

**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 de Sciences alimentaires  
Spécialité : Qualité des produits et sécurité alimentaire



Réf : .....

Mémoire de fin de Cycle  
En vue de l'obtention du diplôme  
**Master**  
**Thème**

**Étude de l'effet des différents modes de cuisson sur le contenu métabolique et l'activité antioxydante de la carotte (*Daucus carota*)**

Présenté par :

**CHOUF Selma et Ouhaddad Anis**

Soutenu le : 08 Juillet 2023

Devant le jury composé de :

Mme OUKIL Naima	MCA	Présidente
Mme MEDOUNI Sonia	MCA	Examinatrice
Mme GUENDOUZE Naima	MCA	Promotrice

Année universitaire : 2022/2023

# *Dédicace*

*A l'aide de dieu Allah le tout puissant*

*Qui m'a tracé le chemin de ma vie,*

*J'ai pu réaliser ce travail.*

*Je dédie ce travail marquant de ma vie à ma **famille** à toutes les mains qui m'ont été tendues spécialement aux personnes les plus chers au monde, à mes chers parents **Mouloud** et **Fatima** et ma chère sœur précieuse **Lily** aucun hommage ne pourrait être à la hauteur de leurs amours et de leurs affection ils étaient la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pats et le bonheur de ma vie, puisse Dieu, le tout puissant, les avoir en sa sainte miséricorde.*

*Qu'ils trouvent dans ce travail un témoignage de nos profonds amours éternels.*

*A mon charmant frère **Legourtaine** et ma charmante sœur **Sara**.*

*Qui sont toujours été à mes côtés dans le meilleur et le pire pour me conseiller,*

*Me guider et me soutenir.*

*A mes chères tatas et Chers tonton cousines et cousins qui ont toujours étaient le présent pour moi, j'ai de la chance d'avoir si bonnes de personnes, bienveillante, aimable à l'écoute, et qui m'ont toujours encouragé vous y êtes si nombreux pour citer.*

*A mes deux copines d'enfance **Liliane** et **Celia** avec qui j'ai passé des*

*Souvenirs inoubliables.*

*A mes chers amis et merveilleuses amies que j'admire trop je vous aime.*

*A mon binôme **Anis**.*

*A tous ce qui me sens chers.*



**Ch. Selma**

## *dédicace*

*Prière et bénédiction d'Allah sur le prophète Mohamed paix et salut sur lui les ceau des prophètes ainsi que ses compagnons pour nous avoir apporté une religion comme l'Islam.*

*Je dédie ce modeste travail A mes **chères parentes** ;*

*Quoique je fasse, je ne pourrais vous remercier pour tous les sacrifices que vous avez faits pour moi et pour vous encouragement.*

*A mes chères sœurs **Thilleli et Leticia***

*A tout **ma famille** de côté père et mère A mes chers oncles*

*A mes chères tantes en particulier **Latifa et Hjila***

*A lame de **mon grand-père Arezki** et ma cher tante **Ouahiba***

*A mes meilleurs amis et en particulier **Riad** qui a été toujours là pour  
Moi.*

*A mon binôme **Selma**.*

*A mes collègues et tous les étudiants de notre Promotion Sciences  
Alimentaires 2022/2023*



**Ou. ANIS**



## Remerciements

Avant tout, nous remercions **Allah** le tout puissant de nous avoir donné la santé, la force, le courage, la patience, la persistance et nous a permis d'exploiter les moyens disponibles à fin d'accomplir ce modeste travail. Merci de nous avoir éclairé le chemin de la réussite.

Nous adressons nos plus sincères remerciements à notre promotrice **Mme Gendouz Naima** qui nous a dirigées ce travail avec une grande rigueur scientifique, sa patience, ses conseils, sa grande disponibilité tout au long de la réalisation de ce mémoire, ainsi pour le temps qu'elle a bien voulu nous consacrer et sans elle ce mémoire n'aurait jamais vu le jour.

Nous remercions vont également **Mme Oukil** pour l'honneur qu'elle nous fait de présider notre jury et **Mme Medouni** d'avoir accepté d'examiner notre travail.

Nous tenons à remercier tout le personnel du laboratoire d'analyse instrumentale, ainsi que les membres du laboratoire 3BS.

Nous souhaiterons également remercier nos professeur de la faculté des sciences de la nature et de la vie pendant les cinq années du notre parcours.

Nous tenons à formuler notre gratitude et nos profondes reconnaissances à l'égard de nos chères et précieux parents.

Afin de n'oublier personne, nos vifs remerciement s'adresse à tous ceux qui nous ont attribués, au bon déroulement de ce travail de loin et de prés on leur adresse un hommage pour tous ses encouragements.

