

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJ – BOUIRA
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE ET DES SCIENCES DE LA TERRE
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES



Réf :
...../UAMOB/F.SNV.ST/DEP.AGRO/2020

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME MASTER

Domaine : SNV **Filière** : Sciences Alimentaires
Spécialité : Technologie Agro-alimentaire et contrôle de qualité

Présenté par :

ARAB Kenza & DEMMOUCHE Lydia

Thème

**Séchage et infusion de quelques matrices végétales : étude de cas de
l'orange Sanguine *Citrus sinensis* L. Osbeck.**

Soutenu le : 24 / 09/ 2020

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom

Grade

Mr. MAHDJOUB MOHAME-MALIK	MCB	Univ. de Bouira	Président
Mr. DAHMOUNE Farid	MCA	Univ. de Bouira	Examineur
Mr. REMINI Hocine	MCB	Univ. de Bouira	Promoteur
Mme. ADEL-ABDERAHIM Khadîdja	Doctorante	Univ. de Bouira	Co-promoteur

Année Universitaire : 2019/2020

Remerciements

Tout d'abord, nous tenons à remercier le « bon dieu » le plus puissant de nous avoir accordé la force, la volonté et le courage ainsi de nous avoir guidé vers le chemin du savoir afin d'avoir accomplir ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer toute notre reconnaissance la plus sincère à notre promoteur Monsieur Remini pour avoir accepté de nous encadrer, pour son aide et ses conseils.

Nous remercions également à Madame Adel Abderahim pour son orientation, ses conseils, sa disponibilité et sa gentillesse.

Nous remercions les plus sincères s'adressent également à Monsieur Mahdjoub M. d'avoir accepté de présider le jury, Ainsi que Monsieur Dahmoune F. de nous avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.

Nous remercions également à nos enseignants de nous avoir guidés et aidés durant le parcours universitaire.

Nous remercions ainsi nos chers parents pour leur soutien constant et leurs encouragements.

En fin, on voudrait exprimer nos reconnaissances envers nos chers Amis qui nous ont apporté leur soutien tout au long du travail.

Un grand merci à tous !

Dédicaces

Je dédie ce travail à mes chers parents pour leur soutien tout au long de mes études que Dieu les protège et les garde pour moi.

A ma petite sœur Nadjet.

A toute ma famille, mes grands parents, mes tantes et mes oncles.

A mes cousins et cousines.

A mes chers Amis.

A ma binôme Lydia et mes collègues.

A mes enseignants de l'université Akli Mohand Oulhadj.

A ceux qui m'ont tant donné sans rien en retour.

Kenza

Dédicaces

A ceux qui m'ont tout donné sans rien en retour

A ceux qui m'ont encouragé et soutenu dans mes moments les plus difficiles.

Je dédie ce modeste travail en signe de respect, de reconnaissance et de gratitude

A mes parents

Aucun mot ne serait exprimé mon amour, Vous êtes la lumière de mes yeux l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie, qui m'ont apporté leurs appui soutien et qui m'ont donné la tendresse, la confiance, le courage et la sécurité.

A tous les membres de ma famille.

A mes amis.

A ma binôme Kenza.

Lydia

Table des matières

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Liste des abréviations

Introduction1

I. Généralités sur les agrumes3

1. La définition agrumes.....3

2. Origine et diffusion géographiques des agrumes3

3. Descriptif de la plante.....4

4. La classification botanique5

5. L'utilisations des agrumes.....6

6. La définition de l'orange7

7. La structure de l'orange.....7

8. La production de l'orange dans le monde8

9. La production Algérienne.....9

10. Les principales variétés de l'orange 10

11. La composition biochimique 12

12. Les différents antioxydants de l'orange 12

12.a. La définition d'un antioxydant..... 12

12.b. Les composés phénoliques..... 13

12.c. les flavonoïdes..... 13

12.d. Les anthocyanines..... 15

12.e. Les caroténoïdes..... 16

12.f. L'acide ascorbique..... 17

II. Généralités sur le séchage..... 22

1. Définition de séchage22

2. But de séchage..... 23

3. L'utilisation du séchage dans les industries agroalimentaires 23

4. Les domaines d'utilisation..... 23

5. Les phénomènes de transfert de chaleur et de matière 24

5.1. Transfert interne de matière 24

5.2. Le transfert interne de chaleur 24

Table des matières

6. Principe du séchage	25
7. Méthodes de séchage	25
7.1. Séchage par énergie solaire.....	25
7.2. Séchage par osmose	26
7.3. Séchage en vapeur d'eau surchauffée	26
7.4. Séchage par pulvérisation : Séchage par atomisation	27
7.5. Séchage par ébullition.....	27
7.6. Séchage par entraînement	28
7.7. Séchage par friture	28
7.8. Séchage par lyophilisation	28
7.9. Séchage conventionnel (à l'air chaud).....	29
7.10. Séchage à l'étuve	30
7.11. Séchage par micro-ondes	31
8. Micro-ondes.....	31
8.1. Four à micro-ondes	32
8.1. a. Générateur	31
8.1. b. Guide d'onde.....	32
8.1. c. Applicateur	32
8.2.Principe et mécanisme du chauffage par micro-ondes	33
8.2.a. Interaction Onde -matière	33
8.2.b. Transfert de chaleur	34
9. Applications des micro-ondes	35
10. Inconvénients du séchage	36
11. Phénomènes se produisant au cours du séchage.....	36
11.1. Réactions biochimiques	36
11.2. Transferts physiques	37
11.3. Phénomènes mécaniques	37
III. Généralités sur l'infusion.....	40
1. Historique	40
2. Définition de l'infusion	41
3. La tisane	41
4. Types d'infusion.....	41
4.1. Infusion d'herbes	41
4.1. a. L'infusion du thé	42

Table des matières

4.1.b. La camomille.....	43
4.1.c La coriandre.....	44
4.1.d. Le romarin.....	45
4.1.e. Le Gingembre.....	46
4.1.f. La menthe.....	47
4.1.g. Le Thym.....	48
4.2. L'infusion des Fruits.....	49
5. Techniques de préparation.....	50
5.1. Décoction.....	50
5.2. Macération.....	51
5.3. Infusions.....	51
6. Propriétés bénéfiques de l'eau infusée.....	52
Conclusion.....	52

Références bibliographiques

Annexes

Résumé

Liste des figures

Figures	Titres	Pages
Figure 1	Branche, fleurs et fruits d'oranger doux.	4
Figure 2	Origine des formes cultivées d'agrumes.	5
Figure 3	Coupe équatoriale d'une orange.	8
Figure 4	Production/Rendement d'orange dans le monde Monde.	8
Figure 5	Les 10 principaux pays producteurs d'orange dans le monde.	9
Figure 6	Coupe longitudinale de l'orange sanguine.	11
Figure 7	Structure du phenol.	13
Figure 8	Structure générale des flavonoids.	14
Figure 9	Structures chimiques de quelques flavonoïdes.	14
Figure 10	Structure de la β -carotène.	17
Figure 11	Structure de l'acide ascorbique.	17
Figure 12	Lyophilisateur Pilote et lyophilisateur de production.	29
Figure 13	Photographie d'une étuve.	30
Figure 14	Schéma d'un four micro-ondes monomode et multi mode.	32
Figure 15	Distribution des dipôles sous l'effet dans un champ électrique.	34
Figure 16	Transferts thermiques sous les deux modes de chauffage.	35
Figure 17	Quelques applications des micro-ondes.	36
Figure 18	Répartition géographique des plantations de thé dans le monde.	40
Figure 19	Photographie de la galette de thé.	43
Figure 20	Photographie de la camomille.	44
Figure 21	Photographie de la plante du coriander.	45
Figure 22	Photographie de la plante du romarin.	46
Figure 23	Photographie du gingembre.	47
Figure 24	Photographie des feuilles de la menthe.	48
Figure 25	Photographie du thym.	49
Figure 26	Photographie de la décoction des tiges et feuilles.	50
Figure 27	Préparation des macérâts.	51

Figure 28	Infusion des feuilles.	52
------------------	------------------------	-----------

Liste des tableaux

Tableaux	Titres	Pages
Tableau I	Principaux pays producteurs d'orange dans le bassin méditerranéen.	9
Tableau II	La composition biochimique de l'orange.	12
Tableau III	Structures chimiques de quelques anthocyanidines	15
Tableau IV	Liste des différentes techniques études d'extraction de la littérature assisté par plusieurs méthodes sur divers composés bioactifs de différentes variétés d'agrumes.	19
Tableau V	Liste des différentes techniques de séchage appliquée sur des diferentes produits agricole .	38
Tableau VI	Liste de préparation des différentes infusions.	54

Liste des abrevation

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

ROS : Reactive oxygen species.

DRO : Dérivés réactifs de l'oxygène.

ERO : Espèces Réactives de l'Oxygène.

HPLC: Chromatographie en phase liquide à haute performance.

a_w : L'activité de l'eau.

PAI : Produits Alimentaires Intermédiaires.

P_v : Pression de vapeur.

P_t : La pression totale.

VES : La vapeur d'eau surchauffée.

TM : Transverse magnétique.

TE : Transverse électrique.

F : Fréquence.

MAO : Monoamine oxydase.

PEX : polyéthylène réticulé

Introduction

Introduction

La nutrition santé, c'est savoir s'alimenter pour fournir à l'organisme les nutriments dont il a besoin pour se développer et se maintenir en bonne santé. Une alimentation équilibrée, non carencée, permet en effet de diminuer sensiblement le risque de développer de diverses maladies qui sont présentes dans notre société actuelle : maladies cardiovasculaires, obésité, diabète, hypertension, etc (**Koechlin-Ramonatxo, 2006**).

Depuis l'antiquité, les produits naturels, notamment ceux d'origine végétale ont toujours été une source importante d'agents thérapeutiques.

Les fruits et légumes contiennent beaucoup de vitamines essentielles, d'antioxydants (vitamine C, caroténoïdes, flavonoïdes), de minéraux, de fibres et d'eau. Les nutritionnistes recommandent de manger au moins cinq portions de fruits et légumes par jour afin de se protéger au maximum contre l'apparition de diverses pathologies chroniques (**Pincemail et al., 2007**). Les fruits jouent un rôle prépondérant dans la nutrition humaine et parmi les fruits les plus consommés on a les agrumes.

Les agrumes avec leur haute valeur nutritionnelle, représentent l'une des récoltes de fruits les plus importantes dans le monde. Les agrumes incluent les citrons, les mandarines, les pommelos, les cédrats, les oranges, les pamplemousses et les limes, etc. Les oranges sont les plus consommées en raison de leur bon goût, leur valeur nutritive élevée et leur composition riche en molécules bioactives (plus de 170 composés phytochimiques sont décrits). Elles sont consommées comme dessert (fruit frais), confiture ou jus (**Lagha-Benamrouche et al., 2018**).

Les jus d'orange, notamment des variétés d'oranges sanguines, sont parmi les plus consommés au monde, en raison des propriétés incontestables de promotion de la santé, principalement attribuées aux flavonoïdes, et plus particulièrement aux composés anthocyaniques (**Barreca et al., 2018**).

Les oranges représentent l'une des récoltes de fruits les plus importantes dans le monde. Leur production mondiale est estimée à plus de 70 millions de tonnes. En Algérie, la production de l'orange a connu ces dernières années une nette progression, cette dernière occupe la 14^{ème} place mondiale et la 2^{ème} dans l'Union Maghrébin (**FAO, 2020**).

De nombreux produits agricoles, consommés en grandes quantités ne sont pas toujours disponibles toute l'année. Une grande partie de cette production agricole (tomate, dattes, etc.) prête parfaitement à une conservation par séchage pour assurer une continuité dans sa disponibilité (**Lahmari et al., 2012**).

En effet, le séchage est l'une des anciennes méthodes de conservation des aliments, Cependant, il existe le séchage conventionnel qui est largement utilisé mais elle a des inconvénients. Ces dernières années, le séchage aux micro-ondes a été introduit. Ce dernier réduit mieux le temps de séchage par rapport au séchage au soleil ou à l'étuve (**Chekroune, 2009**).

Nous avons envisagé de faire un procédé non conventionnel d'infusion des poudres séchées de l'orange sanguine en vue d'optimisation du procédé d'infusion par la méthode de plans d'expérience ce qui permet la valorisation de *Citrus sinensis*.

Mais malheureusement suite à la pandémie de COVID19 nous n'avons pas pu réaliser la démarche tracée au parvant pour atteindre notre objectif. Face à cela notre travail s'est orienté vers une synthèse bibliographique.

D'après cela, le travail effectué se fonde sur trois parties :

- Des généralités sur les agrumes en particulier l'orange sanguine (*Citrus sinensis*. *L.Osbeck*) et ses antioxydants.
- Le séchage et ses différentes techniques.
- L'infusion de certaines plantes.

CHAPITRE I.
Généralités sur les
Agrumes

I. Généralités sur les agrumes

1. La définition agrumes

Le mot agrume provient du latin *acrumen* (aigre) a été donné dans l'antiquité aux arbres à fruits acides (Mekkiou et Berbaoui, 2014).

Les agrumes regroupent plusieurs espèces les plus connues sont : les oranges, les pamplemousses, les mandarines, les clémentines et les citronniers. En botanique, les agrumes appartiennent à la famille des Rutaceae (M'Hiri, 2015).

Ce sont des baies modifiées ou en forme spécialisées de baie (*Hesperidium*). La plupart des types d'agrumes sont originaires des grandes zones à climat tempéré, autour des montagnes de l'Himalaya et du sud-est Asiatique (Bousbia, 2011).

2. Origine et diffusion géographiques des agrumes

Les agrumes sont originaires du sud-est asiatique et en particulier d'un foyer principal comprenant le nord du Myanmar et la région Assam. Ils seraient ensuite dispersés vers des centres secondaires à l'ouest (sud de l'Himalaya et Inde), à l'est (Chine du sud) et au sud (péninsule indochinoise). Il existerait deux autres centres secondaires d'origine des agrumes qui sont la région côtière de la Chine du sud (îles de Hainan, Taïwan et sud du Japon) et l'Insulinde jusqu'aux îles Samoa et Fidji.

Il semblerait que l'agrumiculture existe depuis le premier millénaire avant J. on Inde et en Chine. Cependant, ce ne serait qu'à partir des XIX^{ème} et XX^{ème} siècles qu'elle se serait répandue dans le monde entier le premier agrume introduit dans le bassin méditerranéen serait le cédrat à l'époque d'Alexandre le Grand (III^{ème} siècle avant J.-C.), qui avait des usages cosmétiques et pharmaceutiques. Il semblerait que les autres variétés d'agrumes (en particulier l'oranger, le bigaradier et le citronnier) ne soient arrivées en Occident qu'à partir du X^{ème} siècle, lors des échanges commerciaux entre le bassin méditerranéen et l'Asie.

Par la suite, les orangers furent introduits au Maghreb et à l'ouest de la Méditerranée par les Maures. Le second voyage de Christophe Colomb en 1493 a permis l'implantation des agrumes aux Caraïbes qui ont ensuite été dispersés sur tout le continent américain aux XVI^{ème} et XVII^{ème} siècles. Il est à noter que contrairement aux autres agrumes (dont les pamplemousses), les pomelos sont originaires de l'île Barbade dans les Caraïbes.

Finalement, les mandariniers et clémentiniers ne sont apparus en Europe qu'aux XVIII^{ème} et XIX^{ème} siècles respectivement. Si aujourd'hui la consommation d'agrumes paraît banale, il

faut savoir que jusqu'à la moitié du XXème siècle, les oranges étaient considérées comme un produit de luxe et étaient souvent offertes aux enfants pour Noël (Dugrand-Judek, 2015).

3. Descriptif de la plante

D'après (Praloran, 1971), les agrumes sont de petits arbres, ou des arbustes, atteignant de 5 à 15 m de hauteur, assez souvent épineux.

Il s'agit d'une plante pérenne qui possède une phase juvénile relativement longue, entre 5 à 8 ans, pour être capable d'émettre des fleurs et produire des fruits après son semis (Tadeo et al., 2008).

Leurs feuilles sont luisantes, simples ou trifoliées, persistantes et présentent généralement un pétiole ailé (figure 1). Les branches sont souvent munies d'épines plus ou moins grandes. Les fleurs sont hermaphrodites et possèdent généralement cinq pétales blancs (parfois teintés de rose) et 20 à 40 étamines entourant l'ovaire fixé sur un disque nectarifère.

Les feuilles et fleurs produisent des essences ayant une odeur caractéristique. Les fruits sont de taille et de forme variables en fonction des variétés d'agrumes (Dugrand-Judek, 2015).

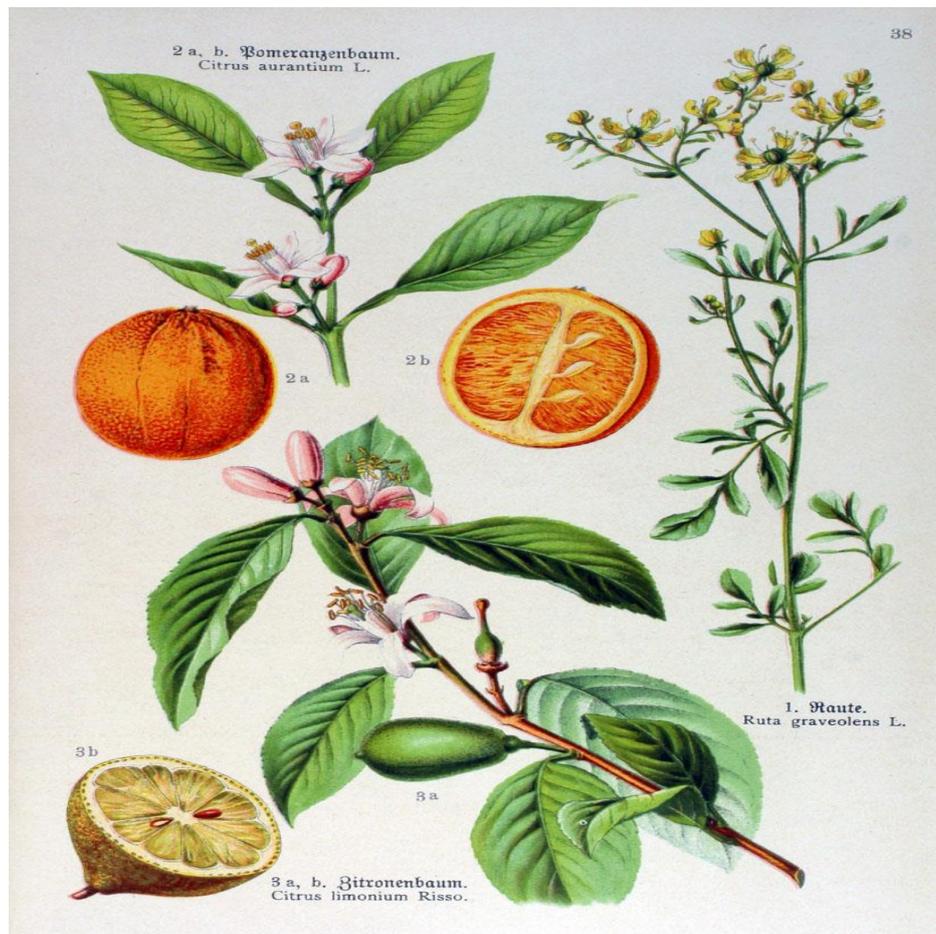


Figure 01. Branche, fleurs et fruits d'oranger doux.

4. La classification botanique

La taxonomie proposée par Swingle (Paraloran, 1971) est :

Famille : Rutaceae

Sous/famille : Aurantioideae

Tribu : Citreae

Sous/tribu : Citrinae

Groupe : Eucitrus

Les agrumes renferment trois genres : Fortunella, Poncirus et Citrus.

Poncirus : Est un genre monospécifique, représenté par une seule espèce qui est *Poncirus trifoliata*. Il est essentiellement utilisé comme porte-greffe des variétés cultivées.

Fortunella : constitue le groupe des Rumeates produisant de petite allonge utilisée en confiserie.

