

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

Université A. MIRA - Bejaia

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des sciences alimentaires

Spécialité conservation des aliments et emballages



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

**Effet du séchage et son impact sur les propriétés
physico-chimique et biologique des écorces d'agrumes**

Présenté par :

CHABANE Missipssa & BOUCHOUCHA Ramzi

Soutenu le : 26/06/2023

Devant le jury composé de :

Mme. CHOUGUI Nadia	Professeur	Président
Mme. BRAHMI Nabila	MCA	Encadreur
Mme. ISSAADI Ouarda	MAA	Examinatrice
Mlle. BOUIZAR Roukia	Doc	Co-encadrant

Année universitaire : 2022 / 2023

Remerciements

*Tout d'abord, nous exprimons notre gratitude envers **Dieu le tout-puissant** qui nous a accordé la santé, le courage et la patience nécessaires pour mener à bien ce modeste projet.*

*Nous souhaitons adresser nos sincères remerciements à notre promotrice, **Mme BRAHMI Nabila**, pour ses conseils avisés et surtout pour avoir proposé ce sujet et l'avoir pris en charge.*

*Nous tenons également à exprimer notre profonde gratitude à la doctorante **Mlle Bouizar** pour son précieux soutien et son aide précieuse tout au long de ce travail. Ses contributions ont été d'une importance cruciale et nous lui en sommes très reconnaissants.*

Nous remercions les membres du jury, notamment la présidente

***Mme CHOUGUI Nadia** et l'examinatrice*

***Mme ISSAADI Ouarda**, d'avoir accepté d'évaluer ce travail.*

*Nous exprimons également notre gratitude envers toute l'équipe du laboratoire **SNC PREVOLAB** pour leur collaboration et leur soutien inestimables.*

Nous sommes profondément reconnaissants envers tous les enseignants pour leur suivi, leurs conseils et leurs orientations tout au long de ce projet.

Enfin, nous tenons à remercier chaleureusement nos chers camarades pour leur soutien et leur grande serviabilité.

Dédicaces

*Je dédie ce travail à mes précieux parents
qui m'ont constamment encouragé et
soutenu tout au long de mes années
d'études.*

*À mon cher ami et camarade, **Missipssa**, ainsi
qu'à sa famille, pour leur soutien
inconditionnel tout au long de ce travail.*

*À mes adorables sœurs **Lisa** et **Lina**, qui ont
toujours été présentes pour moi.*

*À mes camarades et à mes amis **Youdas**, **Îles**,
Amine, **Lydia** et **Massi***

*Et à toutes les personnes qui m'ont apportés
leur aide, de près ou de loin, tout au long de
ce travail.*

RAMZI

Dédicaces

Je souhaite dédier ce modeste travail à ma famille, notamment à mes chers parents qui m'ont apportés un soutien précieux tout au long de mon parcours universitaire.

*Également, je dédie ce travail à mon frère, **Massinissa**, ainsi qu'à mes sœurs **Mounia**, **Kamelia** et **Rima**, qui ont toujours été présents pour moi.*

*Je tiens à mentionner mon ami et camarade, **Ramzi**, qui a été une source constante de soutien et de collaboration.*

*Je souhaite également adresser mes remerciements à mes chers camarades et à mes amis **Moula**, **Loucif**, **Billal** et **Mahmoud**.*

Enfin, je tiens à exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui, de près ou de loin, m'ont apportés leur aide tout au long de ce travail.

MISSIPSSA

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	1
PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE	3
CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES AGRUMES	4
I.1. Classification botanique des agrumes	5
I.2. Description morphologique	7
I.3. Composition chimique des écorces d'agrumes	9
I.5. Description de l'orange sanguine	10
I.6. Description de l'orange Thomson	11
I.7. Propriétés biologiques des écorces d'agrumes	12
a. Activité antioxydante	12
b. Activité antibactérienne	12
c. Activité antimicrobienne	13
d. Activité anticancéreuse	13
e. Activité antiallergique	13
f. Activité anti-inflammatoire	13
g. Activité thérapeutique	14
h. Activité antifongique	14
CHAPITRE II : GENERALITES SUR LE SECHAGE	15
II.1. Définition du séchage	16
II.2. Objectif du séchage	16
II.3. Le principe du séchage	17
II.4. Procédé de séchage	18
II.5. La cinétique de séchage	19
II.5.1. Les paramètres influents sur la cinétique de séchage	20
II.5.2. Avantages et inconvénients du séchage	20
II.6. Description des méthodes de séchage	21
A l'étuve	21
A l'air libre	21
PARTIE PRATIQUE	22
CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES	23
III.1. Matériel végétal	24

III.2. Méthodes	24
III.4. Détermination de l'humidité.....	25
III.5. Séchage.....	26
III.6. Broyage et tamisage.....	27
III.7. Détermination des propriétés physico-chimiques des poudres d'écorces d'agrumes	27
III.8. Détermination des propriétés techno fonctionnelles des poudres d'écorces d'agrumes	27
III.9. Détermination des propriétés phytochimiques des poudres d'écorces d'agrumes..	27
III.10. Détermination des activités antioxydantes des poudres d'écorce d'agrumes	31
III.11. Analyses sensorielles.....	35
CHAPITRE IV : Résultats et discussion.....	37
IV.1. Taux d'humidité des poudres d'écorce d'orange sanguine et Thomson après séchage	38
IV.2. La solubilité.....	39
IV.3. La capacité de rétention d'eau en pourcentages	40
IV.4. Teneur en composés phénoliques totaux	42
IV.5. Teneur en flavonoides	44
IV.6. Teneur en flavonols.....	46
IV.7. Teneur en tanins	47
IV.8. Pouvoir réducteur	49
IV.9. Pourcentage d'inhibition du radical DPPH+	51
IV.10. Pourcentage d'inhibition du radical ABTS+	53
CONCLUSION.....	58
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	61
ANNEXES.....	71
Résumé	76

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Coupe transversale schématique d'une orange (a) et détail (b).....	7
Figure 2 : Production mondiale des agrumes par pays 2019/2020	10
Figure 3 : Coupe transversale et schéma explicatif d'une orange sanguine.....	11
Figure 4 : Orange Thomson navel	11
Figure 5 : Conditions du séchage.....	17
Figure 6 : Variation de teneur en eau du produit (X) en fonction du temps.....	19
Figure 7 : Méthodologie de préparation et de séchage des écorces d'agrumes.....	25
Figure 8 : Dosage des composés phénoliques totaux	28
Figure 9 : Dosage des flavonoides	29
Figure 10 : Dosage des Flavonols.....	30
Figure 11 : Protocole de dosage des tanins	31
Figure 12 : Détermination du pouvoir réducteur des poudres d'écorce d'agrumes	32
Figure 13 : Protocole de détermination d'activité anti-radicalaire DPPH+	33
Figure 14 : Protocole de détermination de l'activité anti-radicalaire ABTS+	34
Figure 15 : La solubilité des poudres d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures	39
Figure 16 : La rétention d'eau des poudres d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures.....	41
Figure 17 : Teneur en composés phénoliques totaux des extraits éthanoliques d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures.....	42
Figure 18 : Teneurs en flavonoïdes des extraits d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures.....	44
Figure 19 : Teneur en flavonols des extraits d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures.....	46
Figure 20 : Teneur en tanins des extraits d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures.....	47
Figure 21 : Pouvoir réducteur des différents extraits d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures.....	49
Figure 22 : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH+ des différents extraits d'écorce d'orange sanguine et Thomson séchés à l'air libre et à l'étuve à différentes températures	51
Figure 23 : Pourcentage d'inhibition du radical ABTS'+ des différents extraits d'écorce d'orange sanguine et Thomson séchés à l'air libre et à l'étuve à différentes températures	53
Figure 24 : Profil sensorielle du yaourt.....	55
Figure 25 : Profil sensoriel (Identification du fruit) du yaourt.....	56
Figure 26 : Préférences générales des sujets	57
Figure 27 : Déroulement de l'analyse sensoriel.....	75

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I : Taxonomie des Citrus et genres apparentés de la sous-famille des Aurantioideae..	6
Tableau II : Composition chimique globale d'écorce de quelques agrumes exprimée en g pour 100g base sèche.	9
Tableau III : Activités biologiques de quelques composés phénoliques.....	14

LISTE DES ANNEXES

Annexe 1 : Courbe d'étalonnage des polyphénols	72
Annexe 2 : Courbe d'étalonnage des flavonoïdes	72
Annexe 3 : Courbe d'étalonnage des flavonols	72
Annexe 4 : Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur	73
Annexe 5 : Fiche d'appréciation sensorielle du yaourt.....	74

INTRODUCTION

INTRODUCTION

Les agrumes sont largement cultivés dans le monde pour être utilisés principalement dans la fabrication de produits alimentaires tels que les boissons, les fruits en conserve et les confitures (Cai et al., 2020). Leurs avantages nutritionnels sont reconnus et de nombreuses études ont confirmé leurs effets bénéfiques sur la santé, notamment pour les maladies dégénératives comme les maladies cardiovasculaires, le cancer, l'hypertension et la réduction de la glycémie (Park et Shin, 2021).

L'industrie alimentaire à base d'agrumes est en constante croissance, ce qui entraîne la production de sous-produits tels que les écorces d'agrumes. Ces dernières représentent environ 50 à 60% du poids total des fruits et il est donc primordial de trouver des façons de les valoriser. Les écorces d'agrumes contiennent différents ingrédients actifs, tels que des fibres alimentaires, de la pectine, des protéines, des pigments, des flavonoïdes et des huiles essentielles, ce qui les rend intéressantes pour les applications alimentaires industrielles. En outre, les composés bioactifs présents dans les écorces d'agrumes ont été étudiés pour leur potentiel d'application dans diverses industries, y compris les industries alimentaires, cosmétiques et pharmaceutiques. Ces composés ont des propriétés biologiques telles que l'activité antioxydante, antimicrobienne, anticancéreuse, anti-inflammatoire et antidiabétique, ce qui les rend encore plus attractifs pour des applications industrielles. (Wedamulla., 2022).

Le séchage consiste en l'élimination de l'eau contenue dans un corps humide (solide ou liquide) par évaporation, aboutissant à l'obtention d'un produit final sous forme solide. Cette définition peut également inclure l'élimination par évaporation de toute substance volatile présente dans un mélange (Koné et al., 2013). Le séchage représente l'une des opérations unitaires les plus énergivores dans les industries de transformation. En effet, un processus de séchage nécessite une quantité importante d'énergie pour chauffer efficacement le produit et permettre le changement d'état de l'eau (Feng et al., 2012).

Le but de notre travail est de déterminer la température de séchage optimale pour préserver au mieux les teneurs des composés phénoliques des écorces d'orange sanguine (*Citrus Sinensis L*) et de Thomson (*Washington Navel*). Nous souhaitons ainsi souligner l'importance du séchage des écorces d'agrumes.

Pour cela, nous avons étudiés les effets de différentes méthodes de séchage, notamment le séchage à l'air libre et le séchage dans l'étuve à différentes températures, sur les composés phénoliques des écorces d'orange (Thomson et sanguine).

Pour atteindre cet objectif, nous avons suivi l'échéancier suivant :

Tout d'abord, nous avons collecté des écorces d'oranges de variétés Thomson et sanguine, qui étaient disponibles sur le marché pendant la saison de printemps. Ensuite, nous avons procédé à un processus de séchage des écorces d'orange, suivi de leur broyage et de leur tamisage avant de les stocker. Enfin, nous avons effectué une caractérisation approfondie du produit fini qui sont :

- La détermination des propriétés physico-chimiques.
- Détermination des propriétés techno fonctionnelles
- Détermination des propriétés phytochimiques
- Analyses sensorielles

Notre document est divisé en quatre sections principales. La première partie est une revue de la littérature qui met en évidence les écorces d'agrumes, y compris les composés phénoliques, les activités biologiques associées et les méthodes de séchage. La deuxième partie décrit les expériences menées, comme indiqué précédemment. La troisième partie présente les résultats et discussion. Enfin, la quatrième et dernière partie présente une conclusion.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES AGRUMES

Les « citrus » plus communément appelés agrumes sont des fruits provenant des arbres de la famille des Rutacées (Spiegel-Roy et Goldschmidt, 1996). Le terme "agrumes" dérive du mot latin "agrimen", qui signifie "acide".

Les origines des agrumes semblent provenir des régions tropicales et subtropicales et ont presque tous été cultivés en Chine et en Inde il y a environ 4200 ans avant J-C. Cependant, la diffusion des agrumes à travers le monde s'est faite lentement. Il a fallu attendre environ le milieu du XIIIe siècle pour que le bigaradier, le citronnier et l'oranger soient introduits dans le bassin méditerranéen, tandis que le mandarinier n'a été introduit que vers le XIXe siècle (Bouzouina., 2013).

I.1. Classification botanique des agrumes

La taxonomie proposée par **Swingle et Reece (1967)** (**Tableau 1**) est :

Famille : Rutaceae

Sous/famille : Aurantioideae

Tribu : Citrae

Sous/tribu : Citrinae

Groupe : Eucitrus

Fortunella, Poncirus et Citrus sont les genres les plus cultivés dans le monde.

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

Forunella : constitue le groupe des Rumuates produisant de petite allonge utilisée en confiserie.

Citrus : constitue avec 145 espèces cultivées, les espèces les plus importantes sont :

- Les oranges: *Citrus sinensis*
- Les citronniers : *Citrus lemon*
- Les mandariniers: *Citrus rticu*
- Les clémentiniers: *Citrus clementina*
- Les pomelos: *Citrus pardisi*

- Les cédratiers: *Citrus nedica*
- Les bigaradiers : *Citrus aurantium*

Le tableau ci-dessous présente la taxonomie des Citrus et genres apparentés de la sous-famille des Aurantioideae

Tableau I : Taxonomie des Citrus et genres apparentés de la sous-famille des Aurantioideae (Swingle et Reece, 1967).

Division	Embryophyla
Sous-division	Angiospermae
Classe	Dicotyledoneae
Sous-classe	Archichlomydeae
Ordre	Géraniales (autres ordres : Rosales, Sapindales)
Sous-ordre	Geraniineae (5 autres sous-ordres) Rutaceae (11 autres familles)
Famille	Rutaceae (11 autres familles)
Sous-famille	Aurantioideae (6 autres sous-familles)

I.2. Description morphologique

Les fruits des principales espèces et variétés cultivées du genre *Citrus* diffèrent par leur coloration, leur forme, leur calibre, la composition de leur jus et leur époque de maturité. Cependant, tous les fruits des *Citrus* cultivés présentent la même structure anatomique présentée dans la **Figure 1** (Ramful et al., 2010).

La transformation des agrumes implique plusieurs étapes de traitement, générant ainsi une grande quantité de sous-produits tels que la peau, la pulpe, les graines et le marc. Ces sous-produits représentent respectivement 50 à 70%, 60 à 65%, 30 à 35%, et 10% du poids total du fruit (Panwar et al., 2021).

La peau ou l'écorce des agrumes se compose de deux couches, la couche externe appelée cuticule, comprenant le flavédo (la couche externe) et l'albédo (la couche spongieuse de cellules parenchymateuses située à côté du flavédo) (Chavan et al., 2018).

Le flavédo contient des glandes sébacées qui renferment des huiles essentielles, des cires de paraffine, des acides gras, des stéroïdes/triterpénoïdes, des phytochimiques tels que la chlorophylle, les caroténoïdes, les flavonoïdes, les composés phénoliques, et des enzymes.

Au fur et à mesure que la cellule flavédo mûrit, la chlorophylle présente dans le chloroplaste est remplacée principalement par des caroténoïdes xanthophylles, entraînant un changement de couleur du vert au jaune après maturation, qui est médiée par des hormones. La couche interne de flavédo contient une quantité abondante d'huile essentielle enchâssée dans des corps multicellulaires de forme sphérique/pyriforme.

L'albédo, situé près du flavédo, est la couche interne de l'écorce des agrumes, riche en gélatine, lignine, et fibres alimentaires (Mamma et Christakopoulos, 2013).

La pulpe ou la chair des fruits d'agrumes est généralement formée de segments ou de carpelles séparés par une membrane de tissus épidermiques minces, contenant plusieurs sacs de jus appelés vésicules, ainsi que des graines (Chavan *et al.*, 2018).

Le noyau est constitué de tissus spongieux blancs ressemblant à l'albédo, et est connu sous le nom d'axe du fruit. L'ensemble des segments et du noyau est appelé le "chiffon", à partir duquel le jus est extrait (Suri et Singh, 2021).

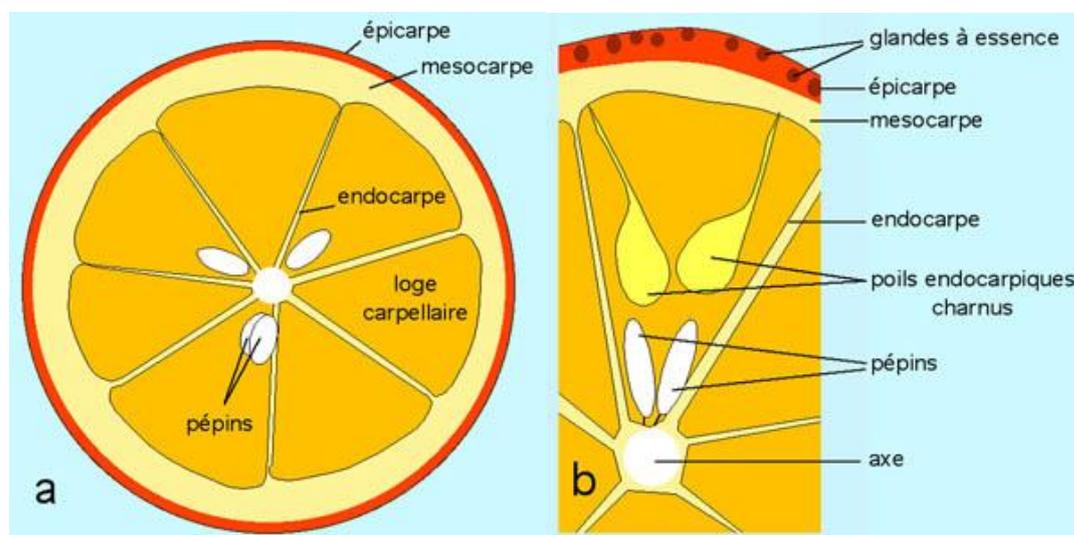


Figure 1 : Coupe transversale schématisée d'une orange (a) et détail (b) (Anonyme, 2009)

I.3. Composition chimique des écorces d'agrumes

La composition chimique des écorces d'agrumes est sujette à des variations sous l'influence de divers facteurs et notamment la variété. De plus, dans une même variété, la teneur en divers composés dépend des facteurs climatiques et environnementaux. La composition chimique globale des écorces d'agrumes des principales variétés comestibles, exprimée en g pour 100g base sèche (**Tableau II**)

Au cours de la transformation des agrumes, les écorces sont les sous-produits primaires, non traitées, elles deviennent une source de pollution environnementale (Bocco et al., 1998; Wang et al., 2008). Ces écorces contiennent une quantité importante en eau généralement une teneur élevée en humidité (80 à 90 %) ainsi qu'en matière organique. De ce fait, c'est un sous-produit hautement périssable qui fermente et présente un développement des moisissures (Satari et Karimi, 2018).

Structurellement, elles se composent de deux couches, le flavédo et l'albédo. Les écorces d'agrumes sont riches en nutriments et en composés bioactifs tels que les polyphénols, les flavonoïdes, les huiles essentielles, les pigments et les fibres diététiques. Les huiles essentielles, principalement le D-limonène, l'a-pinène et l'a-terpinolène, obtenues à partir des écorces d'agrumes, ont une forte demande sur le marché en raison de leur utilisation dans les aliments, les boissons, la parfumerie et les cosmétiques (Wang et al., 2015).

Les écorces d'agrumes contiennent également une quantité importante de sucres solubles (6,52-47,81 g/100g bs), tels que le glucose, le fructose et le saccharose, qui pourraient être efficacement utilisés pour la production de bioéthanol. De plus, ce coproduit est riche en protéines (1,79-9,06 g/100g bs) et en minéraux (2,52-10,03 g/100g bs) alors que les lipides sont très peu abondants (de 0,48 jusqu'à 4 g/100g bs) (Ferhat et al., 2011; Kammounet et al., 2011).

Cependant, l'utilisation de pesticides pour protéger les agrumes contre les moisissures ou les insectes est un obstacle majeur à l'utilisation sûre des écorces d'agrumes pour des applications alimentaires (Ortelli et al., 2005). Les écorces d'agrumes sont généralement exposées à des concentrations élevées d'insecticides fongicides, mais la quantité de ces substances pénétrant dans la pulpe est faible (Calvaruso et al., 2020).

Le **Tableau II** présente la composition chimique globale d'écorce de quelques agrumes exprimée en g pour 100g base sèche

Tableau II : Composition chimique globale d'écorce de quelques agrumes exprimée en g pour 100g base sèche (M'hiri, 2015).

