale est suggérée car leur excès peut perturber le tube digestif du bétail. (Suri et al., 2022)

➤ **Biocarburant et bio-adsorbants :** Comme est déjà vue précédemment il y'a une diversité des composés dans l'EO, donc il peut être utilisé dans divers domaines tout en maximisant la valeur dérivée des sous-produits et en minimisant la quantité de déchets résiduels. La première étape consiste à l'obtention d'huiles essentielles, suivi de l'extraction de la pectine. La biomasse restante se compose principalement de matériaux lignocellulosiques qui permettent la croissance de micro-organismes afin de générer des produits à haute valeur ajoutée ou des carburants tels que le bioéthanol ou le biogaz (Ángel Siles López et al., 2010). La production de certains bioéthanol, à partir d'une tonne de matière sèche de déchets d'agrumes a permis de produire 271 kg de pectine, 29,4 L de bioéthanol, et 40 m<sup>3</sup> de bio méthane (Vaez et al., 2021).

Les bio-adsorbants sont des composés utilisés pour faciliter l'élimination des métaux lourds dans l'environnement. Donc les écorces d'agrumes sont une source verte de bio-



adsorbant naturel à faible coût pour éliminer les métaux lourds ou les substances toxiques (Akkaya et al., 2020).

➤ **Matériaux d'emballage :** Les déchets d'écorces d'agrumes sont incorporés dans la synthèse de matériaux d'emballages biodégradables. Dernièrement un mélange de pectine d'écorce d'orange sanguine et de gélatine de poisson a été utilisé pour la préparation du film comestible utilisé pour enrober le fromage (Jridi et al., 2020).

➤ **Applications pharmacologiques :** Les écorces d'oranges ont également un rôle dans l'industrie pharmaceutique. Outre les huiles essentielles, ils comprennent également des flavones polyméthoxylées, composées de nobiletine et narangine, qui ont de nombreux effets pharmacologiques contre les maladies cardiovasculaires, le cancer, la résistance à l'oxydation et l'inflammation (Manthey et al., 2001 ; Tripoli et al., 2007). Et aussi leurs effets antimicrobiens, anti-âge, hépato-protecteurs, immunosuppresseurs et cardio-protecteurs (Pantsulaia et al., 2014 ; Baniya et al., 2015 ; Kim et al., 2016 ; Guo et al., 2019).

Ils sont, aussi, utilisés comment un aliment fonctionnelle grâce à la propriété prébiotique d'albédo, les fibres obtenues à partir d'écorces d'agrumes sont une riche source de fibres solubles et insolubles, ce qui suggère que ces oligosaccharides semblent être un composant prébiotique dynamique (Foti et al., 2021). La recherche de (Uerlings et al., 2020) confirme que les prébiotique des fibres alimentaires des déchets d'agrumes ont un effet positif sur le tractus gastro-intestinal du porcelet et améliorent l'immunité intestinale et augmentent le rapport d'acétate dans l'intestin des porcelets.

Les sous-produits d'agrumes peuvent être utilisés comme encapsulant. Dans le domaine de la nanotechnologie, la pectine obtenue à partir d'écorces d'agrumes a été utilisée comme encapsulant (Panwar et al., 2021).

➤ **Dans la production de protéines unicellulaires :** Les EO, peuvent également être utilisés dans la production de protéines unicellulaires, qui sont considérées comme l'essentiel des cellules séchées produites par l'action de microbes, levures, bactéries, champignons, Elles sont également appelées bio protéines, protéines microbiennes (Sharif et al., 2021). Les protéines unicellulaires peuvent être une excellente alternative aux sources de protéines végétales. Les produits issus de la biotransformation des déchets agricoles sont économiquement et nutritionnellement riches en protéines.

➤ **Application cosmétologique :** L'écorce d'orange est utilisée pour fabriquer du parfum et du savon (Mahato et al., 2018). Étant donné que l'EO est une riche source de composés bioactifs, d'antioxydants, de vitamines (vitamines C et E), il est largement utilisé dans l'industrie cosmétique car ses antioxydants aident à retarder le vieillissement de la peau et aident

à réduire les dommages oxydatifs ainsi que les problèmes liés à la peau comme l'acné, les rides, les taches brunes, etc... **(Pinto et al., 2021)**.

**Wuttisin et al. (2017)** a développé une crème blanchissante pour la peau car l'extrait des pelures d'orange a une activité anti-tyrosinase et cette crème aide à éviter la production et l'accumulation de pigment de mélanine, à partir de (2%) d'écorce la crème pourrait réduire le pigment de mélanine de 17,33%.

Les shampooings antipelliculaires à base des extraits de poudre d'écorce d'Orange sont bons pour les démangeaisons du cuir chevelu et élimine les pellicules car ils sont chargés d'antibactérien actifs et une teneur élevée en composés essentiels comme la vitamine C **(Sravanthi et al., 2021)**.