Citrus : constitue avec 145 espèces cultivées, le genre le plus important

- Les oranges: *Citrus sinensis*
- Les citronniers : *Citrus limon*
- Les mandariniers: *Citrus reticulata*
- Les clémentiniers: *Citrus clementina*
- Les pomelos: *Citrus paradisi*
- Les cédratiers: *Citrus medica*
- Les bigaradiers : *Citrus aurantium*

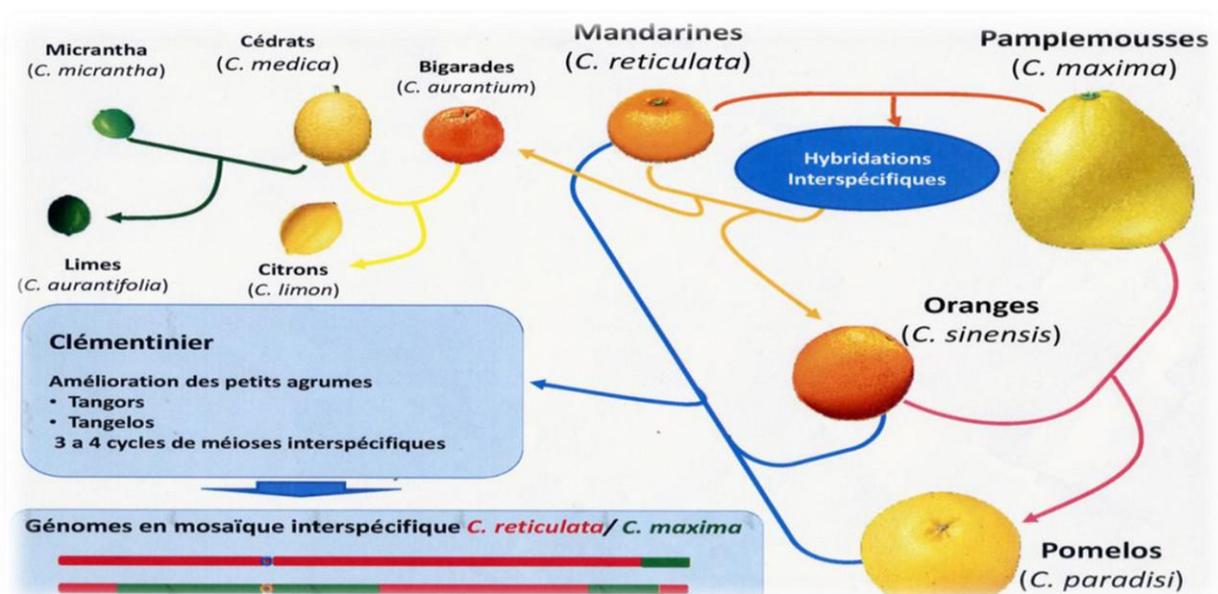


Figure 02. Origine des formes cultivées d'agrumes (Nicolas, 2013).

5. Quelques variétés d'agrumes

Il existe plusieurs variétés d'agrumes parmi lesquelles on trouve :

- **Pamplemousse (*Citrus maxima*)**

Fruit très prisé dans plusieurs pays asiatiques, sa commercialisation est récente en occident. Le pamplemousse peut être sphérique ou piriforme. Son écorce épaisse d'une couleur verdâtre, jaunâtre ou rosé se pèle facilement, est très parfumé et peut être lisse ou bosselé. Il est moins juteux que pomelo. Le pamplemousse peut être cuisiné ou confit. **(Serge d'amico, 1999).**

- **Le citron (*Citrus limon*)**

Agrume très acide qui avive la saveur des aliments et empêche certains fruits et légumes de noircir. On se sert du citron pour parfumer soupes, sauces et gâteaux. Il remplace le vinaigre dans la vinaigrette. Antiseptique naturel, le citron est un ingrédient désaltérant, également reconnu pour sa teneur élevée en vitamine C. **(serge d'amico, 1999).**

- **Bergamote (*Citrus bigamia*)**

Il ressemble à une petite orange ; elle serait issue d'un croisement entre la lime et l'orange amère. Sa chair verdâtre est trop acide et trop amère pour être comestible. Son écorce jaunâtre est très riche en huiles essentielles, le zeste s'emploie surtout en pâtisserie et en confiserie ; l'huile sert en confiserie et en distillerie. La bergamote aromatise le thé Earl Grey. **(Serge d'amico, 1999).**

6. L'utilisations des agrumes

Les agrumes peuvent être consommés en tant que fruits de bouche ou être transformés en jus et autres produits dérivés. Généralement, les jus sont préparés à partir de fruits présentant des défauts et ne pouvant donc pas être vendus tels quels. C'est ainsi qu'un tiers de la production mondiale d'agrumes est transformée.

Divers produits sont issus de ces transformations tels que les jus de fruits de toutes sortes ou les boissons aux agrumes, les huiles essentielles (utilisées dans les produits pharmaceutiques, cosmétiques ou ménagers), les confitures, les écorces confites, les alcools et la fleur d'oranger. D'autres produits dérivés moins connus telle que les huiles aromatisées aux agrumes sont utilisées dans la cuisine, la pectine des fruits quant à elle, elle est utilisée dans la

fabrication de confitures, et enfin la pulpe d'agrumes est utilisée en tant que coproduit dans l'alimentation des ruminants ou encore le limonène (**Dugrand-Judek, 2015**).

7. La définition de l'orange

L'orange (*Citrus sinensis*, orange douce) appartient à la famille des Rutaceae, sous-famille Aurantioideae, sous-tribu Citrinae, genre Citrus, sous-genre Eucitrus. Les oranges sont de forme et couleur variables, oblongue à sphérique, du jaune verdâtre terne à l'orange foncé brillant, à maturité. Leur taille est également très variable, de quelques dizaines de grammes à plusieurs kilogrammes selon les espèces et les variétés (**Clotteau, 2002**).

L'oranger est l'un des agrumes le plus répandu au monde et le plus connu. C'est le quatrième fruit le plus cultivé au monde (**Escartin, 2008**). C'est un fruit juteux, sucré, excitant et très riche en vitamine C ; le plus Comestible ; On l'utilise pour les salades de fruits, les confitures, ou pour consommer son jus (**Bousbia, 2011**).

8. La structure de l'orange

- ✓ **Une couche extérieure colorée**, le flavedo, rappelant le mot « flaveur » car elle contient les glandes à huiles essentielles.
- ✓ **Une couche intérieure blanche et spongieuse**, l'albédo (ou mésocarpe), riche en pectines.
- ✓ **Une partie comestible**, l'endocarpe ou épiderme interne. (**Figure 03**).

Dans le cas des oranges, les cellules très juteuses formant des sacs à jus ou encore vésicules à jus sont des poils produits par l'endocarpe. Les segments (ou quartiers) qui comprennent de nombreuses vésicules sont séparés par des parois carpellaires ou membranes constituées de cellulose, pectine et hémicelluloses. Les segments sont attachés à la partie centrale du fruit appelée columelle (**Berlinet, 2006**).

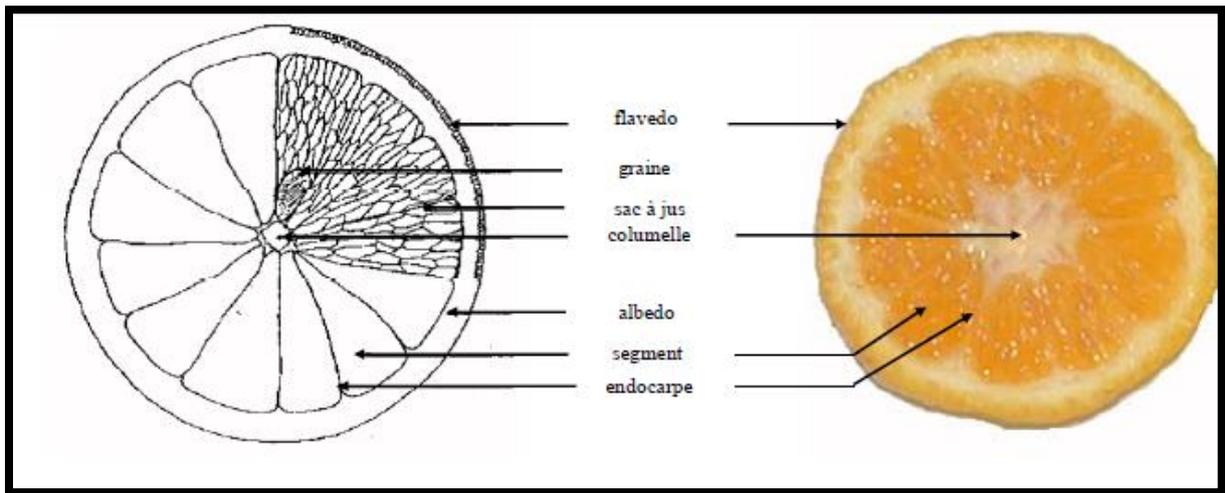


Figure 03. Coupe équatoriale d'une orange (Huet, 1991).

9. La production de l'orange dans le monde

Selon les données de la FAO la production mondiale d'orange a atteint les 70 millions de tonnes pour l'année 2018. (Figure 04)

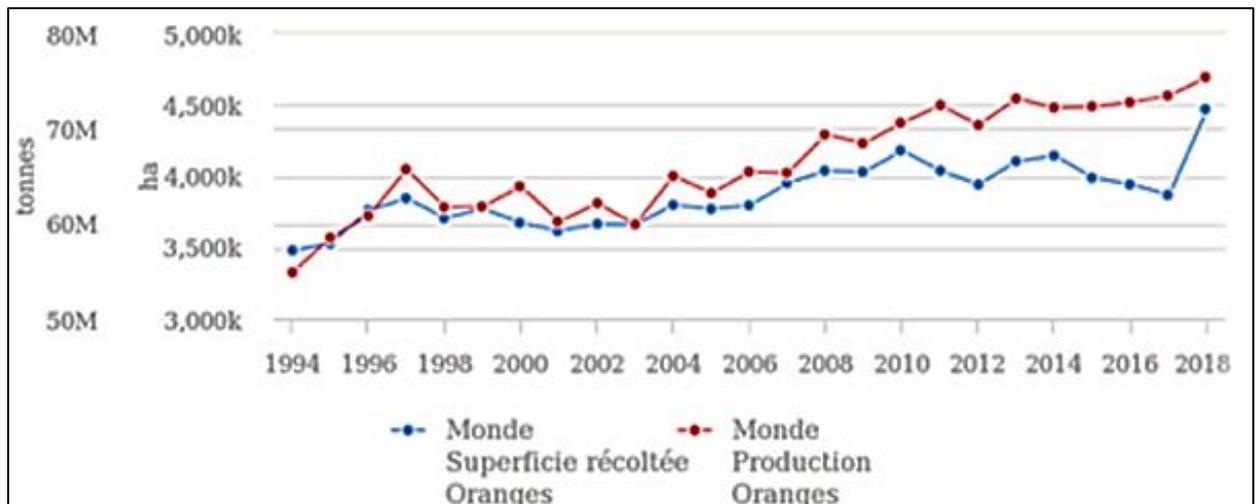


Figure 04. Production/Rendement d'orange dans le monde entre 1994 et 2018. (FAO, 2020).

Le Brésil est le premier producteur dans le monde avec plus de 18 millions de tonnes (Figure 05), les Etats unis se classent en deuxième position avec une production de 8 millions de tonnes, l'inde et la Chine occupe la 3ème et la 4ème place respectivement avec une production de 5 millions de tonnes. Le Mexique occupe la 5ème place avec une production de 4 millions de tonnes suivis par l'Espagne et l'Egypte avec une production de 4 millions de tonnes.

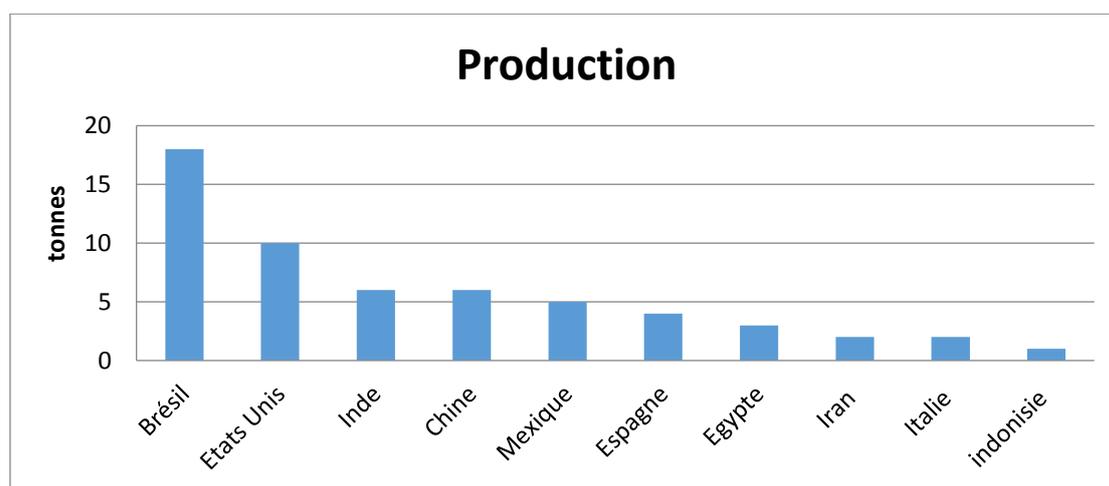


Figure 5. Production d'orange : 10 Principaux producteurs entre 1994 et 2018 (FAO, 2020).

10.La production Algérienne

La production Algérienne d'oranges pour l'année 2018 est estimée de 558573.13 tonnes. Elle occupe la 14ème place dans le monde, la 2ème place dans la région nord-africaine et la 4ème place dans le continent.

Elle occupe la 7ème place dans le bassin méditerranéen selon des études préliminaires entre 1994 et 2018 (**Tableau I**) (FAO, 2020).

Tableau I. Principaux pays producteurs d'orange dans le bassin méditerranéen (FAO, 2020).

Pays	Production en milles de tonnes (MT)
Espagne	2950082.6
Egypte	2203243.4
Italie	1902199.4
Turquie	1411453.4
Grèce	909555.84
Maroc	854095.56
Algérie	558573.16

11. Les principales variétés de l'orange :

Selon (Berlinet, 2006), Il existe deux catégories d'oranges :

- La première, *Citrus sinensis* (L.) Osbeck, correspond aux oranges douces.
- La deuxième, *Citrus aurantium* (L.), aux oranges amères.

11.a. Les oranges douces *Citrus sinensis* (L.) Osbeck

Sont les plus reconnus et les plus consommées. Ce sont des oranges juteuses sucrés, elles sont utilisées « en fruits » et certaines variétés servent à l'élaboration des jus. Dont la production commerciale est très répandue. Elles se subdivisent en 3 groupes :

✓ Les oranges navels

Elles se caractérisent par l'absence de pépins. Ces oranges sont les plus consommées en fruits de bouche. Elles sont moins juteuses que la plupart des autres variétés et elles développent une certaine amertume lors du pressage ce qui peut les rendre impropres à une production de jus.

✓ Les oranges blondes

Dont la principale variété est la Valencia, première variété commerciale de tous les types d'agrumes. Celle-ci peut être rencontrée dans toutes les zones principales de production d'oranges. Les oranges blondes développent beaucoup moins d'amertume que les oranges navels lors de leur pressage. Elles sont donc principalement transformées en jus.

✓ Les oranges sanguines

Les oranges sanguines sont le résultat d'une mutation génétique spontanée qui est apparue il y a plusieurs siècles dans des plantes originaires de Chine, en raison des mouvements migratoires à travers la Méditerranée, (Cebadera et al., 2019). Caractérisées par leur chair colorée due à des pigments rouges, des anthocyanes. Ceux-ci sont sensibles aux techniques d'extraction des jus et au stockage du jus, et leur dégradation peut donner une couleur brune indésirable au produit.

selon (Barreca et al., 2018), on distingue trois types d'orange sanguines les plus courantes :

La Sanguinello : Originaires d'Espagne, elles sont toujours cultivées dans les pays du bassin méditerranéen (en particulier dans la région de Sicile, en Italie et en Espagne) ainsi qu'en Floride et Le Texas aux États-Unis. Elle est d'une forme ovale, légèrement allongé, d'une belle couleur rouge sang attirante, et d'une peau extrêmement lisse, brillante et

pigmentée sur toute la surface, mais elle n'est pas facile à peler et avec peu de pépins. Elles sont juteuses.

La Tarocco : Est une des variétés d'orange les plus populaires dans le monde en raison de sa douceur et à sa jutosité. Elle est dépourvue de pépins et possède la teneur la plus élevée en vitamine C contenue de toutes autres variétés d'oranges cultivées. Elle provient probablement d'une mutation du cultivar « Sanguinello ». Ces fruits sont caractérisés par leur taille moyenne, une douceur et un goût remarquables. La pigmentation rouge de la chair n'est pas aussi beaucoup plus accentuée que dans les variétés « Moro » et « Sanguinello », et pour cette raison elle est souvent appelée « demi-sang ».

La Moro : Est une excellente variété précoce, ses fruits sont de taille petite à moyenne avec peu ou pas de pépins. Elle se caractérise par une saveur et un arôme intense et par une chair rouge violacée. Quant à la douceur, elle est plus amère que les deux autres variétés. Une dernière catégorie, mineure, peut également être décrite, il s'agit des oranges faiblement acides, encore appelées **orange douceâtre**. Ces oranges sont consommés en fruits de bouche (**Berlinet, 2006**).

11.b. Les oranges amères *Citrus aurantium* L

Ces dernières sont également appelées bigarades, elles sont peu comestibles et leur utilisation est principalement réservée à la production de marmelades ou l'huiles essentielles (**Berlinet, 2006**).



Figure 06. Coupe longitudinale de l'orange sanguine

12. La composition biochimique

L'Orange contient en moyenne 12% de glucides (40% de saccharose), de la vitamine C (80 mg / 100 g), vitamines P, B1, B9, E et la provitamine A. Elle est riche en calcium (40 mg /100g), riche en pectine, et possède un rôle de régulateur du transit intestinale (**Tableau II**). Elle contient une flore mésophile (levures et lactobacilles) indispensable pour une bonne digestion (**Bousbia, 2011**).

Tableau II. La composition biochimique de l'orange sanguine (**Souci. S et al 1994**).

Composant	Moyenne (g)
Eau	± 58.70
Protéines	± 1
Lipides	± 0.20
Glucides	± 8.25
Fibres	± 1.60
Acide organique	± 1.13
Minéraux	± 0.48

13. Les différents antioxydants de l'orange

Les antioxydants les plus connus dans l'orange sont le β -carotène (provitamine A), l'acide ascorbique (vitamine C), et les polyphénols. Ceux-ci incluent les flavonoïdes, les anthocyanes (notamment dans les fruits rouges et l'orange sanguine) (**Hercberg et al., 2004**).

13.a. La définition d'un antioxydant

Un antioxydant est par définition une espèce chimique plus ou moins complexe diminuant le stress oxydant au sein de l'organisme. Un antioxydant peut donc : prévenir la synthèse de radicaux libres en inhibant l'initiation des chaînes réactionnelles ou désactiver directement les ROS (l'espèce rectifiée à l'oxygène) Les antioxydants peuvent être classés selon leurs modes d'actions : systèmes enzymatiques, inhibiteurs d'enzymes oxydantes, chélateurs de métaux et piègeurs de radicaux libres. L'organisme possède des systèmes endogènes dédiés à cette

action protectrice. Cependant, cette ligne de défense est facilement saturée. De nombreux antioxydants exogènes sont également présents dans l'alimentation apportant un soutien significatif dans la lutte antioxydante. Nous les trouvons dans les fruits (pommes, poires, fruits rouges...), les légumes (brocoli, oignon...) et les boissons (café, thé, vin...) (Desmier, 2016).