Variété de citrus	Orange	Mandarine	Citron	Pamplemousse
Eau	2,97 ^a -3,14 ^b	3,97 ^b	3,01 ^a	-
Lipides	0,95 ^a	1,57 ^c	0,48 ^b	-
	1,66 ^b	2,97 ^b	1,51 ^c	-
	4,00 ^c	-	1,89 ^d	-
Protéines	1,79 ^b	2,16 ^e	5,87 ^b	-
	2,67 ^e	7,33 ^c	6,79 ^d	-
	7,90 ^f	8,55 ^b	7,88 ^g	-
	8,01 ^a	-	-	-
	9,06 ^c	-	-	-
Glucides	15,01 ^b	8,50 ^c	6,52 ^c	-
	46,60 ^a	18,27 ^b	13,77 ^g	-
	47,81 ^c	-	14,89 ^b	-
Minéraux	2,56 ^c	3,96 ^b	2,52 ^c	-
	3,31 ^a	4,06 ^e	4,68 ^b	-
	3,45 ^b	10,03 ^c	-	-
	4,24 ^e	-	-	-
Fibres	6,30 ^c	7,14 ^e	14,00 ^h	82,69 ^j
	13,38 ^e	27,89 ^b	-	-
	13,90 ^h	-	-	-
	41,64 ^b	-	-	-
	42,13 ^a	-	-	-
Caroténoïdes totaux	0,04 ^k	0,20 ^k	0,01 ^k	-
Phénols totaux	0,67 ^e	0,78 ^e	2,45 ^b	22,32 ^o
	0,96 ^l	2,91 ^b	4,40 ⁿ	-
	1,13 ^a	17,21 ^o	13,01 ^o	-
	1,89 ^b	-	-	-
	2,51 ^l	-	-	-
	3,94 ^m	-	-	-
	7,30 ⁿ	-	-	-
	16,03 ^o	-	-	-
	19,62 ^p	-	-	-
Huiles essentielles	0,6-1 ^r	-	-	-
Vitamine C	0,145 ^s -1,15 ^p	0,280 ^s	0,109 ^s	-

a : (Kammoun et al., 2011) ; b : (Ghanem et al., 2012) ; c : (Marin et al., 2007) ; d : (Fiaguerola et al., 2005) ; e : (Magda et al., 2008) ; f : (Grigelmo-Minguel et al., 1999) ; g : (Masmoudi et al., 2008) ; h : (Gorinstein et al., 2001) ; j : (Chinapongtitiwat et al., 2013) ; k : (Wang et al., 2008) ; l : (Lagha-Bernamrouche et al., 2013) ; m : (Chen et al., 2011) ; n : (Cheyner et al., 2006) ; o : (Ghasemi et al., 2009) ; p : (Goulas et al., 2012) ; r : (Espiard, 2002) ; s : (Barros et al., 2012).

I.4. Production mondiale et algériennes

La production mondiale d'agrumes a atteint un total de 98 millions de tonnes pour l'ensemble des pays producteurs durant la saison 2019/2020. Les oranges ont représenté la moitié de cette production. La Chine est arrivée en tête des plus grands producteurs

d'agrumes, suivie du Brésil et de l'Union Européenne. Quant aux États-Unis, ils ont occupé la cinquième place en tant que producteur d'agrumes à l'échelle mondiale (FAO, 2019).

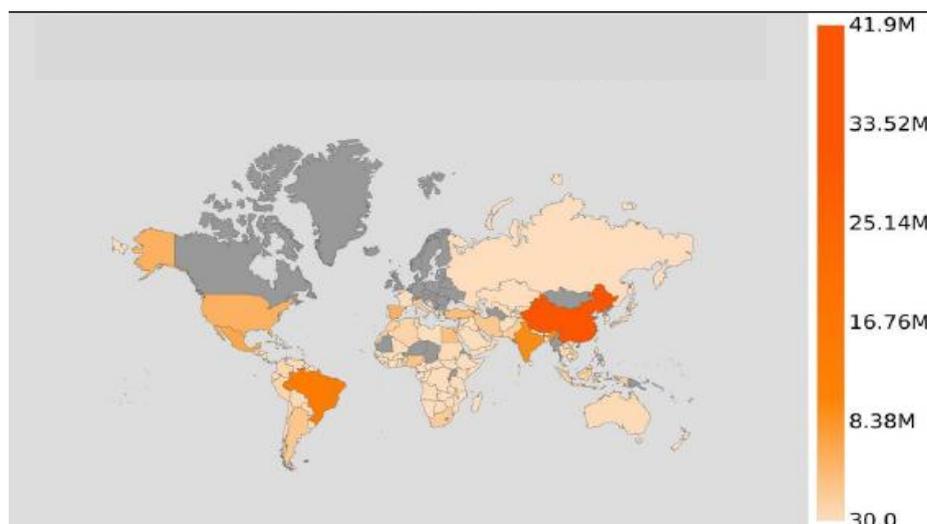


Figure 2 : Production mondiale des agrumes par pays 2019/2020 (FAO, 2019)

En Algérie, la filière des agrumes a enregistré une production de 15,6 millions de quintaux au cours de la campagne 2019/2020, marquant une légère baisse de 1% par rapport à l'année précédente. Cette production est dominée par les oranges, qui représentent 75% de la production nationale, avec une évaluation de 11,7 millions de quintaux, enregistrant également une baisse de 2%. La production de citrons a également baissé de 2%, tandis que les productions de clémentines et de mandarines ont augmenté de 2% et 3%, respectivement.

Ces chiffres montrent une certaine stabilité de la production d'agrumes en Algérie, malgré les fluctuations annuelles qui peuvent survenir en raison de divers facteurs tels que les conditions climatiques et les maladies des cultures (ONS, 2023).

I.5. Description de l'orange sanguine

Vers 1850, l'orange sanguine (*Citrus Sinensis*), une variété hybride, est apparue en Europe. Sa chair est rouge, sa pulpe est sucrée, juteuse et possède un parfum très prononcé (**Figure 3**). En général, cette variété d'orange ne contient pas de pépins (Chinnici et al., 2013).

Trois variétés d'oranges rouges sont couramment connues, à savoir les Tarocco et le Moro, qui ont tous deux des origines italiennes, ainsi que le Sanguinello, originaire d'Espagne. Les oranges Tarocco, qui sont sans pépins et de taille moyenne, sont les plus sucrées et savoureuses des trois types. Elles sont souvent appelées "demi-sang" car leur chair n'a pas une pigmentation rouge très prononcée. Le Moro, quant à elle, est la variété la plus

colorée avec une chair rouge foncé. Les oranges rouges peuvent être disponibles jusqu'à la fin du mois de mai (Giuseppe et *al.*, 2013).

La figure ci-dessous présente une coupe transversale et schéma explicatif d'une orange sanguine

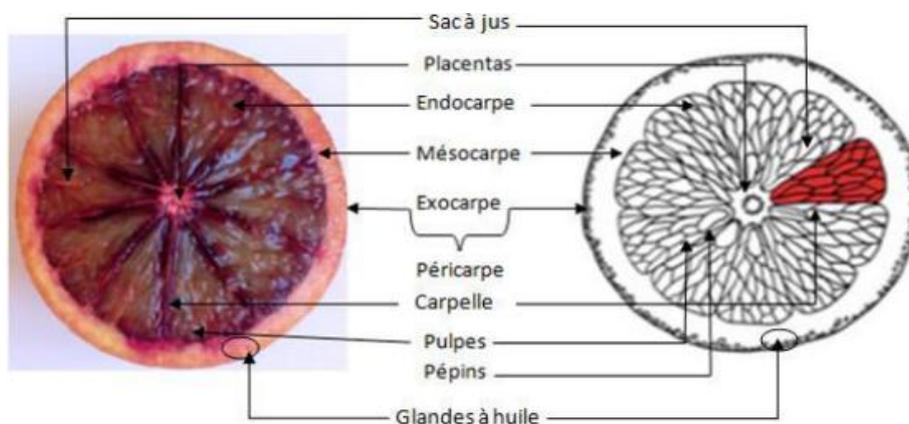


Figure 3 : Coupe transversale et schéma explicatif d'une orange sanguine (Etebu et *al.*, 2014)

I.6. Description de l'orange Thomson

La variété d'orange Thomson Navel (*Washington Navel*) est le résultat d'une mutation précoce de la *Washington Navel*, qui a été introduite en Californie en 1891. Les arbres Thomson Navel ont une vigueur moindre que ceux des *Washington Navel* et ont une forme de couronne dense et sphérique.

Les fruits de cette variété sont récoltés en Corse entre novembre et décembre. Ils sont généralement gros, pesant entre 100 et 200 g, et ne contiennent pas de pépins. Ils sont de couleurs orange vif et faciles à peler. Cependant, cette ancienne variété est aujourd'hui largement remplacée par des sélections de navels précoces de meilleure qualité. (**Figure 4**) (Jacquemond et *al.*, 2009).

La figure ci-dessous présente une image d'une orange Thomson

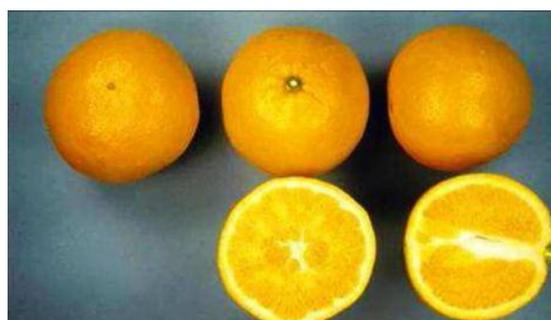


Figure 4 : Orange Thomson navel

I.7. Propriétés biologiques des écorces d'agrumes

Des études récentes ont montré que ces écorces sont une source de composés biologiquement actifs (Huang et al., 2010). Les principaux composés phytochimiques trouvés dans les écorces d'agrumes comprennent les composés polyphénoliques, les carotènes, les huiles essentielles et la pectine (les anthocyanes pour les oranges sanguines).

Ces composés bioactifs sont les plus importants grâce à leurs diverses activités biologiques tels que les activités antimicrobienne, antifongique, anti-inflammatoire et antioxydante (Hosni et al., 2010).

Les écorces de certains agrumes ont une activité antiradicalaire et anti-chélateurs des métaux élevés que la pulpe (Barros et al., 2012 ;Oboh et Ademosun.,2012).Les propriétés anti-oxydantes élevées de l'écorce d'agrumes ont été liées à une forte concentration des composés polyphénoliques dans l'écorces par rapport aux d'atures parties du fruit (Oboh &Ademosun, 2012; Lagha-Benamrouche & Madani, 2013) (**Tableau III**).

a. Activité antioxydante

Les antioxydants neutralisent ou réduisent les dommages causés par les radicaux libres dans l'organisme, maintiennent des concentrations non toxiques de ROS au niveau cellulaire et agissent comme une défense contre la production continue de radicaux libres (Zeb, 2020). Ils piègent les radicaux libres, réduisent l'activité enzymatique pro-oxydante, chéluent les métaux pro-oxydants, inhibent la peroxydation lipidique et éliminent l'oxygène singulet (Omba et al., 2015).

b. Activité antibactérienne

Les antibiotiques sont largement utilisés pour traiter les infections bactériennes. Cependant, une prescription excessive et parfois inappropriée de ces médicaments peut entraîner l'apparition de souches résistantes à plusieurs antibiotiques. Par conséquent, la recherche se concentre sur la découverte de nouvelles approches qui peuvent servir d'inspiration pour de nouvelles alternatives à base de plantes. Les polyphénols, tels que les flavonoïdes et les tanins, sont connus pour leur toxicité envers les micro-organismes. Le mécanisme de cette toxicité peut impliquer l'inhibition d'enzymes hydrolytiques telles que les protéases et les glycohydrolases, ainsi que d'autres interactions qui désactivent les adhésifs microbiens, les transporteurs et les protéines de l'enveloppe cellulaire (Chibani, 2013).

c. Activité antimicrobienne

Les flavane-3-ols, les flavonols et les tannins suscitent un intérêt accru en raison de leur large spectre et de leur forte activité antimicrobienne par rapport aux autres polyphénols. Ils ont la capacité de supprimer plusieurs facteurs de virulence microbienne, tels que l'inhibition de la formation de biofilms, la réduction de l'adhésion aux ligands de l'hôte et la neutralisation des toxines bactériennes. De plus, ils sont capables d'établir une synergie avec certains antibiotiques (Daglia, 2012).

Les flavonoïdes possèdent également des propriétés fongicides et insecticides, ainsi que des activités antiparasitaires et antivirales. De nombreuses études ont démontré l'effet antimicrobien des resvératrols et des coumarines sur diverses bactéries, virus et champignons. Cependant, l'action biocide des polyphénols ne se manifeste que lorsque l'agent pathogène pénètre dans les tissus (Benbrinis, 2012).

d. Activité anticancéreuse

La présence de flavonoïdes dans certaines plantes confère une efficacité dans la prévention et le traitement des cancers. Les flavonoïdes ont des propriétés antiprolifératives et cytotoxiques contre plusieurs lignées de cellules cancéreuses (Gürler et al., 2020). Leur action chimiothérapeutique repose sur leurs interactions avec les enzymes de la famille CYP, notamment avec les résidus d'acides aminés des sites actifs de CYP2C9 et CYP1A2, ainsi que leur métabolisme oxydatif par le cytochrome P450 pour produire des produits de conversion qui inhibent la croissance des cellules tumorales (Rawson et al., 2014).

e. Activité antiallergique

Les flavonoïdes possèdent une propriété antiallergique en inhibant les enzymes responsables de la libération d'histamine à partir des mastocytes et des basophiles, qui sont des cellules impliquées dans les réponses immunitaires (Ghnimi et al., 2015).

f. Activité anti-inflammatoire

Les flavonoïdes possèdent un effet anti-inflammatoire en raison de leur capacité à inhiber certaines enzymes, telles que la cyclooxygénase et la 5-lipoxygénase. Ces enzymes sont impliquées dans le métabolisme de l'acide arachidonique et jouent un rôle dans la réponse inflammatoire (Jucá et al., 2020).

g. Activité thérapeutique

Les composés phénoliques et flavonoïdes agissent en tant qu'antioxydants et contribuent à la prévention de diverses maladies telles que le cancer, les problèmes cardiaques, les cataractes, les troubles oculaires et la maladie d'Alzheimer. Ils offrent également une protection contre les maladies cardiovasculaires en réduisant l'oxydation des lipoprotéines de basse densité (Huyut et al., 2017).

h. Activité antifongique

De nombreux flavonoïdes, en particulier les flavanones et les flavanes, possèdent des propriétés antifongiques. Parmi eux, une flavanoneprénylée, la 5,7,4'-trihydroxy-8-méthyl-6-(3-méthyl-[2-butényl])-(2S)-flavanone, a été identifiée (Ali et al., 2017). Deux autres flavanones, la naringénine (NAR) et la pinocembrine, ont également démontré une capacité d'inhibition de la croissance des souches de *C. albicans* (Soberón et al., 2020). En outre, la coumarine et ses dérivés ont montré une activité antifongique contre *Candida albicans* (Jia et al., 2019).

Le tableau ci dessous présente les activités biologiques de quelques composés phénoliques

Tableau III : Activités biologiques de quelques composés phénoliques (Bruneton, 1999)

Composé Phénolique	Activité biologique
Acides Phénoliques	Antibactérienne, Antifongique et Antioxydante
Tanins	Effet stabilisant sur le collagène, antioxydant, anti-diarrhéique, effet antiseptique, effet Vasoconstricteur
Flavonoïdes	Antitumorale, anticarcinogène, antiinflammatoire, antioxydante, antiallergique, antiulcéreuse, antivirale, antimicrobienne, hypotenseur diurétique.

CHAPITRE II : GENERALITES SUR LE SECHAGE

II.1. Définition du séchage

Selon Zidoune (1996) le séchage peut être défini comme étant l'opération unitaire qui consiste à éliminer tout ou une partie d'un solvant (très souvent l'eau) contenu à l'intérieur d'un matériau quelconque ; le produit se trouve en fin d'opération à l'état solide. Le séchage est un des plus anciens procédés de préservation des aliments. Dans cette opération interviennent deux phénomènes : un transfert de chaleur et un transfert de matière.

Selon Alibas (2007), cette méthode permet également d'obtenir un produit sec et homogène. De nombreux changements physiques, chimiques et nutritionnels se produisent pendant le séchage des aliments, influencés par des paramètres internes et externes de transfert de chaleur et de masse tels que la température, la vitesse, l'humidité relative et les propriétés du matériau à sécher.

Kaya et *al.* (2008) expliquent que la chaleur et le transfert de masse dans le produit peuvent aider à améliorer les paramètres du processus de séchage et donc la qualité finale. Quel que soit le mode de séchage utilisé, le transfert d'eau est le résultat d'une différence de pression de vapeur d'eau entre l'intérieur et la surface du produit, créant ainsi une force d'entraînement pour l'humidité (Maskan, 2001).

II.2. Objectif du séchage

L'objectif du séchage est d'augmenter la période de stockage des aliments, tout en préservant leur qualité nutritionnelle (Bonnazi et Bimbinet, 2003 ; Mandez Lagunas, 2007 ; Li et al., 2011).

Il permet de convertir des denrées périssables en produits stabilisés, par abaissement de l'activité d'eau (a_w) jusqu'à une valeur inférieure à 0,5. La plupart du temps, ces produits sont stockés à température ambiante, avant d'être réhydratés pour une utilisation dans un procédé industriel ou dans une préparation culinaire (Nguyen, 2015).

Selon Bonazzi et Bimbenet, (2003) le séchage dans les industries agroalimentaires peut avoir des buts multiples :

- Accroître la durée de conservation des produits (viandes, poissons, fruits, graines, pâtes, épices, thé, champignons, ...)
- Stabiliser les produits agricoles (maïs, luzerne, riz, lait, ...) et amortir le caractère saisonnier de certaines activités,

- Transformer les produits par des réactions biochimiques ou biologiques (produits de salaison, touraillage de malt, ...)
- Stabiliser des co-produits industriels pour l'alimentation animale (pulpes de sucrerie ou d'amidonnerie, drêches de brasserie, farines de viande et de poisson...),
- 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, colorants, ...

II.3. Le principe du séchage

Le séchage est une méthode de transformation qui permet de passer un produit de son état initial « humide » à un état « solide sec » en retirant une partie du solvant, généralement de l'eau, par évaporation pour obtenir un produit fini sous forme de solide, poudre ou état divisé (Vasseur, 2009). Selon Verdier et *al* (2016), cette opération thermique consiste à fournir l'énergie de vaporisation nécessaire pour que le solvant quitte le produit sous forme de vapeur. Cette énergie est obtenue grâce à une différence de pression partielle de vapeur d'eau entre la surface du produit et l'air environnant, comme expliqué par Scherr (1981).

La condition essentielle pour que le produit soit considéré comme séché est que la pression partielle de vapeur d'eau à la surface du produit, P_s , soit supérieure à la pression partielle de vapeur d'eau dans l'air, P_a .

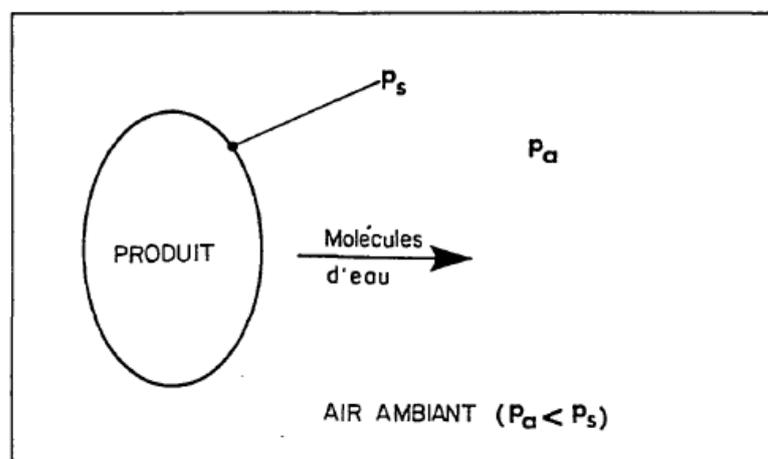


Figure 5 : Conditions du séchage (Scherr,1981).

II.4. Procédé de séchage

On peut distinguer divers procédés de séchage (Schnell, 1983) :

- Les procédés mécaniques (décantation et filtration, centrifugation, compression).
- Les procédés thermiques, par élévation de température et diminution de la pression de vapeur et de la phase gazeuse.
- Les procédés chimiques, par l'utilisation des produits déshydratants (acide sulfurique H_2SO_4 , acide phosphorique H_3PO_4).

Lors du séchage thermique, le liquide est d'abord transformé en vapeur avant d'être éliminé. Il y a deux transferts simultanés de matières et de chaleur (Bimbenet et al., 2002). Selon (Mafart, 1991), les deux transferts se dédoublent en une phase externe et une phase interne :

- Transfert de chaleur externe de la source de chaleur vers la surface du produit ;
- Transfert de chaleur interne de la surface vers le cœur du produit ;
- Transfert de masse interne du cœur vers la surface du produit ;
- Transfert de masse externe de la surface du produit vers le milieu extérieur

Parmi les techniques d'élimination d'eau par voie thermiques, deux mécanismes peuvent être mis en œuvre pour extraire par évaporation l'eau d'un produit ; des procédés par ébullition et des procédés par entraînement (Charreau et Cavaille, 1991 ; Mafart, 1991 ; Bimbenet et al., 2002) :

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 sécheur. La température du liquide est donc déterminée par la pression d'ébullition (par exemple $100^\circ C$ pour l'eau à $1,013 \times 10^5$ Pa (Mafart, 1991 ; Bimbenet et al., 2002 b ; Charreau et Cavaille, 1991)

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 P de l'eau dans le produit est supérieure à la pression partielle d'eau p dans l'atmosphère qui l'entoure (Charreau et Cavaille, 1991 ; Mafart, 1991 ; Bimbenet et al., 2002 b).