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : Plante de la carotte .....	3
<b>Figure 2</b> : Premiers pays producteur de carotte.....	4
<b>Figure 3</b> : Principaux caroténoïdes de la carotte .....	8
<b>Figure 4</b> : Structure de l'enchaînement benzo-pyrone .....	10
<b>Figure 5</b> : Structure de l'acide ascorbique .....	11
<b>Figure 6</b> : Les différentes phases de la réaction de Maillard .....	14
<b>Figure 7</b> : Photographie de la carotte .....	16
<b>Figure 8</b> : Situation géographique du lieu de la récolte de la carotte .....	16
<b>Figure 9</b> : Protocole de dosage des sucres totaux.....	19
<b>Figure 10</b> : Protocole de dosage des protéines.....	20
<b>Figure 11</b> : Protocole pour le gonflement et solubilité.....	21
<b>Figure 12</b> : Protocole de dosage des polyphénols totaux .....	22
<b>Figure 13</b> : Protocole de dosage des flavonoles .....	23
<b>Figure 14</b> : Protocole de dosage des tannins condensés .....	24
<b>Figure 15</b> : Protocole de dosage de la vitamine c.....	25
<b>Figure 16</b> : Protocole de dosage des caroténoïdes .....	26
<b>Figure 17</b> : Protocole de dosage des tannins totaux .....	26
<b>Figure 18</b> : Réduction du radical DPPH' en DPPH-H .....	28
<b>Figure 19</b> : Réduction du molybdate sous forme $\text{Mo}^{6+}$ vers la forme $\text{Mo}^{5+}$ .....	29
<b>Figure 20</b> : Rendement d'extraction de la carotte selon les différents modes de cuisson .....	31
<b>Figure 21</b> : Taux d'humidité de la carotte selon les différents modes de cuisson appliqués. ....	32
<b>Figure 22</b> : Taux de cendres des différents échantillons de la carotte.....	33
<b>Figure 23</b> : Teneurs en sucres totaux des extraits des différents modes de cuisson.....	34

<b>Figure 24</b> : Teneurs en protéines des extraits des différents échantillons de carotte.....	35
<b>Figure 25</b> : Taux de gonflement des échantillons issus des différents des différent.....	36
<b>Figure 26</b> : Teneurs en polyphénols totaux des extraits des différents modes de cuisson.....	37
<b>Figure 27</b> : Teneurs en flavonoïdes des extraits des différents échantillons .....	38
<b>Figure 28</b> : Teneurs en flavonols des extraits des différents échantillons de carotte.....	39
<b>Figure 29</b> : Teneurs en tannins condensés des extraits des différents échantillons de carotte.	40
<b>Figure 30</b> : Teneurs en tannins totaux des extraits des différents échantillons de carotte...	41
<b>Figure 31</b> : Teneurs en vitamine C des différents échantillons de carottes.....	42
<b>Figure 32</b> : Teneurs en caroténoïdes des différents échantillons de carottes .....	43
<b>Figure 33</b> : Teneurs en anthocyanines des différents échantillons de carottes.....	45
<b>Figure 34</b> : Concentrations des extraits de la carotte réductrices de 50% du radical DPPH <sup>E</sup> .	46
<b>Figure 35</b> : Concentrations des extraits de carotte et d'acide gallique réductrices de 50% du phosphomolibdate d'ammonium.....	47

## Liste des Tableaux

<b>Tableau I</b> : composition chimique de la carotte.....	5
<b>Tableau II</b> : Caractéristique de légume racine .....	16
<b>Tableau III</b> : Mode opératoire du test de DPPH' .....	29

## Liste des abréviations

**ACAO** : Association of Official Analytical chemists

**BSA** : Sérum albumine bovine

**DCPIP** : 2,6-DichloroPhénol Indophénol

**DPPH** : Diphényl-picrylHydrazyle (2,2-Diphényl-1-picrylHydrazyle)

**ERO** : Espèce réactive de l'oxygène

**ED** : EAU distillée

**HMF** : Hydroxy-Méthyl Furfural

**MF** : Matière fraîche

**MS** : Matière sèche

**SOD**: Superoxyde dismutase



# SOMMAIRE

Introduction.....	1
-------------------	---

## Synthèse bibliographique

I. Généralités sur la carotte .....	2
I.1. Description botanique.....	2
I.2. Classification taxonomique.....	2
I.3. Origine et variété .....	3
I.4. Habitat .....	3
I.5. Production de la carotte.....	3
I.6. Composition chimique et valeur nutritionnelle .....	4
I.7. Intérêts et rôles de la carotte.....	5
II. Généralités sur l'activité antioxydante .....	6
II.1. Définition de l'oxydation.....	6
II.2. Antioxydants.....	6
II.3. Un radical libre .....	7
II.4. Stress oxydant .....	7
II.5. Système antioxydant .....	7
III. Cuisson des aliments .....	11
III.1. Définition de la cuisson.....	11
III.2. Modes de cuisson.....	11
III.3. Impact de la cuisson sur les aliments .....	13

## Partie expérimentale

I. Matériel et méthodes	
I.1. Matériel .....	16
I.1.1. Description du matériel végétal.....	16
I.1.2. Récolte des échantillons.....	16
I.2. Méthodes.....	17
I.2.1. Cuisson de la carotte.....	17
I.2.2. Extraction.....	17