13.b. Les composés phénoliques

Une alimentation riche en produits végétaux où les polyphénols sont particulièrement abondants contribue à la défense des organismes contre le stress oxydant et les dommages des DRO (des dérivés réactifs de l'oxygène) les polyphénols sont des métabolites secondaires constituant l'un des groupes les plus abondants dans le royaume végétal avec plus de 8000 structures différentes. Ils possèdent un ou plusieurs noyaux aromatiques (Figure 08), auxquels sont directement liés à un ou plusieurs groupements hydroxyles libres ou engagés dans une fonction ester, éther ou hétéroside. Les polyphénols peuvent être divisés en de nombreuses classes qui se différencient par la complexité du squelette de base, le degré de modifications de ce squelette (degré d'oxydation, d'hydroxylation), ainsi que par les liaisons possibles de ces molécules de base avec d'autres molécules (glucides, lipides, protéines) (Tolba, 2016).

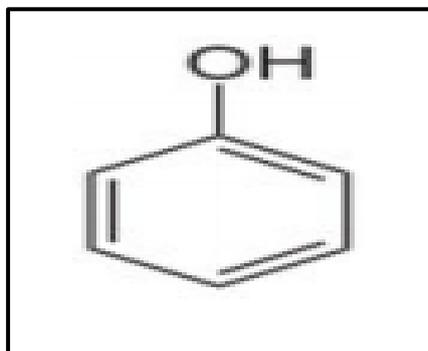


Figure 07. Structure du phénol

13.c. les flavonoïdes

Les flavonoïdes représentent une classe de métabolites secondaires. Ce sont des composés phénoliques de faible poids moléculaire possédant un squelette carboné en C6-C3-C6 (Figure 09). Ces composés représentent le groupe le plus vaste et le plus distribué dans le règne végétal. Le nom flavonoïde est issu du latin « Flavus » qui signifie jaune. Ce sont des pigments qui sont responsables de la coloration des fruits et des fleurs. Les différentes couleurs dépendent de la structure mais également du pH du milieu. Ils peuvent avoir comme rôle d'attirer les insectes pollinisateurs. Les flavonoïdes sont constitués de deux cycles

aromatiques liés par trois atomes de carbone qui peuvent se lier en formant un cycle oxygéné. Selon le degré d'oxydation (Guillouty, 2016).

On les trouve dissous dans la vacuole des cellules à l'état d'hétérosides ou comme constituants de plastides particuliers, les chromoplastes. Le terme flavonoïde regroupe une très large gamme de composés naturels polyphénoliques. On dénombre près de 6500 flavonoïdes répartis en 12 classes et leur nombre ne cesse d'accroître. On distingue différentes structures de flavonoïdes parmi lesquels se trouvent : les flavones, les flavonols, les flavanones, les flavanonols, les flavanes, les flavan-3-oles, les flavylum, les chalcones, les aurones, les isoflavones, les isoflavonols, les isoflavanes, les ptérocarpanes, les coumaronochromones, les 3-arylcoumarines, les coumestanes et les roténoïdes (Muanda, 2010). (Figure 10)

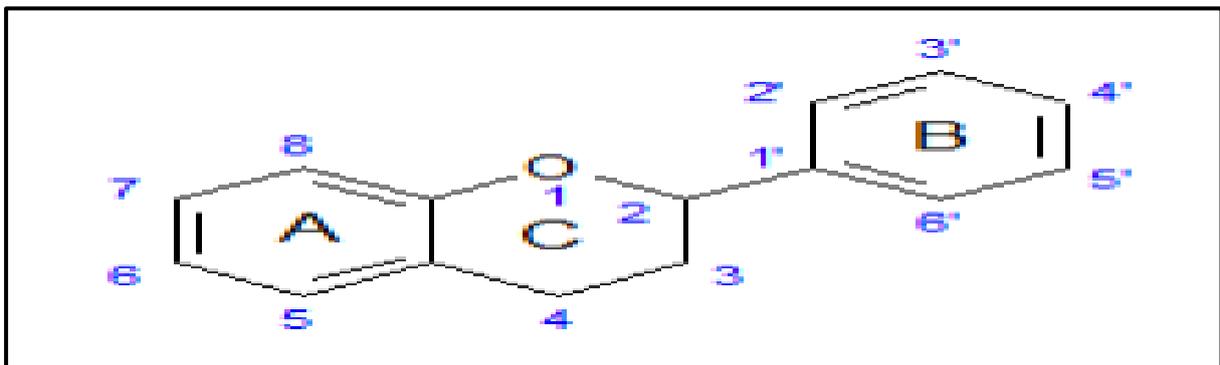


Figure 08. Structure générale des flavonoïdes

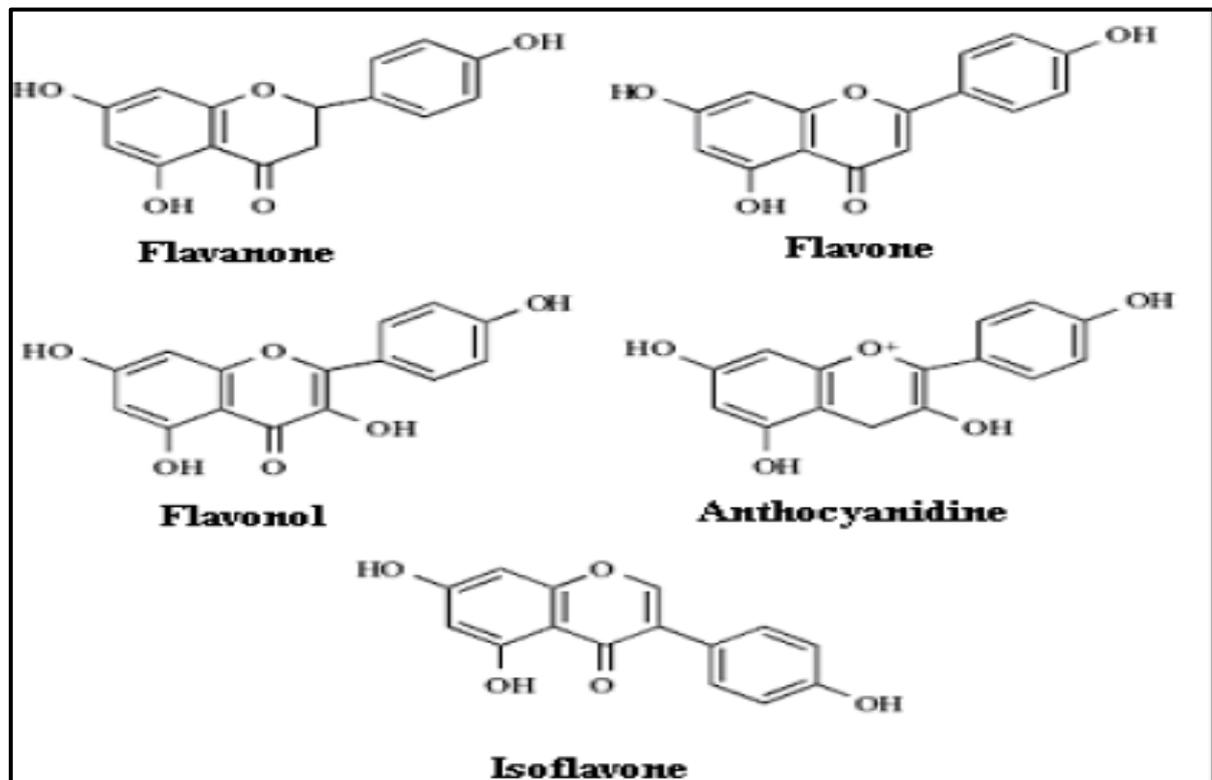


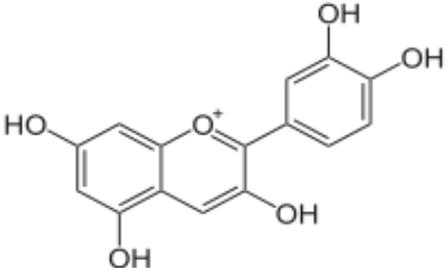
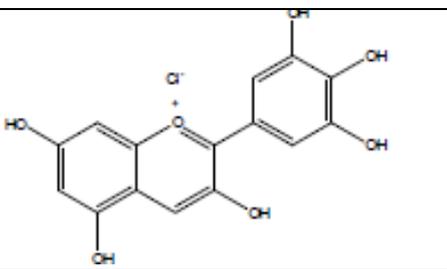
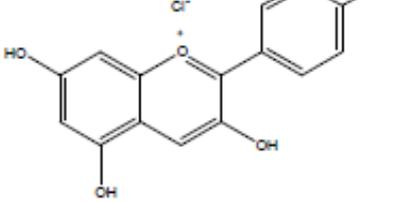
Figure09. Structures chimiques de quelques flavonoïdes

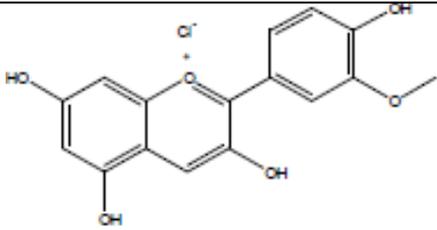
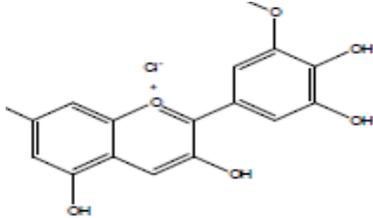
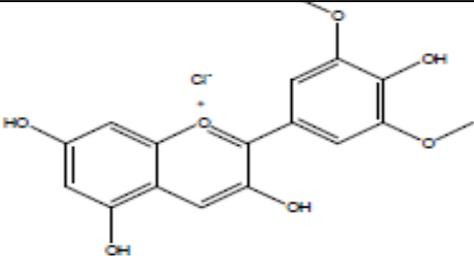
13.d. Les anthocyanines

Les anthocyanes qui constituent le groupe le plus important de colorants visibles à l'œil humain, sont des pigments qui colorent les plantes en bleu, rouge, mauve, rose ou orange. Chimiquement, les anthocyanes sont des flavonoïdes, par conséquent leurs structures présentent un squelette de C6-C3-C6. Pourtant, elles diffèrent des autres flavonoïdes naturels en absorbant fortement la lumière visible (Nguyen, 2018).

Les anthocyanes ou anthocyanines (du grec anthos = fleur, kyaneos = pourpre), apparaissent principalement dans les fruits mais aussi dans les feuilles et les racines. Elles sont principalement localisées dans les cellules des couches extérieures telles que l'épiderme. Les anthocyanines sont caractérisées par leurs propriétés antioxydants favorables à la santé et notamment contre le vieillissement cellulaire. Les anthocyanines permettent aux plantes de se protéger des radiations ultraviolettes. Leur structure de base est caractérisée par un noyau flavone généralement glucosylé en position C-3 (Sava et al., 2006). Le tableau III représente la structure chimique de quelques anthocyanidines.

Tableau III. Structures chimiques de quelques anthocyanidines (Sava et al., 2006)

N°	Anthocyanidine moléculaire	Formule Masse molaire	Structure
1	Cyanidine	$C_{15}H_{11}ClO_6$ 322,701	
2	Delphinidine	$C_{15}H_{11}ClO_7$ 338,701	
3	Pélagonidine	$C_{15}H_{11}ClO_5$ 306,702	

4	<p>Péonidine</p> <p>$C_{16}H_{13}ClO_6$</p> <p>336,728</p>	
5	<p>Pétunidine</p> <p>$C_{16}H_{13}ClO_7$</p> <p>352,728</p>	
6	<p>Malvidine</p> <p>$C_{17}H_{15}ClO_7$</p> <p>366,754</p>	

13.e. Les caroténoïdes

Les caroténoïdes dont le bêta-carotène qui est le plus connu, sont des précurseurs de la vitamine A. Ils jouent le rôle de pigments colorés jaunes à rouge dans beaucoup de fruits et de légumes. Il existe principalement deux groupes de caroténoïdes qui sont des puissants neutraliseurs des ERO (Espèces Réactives de l'Oxygène) : ceux porteurs de substituants oxygénés (lutéine, zéaxanthine et la cryptoxanthine) et ceux qui n'ont pas d'oxygène (α -carotène, β -carotène et lycopène). Ils sont présents dans les compartiments lipidiques car ils sont plutôt lipophiles. Ils sont apportés par l'alimentation, les aliments les plus riches sont la carotte (α -carotène, β carotène), la tomate et le melon (lycopène), les agrumes (β -cryptoxanthine), les épinards et endives (β -carotène et lutéine) et le maïs (zéaxanthine). On en retrouve aussi dans le foie et les huiles de foie de poisson, le lait entier et les œufs. Finalement, la « vitamine A » représente un ensemble de molécules proches et biologiquement interconnectées parmi lesquelles on trouve le rétinol (forme alcool) et ses formes oxydées, le rétinol (forme aldéhyde) et l'acide rétinoïque (forme acide) (**Figure 11**). Il s'agit aussi d'un antioxydant liposoluble dont la forme la plus active serait le rétinol. (**Guillouty, 2016**).

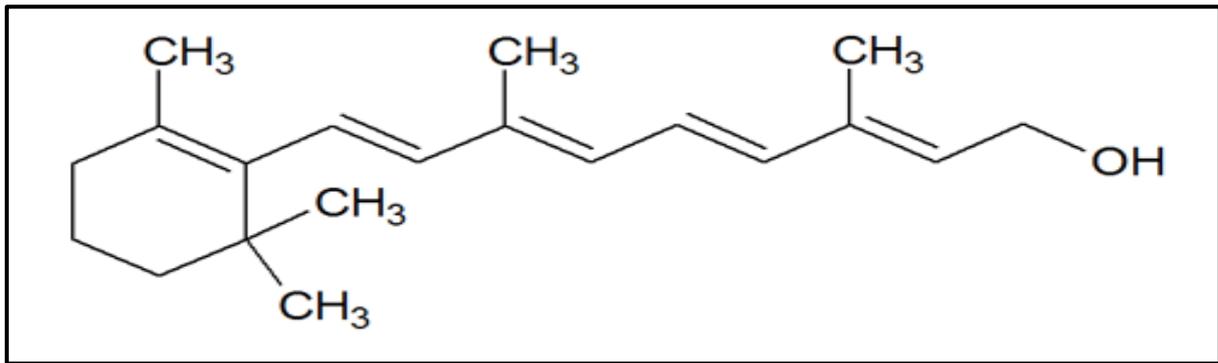


Figure10. Structure de la β -carotène

13.f. L'acide ascorbique

L'acide ascorbique (Vitamine C, AA), avec la formule chimique $C_6H_8O_6$, (**Figure 11**) est un antioxydant hydrosoluble important dans les produits chimiques et les systèmes biologiques. Il existe dans les fruits et légumes et est indispensable pour la vie et la santé (**Chen et al., 2010**). La vitamine C est un nutriment essentiel pour l'homme, elle est synthétisée par les plantes et la plupart des mammifères à la différence des humains et des singes en raison du manque de l'enzyme gluconolactone oxydase qui synthétise la vitamine C à partir du glucose. (**Julien Drouin, 2012**). La vitamine C intervient dans de nombreux métabolismes et renforce les défenses naturelles de l'organisme. La carence en vitamine C provoque le scorbut, mais on peut aussi observer une diminution de l'effet antioxydant, une augmentation du risque de développement d'un cancer et de cataracte. C'est une vitamine très fragile qui peut facilement être dégradée lors des modes de cuisson par exemple (**Guillouty, 2016**).

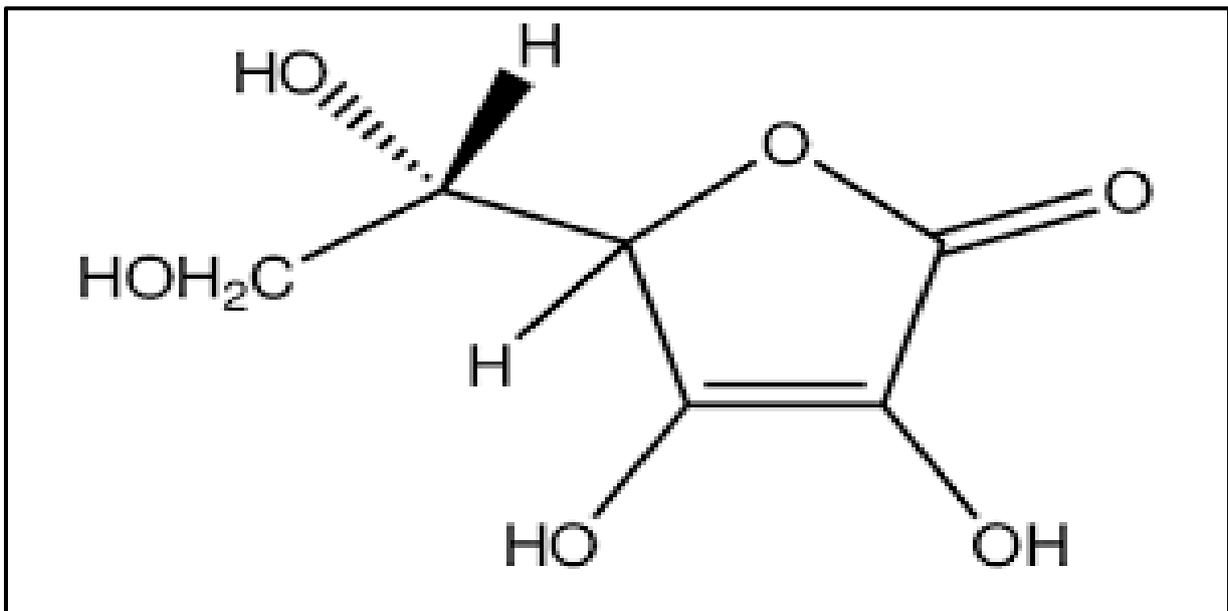


Figure 11. Structure de l'acide ascorbique.