II.5. La cinétique de séchage

La méthode expérimentale la plus simple et la plus courante pour maîtriser et suivre le séchage par entraînement d'un produit solide consiste à placer celui-ci dans un courant d'air dont les caractéristiques températures, humidité relative et vitesse sont maintenues constantes, et à enregistrer les variations de sa masse au cours du temps (Bonazzi et al., 2003).

Lorsque l'eau pure contenue dans un récipient est évaporé par l'air chaud, la perte de poids est une fonction linéaire du temps, dans le cas des aliments, le phénomène est plus complexe et varie d'un produit à l'autre. La vaporisation de l'eau s'effectue en surface du produit. Le transfert de l'eau de l'intérieur vers la surface du produit conditionne fortement la vitesse de séchage et explique la forme des courbes d'évolution en fonction du temps (Zidoune, 1996).

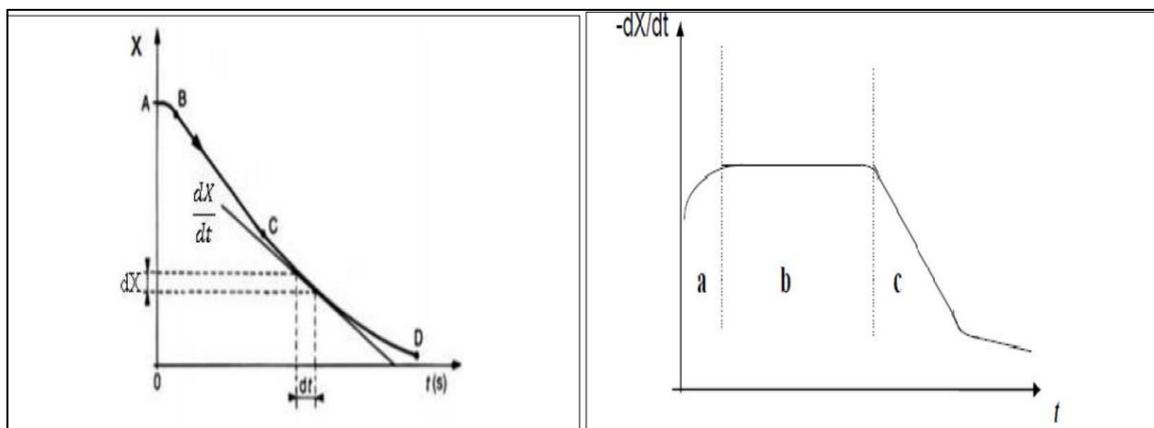


Figure 6 : Variation de teneur en eau du produit (X) en fonction du temps (Benalia, 2014).

Allure de séchage en fonction du temps (Mouafki, 2004).

- **La phase 0** : période transitoire de mise en régime, durée de mise en température de produit.
- **La phase I** : période de séchage à vitesse constante : le flux d'évaporation est constant donc la teneur en eau diminue linéairement (jusqu'à X_c) c'est une période d'évaporation superficielle d'eau libre.
- **La phase II** : à partir d'une certaine humidité critique X_c le flux d'évaporation diminue progressivement jusqu'à moment où l'air et la matière sont en équilibre. le séchage s'arrête alors, c'est donc une période de ralentissement, c'est à dire à vitesse de séchage

décroissante, les facteurs intervenant dans cette phase sont complexe dépendant de la diffusion à travers l'aliment et de la variation de l'énergie de liaison des molécules d'eau.

II.5.1. Les paramètres influents sur la cinétique de séchage

Les paramètres qui influencent la cinétique de séchage sont les suivants : (Said, 2015)

- Température de l'air de séchage (T_a),
- Humidité relative de l'air de séchage (H_r),
- La vitesse de l'air de séchage (V_a),
- L'épaisseur du produit à sécher (E_p),
- Le taux de recyclage de l'air de séchage,
- Le calibre du produit à sécher,

II.5.2. Avantages et inconvénients du séchage

Selon **Fournier (2003)**, le séchage présente plusieurs avantages significatifs, notamment

- La méthode est simple et offre généralement un rendement élevé.
- Le procédé est universel et peut être utilisé par tous, y compris les particuliers.
- Les aliments déshydratés ont une durée de conservation prolongée, allant jusqu'à plusieurs mois.
- Le séchage désactive les enzymes qui provoquent la dégradation des aliments.
- Il inhibe la croissance des micro-organismes en réduisant l'activité de l'eau.
- Le séchage peut être utilisé à des fins commerciales, ce qui permet de limiter les pertes de récoltes.
- Il réduit les coûts financiers et environnementaux liés au transport des marchandises en raison de la réduction de leur masse.

Le séchage présente également des inconvénients, comme tous les traitements thermiques. Il peut entraîner la perte d'arômes, de vitamines et de pigments, des réactions de brunissement, des durcissements superficiels, des modifications irréversibles de texture qui peuvent affecter la capacité du produit à se réhydrater, ainsi que des pertes de constituants volatils et une modification de la répartition de l'humidité dans le produit (Fournier, 2003).

II.6. Description des méthodes de séchage

Lors de notre travail nous avons utilisé deux méthodes de séchages dans l'étuve et à l'air libre.

A l'étuve

Dans cette méthode, l'air chauffé entre en contact avec le matériau humide pour le transfert de chaleur et de masse, principalement grâce à la convection. Pour que le processus soit efficace, il est important de définir la température et la durée de l'exposition, ainsi que la taille de l'échantillon à tester. Ces deux critères (température et temps d'exposition) doivent être choisis en fonction du rapport surface/volume adéquat (Vasseur, 2009).

A l'air libre

Le séchage à l'air libre est effectué dans un environnement ombragé, avec une circulation d'air naturelle. La température moyenne de la pièce est maintenue à 22 ± 2 °C, et le processus de séchage est contrôlé par convection naturelle (Lahmari et al., 2012).

PARTIE PRATIQUE

CHAPITRE III : MATERIEL ET METHODES

La partie pratique de ce travail a été réalisée au laboratoire Snc.prevolab El Kseur Bejaïa, à l'exception des analyses sensorielles qui ont été effectuées à l'université de Bejaïa. Cette étude a été menée du 26 mars au 1 juin 2023 dans le but d'examiner l'effet du séchage sur deux variétés d'agrumes (Thomson et sanguine) à différentes températures, ainsi que l'impact de ce traitement sur les activités biologiques et antioxydante.

III.1. Matériel végétal

L'étude du matériel végétal qui comprend des écorces d'oranges de deux variétés d'oranges (Thomson et sanguine), Ces fruits ont été achetés en mars auprès d'un vendeur de fruits et légumes de la wilaya de Béjaïa (Aokas). Environ 3 kg de chaque variétés d'oranges sanguine et Thomson ont été utilisés.

III.2. Méthodes

Pour atteindre cet objectif, nous avons suivi l'échéancier suivant :

Tout d'abord, nous avons collecté des écorces d'oranges de variétés Thomson et sanguine, qui étaient disponibles sur le marché pendant la saison de printemps. Ensuite, nous avons procédé à un processus de séchage des écorces d'orange, suivi de leur broyage et de leur tamisage avant de les stocker. Enfin, nous avons effectué une caractérisation approfondie du produit fini qui sont :

- La détermination des propriétés physico-chimiques.
- Détermination des propriétés techno fonctionnelles
- Détermination des propriétés phytochimiques
- Analyses sensorielles

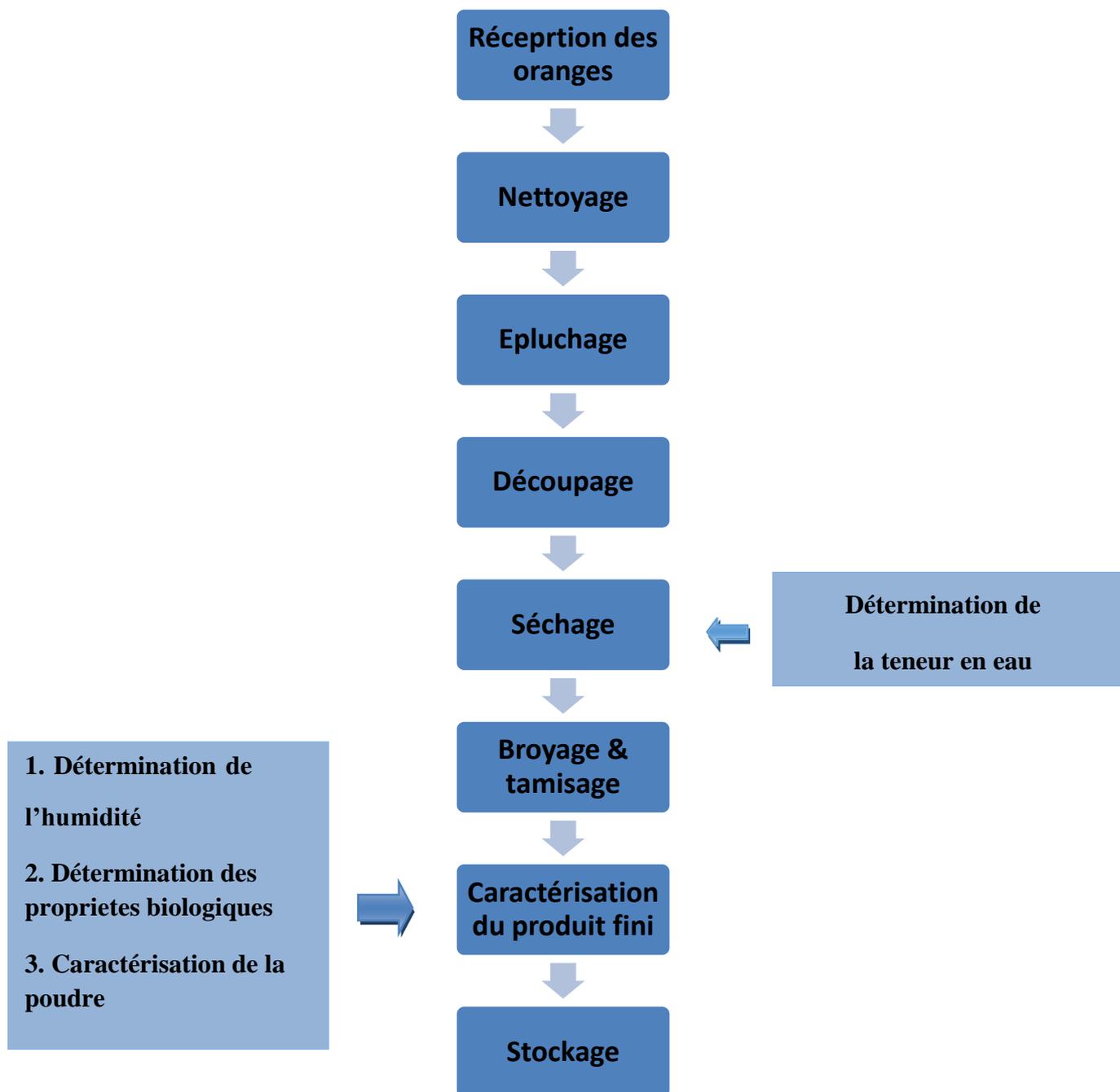


Figure 7 : Méthodologie de préparation et de séchage des écorces d'agrumes

III.3. Traitements préliminaires

Les deux variétés d'orange sont d'abord sélectionnés, nettoyés et soigneusement lavés avec de l'eau du robinet, puis avec de l'eau distillée avant d'être épluchés. Les écorces récupérées ont été coupées en petits morceaux d'environ 1 cm de largeur.

III.4. Détermination de l'humidité

La teneur en humidité a été déterminée par dessiccation à l'étuve. Des échantillons de 2 g des écorces d'orange Thomson et Sanguine ont été pesés, puis séchés dans une étuve à une température de

103 ± 2 °C jusqu'à un poids constant. Cette procédure a été effectuée sur trois échantillons de chaque type d'écorce. Les résultats ont été exprimés en pourcentage d'humidité, calculé en effectuant des cycles de dessiccation après 30 minutes de séchage jusqu'à ce que le poids atteigne une constance, après avoir été maintenus dans l'étuve pendant 3 heures (Boivin et al., 2015) (le matériel utilisé pour cette partie est résumé sur la **figure 08**).

- **Expression des résultats**

$$\text{Humidité (\%)} = [(P_f - P_s) / P_f] * 100$$

P_f : poids frais de l'échantillon en gramme.

P_s : poids sec de l'échantillon en gramme.

➤ Extrait sec est calculé comme suit : **ES (%)** = 100 - H (%)

ES : Extrait sec des écorces d'agrumes en %.

H : Humidité finale des écorces en %.

III.5. Séchage

Dans notre travail nous avons réalisé deux méthodes de séchage l'une à l'étuve et l'autre séchage à l'air libre. L'étuve utilisée pour sécher les écorces de marque Universal nuve FN 400, le temps et la température sont réglables. Nous avons choisi trois température différentes 40°C, 50°C et 60°C.

Des échantillons pesant 60 g chacun ont été soumis à un séchage dans une étuve réglé à trois températures différentes (40°C, 50°C et 60°C), avec trois échantillons pour chaque température. Le poids des échantillons a été régulièrement mesuré en effectuant des pesées toutes les heures jusqu'à ce que la masse atteigne une valeur constante pour toutes les températures testées.

Le séchage à l'air libre a également été effectué pour permettre une comparaison avec la méthode de séchage à l'étuve. Pour ce faire, la même quantité d'échantillon a été mise à sécher à l'air libre jusqu'à ce que le poids atteigne une valeur constante.

III.6. Broyage et tamisage

Après le séchage, les écorces séchées sont broyées grâce à un broyeur de marque MONTRON STAR pour obtenir à la fin des poudres de ces deux types d'oranges. Les poudres sont tamisées et conservées dans des flacons bien fermés à l'abri de la lumière et l'humidité.

III.7. Détermination des propriétés physico-chimiques des poudres d'écorces d'agrumes

- **Capacité de rétention d'eau**

La capacité de rétention d'eau est déterminée selon la méthode (Ang et al., 1988). 2 g d'échantillons de la poudre des agrumes ont été mélangés avec 30 ml d'eau distillée contenue dans des tubes de centrifugation de 50 ml. Après repos pendant 10 minutes, l'échantillon est centrifugé à 2000 g pendant 15 minutes dans la centrifugeuse. Après centrifugation, la solution est drainée et le précipité de la poudre humide pesé, les résultats ont été exprimés en g d'eau retenue/g d'échantillon.

III.8. Détermination des propriétés techno fonctionnelles des poudres d'écorces d'agrumes

- **La solubilité**

La solubilité de la poudre des écorces est déterminée à l'aide de la méthode mise au point par Eastman et Moore, (1984) et adoptée par Cano-Chauca et al., (2005). Un gramme de poudre (à base sèche) est dispersé dans 100 ml d'eau distillée et mélangé à haute vitesse pendant 5 min à l'aide d'un mélangeur.

La poudre des écorces dispersée a ensuite été centrifugée à 3000g pendant 5 min. Une partie de 25 ml du surnageant est soigneusement pipetée et transférée dans un plat d'aluminium pré-pesé, puis séchée au four à 105°C pendant 5 h. Le séchage est poursuivi et pesé toutes les heures pendant 2 h. La solubilité de la poudre (%) est déterminée par la différence de poids.

III.9. Détermination des propriétés phytochimiques des poudres d'écorces d'agrumes

- **Dosage des composé phénoliques totaux**

Le réactif de Folin, constitué par un mélange d'acide phosphotungstique (H₃PW₁₂O₄₀) et d'acide phosphomolybdique (H₃PMo₁₂O₄₀), est réduit, lors de l'oxydation des phénols. en mélange d'oxydes de tungstène (W₈O₂₃) et de molybdène (Mo₈O₂₃). La coloration bleue produite est proportionnelle à la teneur en phénols totaux et possède une absorption maximale aux environs de 750 -765 nm (Bonnaillie et al., 2012).

➤ Mode opératoire

Le mode opératoire du dosage des composés phénoliques totaux est illustré dans la figure suivante :

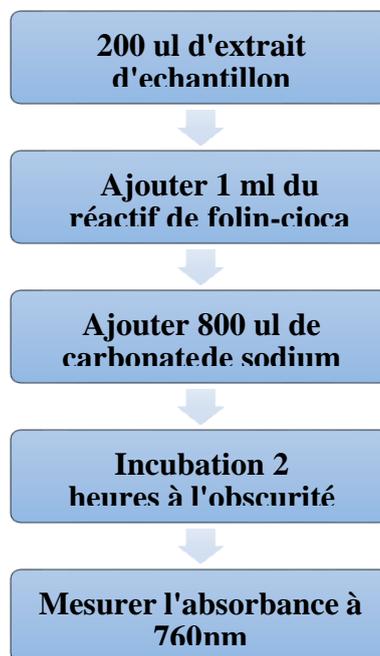


Figure 8 : Dosage des composés phénoliques totaux

Les concentrations des polyphénols sont déduites à partir de la courbe d'étalonnage, et les résultats sont exprimés en mg/100g (Annexe 01).

• Dosage des flavonoïdes

L'estimation de la teneur en flavonoïdes totaux contenus dans les extraits éthanoliques de la poudre des écorces d'oranges est réalisée par la méthode décrite dans la littérature (Baharun et al., 1996). Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium. Ils forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium). Ceci traduit le fait que le métal (Al) perd deux électrons pour s'unir à deux atomes d'oxygène de la molécule phénolique agissant comme donneur d'électrons. (Ribereau-Gayon, 1968, Fadlinizal et al., 2010).

➤ **Mode opératoire**

Pour le dosage des flavonoïdes nous avons suivi le protocole présenté sur la **figure 09** :

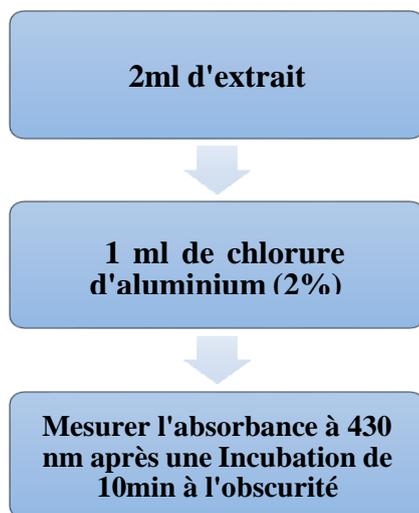


Figure 9 : Dosage des flavonoides

La teneur en flavonoides est exprimée en mg équivalent quercetine par 100g matière sèche MS, et déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage (Annexe 02).

• **Dosage des Flavonols**

La méthode du trichlorure d'aluminium $AlCl_3$ est utilisée pour quantifier les Flavonols dans les extraits des différents échantillons (kosalec et al., 2004).

➤ **Mode opératoire**

Figure 10 Représente le mode opératoire suivie pour le dosage des flavonols.

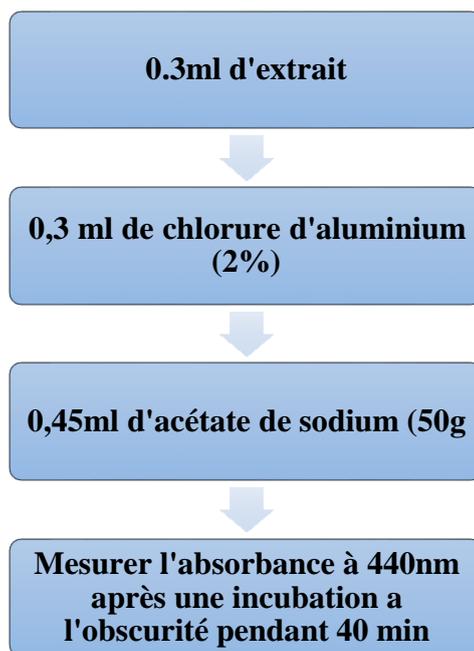


Figure 10 : Dosage des Flavonols

Une courbe d'étalonnage est préparée avec la quercétine, les résultats sont exprimés en mg/100g MS (Annexe 03).

- **Dosage des tanins**

La méthode de dosage des tanins est celle proposée par Ribéreau-Gayon (1968) adaptée au matériel végétal. Elle utilise la propriété des tanins à se transformer en anthocyanes par chauffage en milieu acide.