**Tableau 19 : Domaines d'utilisation des écorces d'orange.**

Secteur	Application	Auteurs	
Agro-alimentaire	Additifs, Colorant	(Mahato et al., 2018)	
	Conservateur des huiles	(Abd El-aal et Halaweish, 2010)	
	Augmente la teneur en fibres - Diminue le gras et l'indice glycémique	(Romero-Lopez et al., 2011)	
	Améliore de la qualité nutritionnelle des biscuits	(Ojha et Thapa, 2017)	
	Améliore la rhéologie de la pâte du pain	(Miller, 2011)	
	Epaississant, stabilisant, émulsifiant, texturant et gélifiant dans la préparation de confitures et de gelées	(Sharma et al., 2017)	
	Améliore la saveur de la crème glacée	(Mann et al., 2013)	
	Diminue le niveau de nitrites dans les produits carnés	(Nagy et al., 1992)	
	Alimentation du bétail	(Seidavi et al., 2020)	
Cosmétique	Fabrication de savon et parfum	(Mahato et al., 2018)	
	Crème antiviellissement	(Pinto et al., 2021)	
	Crème éclaircissante	(Wuttisin et al., 2017)	
	Shampooings antipelliculaires	(Sravanthi et al., 2021)	
Pharmacologique	Fabrication des médicaments : Anti cancer Anti-inflammation Antimicrobiens Anti-âge Immunosuppresseurs et cardio-protecteurs	(Manthey et al., 2001) (Tripoli et al., 2007) (Pantsulaia et al., 2014) (Baniya et al., 2015) (Kim et al., 2016) (Guo et al., 2019)	
	Nutraceutiques : Prébiotique	(Uerlings et al., 2020)	
	Agent d'encapsulation des médicaments	(Panwar et al., 2021)	
	Production de protéines unicellulaires	(Sharif et al., 2021)	
	Industriel	Biocarburant	(López et al., 2010)
		Bio-adsorbants	(Akkaya et al., 2020)
Matériaux d'emballage		(Jridi et al., 2020)	

# **Conclusion**

La transformation des oranges génère une grande quantité d'EO sous forme de déchets, d'après la littérature scientifique l'écorce est composée de divers composés nutritionnels important comme les métabolite première, l'EO est riche en glucides et protéines (52,90 et 12,43 g/100 MS respectivement) est pauvre en lipides (10,65 g/100MS). Son albédo est avéré qu'il est riche en fibre (63,24 g/100gMS) majoritairement des fibre insoluble (49,53 g/100MS), alors que son flavédo est riche en une large gamme de métabolite secondaire, qui sont composé de vitamine et minéraux et majoritairement en polyphénols totaux (284,19 Mg EAG/100 g MH), en flavonoïdes notamment des Flavonols Flavones, poly-méthoxyflavones et aussi des caroténoïdes mais il est pauvre en  $\xi$ -carotène,  $\beta$ -carotène et en lycopène. La teneur de ces composés son variable en fonctionnement, de la région, du sol, du temps de récolte et de la méthode analytique utilisée.

Les agrumes sont une source riche en flavonoïdes bioactifs, en particulier de flavones polyméthoxylées, notamment la nobilétine, qui réduit les médiateurs inflammatoires et les espèces réactives de l'oxygène dans le corps, autres bénéfiques pour la santé, il est intéressant d'exploité l'EO dans le domaine pharmacologique dans les formulations médicinales anti-inflammatoire et antioxydant et même anti cancer ou des alicament pour leur effet prébiotique protecteur du tractus intestinal, et il peut être réutiliser dans le domaine agroalimentaire comme un additif alimentaire pour leur propriété (épaississant, stabilisant, émulsifiant, texturant et gélifiant) et conservateur des céréales et des diverses matrice alimentaire pour leur activité antifongique surtout conte (*Aspergillus flavus*) et antibactériennes contre (*Staphylococcus aureus*) qui sont lié à l'altération des aliment.

Ces diverses molécules aux valeurs ajoutées, sont utilisées aussi dans l'industrie de beauté dans les préparations des parfums, des shampoings antipelliculaires et des crèmes éclaircissants car l'EO a une activité anti-tyrosinase qui empêche la production et l'accumulation de pigment de mélanine.

Dans l'industrie du carburant ces écorces sont utiles pour la fabrication de bioéthanol, et dans l'industrie du papier pour l'élaboration de bio-emballage ...

Dans le contexte des applications alimentaires des composés dérivés des déchets d'agrumes, il faut préciser la limite admissible de l'écorce d'orange dans les aliments pour préserver la sécurité de la santé humaine et empêché les interactions indésirables avec les matrices alimentaires.

De nos jours, les compléments alimentaires d'origine végétale remplacent les compléments alimentaires synthétiques car les consommateurs sont de plus en plus conscients de la nutrition saine et des problèmes de santé liés à l'alimentation. Il est intéressant d'identifier

des nutraceutiques dérivés d'écorce d'orange plus récents et rentables, qui peuvent à remplacer les compléments alimentaires synthétiques dans un avenir proche et diminuer leur coûteux ce qui vas aider le marché mondial en situation de stress post-récession et les économies en développement des pays tropicaux et subtropicaux qui sont les marchés émergents des nutraceutiques.

Une identification précise du stade de croissance riche en bioactifs des agrumes propres à la consommation est nécessaire avec une élucidation des mécanismes cellulaires et moléculaires du fonctionnement des bioactifs d'agrumes dans le corps, et des recherches supplémentaires sont nécessaires dans le contexte de l'extraction et de l'utilisation efficaces des bioactifs des déchets d'agrumes plus une étude sur les effets synergiques de la biodisponibilité et de la bio activité entre les différents bioactifs d'agrumes doivent être davantage explorés. En outre, les effets synergiques entre les bioactifs d'agrumes et les médicaments utilisés en clinique devraient être explorés aussi.

De futures directions de recherche doivent être explorées pour la valorisation des déchets d'agrumes, car non seulement elles valorisent les problèmes d'élimination des déchets, donc elles fournissent également des solutions pour éliminer la pollution de l'environnement. Et leur utilisation est utile pour réduire le coût des produits formulés et diminuer l'utilisation de produits chimiques synthétiques tout en préservant l'environnement des risques de pollution.

Une idée d'économie circulaire, notamment dans notre pays, avec une analyse économique détaillées doit être développée pour une approche durable possible pour l'utilisation des déchets d'agrumes qui conduisent à zéro déchet et à la création des nouveaux marchés ce qui aidera au développement d'unités commerciales pour les résidus d'agrumes

# **Références Bibliographiques**

## A

Abd El-aal HA, Halaweish FT. Food preservative activity of phenolic compounds in orange peel extracts (*Citrus sinensis* L.). *Lucrări Științifice-Seria Zootehnie*. 2010;53(15):233-40.