- ❖ Les écorces d'agrumes sont riches en composés phénoliques, essentiellement des flavonoïdes et des acides phénoliques. Grâce à cette richesse, l'extraction des composés phénoliques à partir des écorces d'agrumes a considérablement attiré l'intérêt scientifique pour les utiliser comme des antioxydants naturels, conservateurs principalement dans les aliments mais aussi dans l'industrie pharmaceutique et cosmétique (**Ramful et al., 2010**). Les composés bioactifs sont connus pour leur large éventail d'activités physiologiques liées à la protection contre de diverses formes de pathologie, ce qui souligne leur importance. C'est pour cela qu'il y a plusieurs méthodes d'extraction de ces composés bioactifs. (**Tableau IV**)

Tableau IV. Liste de différentes techniques d'études d'extraction de la littérature assistée par plusieurs méthodes sur divers bioactifs de différentes variétés d'agrumes

Produit	Processus	Condition	Performance	Référence
Les écorces d'agrumes	L'extraction conventionnelle par solvant	Paramètres d'extraction utilisés dans notre étude sont : éthanol 80%, ratio : 5 :50, agitation mécanique à l'obscurité pendant 30 minutes à 35°C, 3 extractions successives, centrifugation, filtration de l'extrait sans évaporation ni lyophilisation.	La différence des teneurs en phénols entre les résultats obtenus pour une même matrice végétale a même origine géographique et en utilisant une extraction conventionnelle par solvant (avec différentes conditions opératoires), montre que le rendement d'extraction des phénols est variable selon les conditions d'extraction utilisées.	M'hiri, 2015
l'écorce d'orange	L'extraction des polyphénols assistée par ultrasons.	L'extraction assistée par ultrasons (EAU) a été réalisée avec un PEX Sonificateur (R.E.U.S., Contes, France) fonctionnant à une fréquence de 25 kHz avec une puissance d'entrée maximale de 150 W avec le contrôle de la température.	La taille des particules la température la puissance ultrasonore et le rapport d'éthanol: eau concentration en naringine et la concentration d'hésperidine ont été considérées comme l'un des facteurs importants qui peuvent affecter l'efficacité de l'extraction.	Khan et al., 2010
Les pelures d'orange	Extraction par Hydrodiffusion assistée par Microondes et Gravité (MHG) des huiles essentielles.	Le protocole expérimental de l'extraction par hydrodiffusion assistée par micro-ondes et gravité s'articule autour de trois points importants : La qualité de la matière végétale traitée, La puissance micro-ondes appliquée, La durée totale de l'extraction.	Les extractions par micro-ondes ont été réalisées dans un four micro-ondes caractérisé par Cavitité multimode Fréquence de 2,45 GHz Magnétrons délivrant une puissance maximale de 1000W deux magnétrons de 800W fonctionnant à une fréquence de 2,45 GHz la phase de chauffage est beaucoup plus courte pour l'extraction par micro-ondes La durée d'extraction par MHG est	Bousbia, 2011

			<p>relativement courte puisqu'au bout de 15 minutes nous n'observons plus de distillat. Le rendement augmente rapidement durant les six premières minutes où plus de 82 % de l'huile sont extraits, son évolution devient plus lente par la suite.</p>	
<p>Les écorces de la mandarines</p>	<p>l'extraction assistée par microondes des acides phénoliques.</p>	<p>Les conditions d'extraction optimales étaient les suivantes: Puissance micro-ondes: 152 W; Temps d'extraction: 49 s; Rapport liquide-solide :16 Concentration de méthanol : 66%</p>	<p>La fréquence microondes de 2450 MHz a été utilisée pour l'extraction ; contrôle de la tempertaure ,le temps et la puissance. La puissance des micro-ondes était réglable linéairement de 10 à 800 W. la limite de température de l'appareil était de 1-120 °C. Les extraits ont été filtrés à travers un filtre en nylon de 0,45 m et analysé pour l'acide phénolique libre par HPLC. De nombreux facteurs influent sur l'efficacité de l'extraction. Il s'agit notamment de la puissance des micro-ondes, du temps d'extraction, du type de Solvant, composition du solvant, rapport solvant/solide, temps de trempage, la taille des particules de l'échantillon et les cycles d'extraction. Cette étude évalue certains de ces facteurs avec la conception composite centrale</p>	<p>Hayat et al., 2009</p>

<p>L'écorce d'orange "Valencia"</p>	<p>Poudre d'écorce d'orange a été extraite avec 100 ml d'eau distillée</p>	<p>Le mélange a ensuite été agité à 25 °C, pH naturel~ 6,8 (non ajusté) et une vitesse d'agitation de 400 tr/min/10 min.</p>	<p>Pour une meilleure extraction des composés phénolique, la température doit être comprise entre (25-30 °C) et le PH supérieur à 6.</p>	<p>Haya et al., 2019</p>
<p>Les oranges navels</p>	<p>L'extraction des composés phénoliques a été effectuée à l'aide d'un système à micro-ondes (ETHOS SEL Microwave Solvent Extraction Labstation).</p>	<p>L'extraction a été effectuée à température constante (135 C) pendant 3 min</p>	<p>Des températures de sortie comprises entre 43 et 79 °C ont permis d'obtenir des rendements entre 75% et 92%. L'évaluation économique de l'utilisation de l'extraction et du séchage par pulvérisation assistés par microondes pour produire une poudre antioxydante à partir d'orange.</p>	<p>Shofinita et Langrish, 2014</p>
<p>Les fruits de l'orange amère (<i>Citrus aurantium</i>) et de la mandarine (<i>Citrus reticulata</i>Blanco)</p>	<p>Extraction avec du méthanol pure.</p>	<p>Agitation pendant 30 minutes. Conservation pendant 24 h à 4°C.</p>	<p>Les changements importants de la composition phénolique pendant la maturation suggèrent que les graines de la mandarine sont une source prometteuse pour l'extraction de l'acide gallique à la maturité (stade CM) tandis que les graines d'orange amère pourraient être utilisées comme source potentielle de néohespéridine.</p>	<p>Moulehi et al., 2012</p>

CHAPITRE II.
Généralités sur le
Séchage

II. Généralités sur le séchage

1. Définition de séchage

Le séchage est un procédé très ancien de conservation des produits agricoles et alimentaires. Il permet de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité de l'eau (a_w) jusqu'à une valeur inférieure à 0,5 (**Bonazzi et Bimbenet, 2003**). Les opérations de séchage jouent un rôle important dans les industries alimentaires.

Elles représentent souvent la dernière opération du procédé de fabrication d'un produit, avec une forte influence sur la qualité finale (**Bonazzi et Bimbenet, 2008**). Selon (**El Mokretar et al., 2004**) le séchage est, soit un moyen de conservation, soit une étape dans la transformation de certains produits. Il est utilisé à la fois dans le monde rural, à travers le séchage des produits agricoles et dans le monde industriel à travers l'agro-alimentaire, le textile, etc. Les biologistes ont constaté qu'en ramenant la teneur en humidité de la nourriture entre 10 et 20 %, les bactéries, les champignons et les enzymes sont presque tous neutralisés. La saveur et la majeure partie de la valeur nutritive est conservée et concentrée. Les produits séchés peuvent être conservés pendant plusieurs mois, l'autre avantage est conditionnement ; en effet un produit séché pèse environ 1/6 du produit alimentaire frais, il n'a donc pas besoin d'équipement spécial pour le stocker et sont facile à transporter.

Selon (**Perino et Chemat, 2015**) :Le séchage est l'une des plus anciennes méthodes de conservation des aliments, qui peut être définie comme un transfert simultané de masse et de chaleur dans laquelle l'activité de l'eau d'une denrée alimentaire est abaissée par l'élimination d'eau. Cette méthode offre de nombreux avantages : conserver les aliments par inactivation des enzymes, détruire les micro-organismes, amortir le caractère saisonnier de certaines activités agricoles ou industrielles, diminuer la masse et le volume des aliments, réduire leur encombrement, faciliter leur transport et enfin donner une présentation, ou une fonctionnalité particulière au produit (flocons de purée de pomme de terre, café lyophilisé, etc.). L'optimisation de l'opération de séchage doit répondre à deux impératifs essentiels qui sont la consommation restreinte d'énergie nécessaire et la sauvegarde de la qualité biologique du produit séché (apparence, goût, odeur, arôme et propriétés nutritionnelles).

2. But de séchage

Le séchage réduit le potentiel de croissance des microbes et des réactions chimiques indésirables comme le brunissement enzymatique, donc prolonge la durée de vie des produits (Chekroun, 2009).

3. L'utilisation du séchage dans les industries agroalimentaires

Le séchage est utilisé pour :

- Accroître la durée de conservation des produits alimentaire.
- Stabiliser les produits agricoles (maïs, luzerne, riz, lait, ...) et amortir le caractère saisonnier de certaines activités.
- Produire des ingrédients ou des additifs pour une seconde transformation, également appelés : Produits Alimentaires Intermédiaires (PAI), ce sont par exemple des légumes pour les potages, des oignons pour la charcuterie, des fruits pour la pâtisserie, des épaississants, arômes et colorants.
- Réduire considérablement la masse et le volume des produits, ce qui facilite leurs transports, stockage et manutention.
- Donner une présentation, une structure ou une fonctionnalité particulière au produit (café instantané, flocons de purée de pomme de terre, ...). À ce titre, l'opération de séchage peut être considérée comme une opération de formulation ou de texturation, qui, lorsqu'elle est convenablement conduite est capable de fournir des produits nouveaux, faciles d'emploi (Bonazzi et Binbente, 2003).

4. Les domaines d'utilisation

Le séchage industriel est de nos jours très couramment utilisé dans les industries chimiques et/ou des matériaux. Citons les applications suivantes :

- Séchage du papier : sa fabrication passant par une étape de pulpe humide, séchage des éponges cellulosiques dites « végétales », des latex, etc.
- Séchage des matériaux de construction : bois, briques, tuiles et céramiques avant cuisson, carreaux et plaques de plâtre après moulage, isolants thermiques, pigments, colles... issus de procédés humides.
- Séchage de produits chimiques obtenus à l'état solide, suite à des réactions en milieu liquide, par précipitation, cristallisation, concentration, etc. Exemple : Engrais.

- Granulés, lessives granuléées, NaCl, soude, sels minéraux, silice colloïdale, etc. Sachant que leur distribution sous forme liquide reste souvent une option.
- Séchage de matières actives pharmaceutiques généralement en poudres, issues de processus humides.
- Séchage de textiles, après lavage, après teinture...
- Séchage de boues d'épuration, et/ou de sous-produits industriels (**Vasseur, 2009**).

5. Les phénomènes de transfert de chaleur et de matière

Le séchage est une opération complexe qui met en jeu des transferts couplés de matière (d'eau essentiellement) et de chaleur, accompagnés de modifications physico-chimiques et de structure du matériau (**Bonazzi et Bimbenet, 2003**).

5.1. Transfert interne de matière

L'eau migre de l'intérieur vers la surface du produit sous l'action de divers mécanismes qui peuvent se combiner. Il est généralement admis que le transport capillaire est l'un des mécanismes fondamentaux dans les produits poreux riches en eau.

Dans les produits alimentaires, on préfère souvent attribuer le transport d'eau à une diffusion d'eau liquide sous l'effet du gradient de concentration (**Bonazzi et Bimbenet, 2003**).

5.2. Le transfert interne de chaleur

Le transfert de chaleur est l'un des modes les plus communs d'échange d'énergie. Il intervient naturellement entre deux systèmes dès qu'existe entre eux une différence de température et cela quel que soit le milieu qui les sépare.

Le transfert de chaleur peut être défini comme la transmission de l'énergie d'une région à une autre sous l'influence d'une différence de température. (**Haddad, 2001**).

On reconnaît généralement trois modes distincts de transmission de la chaleur : la conduction, la convection et le rayonnement.

- **La conduction** : Le produit est mis au contact avec une paroi chauffée. L'apport de chaleur au produit se fait par conduction à travers cette paroi chaude vers le produit, puis par conduction à l'intérieur du produit, le séchage sera en mode « par ébullition » ou « par entraînement » (**Haddad, 2001**).

- **La convection** : Les phénomènes de convection interviennent dans la transmission de la chaleur chaque fois qu'un fluide se déplace par rapport à des éléments fixes. Lorsque se produit au sein du fluide des courants dus simplement aux différences des gradients de température (**Haddad, 2001**).
- **Le rayonnement** : Le rayonnement est le mécanisme par lequel la chaleur se transmet d'un milieu à haute température vers un autre à basse température lorsque ces milieux sont séparés dans l'espace. (**Haddad, 2001**). L'énergie est apportée au produit par rayonnement, ce qui décrit les cas de chauffage par infrarouge, micro-ondes, hautes fréquences, ainsi que le séchage solaire à ensoleillement direct (**Vasseur, 2011**).

6. Principe du séchage

Selon (**Bonazzi et Bimbenet, 2003**), l'élimination d'eau peut être effectuée par trois voies principales :

✓ Voie mécanique

Se réalise par un simple transfert de quantité de mouvement mais pas avec un transfert thermique exemple : Centrifugation, filtration, égouttage, essorage, pressage.

✓ Voie chimique

Méthodes extractives basées sur des interactions chimiques, physiques ou physicochimiques, telle que la déshydratation imprégnée par immersion.

✓ Voie thermique

Ce type d'opération est essentiellement un transfert de masse nécessitant au préalable, une activation de l'eau par une certaine quantité d'énergie apportée par un transfert de chaleur.

7. Méthodes de séchage

7.1. Séchage par énergie solaire

C'est l'une des techniques les plus anciennes. Dès le paléolithique (750 000 ans avant J-C) l'homme séchait les feuilles, le bois de feu et des peaux d'animaux. En 3000 ans avant J-C les égyptiens séchaient leur papyrus par exposition directe au soleil. Au cours du temps les matériaux les plus divers sont séchés : de la viande (35 000 ans J-C), des textiles et des produits aussi nécessaires à la civilisation tel que, le thé (300 ans après J-C), le cacao et le tabac, ainsi que les légumes et les fruits, tout en se servant d'une énergie noble, celle du soleil.

Actuellement, pour accélérer la procédure de séchage on utilise des capteurs solaires à air. La chaleur captée par ces capteurs est transmise à l'air qui circule dans la veine d'écoulement. Cet air chauffé sera ventilé dans un local où sont placés les produits à sécher. On assure ainsi plus d'hygiène tout en évitant l'altération et les pertes des produits. Ce système de séchage est utilisé pour sécher des plantes médicinales, les fruits et légumes, viandes, poissons, des produits très légers qui risquent de s'envoler (exemple : feuilles de tabacs, les feuilles de henné) **(Labeled, 2012)**.

L'énergie solaire est une alternative possible pour les pays en voie de développement, tel que l'Algérie. Le séchage solaire est donc un procédé de conservation qui favorise le stockage des aliments et qui utilise l'énergie solaire comme source de chauffage. Il constitue un moyen rentable pour la déshydratation des produits agroalimentaires à basse température **(Lati et al., 2015)**.

7.2. Séchage par osmose

La déshydratation/ imprégnation par immersion (encore appelée déshydratation osmotique ou déshydratation par osmose directe) est un procédé basé sur la mise en contact de produits entiers ou découpés en morceaux, surtout des fruits et légumes avec des solutions fortement concentrées. Ceci donne lieu essentiellement à deux transferts de matière simultanés à contre-courant :

- Un important départ d'eau, du produit vers la solution.
- Un transfert de soluté, de la solution vers le produit. On observe également une perte des solutés propres du fruit quantitativement faible, mais essentielle en ce qui concerne les qualités organoleptiques (par exemple l'acidité) et nutritionnelles (notamment vitaminiques et minérales) des produits obtenus. **(Guilbert et Raoult-Wack, 1990)**.

7.3. Séchage en vapeur d'eau surchauffée

Le séchage en vapeur d'eau surchauffée continue d'être présenté comme une solution émergente le produit à sécher est mis en contact direct d'une vapeur d'eau surchauffée, qui sert simultanément à apporter l'énergie nécessaire au séchage et à extraire la vapeur produite lors du séchage. Ce concept est connu depuis plus d'une centaine d'années et les premières applications effectuées en Allemagne remontent à une soixantaine d'années.

La vapeur d'eau surchauffée peut être utilisée comme fluide de séchage dans n'importe quelle technologie de séchage direct, mais les technologies les plus fréquemment utilisées sont les

sécheurs pneumatiques, les sécheurs à lit fluidisé et les sécheurs par pulvérisation. Le plus souvent, ces installations opèrent à une pression supérieure à la pression atmosphérique, ce qui permet d'optimiser la récupération d'énergie sur la vapeur en excès (Arlabosse, 2008).

7.4. Séchage par pulvérisation : Séchage par atomisation

L'obtention de produits solides à partir d'un procédé de séchage par pulvérisation (ou atomisation) est connue depuis le XIXe siècle. Initialement utilisé pour sécher les œufs et concentrer des jus, le procédé s'est développé de manière significative dans les années 1920 dans les industries du lait et des lessives. Grâce sa grande flexibilité, il est maintenant appliqué à de nombreux produits tant en agro-industrie que dans le domaine pharmaceutique ou cosmétique, ou encore pour la préparation de pigments ou de charges minérales (Gomez et Khashayar, 2012).

Le séchage par pulvérisation consiste en l'obtention d'un solide divisé, par la mise en contact d'un gaz chaud et d'un fluide dispersé sous forme de fines gouttelettes. En jouant sur les paramètres opératoires, il est possible de contrôler différentes propriétés du produit fini telles que la taille, la forme des particules solides ou encore sa solubilité via la présence de porosité. Le procédé de séchage par pulvérisation commence par :

- La pulvérisation du fluide initial.
- La mise en contact des gouttelettes formées avec le gaz de Séchage.
- Le séchage à proprement parler.
- La récupération du solide formé.

Chaque étape du procédé intervient sur les propriétés finales du solide sec. Le mode de pulvérisation, les propriétés du fluide initial, la mise en contact entre le gaz de séchage et les gouttelettes, la configuration de l'enceinte de séchage vont influencer la distribution de tailles des particules, leurs densités, leurs morphologies, leurs humidités résiduelles, leurs friabilités, la présence d'arômes, etc.

7.5. Séchage par ébullition

Le produit est porté à la température telle que la pression de vapeur d'eau du produit devient égale à la pression totale ambiante régnant dans le séchoir. La température du liquide est donc déterminée par la pression d'ébullition (par exemple 100°C pour l'eau à 1,013x10⁵ Pa) (Boussalia, 2010). Le produit recevant de la chaleur s'échauffe jusqu'à atteindre sa température d'ébullition. Le mécanisme d'ébullition est caractérisé par le fait que la vapeur Pv

est alors mise à la pression totale P_t dans l'enceinte, et s'écoule vers l'extérieur, sans résistance (ni potentiel) de diffusion externe : $P_v = P_t$ (Jangam, Law et Mujumdar, 2010).

7.6. Séchage par entraînement

L'énergie est apportée par un gaz vecteur en mouvement, généralement de l'air chaud. Ce gaz est conditionné de manière à ce que sa température soit supérieure à celle du produit, et la pression de vapeur d'eau P dans le produit est supérieure à la pression partielle d'eau p dans l'atmosphère qui l'entoure. Il s'agit en fait d'un transfert de masse par gradient de pression de vapeur d'eau. (Boussalia, 2010).

7.7. Séchage par friture

Le produit est immergé dans un bain d'huile chaude (friture par immersion), où le séchage a lieu par ébullition, situation voisine du séchage par vapeur d'eau surchauffée avec ce pendant des différences de mise en œuvre lorsque l'on immerge un produit humide dans un bain d'huile chaude (friture par immersion), le mode d'apport de chaleur est de type convectif venant de l'huile, et le séchage se fait forcément par ébullition, comme pour le séchage dans la vapeur d'eau surchauffée (VES). (Vasseur, 2011).

7.8. Séchage par lyophilisation

La lyophilisation, appelée autrefois cryodessiccation, est une opération de déshydratation à basse température qui consiste à éliminer par sublimation, la majeure partie de l'eau contenue dans un produit. Elle autorise une conservation à long terme grâce à l'abaissement de l'activité de l'eau du produit. En raison de ses particularités, la lyophilisation occupe cependant une place originale au regard des techniques de séchage (Marin et René, 2000). (Figure 6)

7.8.a. Produits obtenus et leurs applications industrielles

Ils vont majoritairement conserver leurs qualités nutritionnelles, leurs intégrités physiques et chimiques, leurs architectures cellulaires et leurs formes ; et peuvent être réhydratés rapidement grâce à leur structure poreuse. En effet, la sublimation lente crée un réseau de canaux par lesquels s'échappe la vapeur d'eau : il reste une structure poreuse qui occupe le même volume que la structure initiale (intéressant pour les coupes de tissus biologique). L'eau peut donc reprendre sa place facilement dans la structure moléculaire de l'aliment.

7.8.b. Avantages du procédé

- Préservation de la structure initiale du produit ;
- Conservation du produit pendant plusieurs années sous vide et dans un emballage opaque sans perte de vitamines, sans modification des caractéristiques organoleptiques (valeur nutritive pratiquement identique au produit frais à la congélation) ;
- Conservation à température ambiante ;
- Réhydratation instantanée avec de l'eau froide ou chaude grâce à la structure poreuse.

7.8.c. Inconvénients du procédé

- Méthode coûteuse : frais d'investissement et d'exploitation élevés à cause de la forte consommation d'énergie ;
- Nécessité d'un emballage étanche car le produit est très hydrophile ;
- Procédé applicable uniquement aux aliments en poudre ou en petits morceaux sinon la durée de séchage et la consommation d'énergie sont trop importantes (Nguyen, 2015).



Figure 12. Lyophilisateur Pilote LPCPLS15 et lyophilisateur de production (Nguyen, 2015)

7.9. Séchage conventionnel (à l'air chaud)

Le séchage à l'air classique ou à l'air chaud est l'une des opérations les plus fréquemment utilisées pour la déshydratation des aliments. Le séchage à l'air, en particulier, est un processus ancien utilisé pour conserver les aliments dans lesquels le solide à sécher est exposé à un flux d'air chaud qui coule en permanence et où l'humidité s'évapore. Le phénomène sous-jacent à ce processus est un problème complexe impliquant à la fois de la masse et de l'énergie, Le séchage à l'air offre des produits déshydratés pouvant avoir une durée de vie prolongée, mais malheureusement, la qualité d'un produit séché de manière conventionnelle

est généralement considérablement réduite par rapport à celle du produit alimentaire d'origine. (Vasseur, 2009).