- **Mode opératoire**

Le protocole de dosage des tannins est représenté dans la **figure 11**

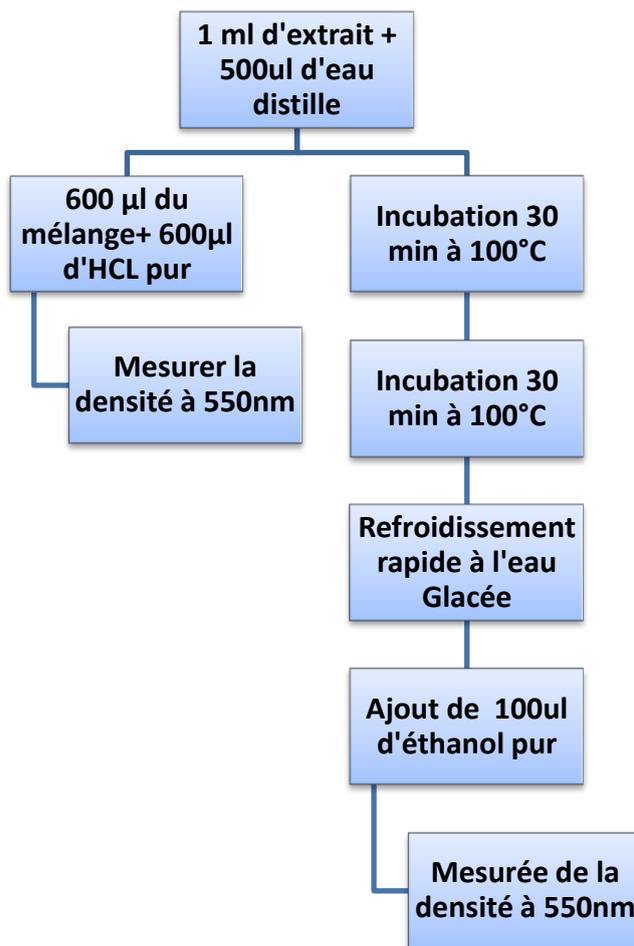


Figure 11 : Protocole de dosage des tanins

Expression des résultats:

$$\text{Tannins} = \frac{(\Delta\text{DO1}) + (\Delta\text{DO2}) \times 19.3 \times V \times \text{dilution}}{\text{masse matériel végétal en g}}$$

ΔDO1 : Densité optique 1.

ΔDO2 : Densité optique 2.

V : Volume d'extraction.

III.10. Détermination des activités antioxydantes des poudres d'écorce d'agrumes

• Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur est l'aptitude des antioxydants présents dans l'extrait à réduire le fer ferrique Fe^{3+} du complexe ferricyanure en fer ferreux Fe^{2+} . La forme réduite donne une couleur verte proportionnelle au pouvoir réducteur de l'extrait (Odabasoglu et al., 2004).

➤ **Mode opératoire**

La détermination du pouvoir réducteur de nos échantillons est illustrée sur la **figure 12**.

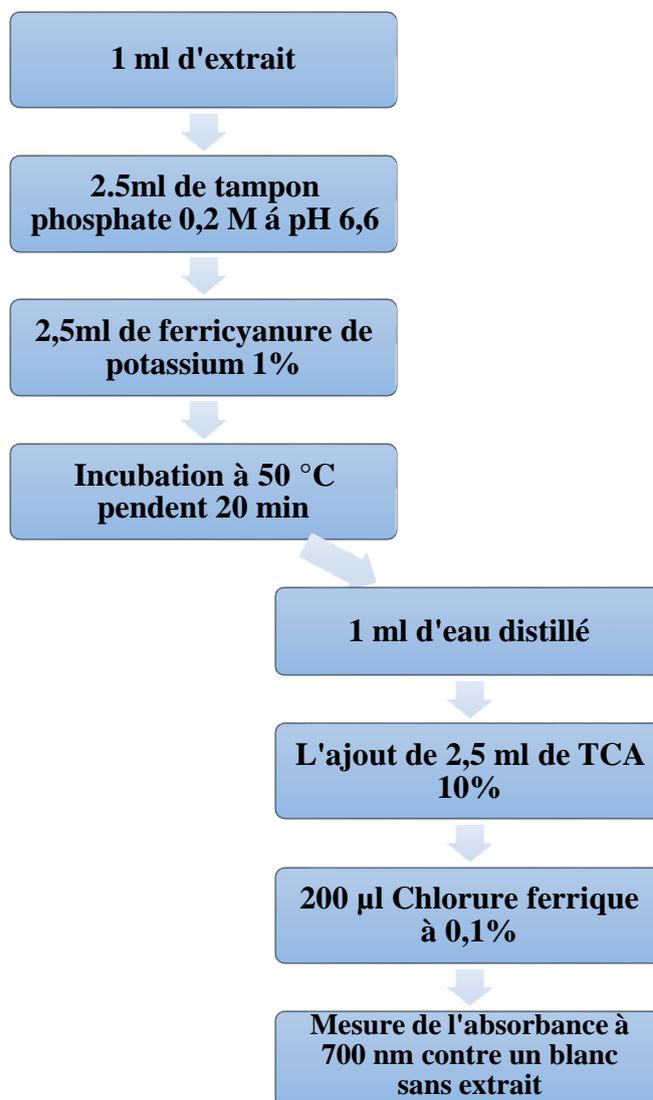


Figure 12 : Détermination du pouvoir réducteur des poudres d'écorce d'agrumes

• **Activité anti-radicalaire DPPH+**

Le DPPH (2,2 diphenyl-1-picryl hydrary!) est un radical stable qui possède un électron célibataire sur l'atome d'azote, caractérisé par une couleur violette et un pic d'absorption spectral maximal à 517nm. En présence d'antioxydant l'électron célibataire devient apparié ce qui conduit à la décoloration de DPPH du violet (forme radicalaire DPPH) au jaune (forme réduite DPPH-H) Cette décoloration représente donc la capacité d'échantillon de piègerco radical (Ramadan, 2010).

➤ Mode opératoire

La **Figure 13** montre le protocole de la détermination de l'activité anti-radicalaire (DPPH),

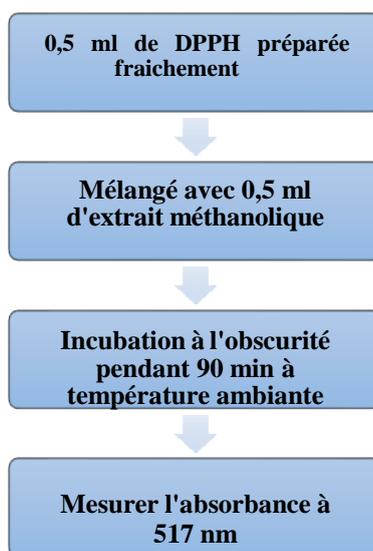


Figure 13 : Protocole de détermination d'activité anti-radicalaire DPPH+

Expression des résultats:

Le pourcentage d'inhibition des radicaux dus à la propriété antioxydant des extraits a été calculé en utilisant la formule suivante:

$$\% \text{ d'inhibition} = (Ac - Ae) / Ac \cdot 100$$

Où:

Ac (absorbance de control)

Ae (absorbance de l'échantillon) sont les absorbances du control et de l'extrait après 1 heure 30min d'incubation.

• Evaluation de l'activité antioxydante par le test ABTS

C'est l'une des méthodes les plus utilisées pour l'évaluation de l'activité antioxydante (Milardovic et al., 2007). Ce test est basé sur la capacité d'un antioxydant à stabiliser le radical cationique ABTS de coloration bleu-vert en le transformant en ABTS incolore par piégeage d'un proton par l'antioxydant (Damintoti et al, 2005; Osman et al., 2006). L'un des radicaux les plus utilisés pour l'évaluation de l'efficacité antioxydante des composés et des mélanges complexes des cations, est le radical dérivé de 2,2-azinobis-3-éthylbenzothiazoline- 6-sulfonique (ABTS) (Osman et al., 2006).

La décroissance de l'absorbance causée par l'antioxydant reflète la capacité de capture du radical libre. La réaction entre les antioxydants et ABTS^{•+} est estimée selon la réaction suivante :



➤ Mode opératoire

Le mode opératoire de ce test est résumé sur la figure suivante (**figure 14**)

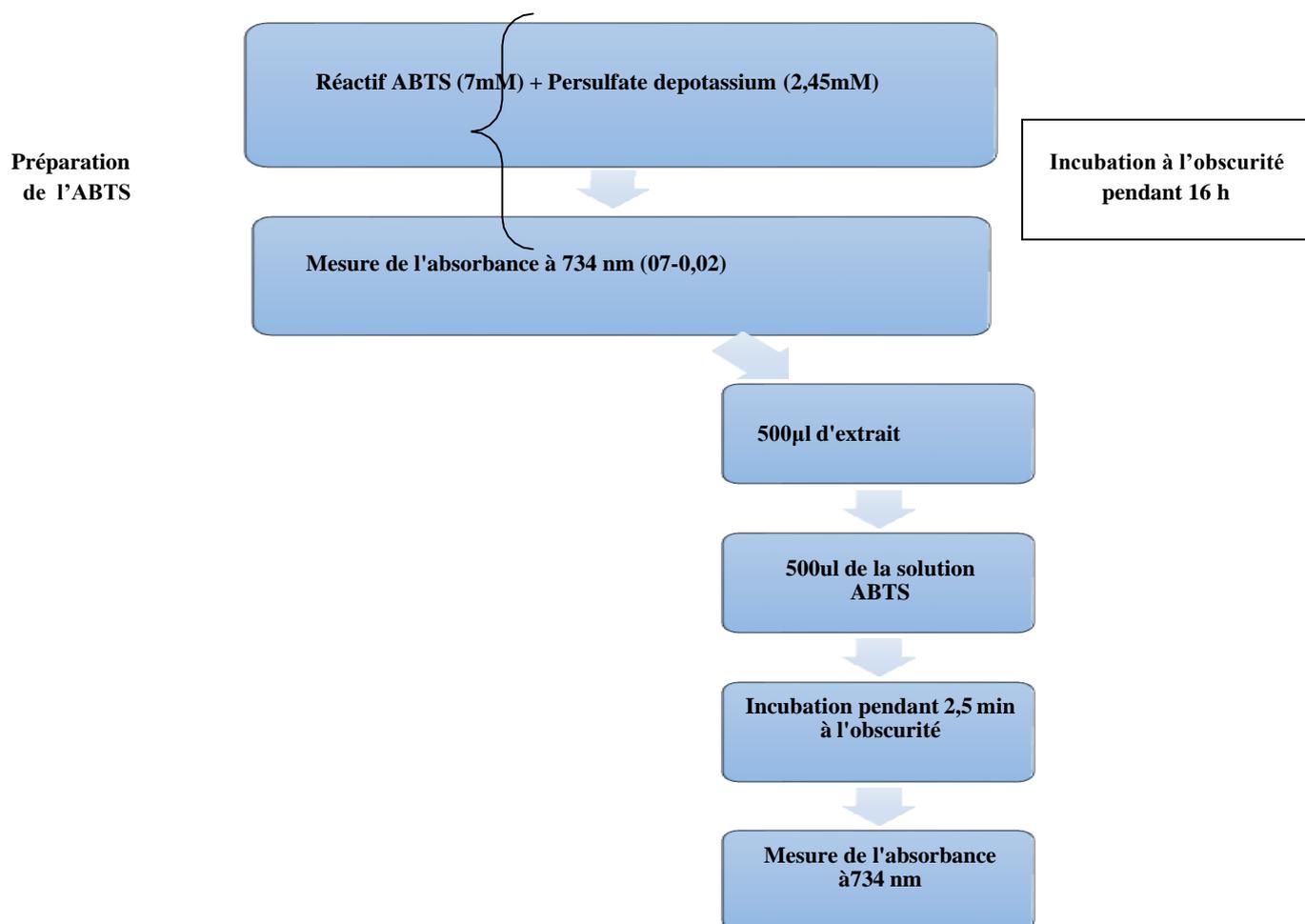


Figure 14 : Protocole de détermination de l'activité anti-radicalaire ABTS+

➤ Expression des résultats :

$$\text{Activité anti radicalaire (\%)} = \frac{(A_0 - A_1)}{A_0} \times 100$$

Où

A0: Absorbance du control.

A1: Absorbance de l'échantillon

III.11. Analyses sensorielles

- **Evaluation sensorielle**

L'évaluation sensorielle regroupe différentes techniques visant à mesurer de manière précise les réponses humaines aux aliments, tout en minimisant les effets potentiellement biaisés de l'identité de marque et d'autres informations pouvant influencer la perception du consommateur. Par conséquent, elle cherche à isoler les caractéristiques sensorielles des aliments eux-mêmes, fournissant ainsi des informations importantes et utiles aux développeurs de produits, aux scientifiques de l'alimentation et aux gestionnaires soucieux des propriétés sensorielles de leur produit (Lawless et Heymann, 2010).

L'évaluation sensorielle a été définie comme une méthode utilisée pour évoquer, mesurer, analyser et interpréter ces réponses aux produits telles qu'elles sont perçues à travers sens de la vue, de l'odorat, du toucher, du goût et de l'ouïe (Stone et Sidel, 2004).

Afin de caractériser les poudres d'écorces de deux variétés d'agrumes séchées nous avons utilisé deux tests sensoriels : le test de préférence et le test descriptif.

Un jury d'analyse sensoriel composé de 30 personnes de l'université de Bejaia qui ont eu déjà des expériences d'analyse sensorielle.

Un questionnaire (Annexe 05) a été élaboré et mis à disposition du jury. Huit échantillons de yaourt nature (Soummam) ont été préparés en incorporant nos poudres séchées, qui ont été soumises à différentes températures (Ta°, 40°C, 50°C et 60°C), ainsi que deux variétés différentes. Un échantillon témoin de yaourt nature a également été inclus, qui a été acheté dans la superette de la même marque.

Le questionnaire a été expliqué au jury et ils sont invités à analyser les échantillons et donner une note de 1 à 5 selon l'intensité (de très peu intense à très intense).

Le traitement des résultats de l'analyse sensorielle a été traité par **Microsoft Excel 2016** et le logiciel **Minitab statistical software 20**.

- **Analyses statistiques**

Pour comparer les différents résultats obtenus dans la présente étude, une analyse descriptive a été réalisée, à l'aide du logiciel Microsoft office Excel 2003, les moyennes étant exprimées sous la forme de moyenne \pm écart type, suivie par une analyse de la variance (**ANOVA**) avec le test LSD. Les données ont été organisées en utilisant le logiciel **STATISTICA version 5.5**. Les

résultats qui portent des lettres alphabétiques différentes, présentent des différences, contrairement à ceux qui portent des lettres identiques.

Toutes les données représentent la moyenne de trois essais.

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSION

IV.1. Taux d'humidité des poudres d'écorce d'orange sanguine et Thomson après séchage

Les résultats obtenus pour la teneur en eau des écorces d'orange sanguine et Thomson fournissent des informations importantes sur la composition de ces échantillons.

Selon les données, l'écorce d'orange sanguine présente une teneur en eau moyenne de $76,72 \pm 0,2150\%$. Cela signifie que près de 77% du poids total de l'écorce est constitué d'eau. Par conséquent, la matière sèche équivalente dans cette écorce représente environ de 23,28% de son poids total.

En ce qui concerne l'écorce d'orange Thomson, les résultats indiquent une teneur en eau moyenne de $72,9 \pm 0,4646\%$. Cela signifie que cette écorce contient environ 72% d'eau. Par conséquent, la matière sèche équivalente dans l'écorce d'orange Thomson est estimée à environ 27,1% de son poids total.

Ces résultats révèlent une différence significative dans la teneur en eau entre les écorces d'orange sanguine et Thomson. L'écorce d'orange sanguine présente une teneur en eau légèrement supérieure à celle de l'écorce d'orange Thomson. Cela peut être attribué à des différences variétales entre les deux types d'oranges, ainsi qu'à des facteurs environnementaux et de maturation qui peuvent influencer la composition chimique de l'écorce.

Ces résultats suggèrent que la teneur en eau de l'écorce d'orange peut varier en fonction de plusieurs facteurs tels que la variété d'orange, les conditions de culture, la période de récolte, etc (Correia et al., 2015).

En comparaison à d'autres résultats, l'étude menée par Bouhadi et al. (2016) ont trouvé une teneur en eau de 90,54%, ce qui est significativement plus élevé que nos résultats pour les deux types d'écorces d'orange. De même, l'étude de Martin et al. (2010) ont rapporté des valeurs de teneur en eau variant de 93,05% à 95% pour les peaux de certains agrumes, ce qui est également plus élevé que nos résultats.

La connaissance du taux d'humidité des écorces d'orange est importante pour diverses applications, notamment dans l'industrie alimentaire, où la teneur en eau peut influencer la conservation, la texture, le goût et la qualité globale des produits à base d'écorces d'orange. Une teneur en eau élevée peut favoriser la croissance de micro-organismes indésirables, tandis qu'une teneur en eau plus faible peut contribuer à une meilleure stabilité et durée de conservation (Lahmari et al., 2012).

En conclusion, la détermination précise de la teneur en eau des écorces d'orange sanguine et Thomson fournit des informations utiles sur la composition de ces échantillons. Ces résultats peuvent être utilisés dans diverses applications pour garantir la qualité et la stabilité des produits à base d'écorces d'orange.

IV.2. La solubilité

L'effet de différentes températures de séchage sur la solubilité de l'écorce d'orange est présenté sur la **figure 15**.

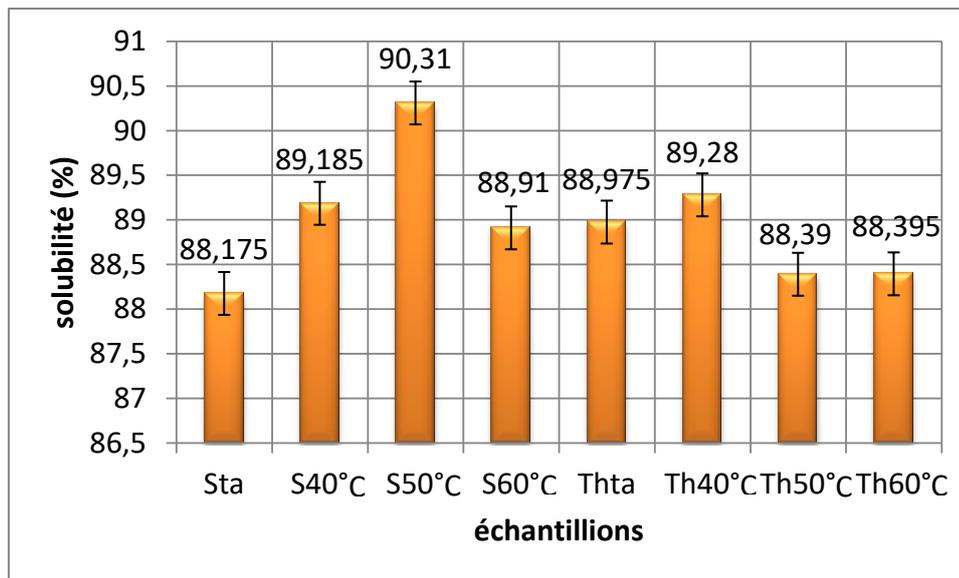


Figure 15 : La solubilité des poudres d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures

Sta : Ecorce d'orange sanguine séché à température ambiante, S40°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 40°C, S50°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 50°C, S60°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 60°C, Thta : Ecorce d'orange Thomson séché à température ambiante, Th40°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 40°C, Th50°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 50°C, Th60°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 60°C

Les résultats de solubilité des poudres d'écorce d'orange sanguine et Thomson séchée à différentes températures, dissoutes dans de l'eau distillée, montrent des variations intéressantes avec des différences non significatives. Les pourcentages de solubilité obtenus pour chaque échantillon de poudre sont les suivants :

Pour les écorces d'orange sanguine séchée : Sta $88,175 \pm 0,1060\%$, S40 $89,185 \pm 0,0919\%$, S50 $90,31 \pm 0,0989\%$, S60 $88,91 \pm 0,0565\%$.

Pour les écorces d'orange Thomson séchée : Tha $88,975 \pm 0,0494\%$, Th40 $89,28 \pm 0,0989\%$, Th50 $88,39 \pm 0,1414\%$, Th60 $88,395 \pm 0,494\%$.

Ces résultats mettent en évidence des différences de solubilité entre les deux types d'écorce d'orange séchée. En comparant les échantillons, nous pouvons observer que l'écorce d'orange sanguine séchée présente généralement une solubilité légèrement supérieure à l'écorce d'orange Thomson séchée.

Il est important de noter que les différences observées dans les pourcentages de solubilité peuvent être attribuées à plusieurs facteurs. La composition chimique des échantillons de poudre, y compris les composés phénoliques, les flavonoïdes et les huiles essentielles, peut influencer leur solubilité dans l'eau. De plus, d'autres variables telles que la taille des particules, la pureté de l'échantillon et les méthodes de séchage utilisées peuvent également jouer un rôle dans les différences de solubilité observées.

Ces résultats de solubilité fournissent des informations précieuses pour la compréhension de la dissolution des poudres d'écorce d'orange sanguine séchée dans l'eau distillée. Cependant, il convient de noter que ces résultats sont spécifiques à ces échantillons particuliers et aux conditions expérimentales utilisées. Des études supplémentaires sont nécessaires pour évaluer la solubilité dans d'autres solvants ou à différentes températures, ainsi que pour explorer les mécanismes sous-jacents à ces variations de solubilité.

IV.3. La capacité de rétention d'eau en pourcentages

La capacité de rétention d'eau est une caractéristique essentielle des fibres alimentaires. Elle représente la quantité maximale d'eau qu'une substance sèche peut absorber et retenir sans subir de contrainte (Jeddou et al., 2016). L'effet de différentes températures de séchage sur la capacité de rétention d'eau de l'écorce d'orange est présenté sur la **figure 16**.