Abdelazem RE, Hefnawy HT, El-Shorbagy GA. Chemical composition and phytochemical screening of *Citrus sinensis* (orange) peels. *Zagazig Journal of Agricultural Research*. 2021 May 1;48(3):793-804.

Agrawal PK, Agrawal C, Blunden G. Pharmacological significance of hesperidin and hesperetin, two citrus flavonoids, as promising antiviral compounds for prophylaxis against and combating COVID-19. *Natural Product Communications*. 2021 Oct; 16(10):1934578X211042540.

Akkaya Saygılı G, Saygılı H, Yılmaz C, Güzel F. Lead recovery from aqueous environment by using porous carbon of citrus fruits waste: equilibrium, kinetics and thermodynamic studies. *Separation Science and Technology*. 2020 Oct 12;55(15):2699-712.

Al-Ashaal HA, El-Sheltawy ST. Antioxidant capacity of hesperidin from citrus peel using electron spin resonance and cytotoxic activity against human carcinoma cell lines. *Pharmaceutical biology*. 2011 Mar 1;49(3):276-82.

ALGÉRIE PRESSE SERVICE, APS. (15 Janvier 2020) Agrumes : restructurer les vergers pour une production annuelle continue. <https://www.aps.dz/economie/100182-agrumes-restructurer-les-vergers-pour-une-production-annuelle-continue#:~:text=Les%20vari%C3%A9t%C3%A9s%20d'agrumes%20au,production%20de%201.113.670%20quintaux>.

Al-Kanaany G. Isolation and identification of bacterial species associated with dental caries and evaluation of antimicrobial activity of aqueous and alcoholic extracts for *Suaeda aegyptiaca* and *Citrus sinensis* plants. *Plant archives*. 2020;20(1):2684-7.

Ángel Siles López J, Li Q, Thompson IP. Biorefinery of waste orange peel. *Critical reviews in biotechnology*. 2010 Mar 1;30(1):63-9.

Antolovich M, Prenzler PD, Patsalides E, McDonald S, Robards K. Methods for testing antioxidant activity. *Analyst*. 2002;127(1):183-98.



APS. (2021). Algérie (Blida) - Légère baisse de la production d'agrumes. <https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/algerie-blida-legere-baisse-de-7130463-Articles-0-543-1.html>.

## B

Baniya S, Dhananjaya D, Acharya A, Dangi B, Sapkota A. Cardioprotective activity of ethanolic extract of *Citrus grandis* (L.) Osbeck peel on doxorubicin and cyclophosphamide induced cardiotoxicity in albino rats. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Drug Research*. 2015;7(4):354-60.

Barrett HC, Rhodes AM. A numerical taxonomic study of affinity relationships in cultivated Citrus and its close relatives. *Systematic Botany*. 1976 Jul 1:105-36.

Bejar AK, Mihoubi NB, Kechaou N. Moisture sorption isotherms—Experimental and mathematical investigations of orange (*Citrus sinensis*) peel and leaves. *Food Chemistry*. 2012 Jun 15;132(4):1728-35.

Berraf-Tebbal A, Mahamedi AE, Aigoun-Mouhous W, Špetík M, Čechová J, Pokluda R, Baránek M, Eichmeier A, Alves A. *Lasiodiplodia mitidjana* sp. nov. and other Botryosphaeriaceae species causing branch canker and dieback of *Citrus sinensis* in Algeria. *PloS one*. 2020 May 20;15(5):e0232448.

Biche M. Les principaux insectes ravageurs des agrumes en Algérie et leurs ennemis naturels. Ed. FAO., Regional Integrated Pest Management Programme in the Near East. GTFS/REM/070/ITA. 36p; 2012.

Boumediene Khaled, (2022). Algérie (Tlemcen) - L'oranger et l'olivier font recette. <https://www.vitamedz.com/fr/Algerie/algerie-tlemcen-l-oranger-et-l-olivier-7145899-Articles-0-18-1.html>.

## C

Casquete R, Castro SM, Martín A, Ruiz-Moyano S, Saraiva JA, Córdoba MG, Teixeira P. Evaluation of the effect of high pressure on total phenolic content, antioxidant and antimicrobial activity of citrus peels. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2015 Oct 1;31:37-44.

Chen ML, Yang DJ, Liu SC. Effects of drying temperature on the flavonoid, phenolic acid and antioxidative capacities of the methanol extract of citrus fruit (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) peels. *International Journal of Food Science & Technology*. 2011 Jun;46(6):1179-85.

Chen ZT, Chu HL, Chyau CC, Chu CC, Duh PD. Protective effects of sweet orange (*Citrus sinensis*) peel and their bioactive compounds on oxidative stress. *Food chemistry*. 2012 Dec 15;135(4):2119-27.

Czech A, Malik A, Sosnowska B, Domaradzki P. Bioactive substances, heavy metals, and antioxidant activity in whole fruit, peel, and pulp of citrus fruits. *International Journal of Food Science*. 2021 Mar 16;2021.

## D

Dapkevicius A, Venskutonis R, van Beek TA, Linssen JP. Antioxidant activity of extracts obtained by different isolation procedures from some aromatic herbs grown in Lithuania. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 1998 May;77(1):140-6.

Dugo G, Di Giacomo A, editors. *Citrus: the genus citrus*. CRC Press; 2002 Sep 12.

## E

Egbonu A, Amadi C. Some nutritive and antifungal properties of *Citrus sinensis* (sweet orange) peels and seeds. *American Chemical Science Journal*. 2016;14(2):1-7.

El-Desoukey RM, Saleh AS, Alhowamil HF. The phytochemical and antimicrobial effect of *Citrus sinensis* (Orange) peel powder extracts on some animal pathogens as eco-friendly. *EC Microbiology*. 2018;14(6):312-8.