7.10. Séchage à l'étuve

Il faut préciser la consigne de température de l'étuve, le temps de séjour, et la taille de l'échantillon à tester. Même si cette taille n'est pas en général critique, le temps de séjour dans l'étuve doit être adapté au rapport surface/volume. On appelle « matière sèche » la masse finale constante restante, et la perte de masse (différence entre la pesée avant et après séchage) donne la teneur en eau initiale. (Vasseur, 2009).



Figure 13. Photographie d'une étuve.

7.10.a. Avantages

Le processus opératoire est simple alors que l'équipement est généralement simple et à coût peu élevé (Nguyen, 2015).

7.10.b. Inconvénients

L'opération pourrait facilement aboutir à un retrait considérable du produit (principalement au début de l'opération) et à une perte notable de la qualité nutritionnelle (en fin de l'opération en raison du temps de séchage généralement important (Nguyen, 2015).

7.11. Séchage par micro-ondes

C'est un processus complexe impliquant un transfert de chaleur et de masse, qui est basé sur le chauffage volumétrique. La vapeur est générée à l'intérieur d'un produit alimentaire et qui se propagent ensuite par les gradients de pression. En raison de la forte pénétrabilité des micro-ondes, les aliments à l'intérieur et à l'extérieur sont chauffés en même temps et la température des aliments augmente simultanément. Le séchage par micro-ondes traduit la haute fréquence électromagnétique l'énergie en chaleur, ce qui permet l'évaporation intensive de l'humidité liquide et transporté vers la surface de la matière alimentaire. **(Guo et al., 2017)**.

II.8. Micro-ondes

Les rayonnements micro-ondes sont des ondes électromagnétiques qui se propagent dans le vide à la vitesse de la lumière. Elles sont caractérisées par une fréquence comprise entre 300 MHz et 300 GHz, c'est-à-dire par une longueur d'onde comprise entre 1 m et 1 cm. Sur le spectre électromagnétique, elles sont situées entre les radiofréquences et les infrarouges. Les fréquences utilisables par les applications industrielles des micro-ondes sont réglementées pour éviter le risque d'interférence avec la radiocommunication et les radars, qui sont les principales utilisations des micro-ondes **(Anizon et al ,2003)**.

II.8.1. Four à micro-ondes

Tout système de chauffage micro-ondes comporte trois éléments :

- Le générateur d'onde, qui produit des ondes électromagnétiques.
- Le guide d'onde dont le rôle est d'amener les ondes électromagnétiques depuis le générateur vers l'enceinte d'application.
- L'applicateur (appelé aussi enceinte) dans lequel est placé le produit à traiter **(Farhat, 2010)**.

II.8.1. a. Générateur

Le magnétron est l'élément du générateur qui transforme l'énergie électrique en énergie micro-ondes. Il est constitué d'un tube sous vide dans lequel sont disposées deux électrodes entre lesquelles est appliquée une différence de potentiel élevée. Un aimant permanent ou un électroaimant produit un champ magnétique continu perpendiculaire au champ électrique appliqué entre les deux électrodes **(Anizo et al., 2003)**.

II.8.1.b. Guide d'onde

Il permet de convoier et de guider les ondes émises par le magnétron. C'est un tube métallique ou conducteur cylindrique dont la section droite est limitée par un contour fermé pouvant contenir d'autres contours. Sa génératrice est choisie comme axe de propagation. Deux modes de propagation peuvent exister : le mode TM (transverse magnétique), ou le mode TE (transverse électrique) (Perino et Chemat, 2015).

II. 8.1.c. Applicateur

Est une cavité fermée qui doit assurer le transfert au matériau à traiter de l'énergie électromagnétique provenant du magnétron. Deux grandes catégories d'applicateurs existent : monomode et multimode.

Un applicateur est dit monomode lorsque ses dimensions géométriques sont choisies de telle sorte qu'à la fréquence de travail, il n'existe qu'une configuration de champ. L'énergie électromagnétique emprisonnée se réfléchit sur les parois et donne lieu à des ondes stationnaires. L'applicateur monomode permet le contrôle précis du champ électrique mais est réservé aux matériaux de petit volume.

L'applicateur multimode est une cavité suffisamment grande pour qu'il existe plusieurs types de configurations de champ (Figure 14). Le champ électrique n'est pas stable comme dans une cavité monomode et sa distribution varie. Ce type d'applicateur permet de traiter dans des volumes importants, des matériaux dont les paramètres électriques et magnétiques varient peu (Perino et Chemat, 2015).

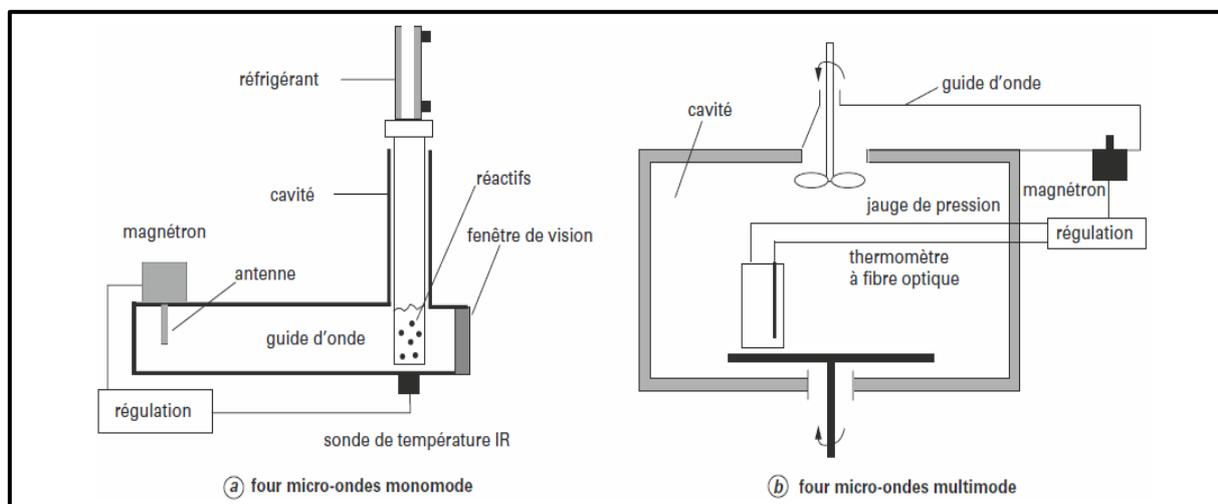


Figure14. Schéma d'un four micro-ondes monomode et multi mode (Perino et Chemat, 2015).

II.8.2. Principe et mécanisme du chauffage par micro-ondes

II.8.2.a. Interaction Node -matière

Le mécanisme du chauffage diélectrique repose sur le fait que les molécules polaires, telles que l'eau, ont des extrémités négatives et positives ; ce sont des dipôles. En l'absence de champ électrique, les dipôles d'un milieu diélectrique se trouvent orientés au hasard sous l'effet de l'agitation thermique du milieu. Sous l'effet d'un champ électrique continu, les molécules tendent à s'orienter dans la direction du champ électrique. Plus le champ électrique n'est intense, moins l'agitation thermique qui tend à désorganiser l'alignement a d'importance. Lorsque toutes les molécules sont orientées, il apparaît un moment dipolaire global induit. Sous l'effet d'un champ électrique alternatif de fréquence f , les dipôles s'orientent dans la direction du champ sur une demi-alternance, se désorientent lorsque le champ s'annule et se réorientent dans l'autre sens pendant la seconde demi-alternance : C'est la rotation dipolaire. L'énergie électrique est convertie en énergie cinétique par la rotation des dipôles. L'énergie cinétique est transformée partiellement en chaleur : l'alignement des dipôles par rapport au champ électrique est contrarié par les forces d'interaction entre molécules (les forces de liaison par pont hydrogène et les forces de liaisons de van der Waals). Ces forces peuvent être assimilées à des forces de frottement internes qui existent dans les contacts solide-solide. Elles s'opposent ainsi à la libre rotation des molécules. De la friction produite, naît le dégagement de chaleur. La dissipation d'énergie par le produit peut être maximale si la fréquence du champ électrique est égale à la fréquence de relaxation. Le phénomène de relaxation correspond à l'apparition d'un déphasage entre l'oscillation du champ électrique et celui des dipôles. Les fréquences micro-ondes étant imposées, l'échauffement d'un produit se fait avec une efficacité maximale et exceptionnelle. Dans ce cas, une grande partie des molécules soumises à l'action du champ micro-ondes ne tourne pas avec le changement alternatif du champ, mais frissonne comme le montre la **(figure 15)** (Perino et Chemat, 2015).

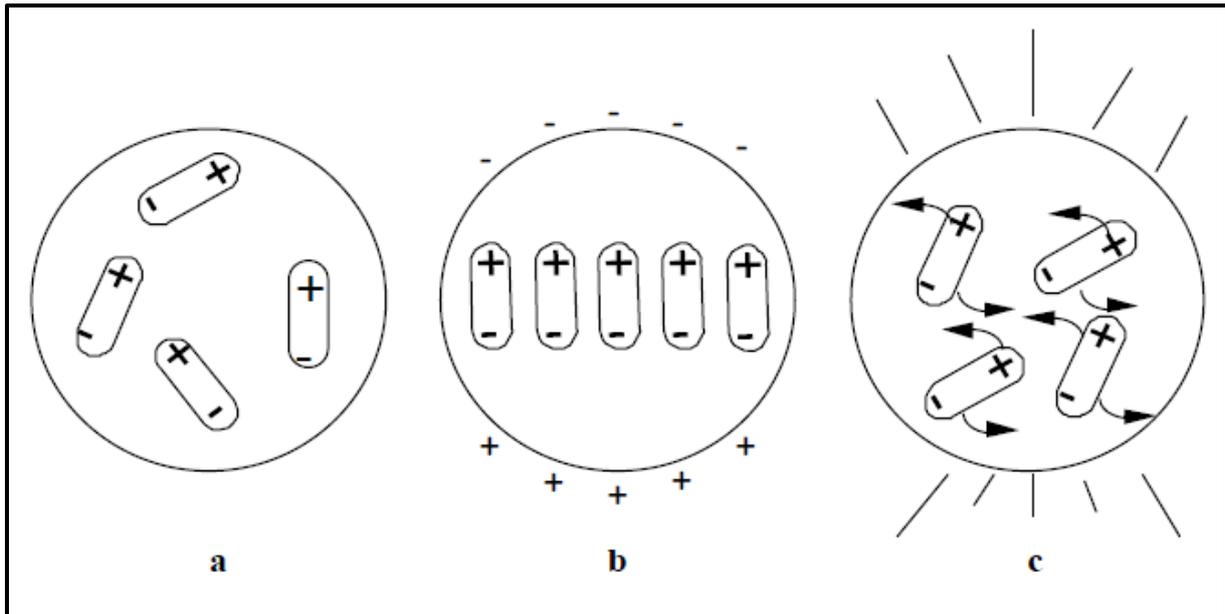


Figure 15. Distribution des dipôles sous l'effet dans un champ électrique. **a** : absence de champ électrique ; **b**: sous champ électrique continu ; **c**: sous champ électrique alternatif (Farhat, 2010).

II.8.2.b. Transfert de chaleur

Le transfert de chaleur sous chauffage micro-ondes est complètement inversé par rapport au chauffage conventionnel. Le transfert de chaleur classique se transmet de l'extérieur vers l'intérieur du récipient. Sous chauffage micro-ondes, le volume traité devient lui-même source de chaleur. On parle de dégagement de la chaleur de l'intérieur vers l'extérieur du récipient. La paroi externe du réacteur est plus froide que le milieu du réacteur dans le cas du chauffage micro-ondes, et inversement pour le cas du chauffage conventionnel. (Lucchesi, 2005).

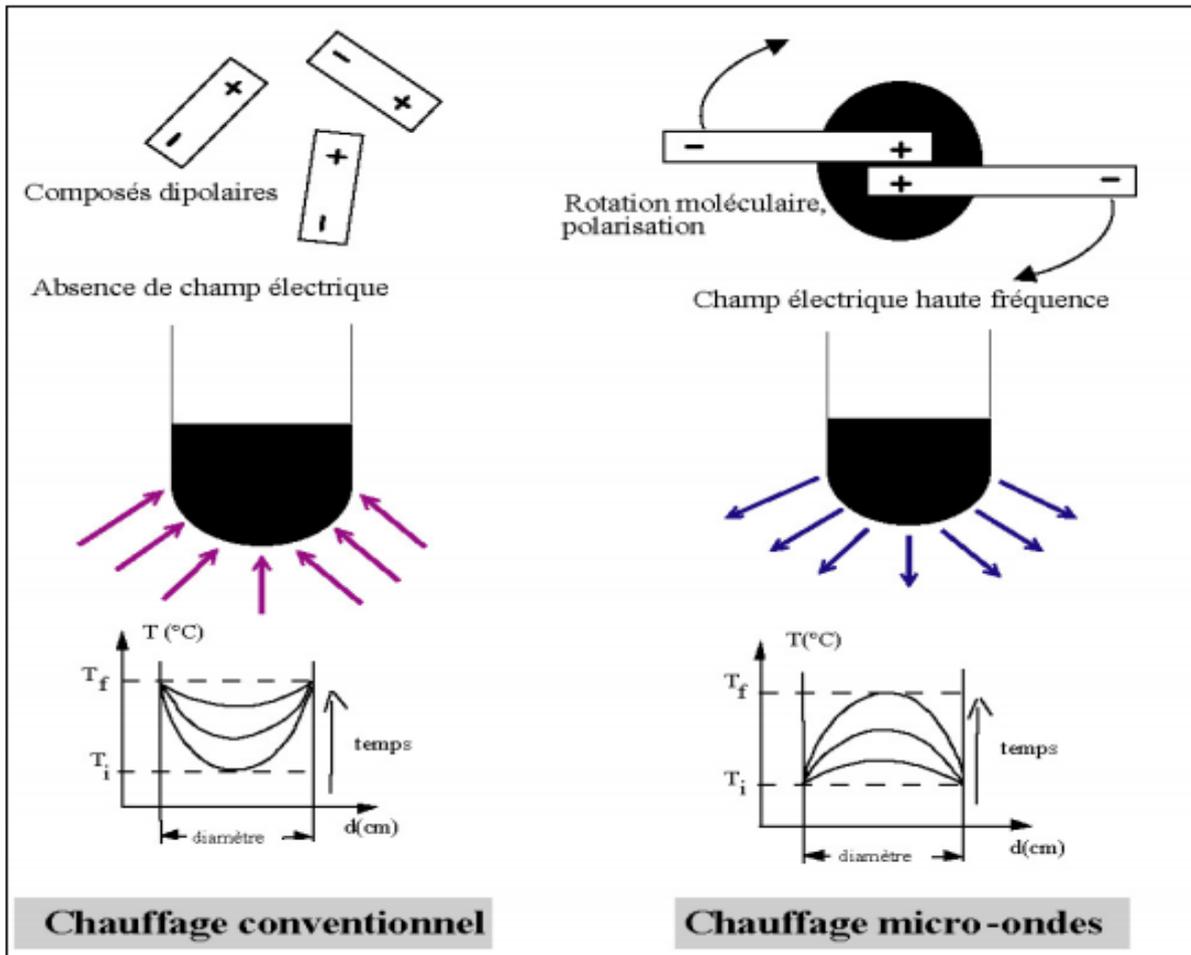


Figure16. Transferts thermiques sous les deux modes de chauffage (Ferhat, 2007).

II.9. Applications des micro-ondes

Après plusieurs années de recherche, le recours à l'application des micro-ondes est largement répandu dans les milieux scientifiques, industriel et dans les foyers. De nombreux scientifique ont relaté les avantages des micro-ondes dans divers procédés physique et /ou chimique que ce soit au niveau de l'industrie ou du laboratoire. L'organigramme ci-dessous (Figure 17) regroupe quelques applications des micro-ondes dans des domaines très variés (Meziane, 2014).

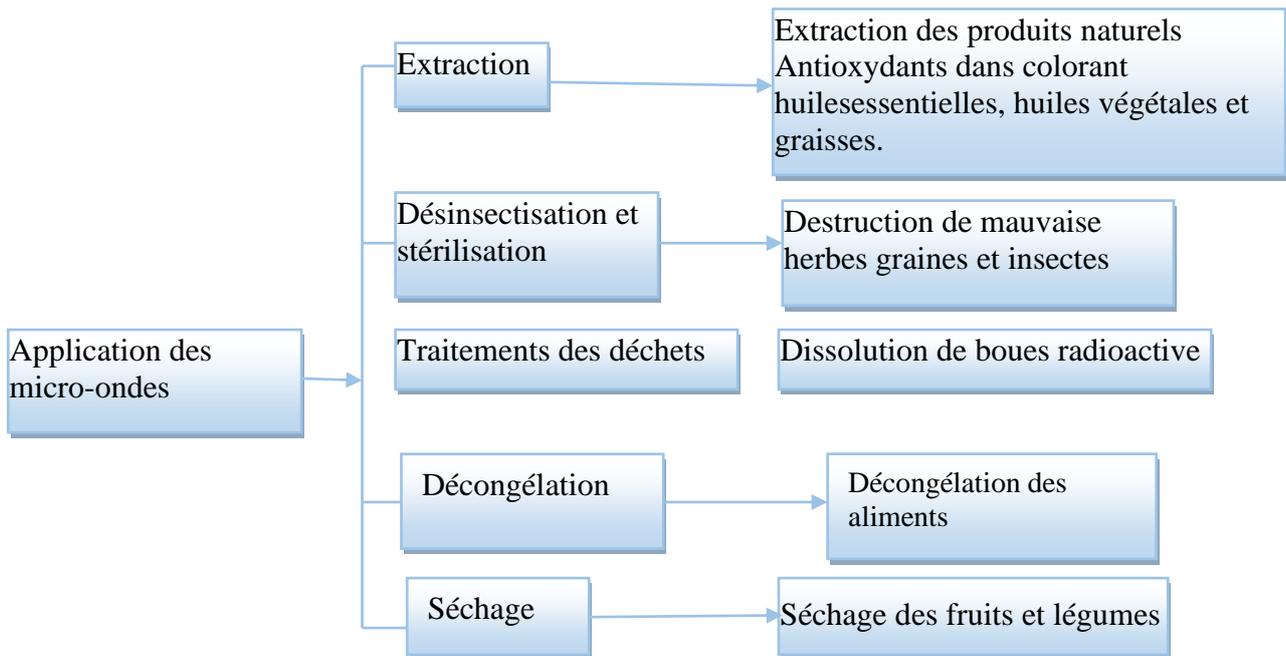


Figure17. Quelques applications des micro-ondes.

II.10. Inconvénients du séchage

Comme tous les traitements thermiques, le séchage peut entraîner, en particulier, des pertes d'arômes, de vitamines et de pigments, des réactions de brunissement, des durcissements superficiels, des modifications irréversibles de texture et donc de capacité à la réhydratation, des pertes de constituants volatils et la modification de la répartition de l'humidité dans le produit. En général, le séchage a globalement moins d'inconvénients que d'autres procédés de conservation (appertisation, congélation ou traitement aseptique). Le séchage des fruits, des légumes et des épices reste encore une méthode très répandue de conservation de ces aliments (Nguyen, 2015).

II.11. Phénomènes se produisant au cours du séchage

Les interactions entre l'eau et les autres constituants dépendent de la mobilité de l'eau et des solutés, entraînant des réactions, des transformations physiques, des phénomènes mécaniques lors du séchage, du stockage et de la consommation (Chekroun, 2009).

II.11.1. Réactions biochimiques

Il s'agit des réactions de Maillard, de l'oxydation de vitamines et de matières grasses, de la dénaturation de protéines, des réactions enzymatiques, etc. Certains prétraitements permettent de réduire la vitesse de ces réactions. Les exemples classiques sont un traitement (léger) au

SO₂ pour limiter les réactions de Maillard dans les fruits secs et le blanchiment pour réduire les réactions enzymatiques dans les légumes séchés. Certaines réactions biochimiques sont recherchées : c'est le cas de la torrification du malt qui constitue un séchage poussé, destiné à développer des couleurs et des arômes produits par caramélisation.