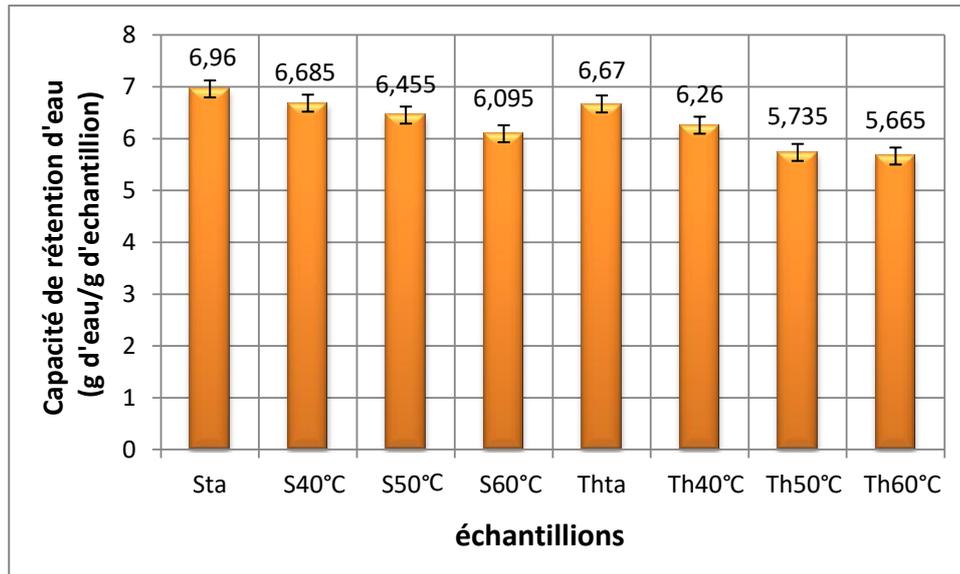


Figure 16 : La rétention d'eau des poudres d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures

Sta : Ecorce d'orange sanguine séché à température ambiante, S40°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 40°C, S50°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 50°C, S60°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 60°C, Thta : Ecorce d'orange Thomson séché à température ambiante, Th40°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 40°C, Th50°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 50°C, Th60°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 60°C

Les résultats de notre étude sur la capacité de rétention d'eau de l'écorce d'orange sanguine et Thomson séchées à différentes températures fournissent des informations importantes sur cette caractéristique essentielle des fibres alimentaires.

Pour les échantillons de poudre d'écorce d'orange sanguine, nous avons observé que la température de séchage de 40°C présentait la capacité de rétention d'eau la plus élevée, avec une valeur de $6,685 \pm 0,0636$ g d'eau par gramme d'échantillon. Cette capacité diminuait légèrement à 50°C avec une valeur de $6,455 \pm 0,0636$ g d'eau/g d'échantillon, et diminuait davantage à 60°C avec une valeur de $6,095 \pm 0,0212$ g d'eau/g d'échantillon.

En ce qui concerne les échantillons de poudre d'écorce d'orange Thomson, nous avons également observé que la température de séchage de 40°C présentait la capacité de rétention d'eau la plus élevée, avec une valeur de $6,26 \pm 0,0565$ g d'eau/g d'échantillon. À 50°C, la capacité de rétention d'eau était légèrement inférieure, avec une valeur de $5,735 \pm 0,0777$ g d'eau/g d'échantillon, et à 60°C, elle était la plus faible avec une valeur de $5,665 \pm 0,0777$ g d'eau/g d'échantillon.

Ces résultats indiquent que la température de séchage a un impact sur la capacité de rétention d'eau de l'écorce d'orange. Généralement, l'eau est retenue dans les sites hydrophiles

de la fibre elle-même ou dans les espaces vides de la structure moléculaire. Cependant, avec l'augmentation de la température, la capacité de rétention d'eau des fibres tend à diminuer. Cela peut s'expliquer par la destruction de la structure en réseau, ce qui réduit la capacité de la fibre à retenir l'eau (Mudgil & Barak, 2013).

IV.4. Teneur en composés phénoliques totaux

Les résultats des concentrations en polyphénols totaux des extraits d'écorce d'orange sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures sont présentés sur la figure 17.

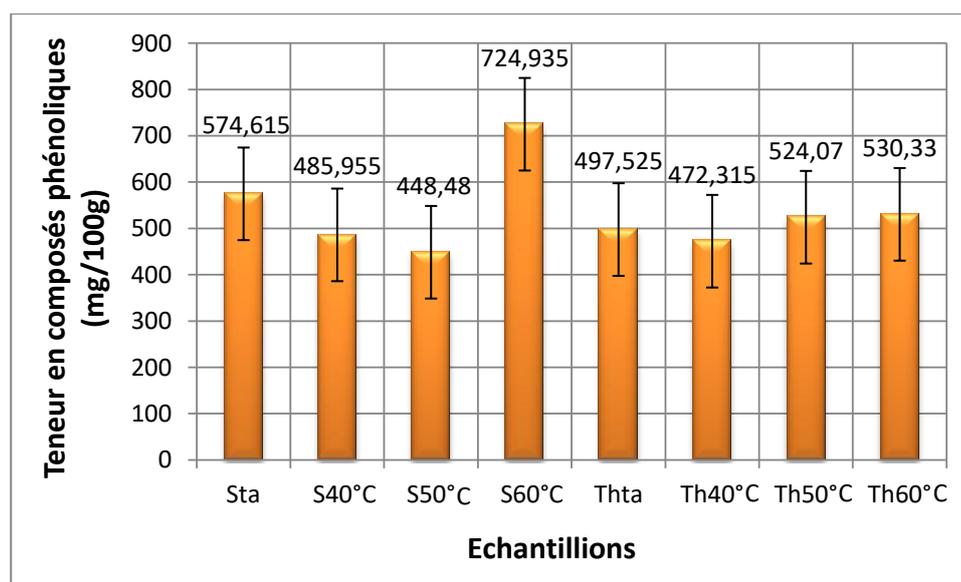


Figure 17 : Teneur en composés phénoliques totaux des extraits éthanoliques d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures.

Sta : Ecorce d'orange sanguine séché à température ambiante, S40°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 40°C, S50°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 50°C, S60°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 60°C, Thta : Ecorce d'orange Thomson séché à température ambiante, Th40°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 40°C, Th50°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 50°C, Th60°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 60°C

Les résultats obtenus pour les concentrations en polyphénols dans les écorces d'oranges sanguines et Thomson séchées à différentes températures sont intéressants à analyser. Dans les échantillons de poudre d'écorces d'orange sanguine, on observe une variation de la teneur en polyphénols totaux en fonction de la température de séchage. Les concentrations les plus élevées sont obtenues à 60 °C, avec une teneur maximale de $724,935 \pm 0,0919$ mg/100g MS. Cela indique que cette température favorise la libération et la conservation des polyphénols dans la poudre d'écorces d'orange sanguine. En revanche, des teneurs plus faibles de

448,48±0,0565 et 485,95±0,0919 mg/100g MS avec une différence non significatif sont observées respectivement à 50 °C et 40 °C. Cette diminution de la concentration de polyphénols à des températures basses peut être attribuée à des durées de séchage plus longues, ce qui peut entraîner une dégradation ou une perte des composés phénoliques.

En ce qui concerne les échantillons de poudre d'écorces d'orange Thomson, les variations des teneurs en polyphénols totaux en fonction de la température de séchage sont moins prononcées. Les concentrations varient de 472,31±0,0636 à 530,33±0,1131 mg/100g MS pour toutes les températures testées, de 40 à 60 °C. On observe une légère augmentation de la concentration de polyphénols à 60 °C, avec une teneur maximale de 530,33±0,1131 mg/100g MS, suivie d'une teneur de 524,07±0,0707 mg/100g MS à 50 °C. Cependant, il n'y a pas de différence significative entre les concentrations de polyphénols à 50 °C et à 60 °C. La teneur la plus faible de 472,31±0,0636 mg/100g est observé à 40 °C.

Ces résultats suggèrent que la température de séchage peut influencer la teneur en polyphénols totaux dans les écorces d'oranges sanguines, mais son effet est moins marqué dans le cas des écorces d'orange Thomson. Les concentrations plus élevées de polyphénols observées à des températures de séchage plus élevées peuvent être attribuées à une meilleure préservation de ces composés pendant le processus de séchage. Cependant, des études supplémentaires sont nécessaires pour comprendre pleinement les mécanismes impliqués dans ces variations de concentration et évaluer l'impact sur les propriétés bénéfiques des polyphénols dans ces écorces d'orange.

En comparaison, l'étude menée par Bejar et al. (2011) a rapporté une teneur en polyphénols totaux de 522±0,014 mg/100g MS, ce qui est comparable aux valeurs obtenues dans notre étude pour les échantillons d'écorce d'orange sanguine. Cependant, les teneurs en polyphénols totaux rapportées par Selmi et al. (2017) sont beaucoup plus élevées, soit 16900,94±0,1036 mg/100g MS.

Ces différences importantes de teneur en polyphénols totaux peuvent être attribuées à des variations dans les méthodes d'analyse, les références utilisées, les unités de mesure et d'autres facteurs liés aux échantillons étudiés (Ghafar et al., 2010).

En conclusion, les concentrations en polyphénols dans les écorces d'oranges sanguines et Thomson séchées varient en fonction de la température de séchage. Les échantillons de poudre d'écorces d'orange sanguine ont montré des concentrations plus élevées à 60 °C.

IV.5. Teneur en flavonoïdes

La figure 18 montre la variation de la teneur en flavonoïdes obtenues pour les différents extraits de poudres d'écorce d'orange séchée à l'air libre et à l'étuve à différentes températures.

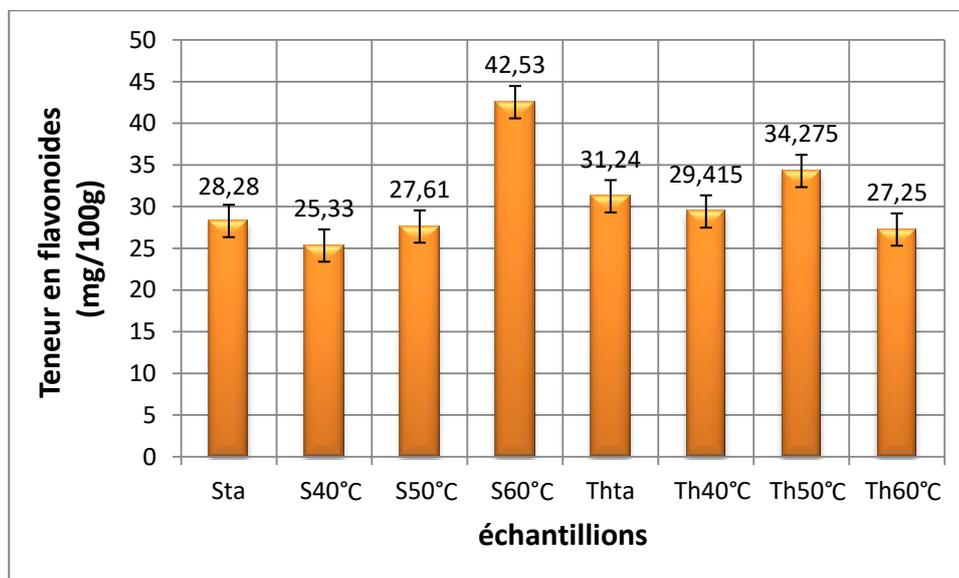


Figure 18 : Teneurs en flavonoïdes des extraits d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures.

Sta : Ecorce d'orange sanguine séché à température ambiante, S40°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 40°C, S50°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 50°C, S60°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 60°C, Thta : Ecorce d'orange Thomson séché à température ambiante, Th40°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 40°C, Th50°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 50°C, Th60°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 60°C

Les résultats de cette étude mettent en évidence l'impact de la température de séchage sur la concentration des flavonoïdes dans les écorces d'orange sanguine et les écorces d'orange Thomson.

Pour les échantillons de poudre d'écorces d'orange sanguine, les résultats indiquent que la température de séchage optimale pour obtenir la concentration la plus élevée de flavonoïdes totaux est de 60 °C, avec une teneur de $42,53 \pm 0,0565$ mg/100g MS. En revanche, des températures de séchage de 40 °C et 50 °C entraînent une teneur plus faible avec une différence non significatif en flavonoïdes, soit $25,33 \pm 0,0989$ mg/100g MS et $27,61 \pm 0,0848$ mg /100g MS respectivement.

En ce qui concerne les échantillons de poudre d'écorces d'orange Thomson, la concentration la plus élevée de flavonoïdes totaux est obtenue à une température de séchage

de 50 °C, avec une teneur de $34,275 \pm 0,0494$ mg/100g MS. Cette concentration est suivie de près par la température de 40 °C, qui donne une teneur de $29,41 \pm 0,0457$ mg/100g MS. En revanche, une teneur plus faible est observée à une température de séchage de 60 °C, avec $27,25 \pm 0,1272$ mg /100g MS.

Ces résultats démontrent que la température de séchage influence la concentration des flavonoïdes totaux dans les écorces d'orange sanguine et les écorces d'orange Thomson. Les températures de séchage de 60 °C et 50 °C semblent être plus favorables pour les écorces d'orange sanguine et Thomson respectivement, en termes de concentration maximale de flavonoïdes totaux. Cependant, il convient de noter que d'autres facteurs, tels que la variété des oranges utilisées et les conditions de séchage, peuvent également influencer la teneur en flavonoïdes (Makkar et al., 1988).

En comparaison, les résultats rapportés par Suri et al. (2022) pour l'écorce séchée de lime doux indiquent que le contenu total en flavonoïdes variait de 1212 à 1765 mg/100g de poids sec de l'échantillon d'écorce de lime. Il convient de noter que ces résultats montrent une concentration beaucoup plus élevée de flavonoïdes par rapport à nos échantillons. Les différences de teneur en flavonoïdes peuvent être attribuées à divers facteurs, notamment les différentes espèces d'agrumes, les conditions de séchage, les méthodes d'extraction et les méthodes analytiques utilisées dans les différentes études (Makkar et al., 1988).

Les flavonoïdes sont des composés bioactifs reconnus pour leurs propriétés antioxydantes et leurs effets bénéfiques sur la santé humaine. Leur consommation régulière peut contribuer à réduire le risque de maladies chroniques, notamment les maladies cardiovasculaires et certains types de cancer. Ainsi, les résultats de cette étude peuvent fournir des informations utiles pour optimiser la concentration de flavonoïdes dans les écorces d'orange sanguine et Thomson, en fonction de la température de séchage (Suri et al., 2021).

Par conséquent, des études complémentaires pourraient être nécessaires afin d'évaluer l'ensemble du profil des composés bioactifs présents dans ces écorces et leur potentiel synergique.

IV.6. Teneur en flavonols

Les résultats des concentrations en Flavonols des extraits d'écorce d'orange sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures sont présentés sur la figure 19.

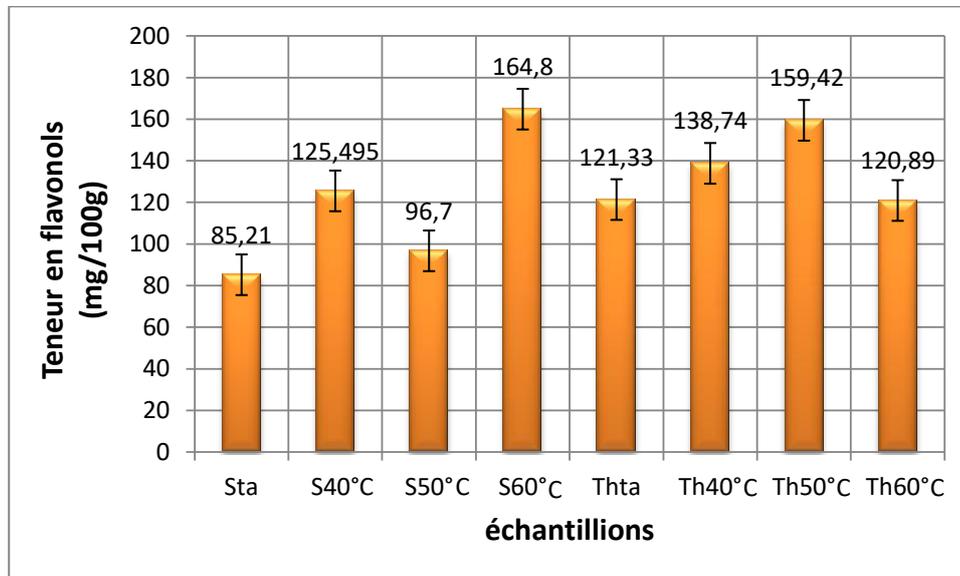


Figure 19 : Teneur en flavonols des extraits d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures.

Les résultats obtenus pour les échantillons de poudre d'écorce d'orange sanguine et d'écorce d'orange Thomson mettent en évidence l'influence de la température de séchage sur la concentration des flavonols, des composés bioactifs présents dans ces écorces.

Pour les échantillons de poudre d'écorce d'orange sanguine, les résultats révèlent que la température de séchage la plus favorable pour la concentration des flavonols est de 60 °C qui est significativement supérieure, avec une concentration maximale de $164,8 \pm 0,2404$ mg/100g MS. La température de 40 °C produit également une concentration élevée, atteignant $125,49 \pm 0,2333$ mg/100g MS. En revanche, une faible teneur en flavonols est observée à une température de séchage de 50 °C, avec seulement $96,7 \pm 0,1272$ mg /100g MS.

En ce qui concerne les échantillons de poudre d'écorce d'orange Thomson, la concentration la plus élevée de flavonols est observée à une température de séchage de 50 °C, avec $159,42 \pm 0,0565$ mg/100g MS. Cette concentration est suivie de près d'une différence significatif par la température de 40 °C, qui donne une concentration de $138,74 \pm 0,0707$ mg/100g MS. En revanche, une faible concentration est constatée à une température de séchage de 60 °C, avec seulement $120,89 \pm 0,0282$ mg/100g MS.

Ces résultats indiquent que la température de séchage influence la concentration des flavonols dans les écorces d'orange sanguine et Thomson. La température de 60 °C semble être la plus favorable pour les écorces d'orange sanguine, tandis que la température de 50 °C est optimale pour les écorces d'orange Thomson. Cependant, il est important de noter que des variations peuvent exister en fonction de la variété des oranges utilisées et d'autres facteurs liés à la méthode de séchage.

Les flavonols sont des composés bioactifs connus pour leurs propriétés antioxydantes et leurs potentiels effets bénéfiques sur la santé humaine. Ainsi, les résultats de cette étude peuvent avoir des implications pour l'utilisation des écorces d'orange dans divers domaines tels que l'alimentation fonctionnelle, les compléments alimentaires et la cosmétique.

IV.7. Teneur en tanins

Les résultats des concentrations en tanins des extraits d'écorce d'orange sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures sont présentés sur la figure 20.

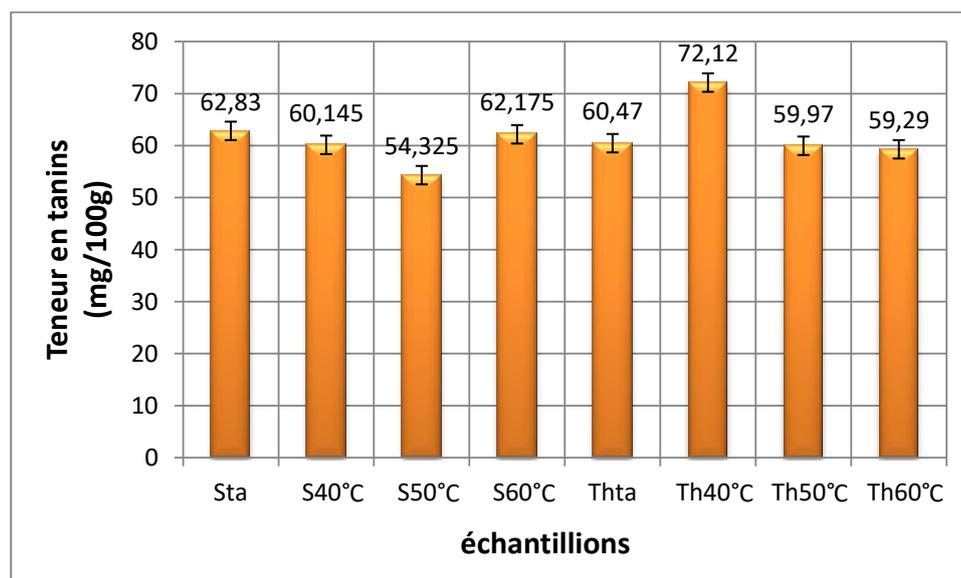


Figure 20 : Teneur en tanins des extraits d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures.

Les résultats présentés dans la figure indiquent les variations de teneur en tanins dans les échantillons de poudre d'écorce d'orange sanguine et d'écorce d'orange Thomson à différentes températures (40 °C, 50 °C et 60 °C).

Pour les échantillons de poudre d'écorce d'orange sanguine, les résultats montrent que la température de séchage optimale est de 60 °C, ce qui a entraîné la concentration la plus élevée de tanins, avec $62,175 \pm 0,0494$ mg/100g MS. Suivie d'une concentration avec une différence non significatif à été obtenue à une température de 40 °C, atteignant $60,145 \pm 0,0636$ mg/100g MS. En revanche, la température de séchage de 50 °C a conduit à une faible teneur en flavonols, avec seulement 54,325 mg/100g MS.

En ce qui concerne les échantillons de poudre d'écorce d'orange Thomson, la concentration la plus élevée de tanins a été observée à une température de séchage de 40 °C, avec $72,12 \pm 0,0565$ mg/100g MS. Cette concentration était suivie avec une différence significatif par la température de 50 °C, qui a donné une concentration de $59,97 \pm 0,1131$ mg/100g MS. En revanche, une faible concentration a été constatée à une température de séchage de 60 °C, avec $59,29 \pm 0,0707$ mg/100g MS.