## F

Fanciullino AL, Dhuique-Mayer C, Froelicher Y, Talón M, Ollitrault P, Morillon R. Changes in carotenoid content and biosynthetic gene expression in juice sacs of four orange varieties (*Citrus sinensis*) differing in flesh fruit color. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008 May 28;56(10):3628-38.

Fantini M, Benvenuto M, Masuelli L, Frajese GV, Tresoldi I, Modesti A, Bei R. In vitro and in vivo antitumoral effects of combinations of polyphenols, or polyphenols and anticancer drugs: Perspectives on cancer treatment. *International journal of molecular sciences*. 2015 May;16(5):9236-82.

FAO. (2021). Citrus fruit fresh and processed, Statistical bulletin 2020. <https://www.fao.org/3/cb6492en/cb6492en.pdf>.

Foti P, Ballistreri G, Timpanaro N, Rapisarda P, Romeo FV. Prebiotic effects of citrus pectic oligosaccharides. *Natural Product Research*. 2021 Jun 27:1-4.

Funaguchi N, Ohno Y, La BL, Asai T, Yuhgetsu H, Sawada M, Takemura G, Minatoguchi S, Fujiwara T, Fujiwara H. Narirutin inhibits airway inflammation in an allergic mouse model. *Clinical and experimental pharmacology & physiology*. 2007 Aug 1;34(8):766-70.

## G

Ghanem N, Mihoubi D, Kechaou N, Mihoubi NB. Microwave dehydration of three citrus peel cultivars: Effect on water and oil retention capacities, color, shrinkage and total phenols content. *Industrial Crops and Products*. 2012 Nov 1; 40:167-77.

Ghasemi K, Ghasemi Y, Ebrahimzadeh MA. Antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of 13 citrus species peels and tissues. *Pak J Pharm Sci*. 2009 Jul 1;22(3):277-81.

Gorinstein S, Martín-Belloso O, Park YS, Haruenkit R, Lojek A, Číž M, Caspi A, Libman I, Trakhtenberg S. Comparison of some biochemical characteristics of different citrus fruits. *Food chemistry*. 2001 Aug 1;74(3):309-15.

Gotmare S, Gade J. Orange peel: A potential source of phytochemical compounds. *Int. J. ChemTech Res*. 2018;11:240-3.

Grosso M, Afonso LF, Pirani JR. A review of systematics studies in the Citrus family (Rutaceae, Sapindales), with emphasis on American groups. *Brazilian Journal of Botany*. 2022 Jan 16:1-20.

Guimarães R, Barros L, Barreira JC, Sousa MJ, Carvalho AM, Ferreira IC. Targeting excessive free radicals with peels and juices of citrus fruits: grapefruit, lemon, lime and orange. *Food and Chemical Toxicology*. 2010 Jan 1;48(1):99-106.

Guo J, Gao Z, Li G, Fu F, Liang Z, Zhu H, Shan Y. Antimicrobial and antibiofilm efficacy and mechanism of essential oil from Citrus Changshan-huyou YB chang against *Listeria monocytogenes*. *Food Control*. 2019 Nov 1;105:256-64.

## H

Huang JY, Liao JS, Qi JR, Jiang WX, Yang XQ. Structural and physicochemical properties of pectin-rich dietary fiber prepared from citrus peel. *Food Hydrocolloids*. 2021 Jan 1; 110:106140.

Huang R, Wu W, Shen S, Fan J, Chang Y, Chen S, Ye X. Evaluation of colorimetric methods for quantification of citrus flavonoids to avoid misuse. *Analytical methods*. 2018;10(22):2575-87.

Huang R, Zhang Y, Shen S, Zhi Z, Cheng H, Chen S, Ye X. Antioxidant and pancreatic lipase inhibitory effects of flavonoids from different citrus peel extracts: An in vitro study. *Food Chemistry*. 2020 Oct 1;326:126785.

Huang YS, Ho SC. Polymethoxy flavones are responsible for the anti-inflammatory activity of citrus fruit peel. *Food Chemistry*. 2010 Apr 1;119(3):868-73.

Huda-Faujan N, Noriham A, Norrakiah A, Babji AS. Antioxidative activities of water extracts of some Malaysian herbs. *ASEAN Food Journal*. 2007.

Hussain KA, Tarakji B, Kandy BP, John J, Mathews J, Ramphul V, Divakar DD. Antimicrobial effects of citrus sinensis peel extracts against periodontopathic bacteria: an in vitro study. *Roczniki państwowego zakładu higieny*. 2015;66(2).

## I

Im SJ, Kim JH, Kim MY. Evaluation of bioactive components and antioxidant and anticancer properties of citrus wastes generated during bioethanol production. *Natural Product Communications*. 2014 Apr;9(4):1934578X1400900413.

Inglese P, Sortino G. Citrus history, taxonomy, breeding, and fruit quality. In *Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science* 2019 Feb 25.

## J

Jeria N, Cornejo S, Prado G, Bustamante A, Garcia-Diaz DF, Jimenez P, Valenzuela R, Poblete-Aro C, Echeverria F. Beneficial Effects of Bioactive Compounds Obtained from Agro-Industrial By-Products on Obesity and Metabolic Syndrome Components. *Food Reviews International*. 2022 Jan 6:1-30.

Johnson J, de Mejia EG. Inhibition of glycogen synthase kinase-3 $\beta$  and pancreatic cancer cell proliferation in vitro by citrus flavonoids FASEB J. 25 (2011).

Jridi M, Abdelhedi O, Salem A, Kechaou H, Nasri M, Menchari Y. Physicochemical, antioxidant and antibacterial properties of fish gelatin-based edible films enriched with orange peel pectin: Wrapping application. Food Hydrocolloids. 2020 Jun 1;103:105688.