II.11.2. Transferts physiques

Il y en a divers types : diminution de l'activité de l'eau (*a_w*), transition vitreuse, fusion de matières grasses, évaporation de constituants volatils, migration ou rétention de constituants volatils ou non. Ces transferts sont liés à la perte et aux évolutions de températures du produit au cours du séchage.

II.11.3. Phénomènes mécaniques

Nous citons le croûtage, les déformations, les fissures, etc. Ces changements ne sont que partiellement réversibles lors de la réhydratation. En un mot, le séchage industriel des aliments impose un besoin constant d'améliorer les coûts, l'efficacité du procédé et la qualité du produit final.

- ❖ Dans plusieurs pays, la culture commerciale des fruits et des légumes est limitée à certaines saisons et à certains endroits. Aussi, afin de satisfaire la demande pendant l'année entière et à l'échelle du pays, on doit recourir à divers procédés de conservation. Les techniques de séchage, comme procédé de conservation des aliments, semblent offrir une solution satisfaisante dans la plupart des situations propres aux économies en développement. L'élimination d'eau dans des produits alimentaires peut être réalisée par de différentes techniques afin de les conserver à long terme, grâce à la réduction du potentiel de prolifération des micro-organismes et les réactions chimiques indésirables ce qui permet de sauvegarder la qualité biologique des produits séchés (gout, arôme, odeur,) et ses propriétés nutritionnelles. (**Tableau V**)

Tableau V. Liste de différentes techniques de séchage appliquée sur des différents produits agricoles.

Le produit (matière végétale)	Mode de séchage	Les conditions du séchage	Résultats	Références
Les tubercules de pomme de terre.	Le séchage solaire.	L'épaisseur des rondelles est de 0.003 m avec un diamètre moyen de 4 cm.	<ul style="list-style-type: none"> - L'ensoleillement est un facteur climatique qui a une forte influence sur le procédé de séchage. - La durée du séchage dépend de plusieurs facteurs parmi lesquels on peut citer : la masse initiale du produit à sécher, la teneur en eau initiale du produit, la température de séchage, le débit (vitesse), L'humidité de l'air asséchant, la distribution de la température dans la chambre de séchage et les conditions climatiques. 	Lati et al ; 2015
Les abricots (Prunus armeniaca L.)	Séchage au four	Une température de séchage de 65°C /14 à 15h.	<ul style="list-style-type: none"> - La teneur en cendres est diminuée. - La teneur en caroténoïdes des abricots est diminuée. 	Eddine Derardja et Barkat ,2019

Les abricots (Prunus armeniaca L.)	Séchage traditionnel au soleil	Une température de séchage de 40°C /12 jours.	<ul style="list-style-type: none"> - Une acidité élevée pour les abricots séchés au soleil. - La teneur en cendres est élevée. - La teneur en caroténoïde des abricots est encore plus réduite. - Les paramètres : chaleur, L'oxygène et la lumière, ont un effet négatif sur les caroténoïdes des abricots. 	Eddine Derardja et Barkat ,2019
Fine tranche de l'orange sanguine (MORO)	Séchage par micro-onde	L'orange est découpée en fines tranches d'épaisseur de 0,5 à 1cm. 27 heures les puissances de 100-900 la température de 40-100°C.	<ul style="list-style-type: none"> - L'évolution de la perte de masse, le laps de temps le plus court est obtenu lors de séchage à 800 W et à 900 W (la stabilité de la masse est atteinte à 15,58 et 15,35 min, respectivement). - La dégradation des polyphénols et des flavonoïdes à des fortes puissances aux cours de séchage. 	Berri et Boujemia ,2014
Fine tranche de l'orange sanguine (MORO)	Séchage à l'étuve	Fines tranches d'épaisseur de 0,5 à 1 cm ont subi un séchage à l'étuve ventilée à des différentes températures (40-60°C).	<ul style="list-style-type: none"> - La perte en eau est beaucoup plus rapide (480 et 210min) a la température (80-100°C). - la teneur la lus élevée en polyphénols et les flavonoïdes est attribué à la température de 80°C. 	Brahimi et Dahmani ,2018

CHAPITRE III.
Généralités sur
l'infusion

III. Généralités sur l'infusion

1. Historique

Les infusions ou liqueurs de thé représentent la boisson préparée à partir des feuilles du théier, *Camellia sinensis*. L'histoire de cette boisson remonterait, selon la légende chinoise, à 3 000 ans avant Jésus-Christ (**Mossion, 2007**).

La légende chinoise la plus célèbre est celle de l'empereur Shen Nong, régnant autour de 2737 avant J.-Christ. Aujourd'hui encore, on considère ce personnage mythique au corps d'homme et à la tête de buffle comme le père de l'agriculture – on l'appelait aussi « Divin Laboureur » - et de la médecine traditionnelle chinoise. En effet, il expérimenta sur lui-même les différentes actions des plantes figurant dans la « *Materia Medica* de Shen Nong ». C'est ainsi qu'il découvrit les effets bénéfiques du thé, capable de le désintoxiquer de nombreuses plantes qu'il avait utilisées lors de ses expérimentations (**Kriepps, 2009**).

Par contre, elle n'est apparue en Europe qu'au XVII^{ème} siècle par la voie maritime mise en place par les Hollandais. Depuis, sa consommation n'a cessé d'augmenter pour devenir, de nos jours, la seconde boisson la plus consommée au monde après l'eau plate. Le marché du thé est un marché singulier étant donné que les principaux pays producteurs, la Chine et l'Inde, sont également les principaux consommateurs. Le premier pays exportateur est le Kenya avec seulement 9 % de la production mondiale (**Mossion, 2007**).



Figure 18. Répartition géographique des plantations de thé dans le monde.

2. Définition de l'infusion

L'infusion C'est la forme de préparation la plus simple, elle se prépare en versant de l'eau bouillante sur les parties de plantes fraîches ou séchées et les bien tremper afin d'extraire leurs principes médicinaux. Elle convient pour l'extraction de parties délicates ou finement hachées des plantes : feuilles, fleurs, graines, écorces et racines, ayant des constituants volatiles ou thermolabiles comme les huiles essentielles (**Benzeggouta, 2015 et Kraft et Hobbs, 2004**).

3. La tisane : Selon

Est une préparation traditionnelle d'herboristerie, réalisée à partir de plantes médicinales sèches ou de parties de celles-ci. Elle peut être préparée à partir de plantes unitaires ou bien d'un mélange de plantes. Généralement, les tisanes sont bues et constituent une boisson, médicamenteuse, utilisée à des fins thérapeutiques. Elles peuvent encore servir de boisson aux malades ou de véhicule pour l'administration de médicaments. Les tisanes peuvent également être employées en usage externe, sous la forme de lotions. (**Perry, 2013**).

Il existe plusieurs types de tisanes :

- **Tisane digestive** : après les repas ou au moment des troubles.
- **Tisane calmante** : à répartir dans la journée.
- **Tisane sédatif** : une partie à 18h, l'autre au coucher (attention cependant aux réveils nocturnes si la quantité absorbée au coucher est importante).
- **Tisane amère, apéritive** : 30 minutes avant le repas.
- **Tisane diurétique** : répartir dans la journée en excluant le coucher.

4. Types d'infusion

Les fruits, les légumes et les herbes sont des matières végétales courantes utilisées dans la préparation de l'eau infusée qui possède des propriétés bénéfiques grâce aux composés bioactifs. Elle pourrait être consommée comme boisson saine préférée sans effet secondaire car elle est fabriquée de sources naturelles (**Thiagarajah et al., 2019**).

4.1. Infusion d'herbes

Les herbes sont principalement appelées plantes herbacées de valeur avec leur qualité, aromatiques et médicinales. Les herbes ayant des qualités médicinales peuvent être appelées plantes médicinales. Elles sont utilisées depuis des siècles en raison de leurs propriétés curatives

ou préventives contre diverses maladies. L'un des moyens de consommer des herbes est l'infusion d'herbes dans l'eau.

L'infusion de plantes est l'une des boissons les plus couramment consommées dans le monde entier en raison de sa richesse en composés polyphénoliques, la principale matière végétale utilisée dans les infusions c'est (*Camellia sinensis*) ; Il est également connu sous le nom du thé vert ou noir (**Thiagarajah et al., 2019**).

4.1.a. L'infusion du thé

Le théier ou *Camellia* (L.) O. *Kuntze* (espèce) appartient au genre *Camellia* L. de la famille des theaceae de l'ordre des Theales. Il existe deux variétés principales, la variété *sinensis* (de Chine) utilisée plus particulièrement pour la production de thés verts avec des feuilles petites et vert olive et la variété *assamica* (d'Assam) utilisée pour les thés noirs à la pousse large (**Mossion, 2007**).

✓ Effets thérapeutiques

Le thé vert (*Camellia sinensis*) est considéré comme un remède grâce à ses nombreux bienfaits pour la santé ont été récemment validée par des méthodes scientifiques. Le thé vert contient un groupe des flavonoïdes appelés catéchines, qui semblent inhiber les infections virales en se liant à l'hémagglutinine du virus de la grippe et empêchant ainsi de pénétrer dans les cellules hôtes.

✓ **Autres utilisations** : Cancer, perte de poids, cholestérol, Alzheimer, etc. (**Mary Jones, 2015**).

➤ Types de préparations de thé

- Le thé en vrac : Disponible sous forme de préparations à base d'une seule herbe et de mélanges de thé.
- Les sachets de thé : Petits sachets dans lesquels sont enfermés des tisanes finement hachées.
- Thés instantanés : Préparation de thé qui se dissout facilement dans l'eau. (**Kraft et Hobes, 2004**)



Figure 19. Photographie de la galette de thé (Marthe Kriepps, 2009).

4.1.b. La camomille

Est une plante vivace de 30 à 35 centimètres de hauteur très commun dans les climats tempérés, dans les lieux secs, un peu sablonneux. Fleurs blanches, corolle Radiée formée de fleurons jaunes, calice hémisphérique. Elle est parmi les herbes à tisane les Plus populaire avec un goût délicieux ainsi qu'elle possède des vertus curatives (Bardeau, 2009). Comme les médecins chinois, arabe, hindou ont toujours utilisé la camomille, c'est une plante universelle (Fuinel, 2002).

Sa composition : Elle est composée des principaux constituants suivants : des matières azotées, des acides, des résines, des principes amers, des Oligo-élément, des tanins, de la coumarine et huile essentielle à base d'azulène (Fuinel, 2002).

✓ Usages

On peut utiliser la camomille sous diverses préparations. En infusion, la dose ne doit pas être inférieure à une cuillère à soupe de fleurs séchées par tasse, pour faire la tisane, laisser infuser de 15 à 20 minute au moins dans L'eau bouillante. A prendre après chaque repas et Avant de se coucher. Il est d'usage employé la plante toute seule, mais on peut avantageusement lui adjoindre de l'anis, de la sauge, de la menthe, elle donne une infusion agréable dont la synergie est remarquable. Pour l'usage externe, la décoction se prépare 20 a30 grammes de fleurs sèches.

On peut appliquer les fleurs ensuite directement sur les ulcères, gerçures, panaris et les maintenir en place à l'aide d'une compresse et d'une bande de gaze (Bardeau, 2009).

✓ Effet thérapeutique

La camomille est une spécialiste de l'appareil digestif. Son action antispasmodique et sédatrice, son activité tonique hydrique et intestinale, sa capacité à soulager les transits difficiles.

- Elle agit aussi favorablement sur les ulcères d'estomac.
- Elle stimule les règles des femmes en les rendant moins douloureuses (**Fuinel, 2002**).
- La décoction donne d'excellents résultats quand il s'agit de guérir certaines ulcérations de la peau, les panaris, les gerçures, les aphtes ...etc (**Bardeau, 2009**).
- La camomille est particulièrement recommandée pour des migraines chroniques et celles reliées aux règles (**Wilson, 2007**).



Figure 20. Photographie de la camomille (**Mary Jones, 2015**).

4.1.c La coriandre

Est une petite plante à tige creuse de la famille des Apiaceae, dans le genre : Coriandrum. Son nom scientifique est *Coriandrum sativum*. Agréable, aromatique et épicée (**Figure 21**), ses graines sont utilisées depuis l'Antiquité comme ingrédient de diverses médecines traditionnelles. La coriandre est originaire d'Europe du Sud-Est et est cultivée dans toute l'Europe.

Cette plante herbacée atteint jusqu'à 2 pieds de hauteur avec des tiges ramifiées, caractérisées par des feuilles vertes profondes, douces, glabres, bi ou trilobées.

La plante mature porte de petites fleurs rose clair qui se transforment ensuite en fruits (graines) de forme globulaire ou ovale. Les graines mesurent environ 4-6mm de diamètre avec une cavité centrale creuse contenant deux vitres verticales contenant certaines huiles essentielles. (**Mary Jones, 2015**).

✓ Usage

- **Collecte et préparation** : Disponible sous forme de teinture, de nourriture ou d'infusion. L'infusion peut être faite en mélangeant 150 ml d'eau bouillante avec de la poudre de coriandre. L'infusion peut être prise avant les repas. La dose recommandée pour la teinture est de 10-20 gouttes (**Mary Jones, 2015**).

✓ **Effet thérapeutique**

- **Propriétés antivirales** : Les monoterpènes, qui combattent les cellules virales. La coriandre est principalement utilisée pour l'aide aux personnes souffrant d'un rhume.

- **Autres utilisations** : Maux d'estomac, hémorroïdes, maux de dents, douleurs articulaires, intestin, les spasmes, etc (**Mary Jones, 2015**).



Figure 21. Photographie de la plante du coriandre (**Mary Jones, 2015**).

4.d. Le romarin

Le Romarin *Salvia rosmarinus* petite brisseau aromatique, a feuilles étroites et persistantes et a fleurs axillaires de couleur bleue (**Figure 22**), croit en abondance sur le littoral méditerranéenne. (**Fery-Hue, F, 1997**) Le romarin est largement utilisé comme épice dans la cuisine, surtout dans les plats méditerranéens. Il est également utilisé pour son parfum dans les savons et d'autres produits cosmétiques (**Mary Jones, 2015**).

✓ **Usage**

Il peut être utilisé dans la nourriture ou pour faire un thé. Le thé est préparé en mélangeant des feuilles fraîches ou séchées avec de l'eau bouillante pendant 10-15 minutes (**Mary Jones, 2015**).

✓ Effet thérapeutique

Améliorer la mémoire, soulager les douleurs et les spasmes musculaires, stimuler la croissance des cheveux, et soutenir les systèmes circulatoire et nerveux, ces usages ont été étudiés scientifiquement chez l'homme. Cependant, une étude sur l'homme a révélé que la consommation quotidienne à long terme de romarin prévient la thrombose. Il a été démontré que le romarin a des propriétés antioxydantes. Aident à combattre les infections virales. (Mary Jones, 2015).



Figure 22. Photographie de la plante du romarin (Mary Jones, 2015).

4.1.e. Le Gingembre

Le gingembre *Zingiberaceae* Plante vivace tropicale herbacée mesurant jusqu'à 3m de haut. Son rhizome est noueux et parfumé, peau beige pâle, chair jaune pâle juteuse et parfumée (Figure 23), il devient de plus en plus fibreux avec l'âge, couvert de feuilles écailleuses et pourvu à sa partie inférieure de racines cylindriques. Ses feuilles sont persistantes bisériées, longues, étroites pointues et longues de 20cm, Sur le marché, le gingembre se présente sous deux formes : le blanc (pelé) et le noir (non pelé) (Enzeggouta Nairouz, 2015).

✓ Usage

Le gingembre peut être transformé en thé en mélangeant une cuillère à soupe de gingembre râpé avec de l'eau bouillante, peut être acheté sous forme de nourriture, de boisson, de capsules et des comprimés (Mary Jones, 2015).

✓ Effet thérapeutique

Réduire leurs effets irritants sur l'estomac, réduire la toxicité de certaines autres plantes, combat le mal des transports et les nausées de la grossesse, La racine fraîche s'emploie comme sudorifique et comme expectorant lors des rhumes et les refroidissements, En chine le gingembre

frais est utilisé pour le traitement de la fièvre, la toux, et les nausées, il est utilisé contre les douleurs de l'estomac et la diarrhée. Son goût piquant est parfois utilisé pour masquer le goût désagréable d'autres médicaments (**Enzeggouta Naïrouz, 2015**).



Figure 23. Photographie du gingembre. (**Enzeggouta Naïrouz, 2015**).

4.1.f. La menthe

La menthe verte ou menthe crépue, *Menthaspicata* L. cv. *Viridis* ou *Mentha viridis* L. est une plante vivace de la famille des Labiées ou Lamiacées qui renferme 200 genres. Le genre *Mentha* englobe de 25 à 30 espèces. En Chine et en Egypte, la culture de la menthe verte remonte à plus de 2000 ans avant l'Ere Chrétienne. Par ses propriétés aromatiques et médicinales (**Figure 24**), la menthe verte a fait l'objet de plusieurs études de recherches (**Eddaya et al., 2015**).

✓ Usage

La menthe verte est très utilisée avec le thé qui est une boisson nationale et en tant que plante médicinale depuis des décennies (**Eddaya et al., 2015**). Le thé peut être réalisée en mélangeant les feuilles avec de l'eau chaude pendant 5 minutes (**Mary Jones, 2015**).

✓ Effet thérapeutique

Elle est utilisée pour apaiser les maux d'estomac ou pour faciliter la digestion. Parce qu'il a un effet calmant et engourdissant, il a été utilisé pour traiter les maux de tête, irritations de la peau, anxiété associée à la dépression, nausées, diarrhées, troubles menstruels des crampes et des flatulences. Il est également utilisé dans les massages de la poitrine, pour traiter.

Les symptômes du rhume. Dans les tubes à essai, la menthe poivrée tue certains types de bactéries, de champignons et de virus, ce qui suggère qu'il pourrait avoir un effet antibactérien,

des propriétés antifongiques et antivirales. Plusieurs études soutiennent l'utilisation de la menthe poivrée pour l'indigestion et le syndrome du côlon irritable. (Mary Jones, 2015).



Figure 24. Photographie des feuilles de la menthe (Mary Jones, 2015).

4.1.g. Le Thym

Le *Thymus vulgaris* (Thym) est une petite herbe botanique thérapeutique perpétuelle appartenant aux lamiacées qui est l'une des plus grandes familles et généralement des plantes à fleurs remarquables, avec environ l'aire de répartition de 220 genres et pratiquement 4000 espèces dans le monde. En outre, il est connu sous le nom de thym commun et il est indigène de la région méditerranéenne, de l'Afrique du Nord et de plusieurs régions de l'Asie, tout en faisant preuve d'une grande prudence dans les régions du monde entier. Cultivent généralement comme un sous-arbrisseau de 5 à 30 cm de hauteur, avec une racine ligneuse fibreuse et de petites feuilles grise verdâtre ayant été tranchée (**Figure 26**). Elle possède de nombreuses tiges dures et ramifiées (10-20 cm de haut) et des fleurs qui s'épanouissent de mai à septembre ayant un parfum distinctif peuvent être de couleur blanche ou violette. Due à son fort arôme qui est dû au thymol, elle est largement cultivée comme herbe culinaire (**Javed et al., 2013**).

✓ Usage

Le thym est utilisé sous forme de tisane, pommade, teinture, sirop ou par inhalation de vapeur (**Javed et al., 2013**) L'infusion de thym a été préparée à partir de plante, finement broyée et infusée dans de l'eau chaude (**Mărghitaș et al., 2010**).

✓ Effet thérapeutique

- Le thymol, a la capacité de tuer les bactéries et les parasites
- Traiter les maladies respiratoires (coqueluche, bronchite et asthme)
- Il est également utilisé pour prévenir le durcissement des artères, le traitement des maux de dents, des infections urinaires et de la dyspepsie (**Javed et al., 2013**).



Figure 25. Photographie du thym

4.2. L'infusion des Fruits

Les fruits sont également populaires dans la préparation des eaux infusées. Les fruits ou les légumes sont généralement infusés dans l'eau avec leur pelure car on pense que les peaux ont un potentiel médicinal ou nutritionnel et parfois même plus que la chair.