Ces résultats soulignent l'importance de la température de séchage dans la préservation et la concentration des composés bioactifs dans les écorces d'orange sanguine et Thomson. Les tanins, connus pour leurs propriétés antioxydantes, atteignent une concentration maximale à des températures spécifiques. Cependant, la concentration en flavonols semble être affectée négativement par une température de séchage de 50 °C.

Ces résultats suggèrent également que les écorces d'orange Thomson peuvent présenter une teneur plus élevée en tanins que les écorces d'orange sanguine. Cependant, il est important de noter que d'autres facteurs, tels que la variété des oranges utilisées, peuvent également influencer la concentration des composés bioactifs.

En comparant les résultats de notre étude avec les données des études antérieures, on peut observer des variations significatives dans les teneurs en tanins entre différentes espèces d'agrumes. Les résultats de Okwu et Emenike (2006) indiquent une teneur en tanin très faible dans l'orange douce et la mandarine (0,04 mg/100 g). En revanche, Tajer et al. (2019) ont trouvé des teneurs plus élevées que les résultats de Okwu et Emenike (2006) en tanins dans l'écorce d'orange (31,3 mg/100 g) et le zeste de citron (26,6 mg/100 g).

Ces variations de teneur en tanins entre les différentes espèces d'agrumes peuvent s'expliquer par des facteurs tels que les conditions de culture, le stade de maturité des fruits, les méthodes d'extraction utilisées et les variabilités naturelles dans la composition chimique des plantes (Makkar et al., 1988).

IV.8. Pouvoir réducteur

Les résultats obtenus pour le pouvoir réducteur des écorces d'oranges sanguines et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve sont représentés sur la figure 21.

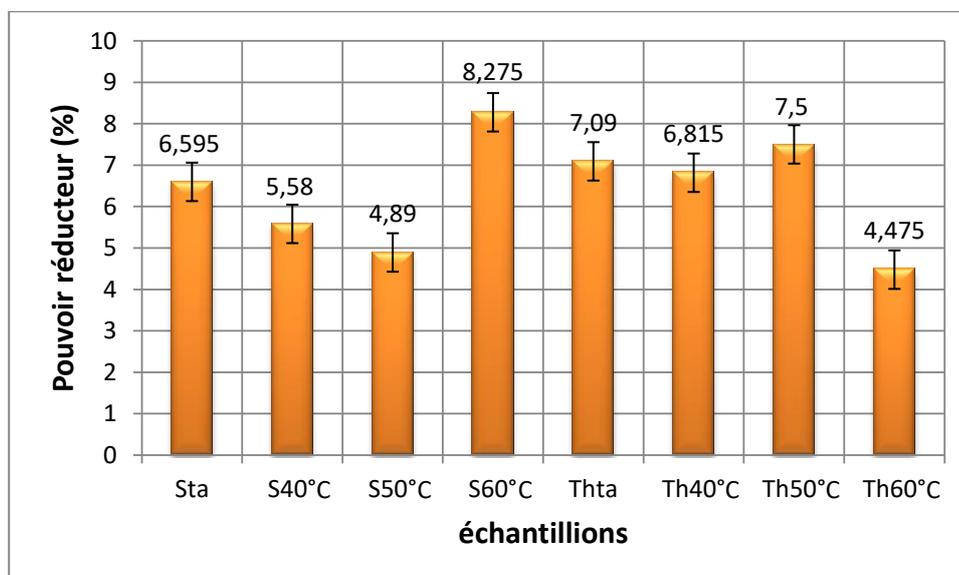


Figure 21 : Pouvoir réducteur des différents extraits d'écorce d'oranges sanguine et Thomson séchées à l'air libre et à l'étuve à différentes températures.

Sta : Ecorce d'orange sanguine séché à température ambiante, S40°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 40°C, S50°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 50°C, S60°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 60°C, Thta : Ecorce d'orange Thomson séché à température ambiante, Th40°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 40°C, Th50°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 50°C, Th60°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 60°C

Les résultats obtenus dans cette étude démontrent des variations significatives du pouvoir réducteur des extraits d'écorce d'orange sanguine et Thomson en fonction des différentes températures de séchage. Le pouvoir réducteur est une mesure importante de l'activité antioxydante des extraits, car il indique leur capacité à neutraliser les radicaux libres et à prévenir les dommages oxydatifs.

Pour les extraits d'écorce d'orange sanguine, il est intéressant de constater que la température de séchage de 60 °C a donné l'extrait le plus puissant en termes de pouvoir réducteur, atteignant un taux de réduction de $8,275\% \pm 0,0636\%$. Ce résultat suggère la présence de composés bioactifs dans l'écorce d'orange sanguine séchée à cette température, qui ont la capacité de céder des électrons et de réduire le Fe^{3+} en Fe^{2+} . En revanche, l'extrait obtenu à 50 °C a montré le pouvoir réducteur le plus faible, avec une valeur de $4,89\% \pm 0,1414\%$. Ces différences de pouvoir réducteur peuvent être attribuées à des variations

dans la composition et la concentration des composés antioxydants présents dans les échantillons.

En ce qui concerne les extraits d'écorce d'orange Thomson, les résultats indiquent que la température de séchage de 50 °C présente le pouvoir réducteur le plus élevé, avec un taux de réduction de $7,5\% \pm 0,0565\%$. Cela suggère la présence de composés antioxydants efficaces dans cette condition de séchage spécifique. L'extrait obtenu à 40 °C présente également un pouvoir réducteur significatif, avec une valeur de $6,815\% \pm 0,0919\%$. En revanche, l'extrait d'écorce d'orange Thomson séchée à 60 °C a affiché le pouvoir réducteur le plus faible, avec une valeur de $4,475\% \pm 0,0636\%$.

Ces résultats mettent en évidence l'impact significatif de la température de séchage sur le pouvoir réducteur des extraits d'écorce d'orange sanguine et Thomson. Il est possible que des variations de température entraînent des changements dans la composition et la structure des composés bioactifs, ce qui peut influencer leur activité antioxydante.

En conclusion, les extraits d'écorce d'orange sanguine et Thomson présentent des capacités de pouvoir réducteur différentes en fonction de la température de séchage. Ces résultats soulignent l'importance de choisir les conditions de séchage appropriées pour préserver au mieux les propriétés antioxydantes des écorces d'orange. De plus, ils mettent en évidence le potentiel de ces extraits comme sources naturelles d'antioxydants dans l'alimentation et la santé. Des études supplémentaires sont nécessaires pour mieux comprendre les composés spécifiques responsables de l'activité antioxydante et évaluer leurs effets bénéfiques potentiels sur la santé humaine.

IV.9. Pourcentage d'inhibition du radical DPPH+

Les résultats obtenus pour le pourcentage d'inhibition du radical stable DPPH'+sont illustrée dans la figure 22

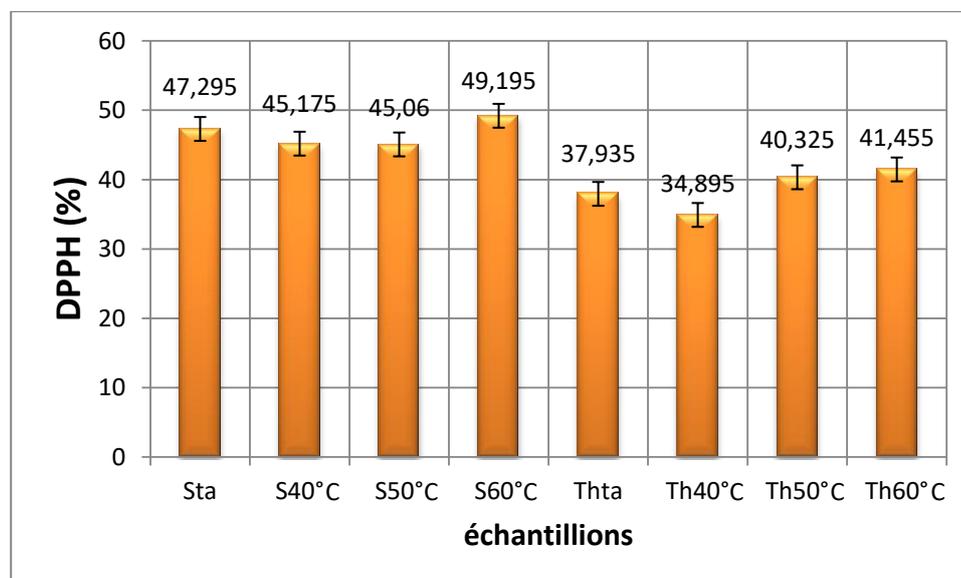


Figure 22 : Pourcentage d'inhibition du radical DPPH+ des différents extraits d'écorce d'orange sanguine et Thomson séchés à l'air libre et à l'étuve à différentes températures

Sta : Ecorce d'orange sanguine séché à température ambiante, S40°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 40°C, S50°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 50°C, S60°C: Ecorce d'orange sanguine séché à 60°C, Thta : Ecorce d'orange Thomson séché à température ambiante, Th40°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 40°C, Th50°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 50°C, Th60°C: Ecorce d'orange Thomson séché à 60°C

Les résultats obtenus dans le test DPPH démontrent la capacité antioxydante des extraits d'écorce d'orange sanguine et Thomson. Le pouvoir antiradicalaire, exprimé en pourcentage d'inhibition, est utilisé comme indicateur de l'activité antioxydante des extraits.

Pour les échantillons d'écorce d'orange sanguine, les résultats montrent que les extraits présentent un pouvoir antiradicalaire compris entre $45,06 \pm 0,0989\%$ et $49,195 \pm 0,1060\%$. L'échantillon séché à 60 °C affiche le pourcentage d'inhibition le plus élevé, avec une valeur de $49,195 \pm 0,1060\%$, suivi de près par l'échantillon séché à 40 °C, avec une valeur de $45,175 \pm 0,0919\%$. En revanche, l'échantillon séché à 50 °C présente la capacité antioxydante la plus faible, avec un pourcentage d'inhibition de $45,06 \pm 0,0989\%$.

Pour les extraits d'écorce d'orange Thomson, le pouvoir antiradicalaire varie de $34,895 \pm 0,1484\%$ à $41,455 \pm 0,0636\%$. L'échantillon séché à 60 °C présente le pourcentage d'inhibition le plus élevé, avec une valeur de $41,455 \pm 0,0636\%$, suivi de près par l'échantillon

séché à 50 °C, avec une valeur de $40,325 \pm 0,0777\%$. En revanche, l'échantillon séché à 40 °C affiche la capacité antioxydante la plus faible, avec un pourcentage d'inhibition de $34,895 \pm 0,1484\%$.

Ces résultats mettent en évidence la capacité des extraits d'écorce d'orange à neutraliser les radicaux libres du test DPPH, démontrant ainsi leur activité antioxydante. Les échantillons séchés à des températures plus élevées, comme 60 °C, semblent présenter une meilleure capacité antioxydante, tandis que les échantillons séchés à des températures plus basses, comme 40 °C, affichent une capacité antioxydante relativement plus faible.

Ces résultats sont cohérents avec les paramètres de polyphénols et de flavonoïdes totaux, ce qui suggère que la présence de ces composés dans les extraits d'écorce d'orange contribue à leur activité antioxydante.

En comparaison, l'étude menée par Özcan et al. (2021) a rapporté un pouvoir antiradicalaire allant de 58,72% à 67,84%. Les résultats de notre étude montrent des valeurs inférieures de pouvoir antiradicalaire pour les deux types d'écorces d'orange par rapport à cette étude.

Les différences de pouvoir antiradicalaire peuvent être attribuées à plusieurs facteurs, tels que la variété d'orange utilisée, les conditions de culture, la méthode d'extraction des composés antiradicalaires, les conditions de stockage des extraits, etc (Bourgou et al., 2008; Naczki et al., 2004).

IV.10. Pourcentage d'inhibition du radical ABTS+

La figure 23 présente les résultats obtenus pour le pourcentage d'inhibition du radical stable ABTS^{•+} pour les extraits d'écorce d'orange séchée à l'étuve.

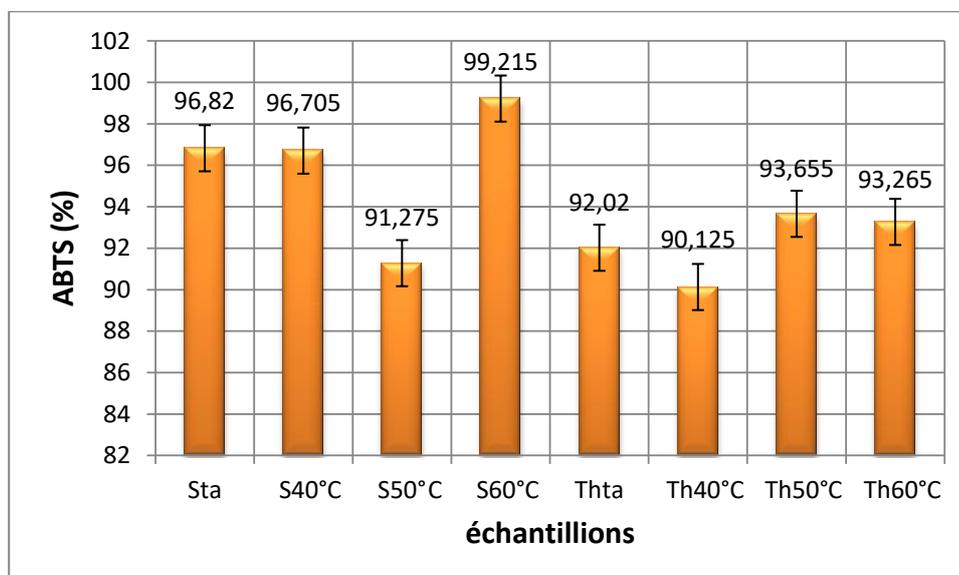


Figure 23 : Pourcentage d'inhibition du radical ABTS^{•+} des différents extraits d'écorce d'orange sanguine et Thomson séchés à l'air libre et à l'étuve à différentes températures

Les résultats du test ABTS montrent clairement que les extraits d'écorce d'orange sanguine et de variété Thomson possèdent une capacité à réduire le radical ABTS^{•+}. Les taux d'inhibition obtenus indiquent le pourcentage de neutralisation du radical par les extraits, ce qui est directement lié à leur pouvoir antioxydant.

Dans le cas des extraits d'écorce d'orange sanguine, on observe des taux d'inhibition allant de 91,34% à 99,29%. L'échantillon séché à 60 °C présente le pouvoir antioxydant le plus élevé, avec un taux d'inhibition de 99,29%, suivi de près par l'échantillon séché à 40 °C, avec un taux d'inhibition de 96,73%. En revanche, l'échantillon séché à 50 °C présente le pouvoir antiradicalaire le plus faible, avec un taux d'inhibition de 91,34%.

Pour les extraits d'écorce d'orange Thomson, les taux d'inhibition varient de 90,15% à 93,70%. L'échantillon séché à 50 °C présente le pouvoir antioxydant le plus élevé, avec un taux d'inhibition de 93,70%, suivi de près par l'échantillon séché à 60 °C, avec un taux d'inhibition de 93,30%. En revanche, l'échantillon séché à 40 °C présente le pouvoir antiradicalaire le plus faible, avec un taux d'inhibition de 90,15%.

Ces résultats démontrent une corrélation significative entre la teneur en composés phénoliques et le pouvoir antioxydant des extraits d'écorce d'orange. Les échantillons avec une teneur plus élevée en polyphénols ont affiché une activité antioxydante plus forte, tandis que ceux avec une teneur plus faible en polyphénols ont montré une activité de piégeage des radicaux libres plus faible.

En comparaison, les résultats rapportés par Mahmood et al. (2015) pour l'écorce de *C. sinensis* (une autre variété d'orange) étaient de 55,8% à 60,7% d'inhibition. Ces taux d'inhibition sont plus faibles que ceux que nous avons obtenus pour les extraits d'écorce d'orange sanguine et de variété Thomson.

Cela suggère que les extraits d'écorce d'orange sanguine et de variété Thomson peuvent avoir une activité antioxydante plus élevée que l'écorce de *C. sinensis*, du moins selon les résultats que nous avons obtenus. Il convient de noter que les résultats peuvent varier en fonction des méthodes de test, des conditions expérimentales et des spécificités des échantillons utilisés.

En conclusion, les extraits d'écorce d'orange sanguine et Thomson ont démontré une capacité significative à neutraliser le radical $ABTS^{\cdot+}$, ce qui indique leur potentiel antioxydant. Ces résultats soutiennent l'idée que les extraits d'écorce d'orange peuvent être considérés comme de bonnes sources d'antioxydants naturels, en particulier ceux obtenus à des températures de séchage spécifiques. Cependant, d'autres études sont nécessaires pour identifier les composés spécifiques responsables de cette activité antioxydante et pour évaluer leur efficacité dans des applications alimentaires et médicales.

IV.11. Analyses sensorielles

- **Profil sensorielle du yaourt**

D'après les résultats obtenus, nous avons trouvés que le témoin a une différence significative par rapport aux autres formules. Pour la couleur nous avons observé une différence significative entre le témoin et les autres échantillons, où aucune différence significative a été observé entre les échantillons (Thom Ta, Sang Ta, Thom 40°C, Sang 40°C, Thom 50°C, Sang 50°C, Thom 60°C) (**Figure 21**).

Les huit formules n'ont montré aucune différence significative pour le goût gras et la saveur acide. Pour le goût sucré aucune différence significative n'a été remarquée entre le témoin et les différentes formules, mais nous avons trouvé une différence significative entre le témoin et la Thom 40°C.

Pour l'odeur, les résultats du profil sensoriel ont montrés que nous n'avons observé aucune différence significative entre les cinq formules (Sang Ta, Thom 40°C, Sang40°C, Thom 50°C, Thom 60°C), mais nous avons trouvé une différence significative entre le témoin et Thom Ta et Sang 50°C.

En ce qui concerne les autres attributs tels que la texture en bouche et l'arrière-goût, nous avons constaté une différence significative entre les cinq formules et les échantillons témoins. Plus précisément, nous avons observé une différence significative dans l'arrière-goût entre les échantillons Thom 60°C et Sang 50°C. Quant à la texture en bouche, nous avons constaté une différence significative entre l'échantillon Thom 50°C et les autres échantillons.

Ces différences significatives entre les yaourts incorporant nos poudres ont été attribuées à l'effet de la température de séchage sur la composition des écorces.

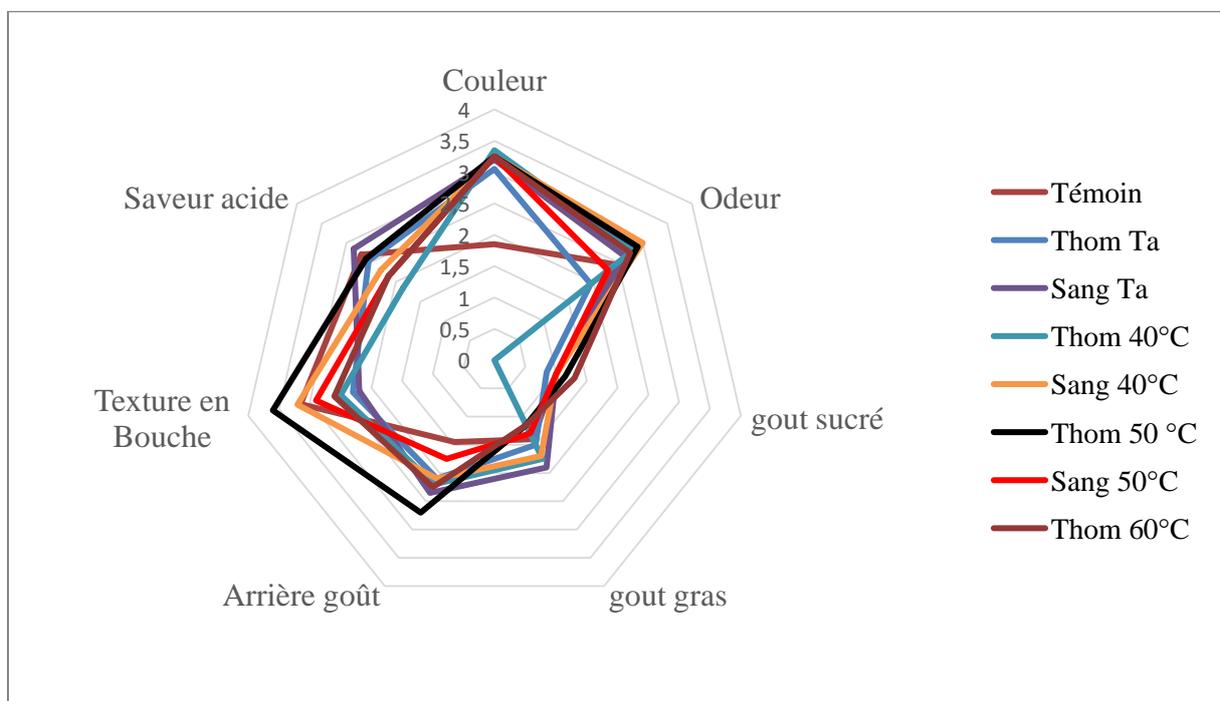


Figure 24 : Profil sensorielle du yaourt

Selon les résultats du profil sensoriel (identification du fruit) (**Figure 25**), il a été observé que 21 personnes reconnaissent le fruit comme étant une orange, 4 personnes pensent que le fruit est une citrouille, 3 personnes pensent qu'il s'agit de carottes et seulement 2 personnes ne connaissent pas le fruit.