## K

Kanaze FI, Termentzi A, Gabrieli C, Niopas I, Georgarakis M, Kokkalou E. The phytochemical analysis and antioxidant activity assessment of orange peel (*Citrus sinensis*) cultivated in Greece–Crete indicates a new commercial source of hesperidin. Biomedical Chromatography. 2009 Mar;23(3):239-49.

Molina AM, Guadalupe V, Varela C, Swiegers JH, Pretorius IS, Agosin E. Differential synthesis of fermentative aroma compounds of two related commercial wine yeast strains. Food Chemistry. 2009 Nov 15;117(2):189-95.

Kim GN, Shin MR, Shin SH, Lee AR, Lee JY, Seo BI, Kim MY, Kim TH, Noh JS, Rhee MH, Roh SS. Study of antiobesity effect through inhibition of pancreatic lipase activity of Diospyros kaki fruit and Citrus unshiu peel. BioMed research international. 2016 Oct;2016.

## L

Ladanyaia. Division of Fruits and Horticultural Technology, Indian Agricultural Research Institute, New Delhi (2008) :110 012.

Lagha-Benamrouche S, Madani K, Phenolic contents and antioxidant activity of orange varieties (*Citrus sinensis* L. and *Citrus aurantium* L.) cultivated in Algeria: Peels and leaves. Industrial Crops and Products. 2013 Oct 1; 50:723-30.

Lagha-benamrouche S. Characterization of the phenolic composition and assessment of antioxidant activity of peels from oranges grown in algeria. Agrobiologia. 2022 May 9;12(1):2870-7.

Lee J, Kim DH, Kim JH. Combined administration of naringenin and hesperetin with optimal ratio maximizes the anti-cancer effect in human pancreatic cancer via down regulation of FAK and p38 signaling pathway. Phytomedicine. 2019 May 1; 58:152762.

Li Y, Kandhare AD, Mukherjee AA, Bodhankar SL. Acute and sub-chronic oral toxicity studies of hesperidin isolated from orange peel extract in Sprague Dawley rats. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2019 Jul 1;105:77-85.

Liu Y, Benohoud M, Yamdeu JH, Gong YY, Orfila C. Green extraction of polyphenols from citrus peel by-products and their antifungal activity against *Aspergillus flavus*. *Food chemistry: X*. 2021 Dec 30;12:100144.

Long X, Zeng X, Yan H, Xu M, Zeng Q, Xu C, Xu Q, Liang Y, Zhang J. Flavonoids composition and antioxidant potential assessment of extracts from Gannanzao Navel Orange (*Citrus sinensis* Osbeck Cv. Gannanzao) peel. *Natural product research*. 2019 Apr 16;35(4):702-6.

Luro F. L'origine des agrumes: leur évolution et la naissance des espèces cultivées. *Jardins de France*. 2015(636):35-7.

## M

M'hiri N, Ioannou I, Ghouli M, Boudhrioua NM, Jeddi FB, Jammazi M. Proximate chemical composition of orange peel and variation of phenols and antioxidant activity during convective air drying. *Journal of New Sciences*. 2015 Aug 31.

Ma G, Zhang L, Sugiura M, Kato M. Citrus and health. In *The Genus Citrus*. Sawston, Woodhead Publishing. 2020:495-511.

Mahato N, Sharma K, Sinha M, Cho MH. Citrus waste derived nutra-/pharmaceuticals for health benefits: Current trends and future perspectives. *Journal of Functional Foods*. 2018 Jan 1;40:307-16.

Mann S, Minhas KS, Aggarwal P. Development of phytochemical rich ice cream incorporating kinnow peel. *Glob J Sci Front Res*. 2013;13(4):1-3.

Mansour R. Determination of nutritional composition in citrus fruits (*C. aurantium*) during maturity. *Nutrition & Food Science*. 2018 Nov 9.

Manthey JA, Guthrie N, Grohmann K. Biological properties of citrus flavonoids pertaining to cancer and inflammation. *Current medicinal chemistry*. 2001 Feb 1;8(2):135-53.

Marangoni AG. Editorial overview: Food chemistry and biochemistry. *Current Opinion in Food Science*. 2016 (7): iv-v.

Mauludya NB, Tallei TE, Ginting B, Idroes R, Faradilla M. Analysis of flavonoid compounds of Orange (*Citrus sp.*) peel as anti-main protease of SARS-CoV-2: A molecular docking study. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 2022 (Vol. 951, No. 1, p. 012078). IOP Publishing.

Memariani Z, Abbas SQ, Ul Hassan SS, Ahmadi A, Chabra A. Naringin and naringenin as anticancer agents and adjuvants in cancer combination therapy: Efficacy and molecular mechanisms of action, a comprehensive narrative review. *Pharmacological Research*. 2021 Sep 1;171:105264.

Miller RA. Increased yield of bread containing citrus peel fiber. *Cereal chemistry*. 2011 Mar;88(2):174-8.

Mitra S, Lami MS, Uddin TM, Das R, Islam F, Anjum J, Hossain MJ, Emran TB. Prospective multifunctional roles and pharmacological potential of dietary flavonoid narirutin. *Biomedicine & Pharmacotherapy*. 2022 Jun 1;150:112932.

Moore GA. Oranges and lemons: clues to the taxonomy of *Citrus* from molecular markers. *TRENDS in Genetics*. 2001 Sep 1;17(9):536-40.

Musa D, Sangodele F, Hafiz SS. Phytochemical analysis and antibacterial activity of orange (*Citrus sinensis*) peel. *Fudma journal of sciences-ISSN: 2616-1370*. 2019 Apr 3;3(1):375-80.

## N

Nagy S, Attaway JA. Anticarcinogenic activity of phytochemicals in citrus fruit and their juice products. In *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 1992 (Vol. 105, pp. 162-167).