La fusion de la pulpe de fruit séchée du doum est également connue sous le nom de "boisson de doum" a été largement consommé par les Kenyans comme tonique pour la santé afin de réduire l'hyperlipidémie, l'athérosclérose et la glomérulosclérose dans le Turkana. L'une des méthodes, les fruits de doum broyés ont été trempés dans l'eau à une température douce (22 ± 2 °C) pendant 4, 8 et 12 h. Une autre méthode a été adoptée en faisant bouillir les fruits de doum écrasés dans de l'eau pendant 10 à 15 min.

Une autre étude a été réalisée sur deux variétés d'agrumes, à savoir la mandarine Satsuma et le Ponkan. Ils ont été utilisés comme médicaments traditionnels. Les échantillons étaient préparés en mélangeant de la poudre d'écorce d'agrumes avec 100 ml d'eau bouillante et laisser infuser pendant environ 30 min. des infusions de fruits telles que cerise, fraise, framboise, fruits des bois, abricot, cerise douce, myrtille, pomme, grenade, ananas et exotique.

Les fruits ont été analysés. Les infusions de fruits et de thé ont été préparées en ajoutant 2 g de chaque type d'échantillon à 200 ml d'eau déionisée qui avait été chauffé à 95 °C et laissé à tremper pendant 10 minutes (**Thiagarajah et al., 2019**).

5. Techniques de préparation

5.1. Décoction

Cette méthode est utilisée lorsque la ou les drogues utilisées sont constituées de racines, tiges, écorces, graines ou baies ; qui sont les parties les plus coriaces des plantes. Fractionnées en petits morceaux, les drogues sont placées dans de l'eau fraîche, qui sera portée à ébullition. Une fois celle-ci atteinte, il est nécessaire de laisser frémir à petit bouillon pendant 5 à 20 minutes selon les cas (**Figure 27**). La solution obtenue est appelée décocté. A noter que cette décoction peut être poursuivie par une infusion. (**Perry, 2013**).



Figure 26. Photographie de la décoction des tiges et feuilles (**Amroun, 2018**).

III.5.2. Macération

Elle consiste à mettre une plante ou partie de plante, dans de l'eau froide (macération aqueuse) ou une huile végétale (macération huileuse), pendant plusieurs heures, voire plusieurs Jours, pour permettre aux constituants actifs de bien diffuser (**Figure 27**). Elle convient pour l'extraction de plantes contenant du mucilage, comme les graines de lin ou les graines du plantain dessablent, leur forte concentration en amidon ou pectine peut causer une gélatinisation s'ils se préparent dans de l'eau bouillante. Également utilisée pour empêcher l'extraction de constituants indésirables qui se dissolvent dans l'eau chaude (**Kraft et Hobbs, 2004**). Elle concerne aussi les plantes dont les substances actives risquent de disparaître ou de se dégrader sous l'effet de la chaleur par ébullition (**Benzeggouta Naïrouz, 2015**).

Après chacune de ces opérations, il convient de filtrer convenablement la solution obtenue de façon à éliminer toute partie de plante indésirable se trouvant en suspension (poils, épines ou autres pouvant irriter la gorge lors de la consommation). Les préparations obtenues peuvent être

édulcorées, de préférence avec du miel, riche en vitamines et en oligoéléments. Un Quatrième mode de préparation existe, la digestion, mais ce procédé demeure rarement utilisé, car applicable grosso modo qu'à la racine de polygala et au rhizome de valériane.

Cette Technique consiste à maintenir en contact la drogue avec de l'eau potable à une température inférieure à celle de l'ébullition, mais supérieure à la température ambiante pendant une durée de 1 à 5 heures (Perry, 2013).



Figure 27. Préparation des macérâts (Amroun, 2018)

5.3. Infusions

L'infusion d'eau consiste à immerger du matériel végétal dans l'eau ou faire bouillir de l'eau pendant un certain temps pour en extraire les substances phyto-chimiques (Thiagarajah et al., 2019). C'est la méthode la plus courante utilisée. Les végétaux doivent être recouverts d'eau bouillante. La mise en contact dure de 5 à 15 minutes (Figure 28), dans un récipient muni d'un couvercle. Ce dernier détail a son importance, le couvercle permettant de limiter l'évaporation des fractions volatiles (condensation sur le couvercle et retombée dans le récipient) ainsi que d'améliorer le rendement de l'extraction grâce à la pression formée sous le couvercle. Il est également nécessaire que les drogues soient bien imbibées d'eau. Il faut donc les mélanger de temps en temps. La solution alors obtenue s'appelle infusion ou infusé. Attention cependant à ne pas prolonger le temps d'infusion, la tisane devenant astringente car trop chargée en tannins (Perry, 2013).



Figure 28. Infusion des feuilles (Amroune, 2018).

6. Propriétés bénéfiques de l'eau infusée selon (Thiagarajah et al., 2019)

L'eau infusée par les plantes se compose d'une valeur nutritive élevée et des propriétés bénéfiques pour la santé qui en font un produit sain préféré par la population mondiale, en particulier les personnes soucieuses de leur santé. Diverses études ont montré que les infusions de produits phytochimiques de fruits, de légumes ou d'herbes dans l'eau possèdent un potentiel thérapeutique qui peuvent apporter des avantages à l'humanité.

- ✓ Effet anti-glycation.
- ✓ Effet anti hyperglycémique.
- ✓ Effet anti-inflammatoire.
- ✓ Effet antimicrobien.
- ✓ Effet antihypertenseur.
- ✓ Effet chimio-préventif.
- ✓ Effet des antioxydants.
- ✓ Laxatif.
- ✓ Effet santhypertenseurs et hypolipidémiques.
- ✓ Améliorer le profillipidique.

- Boisson énergétique/hydratation

Les fruits sont principalement constitués de fructose et de glucose, le fructose est spécifiquement destiné au foie où il est principalement converti en glucose et en lactate. En fin de compte, cela modifiera la fonction hépatique en augmentant les niveaux de glucose et de lactate dans le corps.

Cela peut induire des effets considérables sur les muscles le métabolisme qui pourrait conduire à une amélioration des performances pendant l'exercice.

- Désintoxication

Les composés naturels peuvent être utilisés comme agents détoxifiants en éliminant les éléments toxiques du corps humain en activant l'enzyme de détoxification.

- ❖ Les infusions peuvent être préparées de différentes manières, ce pendant les herbes et les fruits sont des matières végétales courantes utilisés dans la préparation de l'eau infusée qui possède des propriétés bénéfiques grâce aux composés bioactifs. (**Tableau VI**).

Tableau VI. Liste de préparation des différentes infusions

Le produit (matière végétale)	Type d'infusion	Les conditions de l'infusion	Résultats	Références
Fleurs de <i>Lavandula officinalis</i> .	Infusion d'herbe.	Des sommités fleuries de lavande officinale séchées à l'ombre. Puis infusées pendant 10 minutes.	Les fleurs de lavande sont dotées d'un pouvoir diurétique modéré.	Elhajili et al., 2001
Thé vert (<i>Camellia sinensis</i>) et quelques écorces d'agrumes ombre de fontaine (<i>Citrus maxima</i>), Pamplemousse (<i>Citrus paradisi</i>), et l'Orange (<i>Citrus sinensis</i>).	Infusion d'herbe et des Fruits.	Séchage au soleil pendant 7 jours et broyage en fine poudre. Ensuite ils ont été trempés dans de l'eau bouillante pendant 5 minutes.	Cette étude a montré que les infusions de pamplemousse, l'orange et les pelures d'aloëseoneu des effets inhibiteurs plus importants sur ces enzymes monoamineoxydase (MAO) l'acétylcholine estérase que les infusions de thé vert.	Ademosun et; Oboh, 2014
Lippiamultiflora	Infusion d'herbe	Les infusions ont été préparées en versant un litre d'eau bouillante sur 20 g de poudre de feuilles. L'ensemble a été infusé pendant 5 minutes.	Les composants biochimiques, montrent que les feuilles des jeunes plants de Lippiamultiflora stimulante et rafraîchissante, avec une amertume plus prononcée que	Kan et al., 2010

celle des feuilles de plants adultes.

Les feuilles des jeunes plants ont une meilleure qualité organoleptique et nutritionnelle grâce à leur richesse en protéines polyphénols et la caféine.

Conclusion

Conclusion

Les fruits sont au cœur de notre alimentation. Ils nous apportent un ensemble précieux de nutriments dont notre corps a besoin. Parmi ces fruits, le genre *Citrus sinensis*. Les *Citrus sinensis* comme d'autres fruits et légumes sont une source importante de composés bioactifs ; ils nous aident à être en bonne santé, nous protègent de certaines maladies et peuvent en plus nous procurer du plaisir. Cet état de l'art nous a révélé que :

L'orange sanguine est considérée comme une bonne source de vitamines A, B et C et de composés antioxydants tel que les flavonoïdes, les anthocyanes, les tanins, ces derniers permettent de réduire les dangereux radicaux libres en raison de leur pouvoir oxydant très élevé. Leurs présences dans les aliments vont protéger les différentes molécules organiques comme l'ADN ou les graisses. Ils jouent également un rôle protecteur contre la cancérogenèse ou certaines maladies chroniques comme le diabète ou la maladie de Crohn. Ils créent donc un parfait équilibre entre le nombre de radicaux libres et d'antioxydants permettant alors un bon fonctionnement de l'organisme, d'où la balance oxydative, favorisant le processus de régénération naturelle des cellules. Cela permet également de lutter contre le stress, de préserver une parfaite vision, de s'imperméabiliser contre la pollution et de prévenir les maladies neurodégénératives (tel que l'Alzheimer).

D'autre part, le séchage est une méthode qui offre de nombreux avantages : conserver les aliments par inactivation des enzymes, détruire les micro-organismes, amortir le caractère saisonnier de certaines activités agricoles ou industrielles, diminuer la masse et le volume des aliments, réduire leur encombrement, faciliter leur transport et enfin donner une présentation, ou une fonctionnalité particulière au produit (flocons de purée de pomme de terre, café lyophilisé, etc.). L'optimisation de l'opération de séchage doit répondre à deux impératifs essentiels qui sont la consommation restreinte d'énergie nécessaire et la sauvegarde de la qualité biologique du produit séché (apparence, goût, odeur, arôme et propriétés nutritionnelles). C'est pour cela qu'il est recommandé d'utiliser cette méthode non conventionnelle par micro-onde puisque c'est une méthode de chauffage directe, elle préserve mieux les composés phénoliques et garde la qualité nutritionnelle de l'orange.

Conclusion

L'infusion est l'une des méthodes simple, faciles et rentable conçue pour l'extraction des molécules bioactifs tels que les antioxydants.

Ce travail proposé est une contribution à la valorisation de *Citrus sinensis* L. Le but de cette synthèse bibliographique sur le procédé non conventionnelle d'infusion des poudres séché de l'orange sanguine en vu d'optimisation du procédés d'infusion par la methode de plans d'expériançe.

Toute fois il serait souhaitable de compléter ce travail avec :

- ✓ Une expérimentation
- ✓ Nouvelles recherches sont nécessaire dans le but d'optimiser le sèchage et l'infusion.

Les Références Bibliographiques

- ❖ **Adda, R. (2011).** Effet du Spirotetramate (insecticide) sur un peuplement de cochenilles diaspines dans un verger d'agrumes à Rouïba. thèse de doctorat.
- ❖ **Ademosun, A. O., & Oboh, G. (2014).** Comparison of the inhibition of monoamine oxidase and butyrylcholinesterase activities by infusions from green tea and some citrus peels. *International Journal of Alzheimer's Disease*, 2014.
- ❖ **Amroune, S. E. (2018).** Phytothérapie et Plantes médicinales. Université des Frères Mentouri Constantine. Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie. Département Biologie Et Ecologie Végétale.
- ❖ **Anizon, J.Y., Benoît, L., & Michel, S. (2003).** Extraction assistée par micro-ondes Opération unitaire de génie industrie technique de l'ingénieur alimentaire (Article f3060).
- ❖ **Arlabosse, P. (2008).** Séchage industrielle. Technique de l'ingénieur évaporation et séchage article (Article J2455).
- ❖ **Bardeau, F. (2009).** La pharmacie du bon Dieu : Fernand Lanore.
- ❖ **Barreca, D., Bellocco, E., Ficarra, S., Laganà, G., Galtieri, A., Tellone, E., & Gattuso, G. (2018).** Analysis of C-Glycosyl Flavones and 3-Hydroxy-3-methylglutaryl-glycosyl Derivatives in Blood Oranges (*Citrus sinensis* (L.) *Osbeck*) Juices and Their Influence on Biological Activity *Advances in Plant Phenolics: From Chemistry to Human Health* (pp. 67-80): ACS Publications.
- ❖ **Benzeggouta, N. (2015).** Evaluation des Effets Biologiques des Extraits Aqueux De Plantes Médicinales Seules et Combinées. Université de Constantine, thèse de doctorat.
- ❖ **Berlinet, C. (2006).** Etude de l'influence de l'emballage et de la matrice sur la qualité du jus d'orange. Thèse de doctorat.
- ❖ **Berri, A et Boudjemia, S. (2014).** Etude comparative du séchage par micro-onde et l'étuve de l'orange sanguine Etude de cas : Infusion des poudres séchées de l'orange sanguine, Mémoire de master II l'université de Bejaia.
- ❖ **Bonazzi, C., et Bimbenet, J.-J. (2003).** Séchage des produits alimentaires Principes. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire*, 2(F3000).
- ❖ **Bonazzi, C., et Bimbenet, J.-J. (2008).** Séchage des produits alimentaires : Appareils et applications. *Techniques de l'ingénieur. Agroalimentaire*, 2(F3002).

Références bibliographiques

- ❖ **Bousbia, N. (2011).** Extraction des huiles essentielles riches en anti-oxydants à partir de produits naturels et de co-produits agroalimentaires. Thèse de doctorat.
- ❖ **Boussalia, A. (2010).** Contribution à l'étude de séchage solaire de produits agricoles locaux. Mémoire présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Magister en Génie Climatique, Alger.
- ❖ **Brahimi, N et Dahmani, H. (2018).** Cinétique de séchage de l'orange sanguine Moro *Citrus sinensis* L. *Osbeck* par méthode conventionnelle (étuve) Mémoire de master II université de Bouira.
- ❖ **Cebadera-Miranda, L., Domínguez, L., Dias, M. I., Barros, L., Ferreira, I. C., Igual, M., & Cámara, M. (2019).** Sanguinello and Tarocco (*Citrus sinensis* L. *Osbeck*): Bioactive compounds and colour appearance of blood oranges. *Food Chem* **270**: 395-402.
- ❖ **Chekroune, M. (2009).** Etude comparative de deux techniques de séchage (convection et micro-onde) par application des plans d'expériences. Cas de fruit de datte. Résumé de magister université Boumerdes.
- ❖ **Chen, H., Li, R., Lin, L., Guo, G., & Lin, J. M. (2010).** Determination of l-ascorbic acid in human serum by chemiluminescence based on hydrogen peroxide–sodium hydrogen carbonate–CdSe/CdS quantum dots system. *81*(4-5): 1688-1696.
- ❖ **Clotteau, M. (2002).** Production d'un jus d'orange par couplage traitement enzymatique et microfiltration tangentielle, ENSIA-SIARC.
- ❖ **Cronquist, A. and A. L. Takhtadzhian (1981).** An integrated system of classification of flowering plants, Columbia university press.
- ❖ **Curet, S. (2008).** Traitements micro-ondes et transferts de chaleur en miliemultiphasique. Thèse de doctorat. Université de Nantes.
- ❖ **Desmier, T. (2016).** Les antioxydants de nos jours: definition et applications, Thèse de doctorat, éditeur inconnu.
- ❖ **Dugrand-Judek, A. (2015).** Contribution à l'étude photochimique et moléculaire de la synthèse des coumarines et furocoumarines chez diverses variétés d'agrumes du genre *Citrus*.
- ❖ **Drouin, J. (2012).** Vitamine C : Model D'altruisme Moléculaire, Nouvel Espoir thérapeutique aujourd'hui Diplôme Universitaire Alimentation Santé Micronutrition. Université de Bourgogne.
- ❖ **Eddaya, T., Boughdad, A., Becker, L., Chaimbault, P., & Zaïd, A. (2015).** "Utilisation et risques des pesticides en protection sanitaire de la menthe verte dans le Centre-Sud du

Références bibliographiques

- Maroc (Use and risks of pesticides in sanitary protection of spearmint in south-central Morocco)." 6(3): 656-665.
- ❖ **Eddine Derardja, A. and M. Barkat.(2019).** Effect of traditional sun-drying and oven-drying on carotenoids and phenolic compounds of apricot (*Prunus armeniaca* L.).
 - ❖ **Elhajili, M., Baddouri, K., Elkabbaj, S., Meiouat, F., & Settaf, A. (2001).** "Effet diurétique de l'infusion de fleurs de Lavandula officinalis." 41(5): 393-399.
 - ❖ **El Mokretar, S., Miri, R., & Belhamel, M. (2004).** Etude du bilan d'énergie et de masse d'un séchoir de type serre applications au séchage des produits agro-alimentaires. Revue des énergies Renouvelables, 7, 109-123.
 - ❖ **Farhat, A. (2010).** Vapo-diffusion assistée par micro-ondes : conception, optimisation et application. Thèse de doctorat.
 - ❖ **Ferhat, M. A. (2007).** Extraction sans solvant assistée par micro-ondes des huiles essentielles des citrus d'Algérie. compréhension, application et valorisation. Thèse de doctorat.
 - ❖ **Fery-Hue, F. (1997).** "Le romarin et ses propriétés: un traité anonyme faussement attribué à Aldebrandin de Sienne." 115(457/458 (1/2): 138-192.
 - ❖ **Fuinel, G. (2002).** Arbres et plantes médicinales du jardin. Fernand Lanore.
 - ❖ **Gomez. F. et Khashayar. S. (2012).** Mise en forme des poudres Séchage par atomisation. Principes, technique de l'ingénieur évaporation et séchage article (J2256).
 - ❖ **Guilbert, S. et Raoult-Wack, A. L. (1990).** "Séchage partiel des fruits et légumes par immersion dans des solutions concentrées."
 - ❖ **Guillouty, A. (2016).** Plantes médicinales et antioxydants, Université Toulouse III-Paul Sabatier. Thèse de doctorat.
 - ❖ **Guo, Q., Sun, D. W., Cheng, J. H., & Han, Z. (2017).** Microwave processing techniques and their recent applications in the food industry. Trends in Food Science & Technology, 67, 236-247.
 - ❖ **Haddad, A. (2001).** Transferts thermiques. Dar-El-Djazairia, Alger, p87-98.
 - ❖ **Haya, S., Bentahar, F., & Trari, M. (2019).** Optimization of polyphenols extraction from orange peel. Journal of Food Measurement and Characterization, 13(1), 614-621
 - ❖ **Hayat, K., Hussain, S., Abbas, S., Farooq, U., Ding, B., Xia, S & Xia, W. (2009).** Optimized microwave-assisted extraction of phenolic acids from citrus mandarin peels

Références bibliographiques

and evaluation of antioxidant activity in vitro. *Separation and Purification Technology*, 70(1), 63-70.