La majorité des participants ont identifié le goût ou l'arôme des écorces d'agrumes dans le yaourt comme étant celui de l'orange. Cela suggère que l'association entre les écorces d'agrumes et le goût caractéristique de l'orange était clairement perçue. Une minorité des participants a fait une association erronée et à identifier le goût ou l'arôme des écorces d'agrumes comme étant celui de la citrouille et des carottes. Cela peut être dû à une confusion dans la perception sensorielle. Les personnes qui n'ont pas connu le fruit il est possible qu'ils n'aient pas perçu une quelconque présence de fruit ou qu'ils n'aient pas été en mesure d'associer le goût à un fruit spécifique.

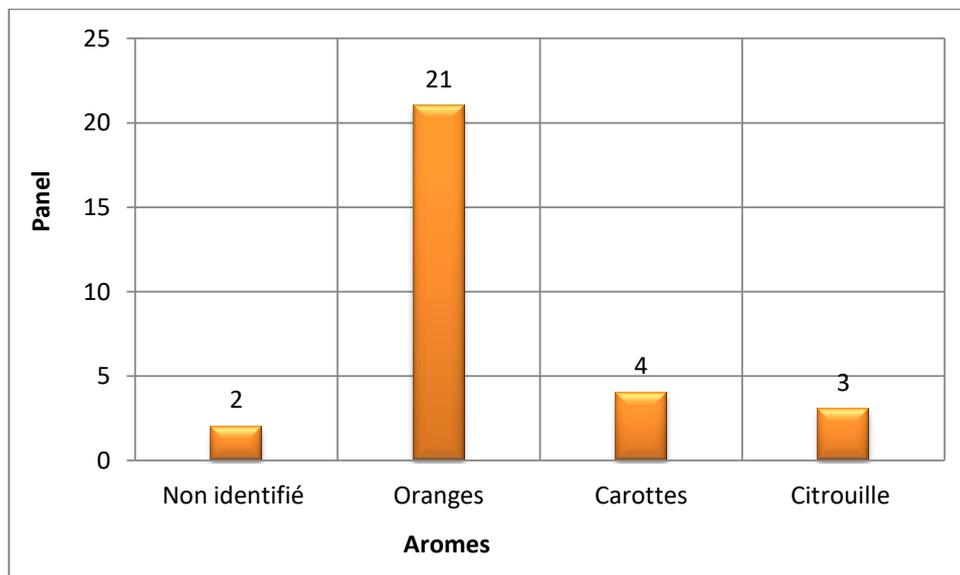


Figure 25 : Profil sensoriel (Identification du fruit) du yaourt

• Test de préférence

Les résultats de préférence générale sont présentés sur la figure suivante (**Figure 26**)

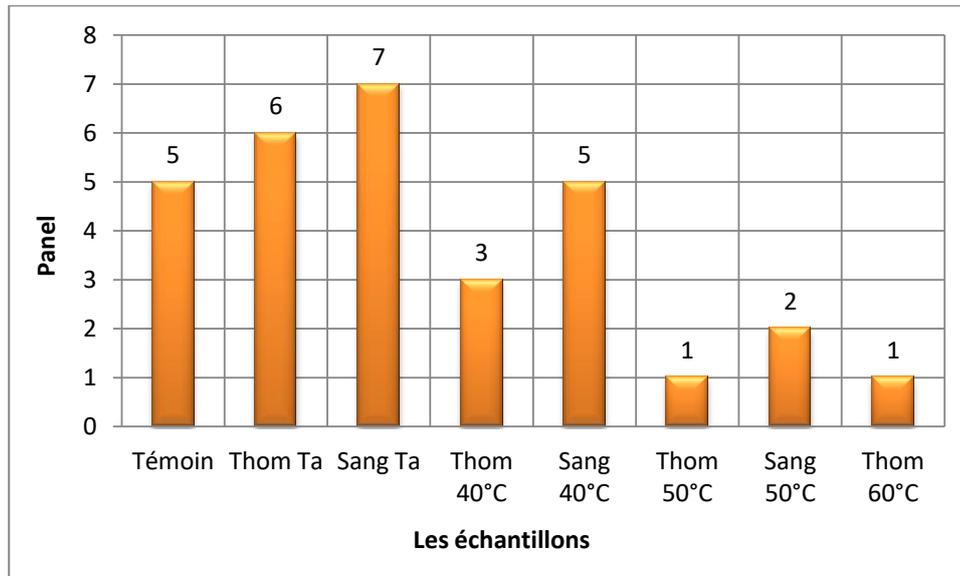


Figure 26 : Préférences générales des sujets

Sta : Ecorce d'orange sanguine séché à température ambiante, S40C°: Ecorce d'orange sanguine séché à 40°C, S50C°: Ecorce d'orange sanguine séché à 50°C, S60C°: Ecorce d'orange sanguine séché à 60°C, Thta : Ecorce d'orange Thomson séché à température ambiante, Th40C°: Ecorce d'orange Thomson séché à 40°C, Th50C°: Ecorce d'orange Thomson séché à 50°C, Th60C°: Ecorce d'orange Thomson séché à 60°C

Les sujets ont préféré l'échantillon Sang Ta, Thom Ta, Sang 40°C et témoin, Thom 40°C, puis Sang 50°C, Thom 50°C et Thom 60°C. 23,33% des dégustateurs ont préféré Le yaourt Sang Ta parce que le goût des écorces est bon par rapport aux autres échantillons. Alors que pour les 16,66% des dégustateurs qui en préférés le témoin qui est le yaourt naturel sans poudre, leur choix est basé sur la texture homogène avec absence des grumeaux de la poudre et sa couleur blanche par rapport à nos formules. Nous pouvons noter qu'un dégustateur n'a mentionné un goût désagréable dû à la présence des poudres des écorces dans le yaourt.

CONCLUSION

Le présent travail est concentré sur l'étude du procédé de séchage et son influence sur la teneur en composés phénoliques de l'orange sanguine (*Citrus Sinensis*) et de la Thomson Navel (Washington Navel).

Dans le cadre de cette étude, un séchage a été réalisé en utilisant la méthode de séchage à l'air libre et de l'étuve à différentes températures (40, 50 et 60 °C) afin d'évaluer l'impact de cette méthode sur la qualité de la poudre d'écorce d'orange obtenue.

Cette étude a démontré que le procédé de séchage des écorces d'orange sanguine et de Thomson a un impact significatif sur la teneur en composés phénoliques, la capacité antioxydante et les flavonoïdes des poudres d'écorces obtenues. Les résultats suggèrent que le séchage à l'étuve à 60 °C est optimal pour l'écorce d'orange sanguine, tandis que le séchage à 50 °C est recommandé pour l'écorce de Thomson.

Les activités antioxydantes mesurées dans les extraits de poudres d'écorces d'orange sanguine et de Thomson ont confirmé l'importance de ces sous-produits en tant que sources potentielles de composés antioxydants et de produits nutraceutiques. Ces poudres d'écorces peuvent être valorisées dans le développement de produits alimentaires fonctionnels et de compléments alimentaires.

L'analyse sensorielle a également révélé des préférences des dégustateurs en ce qui concerne les échantillons de yaourt contenant les différentes poudres d'écorces.

Certains dégustateurs ont préféré l'échantillon à base d'écorce d'orange sanguine en raison de son goût agréable, tandis que d'autres ont préféré le yaourt naturel sans poudre en raison de sa texture homogène et de sa couleur blanche. Il est important de prendre en compte ces préférences sensorielles lors de l'utilisation de ces poudres dans le développement de produits alimentaires.

Cependant, il est important de souligner que des études supplémentaires sont nécessaires pour renforcer ces conclusions. Il serait intéressant d'évaluer d'autres activités biologiques des poudres d'écorces à l'aide de modèles *in vitro* et *in vivo*. Cela permettrait de mieux comprendre les effets bénéfiques potentiels de ces poudres sur la santé humaine.

De plus, l'exploration de techniques de séchage modifiées et innovantes pourrait également être envisagée. Ces techniques pourraient potentiellement améliorer la qualité des poudres d'écorces et préserver davantage les composés bioactifs présents. Cela ouvrirait la voie à de nouvelles possibilités d'utilisation de ces poudres dans l'industrie alimentaire.

Enfin, cette étude met en évidence le potentiel des poudres d'écorces d'orange sanguine et de Thomson en tant qu'ingrédients naturels antioxydants dans les applications alimentaires. Leur utilisation dans des formulations de produits nutraceutiques et d'aliments fonctionnels peut apporter des avantages pour la santé. Cependant, des recherches complémentaires sont nécessaires pour approfondir nos connaissances sur ces poudres et pour explorer de nouvelles opportunités d'application.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

A

- Ali, R., Rahim, A., & Islam, A. (2017).** Synthesis and antimicrobial activity of 7-hydroxy-3', 4'-methylenedioxy-and 7-benzyloxy-3', 4'-methylenedioxy flavanones. *Journal of Scientific Research*, 9(3), 297-306 .<https://doi.org/10.3329/jsr.v9i3.31229>
- Alibas, I. (2007).** Microwave, air and combined microwave–air-drying parameters of pumpkin slices. *LWT-Food Science and Technology*, 40(8), 1445-1451.

B

- Bahorun T., Gressier B., Troitin F., Brunet C., Dine T., Luyckx M., autres., Vasseur J., Cazin M., Cazin J.C et Pincas M. (1996).** Oxygenspeciesscaveningactivity of phenolicextractsfromhawthornfresh plant organs and parmaceuticalpreparations. *ArzneimittleForshing*, 46 (11), PP 1086-1089.
- Barros, H. R.D.M., Ferreira, T.A. P.D.C., Genovese, M. I.,(2012).** Antioxidant capacity and mineral content of pulp and peel from commercial cultivars of citrus from Brazil. *Food Chemistry*. 134, 1892-1898.
- Bejar, A. K., Kechaou, N., & Mihoubi, N. B. (2011).** Effect of Microwave Treatment On Physical and Functional Properties of Orange (Citrus Sinensis) Peel and Leaves. *Journal of Food Processing and Technology*, 02(02). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000109>
- Benalia. E (2014).** Exploitation de la source thermique de l'eau Albien dans le séchage solaire des produits agro-alimentaires .Mémoire de Master: Université Kasdi Merbah. Ouargla.
- Benbrinis, s. (2012)** Evaluation des activités antioxydante et antibactérienne des extraits de *santolina chamaecyparissus*. Mémoire de magistère. Universite Ferhat Abbas, Sétif. p20
- Bimbenet J.J., Duquenoy A. et Trystram G., (2002).** Génie des procédés alimentaires : Des bases aux applications.Edition RIA-DUNOD. Paris 554 p.
- Bocco, A., Cuvelier, M.E. Richard, H., Berset, C. (1998).** Antioxydant Activity and Phenol Composition of Citrus Pell and Seed Extracts. *J. Agric. Food Chem*, 46(6): 2123-23.
- Bonnaillie C., Salacs M., Vassiliova E. et Saykova I. (2012).** Etude de l'extraction de composés phénoliques à partir de pellicules d'arachide (*Arachishypogaca L.*). *Revue de génie industriel*, 7, 35-45.

Bouhadi, N., Nouani, A., Benmalek, N., Benchabane, A. (2016). Valorisation des sous produits d'argumes : production d'enzymes pectinolytiques par bioconversion. *Algerian Journal of Environmental Science and Technology*, 2(1).

Bourgou, S., Ksouri, R., Bellila, A., Skandrani, I., Falleh, H., & Marzouk, B. (2008). Phenolic composition and biological activities of Tunisian *Nigella sativa* L. shoots and roots. *Comptes Rendus Biologies*, 331(1), 48-55.

Bouzouina M. (2013). Influence des composés phénoliques des feuilles de citrus, sur le développement des larves de *Phyllocnistis citrella* Staint. (Lepidoptera : Gracillariidae) dans un milieu semi contrôlé.

C

Cai, Y., Tian, J., Qin, W., & Ogawa, Y. (2020). Effect of particle size of pulverized citrus peel tissue on elution characteristics of intracellular substances as influenced by type of solvent. *Food Hydrocolloids*, 100(2019), Article 105392. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105392>

Calvaruso E, Cammilleri G, Pulvirenti A, Lo Dico GM, Lo Cascio G, Giaccone V, Vitale Badaco V, Cipri, V, Alessandra MM, Vella A, Macaluso A, Di Bella C, Ferrantelli V. (2020). Residues of 165 pesticides in citrus fruits using LC-MS/MS: a study of the pesticides distribution from the peel to the pulp. *Natural Product Research*. 34: 34-38.

Cano-Chauca, M., Stringheta, P.C., Ramos, A.M., Cal-Vidal, C., (2005). Effect of the carriers on the microstructure of mango powder obtained by spray drying and its functional characterization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 6, 420–428.

Chakraverty, A. (2003). Conversion and utilization of biomass. In: *Handbook of postharvest technology: cereals, fruits, vegetables, tea, and spices*, (Eds.) H.S. Ramaswamy, G.S.V. Raghavan, A. Chakraverty, A.S. Mujumdar, Marcel Dekker. New York, 797-819

Charreau, A. and R. Cavaille (1991). "Séchage théorie et pratique *Technique de l'Ingénieur, génie des procédés*," 2480-1; 2480-23.

Chavan P, Singh AK, Kaur G. (2018). Recent progress in the utilization of industrial waste and by products of citrus fruits: A review. *Journal of Food Process Engineering*. 41: e12895.

Chibani, S. (2012). étude phytochimique et biologique de six plantes médicinales de l'est algérien. Thèse de doctorat. Université de Constantine. p3, p13, p69, p103.

Chinnici, G., Pecorino, B., & Scuderi, A. (2013). Environnemental and economic performance of organic citrus growing. *quality-Access to success* .

Correia, A., Loro, A., Zanatta, S., Spoto, M., & Vieira, T. (2015). Effect of temperature, time, and material thickness on the dehydration process of tomato. *International journal of food science*, 2015.

D

Daglia, M. (2012). Polyphenols as antimicrobial agents. *Current opinion in biotechnology*, 23(2), 174-181.

Damintoti, K., DH Mamoudou, S., Jacques., AS Traoré.(2005). Activitésantioxydantes et antibactériennes des polyphenols des plantes thnomedicinales du Burkina Faso. *Afr. J. Biotechnol.*, 4: 823-828.

E

Eastman, J.E., Moore, C.O., (1984). Cold Water Soluble Granular Starch for Gelled Food Composition. U.S. Patent 4465702.

Etebu, E., & Nwauzoma, A. B. (2014). A review on sweet orange (*Citrus sinensis* L Osbeck): health, diseases and management. *Am J Res Commun*, 2(2), 33-70.

F

Fadlinizal, AGM., Prasad, KN., Weng, KK., Ismail, A. (2010), Flavonoid, hesperidin, total phenolic contents and antioxidant activities from Citrus species. *Afr J. Biotechnol.* 9(3): 326-330.

FAOSTAT. (2019). Données sur l'alimentation et l'agriculture. Alimentation et agriculture Organisation. FAO, Rome. Disponible sur:<http://www.fao.org/faostat/fr/?#data/QC>.

Feng, H., Yin, Y., & Tang, J. (2012). Microwave drying of food and agricultural materials: basics and heat and mass transfer modeling. *Food Engineering Reviews*, 4(2), 89-106.

Fournier, V. (2003). Conservation des aliments. Université Laval, Canada; 16 p.

G

Ghafar, M., Prasad, K. N., Weng, K. K., & Ismail, A. (2010). Flavonoid, hesperidine, total phenolic contents and antioxidant activities from Citrus species. *African Journal of Biotechnology*, 9(3).

Ghnimi, W. (2015). Étude phytochimique des extraits de deux Euphorbiaceae: *Ricinus communis* et *Jatropha curcas*. Évaluation de leur propriété anti-oxydante et de leur action inhibitrice sur l'activité de l'acétylcholinestérase (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).

Gürler, S. B., Kiraz, Y., & Baran, Y. (2020). Flavonoids in cancer therapy: current and future trends. In *Biodiversity and Biomedicine* (pp. 403-440). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-819541-3.00021-9>

H

Hosni, K., Zhaed, N., Chrif, R., Abid, I., Medfei, W., Sebei H., (2010). Composition of peel essential oils from four selected Tunisian Citrus species: Evidence for the genotypic influence. *Food chemistry*. 123, 1098-1104.

Huang, Y.S., Ho, S.C., (2010). Polymethoxy flavones are responsible for the antiinflammatory activity of citrus fruit peel. *Food Chemistry*. 119, 868-873.

Huyut, Z., Beydemir, Ş., & Gülçin, İ. (2017). Antioxidant and antiradical properties of selected flavonoids and phenolic compounds. *Biochemistry research international*, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7616791>

J

JACQUEMOND S., AGOSTINI D et CUR K. (2009). Les clémentiniers et autres petites agrumes. Quae, 1er Ed., Paris.

Jeddou, K. B., Chaari, F., Maktouf, S., Nouri Ellouz, O., Helbert, C. B., & Ghorbel, R. E. (2016). Structural, functional, and antioxidant properties of water-soluble polysaccharides from potatoes peels. *Food Chemistry*, 205, 97–105.

Jia, C., Zhang, J., Yu, L., Wang, C., Yang, Y., Rong, X., ... & Chu, M. (2019). Antifungal activity of coumarin against *Candida albicans* is related to apoptosis. *Frontiers in cellular and infection microbiology*, 8, 445. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2018.00445>

K

Kaya, A., Aydın, O., & Dincer, I. (2008). Experimental and numerical investigation of heat and mass transfer during drying of Hayward kiwi fruits (*Actinidia Deliciosa Planch*). *Journal of Food Engineering*, 88(3), 323-330.

Kingston M M et Haswell S J.,(1997). Microwave – Enhanced Chemistry, Fundamentals, Sample Preparation, and applications. Edition American Chemistry Society, Washignton, DC, 772 p.

Koné, K. Y., Druon, C., Gnimpieba, E. Z., Delmotte, M., Duquenoy, A., & Laguerre, J.-C. (2013). Power density control in microwave assisted air drying to improve quality of food. *Journal of Food Engineering*, 119(4), 750-757.

Kosalec, L., Bakmaz, M., Pepeljnjak, S., Vladimir-Knezevic', S. (2004). Quantitative analysis of the flavonoids in raw propolis from northern Croatia. *Acta Pharm.* 54, 65-72

L

Lagha-Benamrouche, S., Madani, K., (2013). Phenolic contents and antioxidant activity of orange varieties (*Citrus sinensis* L. and *Citrus aurantium* L.) cultivated in Algeria: Peels and leaves. *Industrial Crops and Products.* 50, 723-730.

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.

Liu, Q., K. Suzuki, et al. (2000). "Antioxidant activities of natural 9-cis and synthetic alltrans β -carotene assessed by human neutrophil chemiluminescence." *Nutrition Research* 20(1): 5-14.

M

M'hiri N. (2015). Etude comparative de l'effet des méthodes d'extractions sur les phénols et l'activité antioxydant des extraits des écorces de l'orange « maltaise demi sanguine » et exploration de l'effet inhibiteur de la corrosion de l'acier au carbone.

Mafart P., (1991). Génie industriel alimentaire. Tome 1 : Procédés physiques de conservation 2^{ème} éd. Paris : Tec & Doc. 341p.

Makkar, H. P., Singh, B., & Dawra, R. (1988). Effect of tannin-rich leaves of oak (*Quercus incana*) on various microbial enzyme activities of the bovine rumen. *British Journal of Nutrition,* 60(2), 287-296.

Mamma D, Christakopoulos P. (2013). Biotransformation of Citrus By-Products into Value Added Products. *Waste and Biomass Valorization.* 5: 529–549.

Mandez Lagunas, L. (2007). L'effet des conditions variables de séchage sur la cinétique de séchage et la qualité de l'ail. Thèse de Doctorat en science et technologie des aliments pour l'obtention du grade de Philosophiae Doctor (Ph.D). Université Laval, Faculté des études supérieures. pp : 1-139.

Maskan, M. (2001). Kinetics of colour change of kiwifruits during hot air and microwave drying. *Journal of Food Engineering,* 48(2), 169-175.

Mehmood, Basharat & Dar, Kamran & Ali, Shaukat & Awan, Uzma & Nayyer, Abdul & Ghous, Tahseen & Andleeb, Dr. Saiqa. (2015). In vitro assessment of antioxidant, antibacterial and

phytochemical analysis of peel of Citrus sinensis. Pakistan journal of pharmaceutical sciences. 28. 231-239.

Milardovic, S., Kereković, I., Rumenjak, V. (2007). Méthode bi ampérométrique par injection de flux pour la détermination de la capacité antioxydante totale des boissons alcoolisées à l'aide

Mouafki .A., (2004). Modélisation et Simulation du procédé de séchage solaire des feuilles de menthe, Mémoire de Magister, Université de Ouargla.

Mudgil, D., & Barak, S. (2013). Composition, properties and health benefits of indigestible carbohydrate polymers as dietary fiber: A review. International Journal of Biological Macromolecules, 61, 1–6.

N

Nacz, M., & Shahidi, F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. Journal of Chromatography A, 1054(1-2), 95-111.

Nguyen Thu Ha., (2015). Étude expérimentale et modélisation du procédé de séchage des végétaux. Génie des procédés. Université de Bretagne Sud. Français. NNT : 2015LORIS370.