Nawrin K, Billah MM, Ahmed F, Hossain A, Tushar RR, Islam MN. Protective potential of *C. sinensis* fruit peel aqueous extract on *in vitro* inflammation. *Pharmacotherapy and Pharmascience Discovery* 2021 1(1) 10-18.

Neugut AI, Hayek M, Howe G. Epidemiology of gastric cancer. In *Seminars in oncology* 1996 Jun 1 (Vol. 23, No. 3, pp. 281-291).

Nicolosi E, Deng ZN, Gentile A, La Malfa S, Continella G, Tribulato E. Citrus phylogeny and genetic origin of important species as investigated by molecular markers. *Theoretical and Applied Genetics*. 2000 Jun;100(8):1155-66.

## O

Oikeh EI, Oriakhi K, Omoregie ES. Proximate analysis and phytochemical screening of *Citrus sinensis* fruit wastes. *The Bioscientist Journal*. 2013 Aug 12;1(2):164-70.

Ojha P, Thapa S. Quality evaluation of biscuit incorporated with mandarin peel powder. *Scientific Study & Research. Chemistry & Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*. 2017;18(1):19.

Okwu DE, Awurum AN, Okoronkwo JI. Phytochemical composition and in vitro antifungal activity screening of extracts from citrus plants against *Fusarium oxysporum* of okra plant (*Hibiscus esculentus*). *Summa Phytopathol*. 2007;30:145-8.

Olakunle OO, Joy BD, Irene OJ. Antifungal activity and phytochemical analysis of selected fruit peels. *Journal of Biology and Medicine*. 2019 Aug 7; 3(1):040-3.

Ollitrault P, Terol J, Garcia-Lor A, Bérard A, Chauveau A, Froelicher Y, Belzile C, Morillon R, Navarro L, Brunel D, Talon M. SNP mining in *C. clementina* BAC end sequences; transferability in the *Citrus* genus (Rutaceae), phylogenetic inferences and perspectives for genetic mapping. *BMC genomics*. 2012 Dec;13(1):1-9.

Osarumwense PO, Okunrobo LO, Uwumarongie-Ilori EG. Phytochemical screening, proximate and elemental analysis of *Citrus sinensis* peels (L.) Osbeck. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 2013 Jul 9;17(1):47-50.

Osarumwense PO. Anti-inflammatory activity of methanolic and ethanolic extracts of *Citrus sinensis* peel (L.) osbeck on carrageenan induced paw oedema in wistar rats. *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*. 2017;21(6):1223-5.

Oyawaluja AA, Oiseoghaede JO, Odukoya OA, Kubiati BE. Antioxidant and In-vitro Antidiabetic Activities of Fermented Peels of *Citrus x Sinensis* (L.) Osbeck (Rutaceae).(2021)

Özcan MM, Ghafoor K, Al Juhaimi F, Uslu N, Babiker EE, Mohamed Ahmed IA, Almusallam IA. Influence of drying techniques on bioactive properties, phenolic compounds and fatty acid compositions of dried lemon and orange peel powders. *Journal of food science and technology*. 2020 May;58(1):147-58.



## P

Pacheco MT, Vezza T, Diez-Echave P, Utrilla P, Villamiel M, Moreno FJ. Anti-inflammatory bowel effect of industrial orange by-products in DSS-treated mice. *Food & function*. 2018;9(9):4888-96.

Pantsulaia I, Iobadze M, Pantsulaia N, Chikovani T. The effect of citrus peel extracts on cytokines levels and T regulatory cells in acute liver injury. *BioMed research international*. 2014 Jan 1;2014.

Panwar D, Saini A, Panesar PS, Chopra HK. Unraveling the scientific perspectives of citrus by-products utilization: Progress towards circular economy. *Trends in Food Science & Technology*. 2021 May 1;111:549-62.

Peña L, Cervera M, Fagoaga C, Romero J, Juarez J, Pina JA, Navarro L. I. 2 Citrus. Edited by T. Nagata (Managing Editor) H. Lörz. 2007 Aug 16:35.

Pereira RM, López BG, Diniz SN, Antunes AA, Garcia DM, Oliveira CR, Marcucci MC. Quantification of flavonoids in Brazilian orange peels and industrial orange juice processing wastes. *Agricultural Sciences*. 2017 Jul 27;8(07):631.

Pinto D, de la Luz Cádiz-Gurrea M, Silva AM, Delerue-Matos C, Rodrigues F. Cosmetics—Food waste recovery. In *Food Waste Recovery 2021* Jan 1 (pp. 503-528). Academic Press.

Pourhossein Z, Qotbi AA, Seidavi A, Laudadio V, Centoducati G, Tufarelli V. Effect of different levels of dietary sweet orange (*Citrus sinensis*) peel extract on humoral immune system responses in broiler chickens. *Animal Science Journal*. 2015 Jan;86(1):105-10.

## R

Ramful D, Bahorun T, Bourdon E, Tarnus E, Aruoma OI. Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian citrus fruits: Potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology*. 2010 Nov 28;278(1):75-87.

Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*. 1999 May 1;26(9-10):1231-7.

Rezaee S, Rahdari P, Fattahi Moghadam J, Asadi M, Babakhani B. Fruit size affected the SERB level and bioactive compounds of 'Thomson Navel' orange fruit during cold storage. *Plant Physiology Reports*. 2020 Dec;25(4):716-22.

Romero-Lopez MR, Osorio-Diaz P, Bello-Perez LA, Tovar J, Bernardino-Nicanor A. Fiber concentrate from orange (*Citrus sinensis* L.) bagase: Characterization and application as bakery product ingredient. *International Journal of Molecular Sciences*. 2011 Apr;12(4):2174-86.