- ❖ **Hercberg, S., Galan, P., Preziosi, P., Bertrais, S., Mennen, L., Malvy, D., & Briançon, S. (2004).** The SU. VI. MAX Study: a randomized, placebo-controlled trial of the health effects of antioxidant vitamins and minerals. *Archives of internal medicine*, 164(21), 2335-2342.
- ❖ **Huet, R. (1991).** "Les huiles essentielles d'agrumes."
- ❖ **Isabelle Escartin .2008.** Guide des agrumes, Institut Klorane.
- ❖ **Jangam, S. V., Law, C. L., & Mujumdar, A. S. (2010).** Drying of foods, vegetables and fruits.
- ❖ **Javed, H., Erum, S., Tabassum, S., & Ameen, F. (2013).** An overview on medicinal importance of *thymus vulgaris*. *Journal of Asian Scientific Research*, 3(10), 974.
- ❖ **Kane, F., Yao-Kouame, A., Konan, A. A., & N'guessan, A. K. N. (2010).** "Dosage De Quelques Composantes Biochimiques Des Feuilles De Lippiamultiflora (Verbénacée) a Deux Stades De Développement Et Qualité des Infusions, En Fonction De La Dose D'urée." 22(3): 227-235.
- ❖ **Kraft, K., & Hobbs, C. (2004).** *Pocket guide to herbal medicine*. Georg Thieme Verlag.
- ❖ **Khan, M. K., Abert-Vian, M., Fabiano-Tixier, A. S., Dangles, O., & Chemat, F. (2010).** Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel. *Food Chemistry*, 119(2), 851-858.
- ❖ **Koechlin-Ramonatxo, C. (2006).** Oxygène, stress oxydant et suppléments antioxydantes ou un aspect différent de la nutrition dans les maladies respiratoires. *Nutrition clinique et métabolisme*, 20(4), 165-177.
- ❖ **Kriepps, M. (2009).** Le thé: Origine, Actualité et potentialités. Thèse de doctorat. UHP- Université Henri Poincaré Nancy 1 faculté de pharmacie
- ❖ **Labeled, A. (2012).** Contribution à l'étude des échanges convectifs en régime transitoire dans les Capteurs Solaires Plans à air; Application au Séchage des produits agro-alimentaires, Université Mohamed Khider Biskra.
- ❖ **Lagha-Benamrouche, S., Addar, L., Boudershem, H., Tani, S., & Madani, K. (2018).** Caractérisations chimiques des écorces d'oranges, identification par GC-MS et évaluation du pouvoir antioxydant de leurs huiles essentielles. *Nature & Technology*, (18), 28-35.

Références bibliographiques

- ❖ **Lahmari, N., Fahloul, D., & Azani, I. (2012).** Influence des méthodes de séchage sur la qualité des tomates séchées (variété Zahra). *Revue des Energies Renouvelables*, 15(2), 285-295.
- ❖ **Lati, M., Boughali, S., Bouguettaia, H., Mennouche, D., & Bechki, D. (2015).** Etude expérimentale de la cinétique de séchage de la pomme de terre.
- ❖ **Lucchesi, M. E. (2005).** Extraction Sans Solvant Assistée par Micro-ondes Conception et Application à l'extraction des huiles essentielles .
- ❖ **Mărghitaș, L. A., Bobiș, O., & Tofalvi, M. (2010).** The effect of Plant supplements on the development of Artificially weaken bee families. *Scientific Papers Animal Science and Biotechnologies*, 43(1), 402-406.
- ❖ **Marin, M. M et René .(2000).** Lyophilisation. *Techniques de l'Ingénieur .opération unitaire de génie industriel alimentaire (Ref :F3240).*
- ❖ **Mary Jones-. (2015).** Herbal Antivirals_ Heal Yourself Faster, Cheaper and Safer - Your A-Z Guide to Choosing, Preparing and Using the Most Effective Natural Antiviral Herbs- Herbal Medicine.
- ❖ **Mekkioui, M. et R. Berbaoui. (2014).**Bio-écologie de la Mineuse des agrumes *Phyllocnistis citrella* sur oranger dans la région de Tlemcen. Thèse de doctorat.
- ❖ **Meziane, D. (2014).** Extraction assistée par micro-ondes des antioxydants à partir du *Rosmarinus officinalis L.* et de ses coproduits. Thèse de doctorat.
- ❖ **M'Hiri, N. (2015).** Étude comparative de l'effet des méthodes d'extraction sur les phénols et l'activité antioxydante des extraits des écorces de l'orange « Maltaise demi sanguine » et exploration de l'effet inhibiteur de la corrosion de l'acier au carbone. Thèse de doctorat. Université de Lorraine.
- ❖ **Moulehi, I., Bourgou, S., Ourghemmi, I., & Tounsi, M. S. (2012).** Variety and ripening impact on phenolic composition and antioxidant activity of mandarin (*Citrus reticulata Blanco*) and bitter orange (*Citrus aurantium L.*) seeds extracts. *Industrial Crops and Products*, 39, 74-80.
- ❖ **Mossion, A. (2007).** Étude de la composition minérale et organique des liqueurs de thé et de leurs caractéristiques organoleptiques: Influence des paramètres physico-chimiques de l'eau .Thèse de doctorat. Université de Toulouse.
- ❖ **Muanda, F. N. (2010).** Identification de polyphénols, évaluation de leur activité antioxydante et étude de leurs propriétés biologiques. Thèse de doctorat en Chimie organique. Ecole doctorale Sesames Université Paul Verlaine-Metz, 294.

Références bibliographiques

- ❖ **Nguyen, T. H. (2015).** Étude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux.
- ❖ **Nguyen, T. T. (2018).** Éco-extraction et encapsulation de pigments caroténoïdes et anthocyanes à partir de plantes tropicales.
- ❖ **Nicolas, J. (2014).** Phase exploratoire à la mise en place d'un schéma d'approvisionnement de plants d'agrumes sains et authentiques en Guyane, Thèse de doctorat. ISTOM.
- ❖ **Paraloran, J. (1971).** Les agrumes, Maisonneuve and Larose
- ❖ **Perry, M. (2013).** Herboristerie: enquête sur les principales demandes à l'officine, Université de Lorraine.
- ❖ **Penchev, P. I. (2010).** Étude des procédés d'extraction et de purification de produits bioactifs à partir de plantes par couplage de techniques séparatives à basses et hautes pressions.
- ❖ **Perino, S. and F. Chemat (2015).**"Chauffage micro-ondes comme éco-procédé en industrie agroalimentaire." et hautes pressions. INPT.
- ❖ **Pincemail, J., Degrune, F., Voussure, S., Malherbe, C., Paquot, N., & Defraigne, J. O. (2007).** Effet d'une alimentation riche en fruits et légumes sur les taux plasmatiques en antioxydants et des marqueurs des dommages oxydatifs. *Nutrition clinique et métabolisme*, 21(2), 66-75.
- ❖ **Ramful, D., Bahorun, T., Bourdon, E., Tarnus, E., & Aruoma, O. I. (2010).** Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian citrus fruits: Potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology*, 278(1), 75-87.
- ❖ **Sandrine Perino et Farid Chmat. (2015).** Chauffage micro-ondes comme éco-procédé en industrie agroalimentaire Opération unitaire de génie industrie technique de l'ingénieur article (F3070).
- ❖ **Sava, C., Sirbu, R., & Dumitrescu, C. (2006).** Analyse qualitative et quantitative des anthocyanes dans des produits naturels. *Scientific Study & Research*, 7, 785-798.
- ❖ **Serge, D. (1999).** Guide des aliments p59-60.
- ❖ **Shofinita, D. and Langrish T. A.J. (2014).** Spray drying of orange peel extracts: Yield, total phenolic content, and economic evaluation. **139**: 31-42.
- ❖ **Souci, S. W, Fachmann.W., & Kraut.H. (1994).** Fruit In: Food Composition 5eme Ed: CRD Press.London. Press 801-980.

Références bibliographiques

- ❖ **Tadeo, F. R., Cercos, M., Colmenero-Flores, J. M., Iglesias, D. J., Naranjo, M. A., Rios, G., & Ollitrault, P. (2008).** Molecular physiology of development and quality of *citrus*. *Advances in Botanical Research*, 47, 147-223.
- ❖ **Thiagarajah, K., Ong, M. K., Teh, L. K., & Lye, H. S. (2019).** Plants Infused Water as Preferred Healthy Drinks. In *Bottled and Packaged Water* (pp. 367-402). Woodhead Publishing.
- ❖ **Tolba, I. (2016).** Détermination d'un méta-paramètre pour l'estimation de la capacité antioxydante globale des thés, tisanes et jus, Université du Québec à Trois-Rivières.
- ❖ **Vasseur, J. (2009).** Séchage : principe et calculs d'appareils-séchage convectif par air chaud (partie1). *Techniques de l'ingénieur. Opérations unitaires : Evaporation et séchage. Base documentaire (Ref : article : j2451).*
- ❖ **Vasseur, J. (2011).** Autres modes de séchage que l'air chaud (partie 1) *Techniques de l'ingénieur. Opérations unitaires : Evaporation et séchage. Base documentaire (Ref article : J2453).*
- ❖ **Wilson, M. (2007).** Fleurs comestibles: du jardin à la table, Les Editions Fides.

Annexes

Annexe I : variétés, production, utilisation de *Citrus sinensis* (L.)

Tableau VI. Principales variétés d'oranges de l'espèce *Citrus Sinensis* (L.) *Osbeck* : lieux de production et utilisation courante (d'après **Berlinet, 2006**)

Catégorie	Variété	Lieu de production	Utilisation principale
Navels	Bahianinha	Brésil	
	Navelate	Espagne, Maroc, Afrique du Sud	
	Naveline	Espagne, Portugal, Maroc	Fruits debouche
	Washington ou Bahia	Brésil, Californie, Floride, Mexique, Région Méditerranéenne	
Sanguines	Maltaise	Tunisie, Maroc	Fruits debouche
	Moro	Italie, Sicile	Jus
	Sanguinelli	Espagne	Fruits debouche
Blondes	Pera	Brésil	Jus
	Pineapple	Floride, Argentine, Brésil, Mexique, Inde	Jus
	Hamlin	Brésil, Floride, Maroc, Turquie, Chine	Fruits de bouche
	Shamouti	Israël, Turquie, Afrique du Sud, Egypte, Chine, Inde	
Douceâtres	Succari	Egypte	Fruits de bouche Fruits de bouche
	Lima	Brésil	

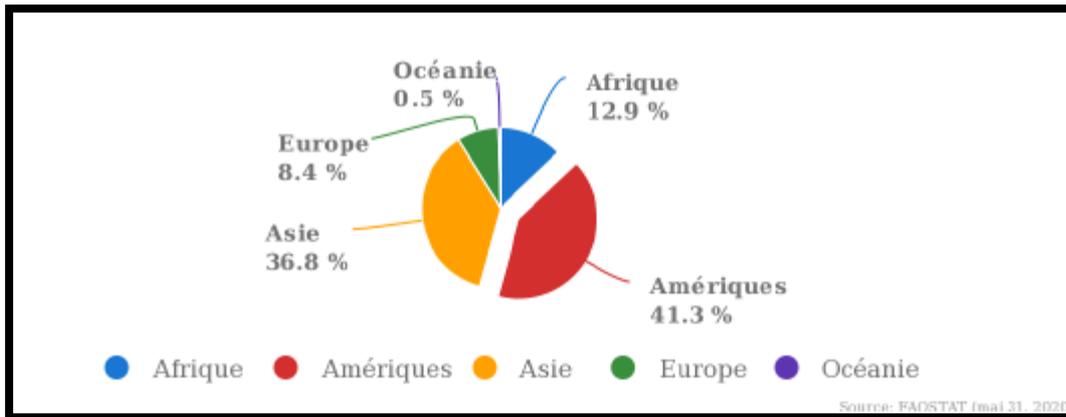


Figure 29. Part de la production d'orange par region (FAO, 2020)

Annexe II : instrumentations et spectre électromagnétiques des micro-ondes.

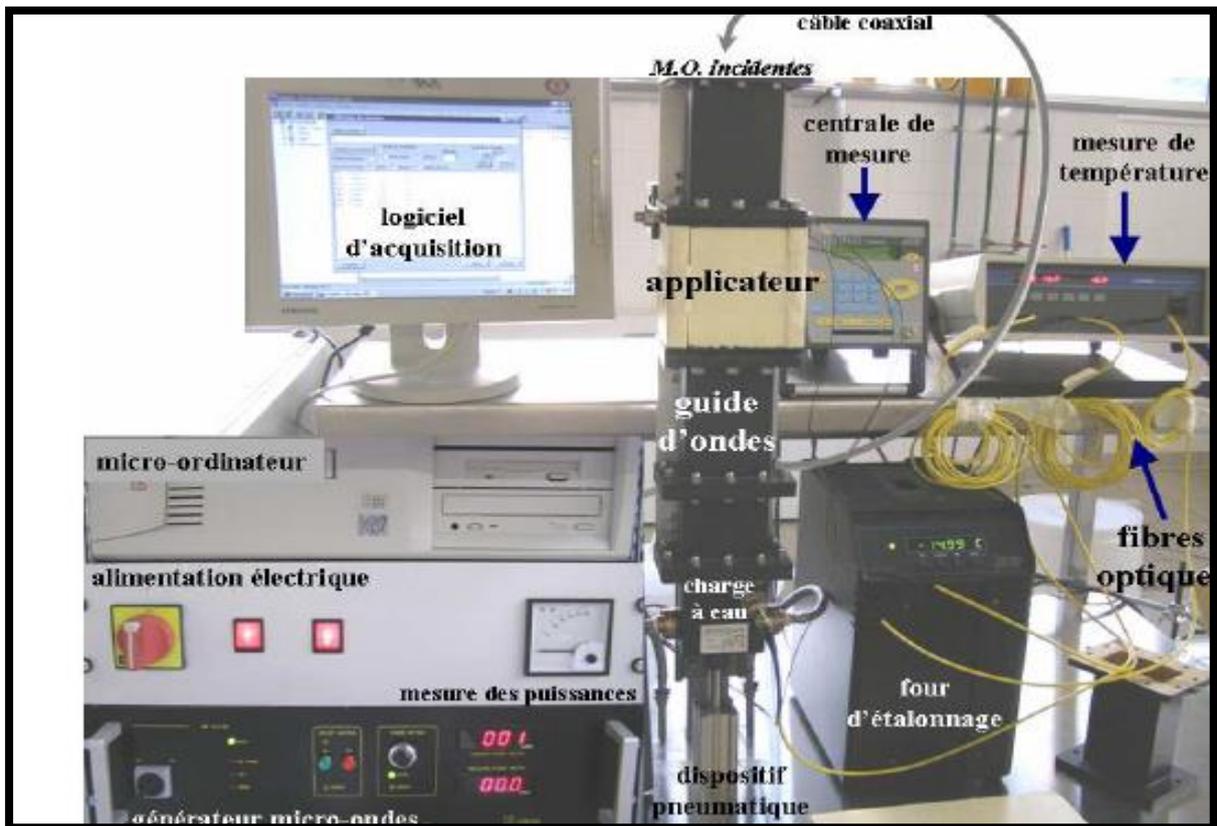


Figure 30. Vue d'ensemble du dispositif pilote micro-onde avec les diverses instrumentations (Curet, 2008)

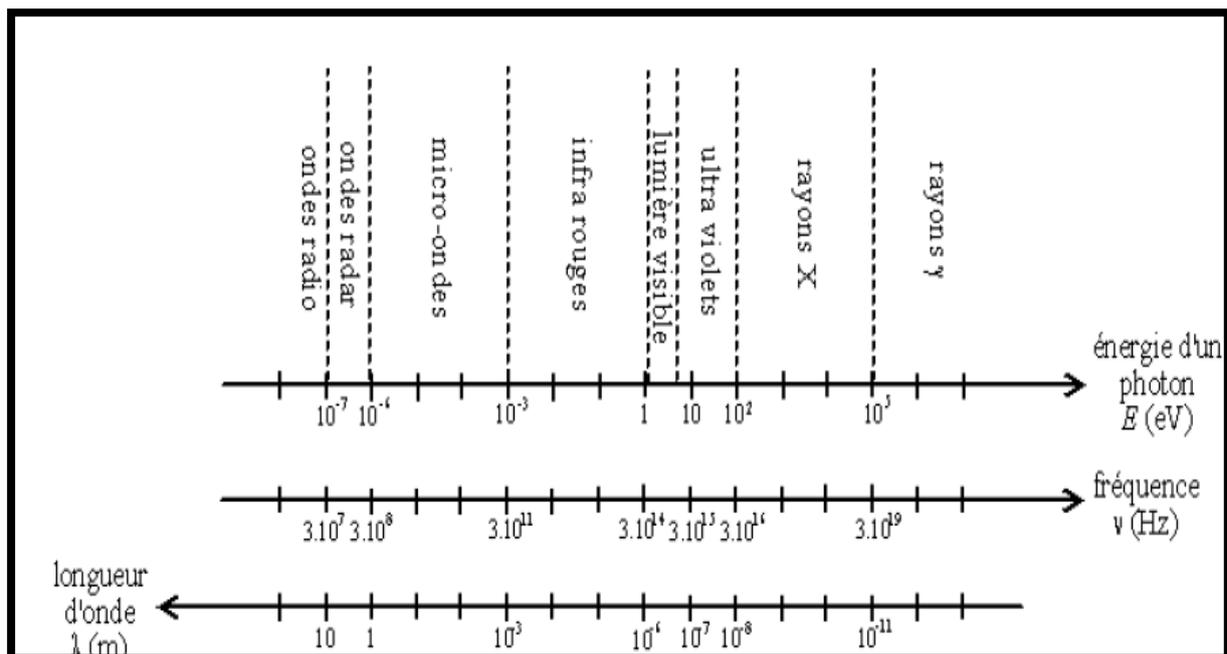


Figure 31. Spectre des ondes électromagnétiques (Curet, 2008)

Résumé

Le travail abordé rentre dans le cadre général de l'orange sanguine (*Citrus sinensis* L. *Osbeck*), qui appartient aux oranges douces, elle est la plus répondeuse dans notre pays. Elle est considérée comme une bonne source de nutriments et de composés antioxydants. Les antioxydants les plus connus dans l'orange sont le β -carotène (provitamine A), l'acide ascorbique (vitamine C), et les polyphénols. Ceux-ci incluent les flavonoïdes et les anthocyanes.

Le travail inclus aussi le séchage, qui est un procédé très ancien de conservation des produits agricoles et alimentaires ; il est considéré comme une technique qui offre de nombreux avantages tels que la croissance de la durée de conservation des produits alimentaires. En outre, les différentes méthodes de séchage parmi lesquelles on cite le séchage par micro-onde qui semble être le procédé le plus avantageux.

En dernier, on a abordé les techniques de préparation des infusions des plantes et leurs effets bénéfiques sur la santé.

Mots clés : l'Orange sanguine, les anthocyanes, le séchage, micro-onde, l'infusion.

Abstract

The work approached falls within the general framework of the blood orange (*Citrus sinensis* L. *Osbeck*), which belongs to the sweet oranges, which is the most answered in our country. It is considered a good source of nutrients and antioxidant compounds; the best-known antioxidants in the orange are β -carotene (provitamin A), ascorbic acid (vitamin C), and polyphenols. These include flavonoids and anthocyanins.

This work includes drying, which is a very ancient process for preserving agricultural and food products; it is considered a technique that offers many advantages such as increasing the shelf life of food products. In addition, the different methods of drying among them, there is microwave drying which seems to be the most advantageous procedure compared to the others.

Finally, techniques for preparing herbal infusions and their beneficial effects on health were discussed

Keywords: Blood orange, anthocyanins, drying, microwave, infusion.

الملخص

يندرج العمل الذي تم تناوله في الإطار العام للبرتقال الأحمر (*Citrus sinensis* L. *Osbeck*) الذي ينتمي إلى البرتقال الحلو، وهو الأكثر رواجاً في بلدنا. يعتبر مصدرًا جيدًا للعناصر الغذائية والمركبات المضادة للأكسدة؛ أكثر مضادات الأكسدة المعروفة في البرتقال هي بيتا كاروتين (بروفيتامين أ) وحمض الأسكوربيك (فيتامين سي) والبوليفينول. وتشمل هذه الأخيرة على الفلافونويد والأنثوسيانين. يشمل هذا العمل التجفيف، وهي عملية قديمة جدًا لحفظ المنتجات الزراعية والغذائية؛ وهي تقنية تقدم العديد من المزايا مثل زيادة مدة صلاحية المنتجات الغذائية بالإضافة إلى ذلك، تم ذكر طرق التجفيف المختلفة من بينها التجفيف بالميكروويف الذي يبدو الإجراء الأفضل مقارنة بالطرق الأخرى أخيرًا، تمت مناقشة تقنيات تحضير امناقيع العشبية وفوائدها الصحية.

. **الكلمات المفتاحية:** برتقال الدم، الأنثوسيانين، التجفيف، الميكروويف، النقع .