O

Oboh, G., & Ademosun, A. O. (2012). Characterization of the antioxidant properties of phenolic extracts from some citrus peels. *Journal of food science and technology*, 49, 729-736.

Odabasoglu F., Aslan A., Cakir A., Suleyman H., Karagoz Y., Halici M. et Bayir y. (2004). Comparison of Antioxidant Activity and Phenolic Content of Three Lichen Species. *PhytotherapyResearch*, 18:938-941.

Okwu, D.E., Emenike, I.N. (2006). Evaluation of the phytonutrients and vitamins content of citrus fruits. *Int. J. Mol. Med. Adv. Sci.* 2, 1-6.

Omoba, O. S., Obafaye, R. O., Salawu, S. O., Boligon, A. A., & Athayde, M. L. (2015). HPLC-DAD phenolic characterization and antioxidant activities of ripe and unripe sweet orange peels. *Antioxidants*, 4(3), 498-512. <https://doi.org/10.3390/antiox4030498>

ONS. (2023). N°976 LA production agricole - ons.dz. Retrieved 2023, from https://www.ons.dz/IMG/pdf/ProdAgricole2019_2020.pdf

Ortelli D, Edder P, Corvi C. (2005). Pesticide residues survey in citrus fruits. *Food additives and contaminants*. 22: 423-428.

Osman, A. M., K. K. Y. Wong, S. J. Hill et A. Fernyhough. (2006). "Isolation and the characterization of the degradation products of the mediator ABTS-derived radicals formed upon reaction with polyphenols." *Biochemical and Biophysical Research Communications* 340(2): 597-603.

Özcan, M. M., Babiker, E. E., Al-Juhaimi, F., Uslu, N., Ahmed, I. A. M., & Almusallam, I. A. (2021). Influence of drying techniques on bioactive properties, phenolic compounds and fatty acid compositions of dried lemon and orange peel powders. *Journal of Food Science and Technology*, 58(1), 147-158. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04524-0>

P

Panwar D, Saini A, Panesar PS, Chopra HK. (2021). Unraveling the scientific perspectives of citrus by-products utilization: Progress towards circular economy. *Trends in Food Science & Technology*. 111: 549-562.

Park, H. R., & Shin, K. S. (2021). Inhibitory effects of orally administered pectic polysaccharides extracted from the citrus Hallabong peel on lung metastasis. *Food Bioscience*, 43, Article 101301. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101301>

R

Ramadan, M. F. (2010). Rapid antiradical method for screening deepfried oils. *Journal für Verbraucherschutz und Lebensmittelsicherheit* 5(1) PP: 47-50.

Ramful D., Bahorun, T., Bourdon E., Tarnus E, et Aruoma O.I.,(2010)- Bioactive phenolic and antioxidant propensity of flavonoid extracts of Mauritian citrus fruits: Potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology*. 278.

Rawson, N. E., Ho, C. T., & Li, S. (2014). Efficacious anti-cancer property of flavonoids from citrus peels. *Food Science and Human Wellness*, 3(3-4), 104-109. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2014.11.001>

Ribereau-Gayon, P. (1968). Notion générale sur les composés phénoliques. in *les composés phénoliques des végétaux*" ed. Dunod 1-40.

Ribereau-Gayon, P. (1986). *les composés phénoliques des végétaux* Ed. Dunod, Paris, 254

Ribereau-Gayon, P. (1968). *Les composés phénoliques des végétaux*. Dunod, Paris, France.

S

- Said B. (2015).** Modélisation mathématique de séchage solaire indirect des dattes Deglet Nour réhumidifiées. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA
- Satari B, Karimi K. (2018).** Citrus processing wastes: Environmental impacts, recent advances, and future perspectives in total valorization. *Resources, Conservation and Recycling*. 129: 153-167.
- Selmi, S., Rtibi, K., Grami, D., Sebai, H., & Marzouki, L. (2017).** Protective effects of orange (*Citrus sinensis* L.) peel aqueous extract and hesperidin on oxidative stress and peptic ulcer induced by alcohol in rat. *Lipids in health and disease*, 16(1), 1-12.
- Scherr, P. (1981).** La géothermie et le séchage : principaux généraux et application au séchage du maïs. Bureau de recherches géologiques et minières. 44 pages.
- Soberón, J. R., Sgariglia, M. A., Torrez, J. A. C., Aguilar, F. A., Pero, E. J., Sampietro, D. A., ... & Labadie, G. R. (2020).** Antifungal activity and toxicity studies of flavanones isolated from *Tessaria dodoneifolia* aerial parts. *Heliyon*, 6(10), e05174. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05174>
- Spiegel-Roy P, Goldschmidt E.E. (1996).** *Biology of Citrus*. 1ère édition. Edition Cambridge University Press. 239.
- Suri, S., Singh, A., & Nema, P. K. (2021).** Recent advances in valorization of citrus fruits processing waste: a way forward towards environmental sustainability. *Food Science and Biotechnology*, 30(13), 1601-1626. doi: 10.1007/s10068-021-00984-y
- Suri, S., Singh, A., Nema, P. K., Malakar, S., & Arora, V. K. (2022).** Sweet lime (*Citrus limetta*) peel waste drying approaches and effect on quality attributes, phytochemical and functional properties. *Food bioscience*, 48, 101789. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101789>
- Swingle WT, Reece PC. (1967).** The botany of citrus and its wild relatives. In W. Reuther, L. D. Batchelor & H. J. Webber (Eds.). *The Citrus Industry* University of California Berkeley, ;Vol. 1, pp : 130-190.

T

- Tajer, A. H., Siddiqi, A., J, D. P., Prakash, J., & SN, P. (2019).** Antioxidant properties of orange and lemon peels and their efficacy in preventing lipid peroxidation in stored oils. *Trends in Phytochemical Research*, 3(2), 137-146. http://tpr.iaushahrood.ac.ir/article_666444_95ee25ab6cab910063367948375f14ad.pdf

V

VASSEUR, J. (2009). Séchage: principes et calcul d'appareils-Séchage convectif par air chaud (partie 1).

Verdier, N. A., Sadat, A. W., Clément, D. A., Emmanuel, N. A. et Georges, N. A. (2016). Impact of Solar and Microwave Oven Drying on A Few Chemical Parameters of Market Value Quality of Fermented Forastero (*Theobroma Cacao L.*). *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 12(4), 402-406.

W

Wang L, Xu H, Yuan F, Fan R, Gao Y. (2015). Preparation and physicochemical properties of soluble dietary fiber from orange peel assisted by steam explosion and dilute acid soaking. *Food Chemistry*. 185: 90-98.

Wang, Y. C., Chuang, Y. C., & Hsu, H. W. (2008). The flavonoid, carotenoid and pectin content in peels of citrus cultivated in Taiwan. *Food chemistry*, 106(1), 277-284.

Wedamulla, N. E., Fan, M., Choi, Y.-J., & Kim, E.-K. (2022). Citrus peel as a renewable bioresource: Transforming waste to food additives. *Journal of Functional Foods*, 95, 105163. doi: 10.1016/j.jff.2022.105163

Z

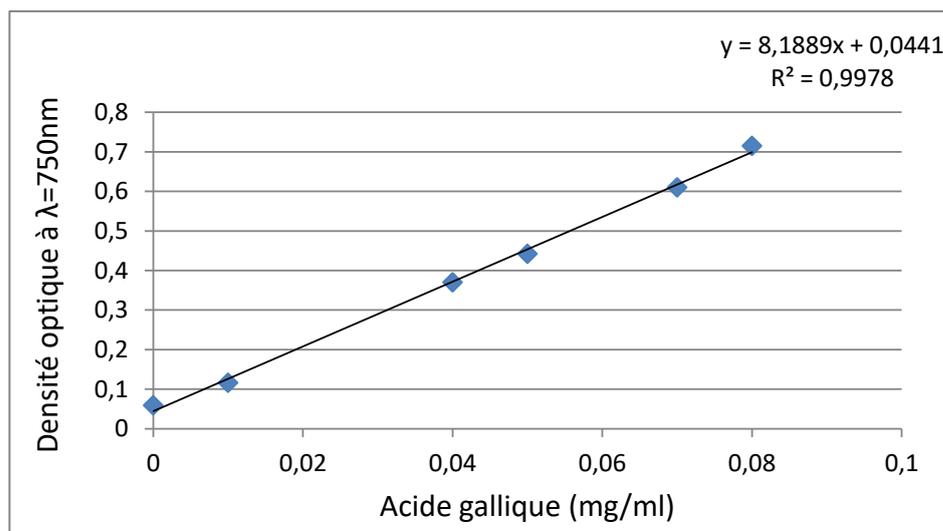
Zeb, A. (2020). Concept, mechanism, and applications of phenolic antioxidants in foods. *Journal of Food Biochemistry*, 44(9), e13394. <https://doi.org/10.1111/jfbc.13394>

Zidoune M.N., (1996). Le séchage Extrait du cours de Génie Industriel Alimentaire. Editions de l'Université Ment(ouri de Constantine 81p.

ANNEXES

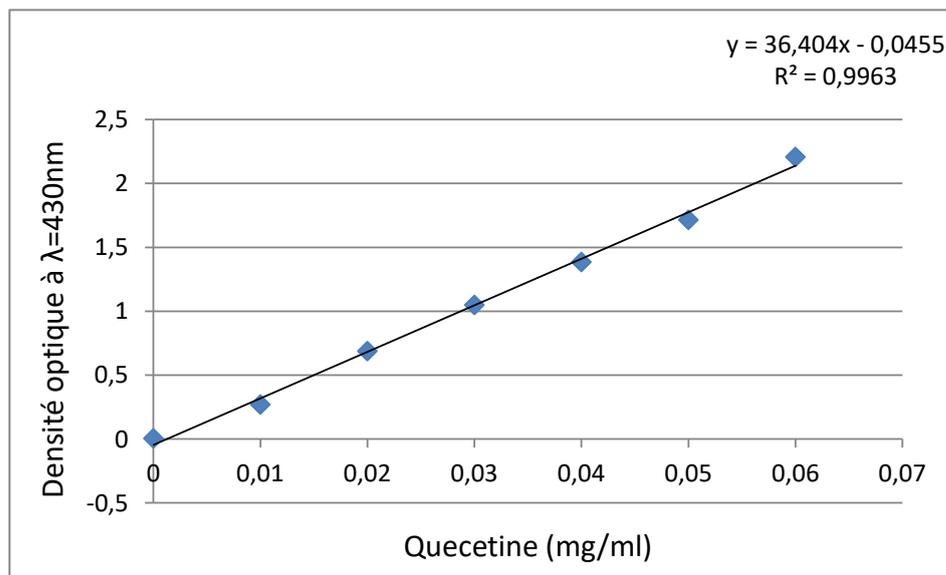
Liste des annexes

mg/ml	A
0	0,059
0,01	0,116
0,04	0,37
0,05	0,442
0,07	0,61
0,08	0,715



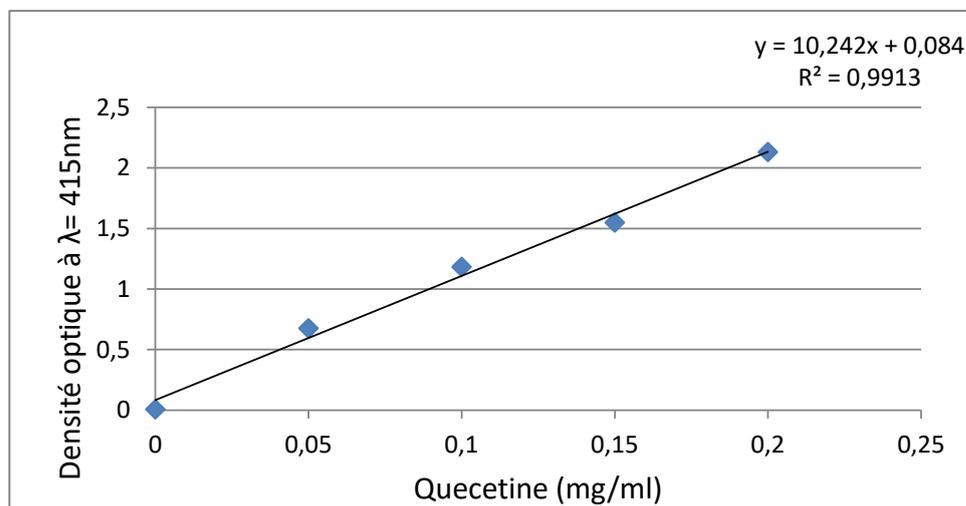
Annexe 1 : Courbe d'étalonnage des polyphénols

mg/ml	A
0	0,006
0,01	0,271
0,02	0,689
0,03	1,05
0,04	1,386
0,05	1,716
0,06	2,208



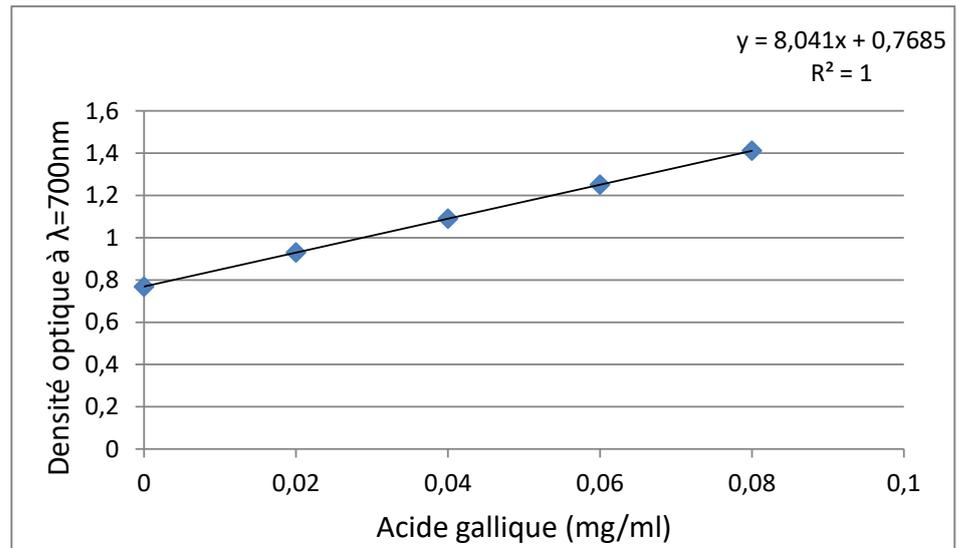
Annexe 2 : Courbe d'étalonnage des flavonoïdes

mg/ml	A
0	0,006
0,05	0,675
0,1	1,182
0,15	1,548
0,2	2,13



Annexe 3 : Courbe d'étalonnage des flavonols

mg/ml	A
0	0,768
0,02	0,93
0,04	1,09
0,06	1,251
0,08	1,4116



Annexe 4 : Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur

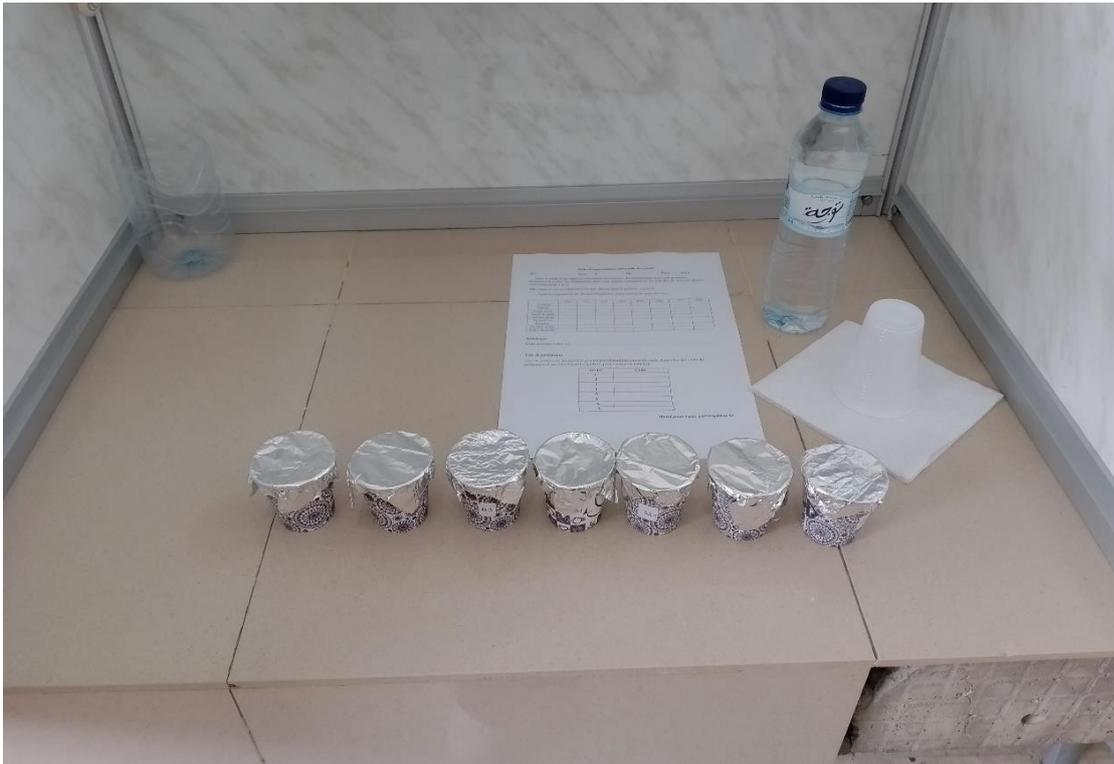


Figure 27 : Déroulement de l'analyse sensoriel

RESUME

Dans cette étude, l'objectif était d'examiner l'effet du séchage sur les propriétés physico-chimiques et biologiques des écorces d'agrumes, en se concentrant sur la collecte, le traitement et les caractéristiques de la poudre d'écorce d'orange. Différentes méthodes de séchage à l'air libre et à l'étuve à différentes températures (40, 50, 60 °C) ont été utilisées sur les écorces d'orange des variétés (*Citrus sinensis*) et (*Washington Navel*). Les résultats ont montré que la teneur en eau des écorces d'orange variait selon les types. La solubilité et la capacité de rétention d'eau dépendaient de la température de séchage. De plus, la concentration de polyphénols totaux variait en fonction de la température de séchage, avec des températures plus élevées favorisant une teneur en polyphénols plus élevée. L'évaluation de l'activité antioxydante de la poudre obtenue a confirmé que la température optimale de séchage à l'étuve pour les oranges sanguines était de 60°C et Thomson Navel était de 50 °C. Ces températures ont permis de préserver au mieux les composés bioactifs responsables des activités antioxydantes, offrant ainsi les bienfaits pour la santé associés à ces agrumes riches en composés phénoliques.

L'analyse sensorielle d'un yaourt enrichi en écorces d'agrumes a révélé des différences significatives par rapport au yaourt témoin, notamment au niveau de la couleur, de l'odeur, de la texture en bouche et de l'arrière-goût. La plupart des dégustateurs ont correctement identifié le goût d'orange des écorces d'agrumes, bien que quelques-uns aient fait des associations erronées avec la citrouille et les carottes. Les préférences des dégustateurs ont varié, avec une préférence marquée pour l'échantillon "Sang Ta" en raison de son goût d'écorces d'agrumes, tandis que d'autres ont préféré le yaourt témoin pour sa texture homogène et sa couleur blanche, bien qu'un dégustateur ait exprimé une aversion pour les poudres d'écorces dans le yaourt. En résumé, l'ajout d'écorces d'agrumes a eu un impact sensoriel distinct sur le yaourt, avec des préférences divergentes parmi les dégustateurs en fonction de leurs préférences sensorielles.

Mots clés : Orange *Citrus sinensis*, Orange *Washington Navel*, Séchage, Activité antioxydants, Etuve, Analyse sensorielle.

ABSTRACT

In this study, the objective was to examine the effect of drying on the physicochemical and biological properties of citrus peels, focusing on the collection, processing, and characteristics of orange peel powder. Various drying methods, including air drying and oven drying at different temperatures (40, 50, 60 °C), were applied to (*Citrus Sinensis*) and (*Washington Navel*) orange peels. The results showed that the water content of orange peels varied between the two types. Solubility and water retention capacity were dependent on the drying temperature. Additionally, the concentration of total polyphenols varied with the drying temperature, with higher temperatures resulting in higher polyphenol content. The antioxidant activity of the obtained powder was evaluated by measuring the levels of total polyphenols and flavonoids, as well as using the DPPH and ABTS methods. The findings confirmed that the optimal drying temperature in the oven for blood oranges (*Citrus sinensis*) was 60°C and Washington Navel oranges was 50 °C. In conclusion, those temperatures effectively preserved the bioactive compounds responsible for antioxidant activities, ensuring the health benefits associated with these citrus fruits, which are rich in phenolic compounds.

Sensory analysis of a yogurt enriched with citrus peel revealed significant differences compared to the control yogurt, particularly in terms of colour, smell, mouth texture and aftertaste. Most tasters have correctly identified the orange taste of citrus peel, although some have mistaken associations with pumpkin and carrots. Tasters' preferences varied, with a marked preference for the sample "Sang Ta" due to its citrus peel taste, while others preferred the control yogurt for its homogeneous texture and white color, although a taster expressed an aversion to bark powders in yogurt. In summary, the addition of citrus peel had a distinct sensory impact on yogurt, with divergent preferences among tasters based on their sensory preferences.

Key words: Orange *Citrus sinensis*, Washington Navel orange, drying, antioxidant activity, oven drying, Sensory analysis.