## S

Seidavi A, Zaker-Esteghamati H, Salem AZ. A review on practical applications of *Citrus sinensis* by-products and waste in poultry feeding. *Agroforestry Systems*. 2020 Aug;94(4):1581-9.

Spiegel-Roy P, Goldschmidt EE. *The biology of citrus*. Cambridge university press; 1996 Aug 28.

Senevirathne M, Jeon YJ, Ha JH, Kim SH. Effective drying of citrus by-product by high speed drying: A novel drying technique and their antioxidant activity. *Journal of Food Engineering*. 2009 May 1;92(2):157-63.

Shammugasamy B, *Citrus Peel in Maintaining Cellular Quiescence of Prostate Cancer*. Thèse de doctorat en philosophie. 2019, L'École de génie chimique et biomoléculaire L'Université de Sydney

Sharif M, Zafar MH, Aqib AI, Saeed M, Farag MR, Alagawany M. Single cell protein: Sources, mechanism of production, nutritional value and its uses in aquaculture nutrition. *Aquaculture*. 2021 Jan 30; 531:735885.

Sharma K, Mahato N, Cho MH, Lee YR. Converting citrus wastes into value-added products: Economic and environmentally friendly approaches. *Nutrition*. 2017 Feb 1;34:29-46.

Singh S, Rajam MV. Citrus biotechnology: Achievements, limitations and future directions. *Physiology and Molecular Biology of Plants*. 2009 Jan;15 (1):3-22.

Sofiyanti N, Iriani D, Wahyuni PI, Idani N, Lestari P. Identification, morphology of *Citrus* L.(*Aurantioideae-Rutaceae* Juss.) and its traditional uses in Riau Province, Indonesia. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*. 2022 Feb 7;23 (2).

Pravanthi MK, Kavitha N, Sowmya K, Naazneen S, Vaishnavi U, Anil CH. A Review on Formulation and Evaluation of Herbal Anti-Dandruff Shampoo. , with emphasis on American groups. *International Journal of Pharmaceutical Research and Applications*. 2021 June 1300-1311.

Suri S, Singh A, Nema PK. Current Applications of Citrus Fruit Processing Waste: A Scientific Outlook. *Applied Food Research*. 2022 Jan 27:100050.

Swingle WT. The botany of Citrus and its wild relatives in the orange subfamily. The citrus industry. 1943; 1:128-474.

Swingle, W. T. & Reece, P. C. in *The Citrus Industry*, revised 2nd edn, History, World Distribution, Botany, and Varieties Vol. 1 (eds Reuther, W. et al.) 190–430 (Univ. California, 1967).

## T

Tripoli E, La Guardia M, Giammanco S, Di Majo D, Giammanco M. Citrus flavonoids: Molecular structure, biological activity and nutritional properties: A review. *Food chemistry*. 2007 Jan 1;104(2):466-79.

## U

Uerlings J, Schroyen M, Bautil A, Courtin C, Richel A, Sureda EA, Bruggeman G, Tanghe S, Willems E, Bindelle J, Everaert N. In vitro prebiotic potential of agricultural by-products on intestinal fermentation, gut barrier and inflammatory status of piglets. *British Journal of Nutrition*. 2020 Feb;123(3):293-307.

## V

Vaez S, Karimi K, Mirmohamadsadeghi S, Jeihanipour A. An optimal biorefinery development for pectin and biofuels production from orange wastes without enzyme consumption. *Process Safety and Environmental Protection*. 2021 Aug 1;152:513-26.

Vashisth T, Kadyampakeni D. Diagnosis and management of nutrient constraints in citrus. *InFruit crops* 2020 Jan 1 (pp. 723-737). Elsevier.

## W

Wang L, Xu H, Yuan F, Pan Q, Fan R, Gao Y. Physicochemical characterization of five types of citrus dietary fibers. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*. 2015 Apr 1;4(2):250-8.

Wang Y, Qian J, Cao J, Wang D, Liu C, Yang R, Li X, Sun C. Antioxidant capacity, anticancer ability and flavonoids composition of 35 citrus (*Citrus reticulata* Blanco) varieties. *Molecules*. 2017 Jul;22(7):1114.

Wu GA, Terol J, Ibanez V, López-García A, Pérez-Román E, Borredá C, Domingo C, Tadeo FR, Carbonell-Caballero J, Alonso R, Curk F. Genomics of the origin and evolution of Citrus. *Nature*. 2018 Feb;554(7692):311-6.

Wuttisin N, Boonmak J, Thaipitak V. Anti-tyrosinase activity of orange peel extract and cosmetic formulation. *International Food Research Journal*. 2017 Sep 1;24(5):2128-32.

## X

Xu CJ, Fraser PD, Wang WJ, Bramley PM. Differences in the carotenoid content of ordinary citrus and lycopene-accumulating mutants. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2006 Jul 26;54(15):5474-81.

## Z

Zhou, Z. Q. (2012). *Citrus Fruits Nutrition*. Science Press, Beijing, China.

Zhu Z, Gavahian M, Barba FJ, Roselló-Soto E, Kovačević DB, Putnik P, Denoya GI. Valorization of waste and by-products from food industries through the use of innovative technologies. In *Agri-food industry strategies for healthy diets and sustainability 2020* Jan 1 (pp. 249-266). Academic Press.

Zou Z, Xi W, Hu Y, Nie C, Zhou Z. Antioxidant activity of Citrus fruits. *Food chemistry*. 2016 Apr 1;196:885-96.

## الملخص

اكتسبت الأدوية المصنوعة من الأعشاب شعبية كبيرة في السنوات الأخيرة بسبب قوتها، نقاوتها، انخفاض تكلفتها وفعاليتها. حيث تعتبر ثمار الحمضيات ثمارًا ذو أهمية اقتصادية وبيئية، إذ تمثل مصدرًا طبيعيًا للمركبات النشطة بيولوجيًا. الهدف الأساسي من هذا البحث هو مراجعة الأعمال العلمية الذي تم إجراؤه لتحديد التركيب الكيميائي، والأنشطة البيولوجية المختلفة للقشر أنواع معينة من الحمضيات مثل البرتقال الحلو وكذلك مجالات استخدامها. فقشر البرتقال غني بالكربوهيدرات والبروتينات ولكنه منخفض الدهون، الجزء الأبيض من هذه القشور غني بالألياف، خاصة الغير القابلة للذوبان، بينما الفلافونويد غني بالفيتامينات والمعادن والبوليفينول (الفلافونيدات، الفلافونول، الفلافون، الفلافونونات، الفلافانول، بولي ميثوكسي فلافون، الأنثوسيانين، بروتوسيانيندينس) لكنه فقير لألفا كاروتين، بيتا كاروتين والليكوبين. تعطي هذه المكونات لقشر البرتقال أنشطة كيميائية حيوية ودوائية مهمة: تأثير وقائي ضد السمية الخلوية وتحلل خلايا الدم الحمراء البشرية، ولها أنشطة مضادة للأكسدة، للالتهاب، للسرطان، للفيروسات، للميكروبات ومضادات الفطريات. و تحتوي قشور الحمضيات على كميات كبيرة من مادة البوليفينول التي لها خصائص دوائية وعلاجية. يمكن استخدام قشور الحمضيات كمواد مغذية تحمي من الإجهاد التأكسدي. بالإضافة إلى ذلك، يمكن استخدام هذه المواد في صناعة الأغذية كمادة مضافة طبيعية وفي مستحضرات التجميل وفي تصنيع منتجات التعبئة والتغليف. يمكن تطوير قشور الحمضيات، التي عادة ما يتم التخلص منها كفايات، إلى منتج يسهل الوصول إليه بتكلفة منخفضة.

**الكلمات المفتاحية:** قشور لبرتقال حلو، التركيب الكيميائي النباتي، الأنشطة البيولوجية، تامين النفايات.

## Résumé

Les médicaments à base de plantes ont gagné en popularité ces dernières années en raison de leur force, de leur pureté et de leur faible coût-efficacité. Les agrumes sont des fruits économiquement importants, leur consommation et leur transformation industrielle génèrent de gigantesques masses de sous-produits tels que les écorces, du fait de leur fermentation. Ces déchets posent de nombreux problèmes économiques et environnementaux alors qu'ils représentent une source naturelle de composés bioactifs. L'objectif essentiel de cette recherche est de passer en revue les principaux travaux scientifiques entrepris pour déterminer la composition phytochimique, les diverses activités biologiques de l'écorce de certaines variétés de *citrus sinensis* tel que les oranges Navels ainsi que leurs domaines d'utilisations. L'écorce d'orange (l'EO) est riche en glucides et protéines mais pauvre en lipides, son albedo est riche en fibre, notamment en fibres insolubles, alors que son flavedo est riche en vitamines, en minéraux et en polyphénols (flavonoïdes, flavonols, flavones, flavanones, flavanols, poly-méthoxyflavones, anthocyanines, proanthocyanidines) mais il est pauvre en  $\alpha$ -carotène,  $\beta$ - carotène et en lycopène. Ces métabolites confèrent à l'écorce d'orange des activités biochimiques et pharmacologiques importants : un potentiel effet protecteur contre la cytotoxicité et la lyse des globules rouges humaines, des activités antioxydante (anti radicalaire, chélation des ions métalliques, modulation de peroxydation), anti-inflammatoire, anticarcérogène, antivirale, antimicrobienne et antifongique. Les agrumes contiennent des quantités importantes en polyphénols qui ont des propriétés pharmacologiques et thérapeutiques. Les écorces d'agrumes peuvent être utilisées comme des produits nutraceutiques qui protègent contre le stress oxydatif. De plus cette matière peut être exploitée dans l'industrie alimentaire comme additif naturel, dans le cosmétique et dans la fabrication des produits d'emballage. L'écorce d'agrumes, généralement jeté comme déchet, peut être développé en un produit facilement accessible à faible coût.

**Mots clés :** Ecorce d'agrumes, composition phytochimique, activités biologiques, valorisation des sous-produits.

## Abstract

Herbal medication have gained popularity in recent years due to their strength, purity and low cost-effectiveness. Citrus fruits are economically important fruits, their consumption and their industrial transformation generate gigantic masses of by-products such as peels, due to their fermentation. This waste poses many economic and environmental problems while they represent a natural source of bioactive compounds. The major objective of this research is to review the main scientific work undertaken to determine the phytochemical composition, the various biological activities of bark of certain varieties of citrus *sinensis* such as Navels oranges as well as their areas of use. Orange peel (EO) is high in carbohydrates and protein but low in lipids, its albedo is rich in fiber, especially insoluble fiber, while its flavedo is rich in vitamins, minerals and polyphenols (flavonoids, flavonols, flavones, flavanones, flavanols, poly-methoxyflavones, anthocyanins, proanthocyanidins) but it is low in  $\alpha$ -carotene,  $\beta$ - carotene and lycopene. These metabolites give orange peel biochemical and important pharmacological effects: a potential protective effect against cytotoxicity and lysis of red blood cells human, antioxidant activities (anti radical, chelation of metal ions, modulation of peroxidation), anti-inflammatory, anti- carcinogenic, antiviral, antimicrobial and antifungal. Citrus fruits contain significant amounts of polyphenols which have pharmacological and therapies. Citrus peels can be used as nutraceuticals that protect against oxidative stress. In addition, this material can be used in the food industry as an additive natural, in cosmetics and in the manufacture of packaging products. Citrus peel, usually discarded as waste, can be developed into an easily accessible product at low cost.

**Key words:** Citrus peel, phytochemical composition, biological activities, valorization of co-product