I.2.3. Analyses physico-chimiques.....	18
I.2.4. Taux de Gonflement et solubilité.....	20
I.2.5. Analyses phyto-chimiques.....	21
I.2.6. Évaluation de l'activité antioxydante.....	28
I.2.7. Analyse statistique.....	30
II. Résultats et discussion.....	31
II.1. Analyses physico-chimiques.....	31
II.1.1. Rendement des extraits.....	31
II.1.2. Test d'humidité.....	32
II.1.3. Détermination de la teneur en cendres.....	33
II.1.4. Sucres totaux.....	34
II.1.5. Dosage des protéines.....	34
II.2. Détermination du taux de gonflement.....	36
II.3. Analyses phyto-chimiques.....	37
II.3.1. Dosage des polyphénols totaux.....	37
II.3.2. Dosage des flavonoïdes.....	38
II.3.3. Dosage des Flavonols.....	39
II.3.4. Dosage des tanins condensés.....	40
II.3.5. Dosage des tanins totaux.....	41
II.3.6. Vitamine C.....	42
II.3.7. Dosage des caroténoïdes.....	43
II.3.8. Dosage des Anthocyanines.....	44
II.4. Évaluation de l'activité anti-oxydante.....	45
II.4.1. Test du pouvoir scavenger du radical DPPH.....	45
II.4.2. Test du pouvoir réducteur au phosphomolibdate d'ammonium.....	47
CONCLUSION.....	48
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumé	

# Introduction

Les légumes sont des aliments à haute valeur nutritionnelle et à faible teneur en calories et sont considérés comme des sources de vitamines, de minéraux et de fibres. Outre les caractéristiques nutritionnelles de leur composition, les légumes contiennent des substances présentant des capacités à assurer des fonctions biochimiques importantes dans l'organisme. Parmi ces composés phytochimiques, les caroténoïdes et les composés phénoliques (**Teow et al., 2007**). Ces composés présentent une activité élevée de piégeage des radicaux libres, ce qui aide à réduire l'apparition des maladies liées au stress oxydatif telles que les maladies cardiovasculaires, l'athérosclérose, les maladies dégénératives et le processus tumoral (**Favier, 2005**).

En effet, le stress oxydatif résulte d'une surproduction des radicaux libres générés dans le corps humain à travers la respiration aérobie et par divers mécanismes physiologiques (**Lee et al., 2004**). L'apport constant en substances antioxydantes par une diète riche en fruits et légumes représente la base de toute stratégie visant à prévenir le développement des maladies (**Baudin, 2020**).

Les légumes peuvent être consommés sous forme de légumes frais, en conserve, surgelés et cuits. En plus de son effet sur le goût et la texture, la cuisson influence les profils phytochimiques et les propriétés biologiques des légumes. Elles peuvent les modifier de manière positive ou négative (**Bimbenet et al., 2002; Sun et al., 2023**).

C'est dans cette optique que s'inscrit notre travail qui vise à étudier l'effet de cinq modes de cuisson différents (à l'eau, à la vapeur, dans l'huile, sous pression et aux micro-ondes) sur le contenu métabolique et l'activité antioxydante de la carotte.

La carotte est un légume consommé régulièrement à l'état cru, ou cuit ou sous forme de jus, remplie de vitamines A et d'antioxydants, elle réduirait le taux de cholestérol, protégerait les poumons et le cœur contre les maladies cardiovasculaires et de certains cancers. Elle participe également à la production de globules rouges qui apporte l'oxygène à toutes les cellules du corps (**Deding et al., 2020**).

Notre travail est scindé en deux parties : une synthèse bibliographique dans laquelle sont mentionnés les résultats des recherches antérieures, et une partie expérimentale dans laquelle sont exposés nos propres recherches et résultats faits au sein des laboratoires de l'université Abderrahmane Mira de Bejaia sur une variété de carotte récoltée dans la wilaya de Biskra.

# Synthèse bibliographique

## **I. Généralités sur la carotte**

### **I.1. Description botanique**

La carotte, ou *Daucus carotta*, est une plante appartenant à la famille des apiacées (Downie et Katz-Downie, 1996). C'est un légume-racine bisannuelle ou annuelle des climats tempérés. Elle est le plus souvent de forme longue et pointue à la fin, ou un tube allongé. La racine est charnue, pas trop fibreuse et généralement d'une couleur orangée. Sa tige est d'une taille moyenne, rigide et couverte de poiles raides (Que et al., 2019). Ses feuilles sont minces, souvent mâtes ayant un pourtour triangulaire. Les fleurs sont blanches de petite taille et regroupés en ombelles d'ombellules typique de la famille des apiacées. Ses fruits sont des diakènes incurvés, formés de deux graines striées aromatiques (Pollat et al., 2022).

### **I.2. Classification taxonomique**

La classification taxonomique de *Daucus carotta* est présentée comme suit (Botineau, 2010):

**Empire** : Eukaryota

**Règne** : Plantae

**Sous-règne** : Tracheobionta

**Embranchement** : Tracheophyta

**Sous-embranchement** : Euphyllophytina

**Infra-embranchement** : Radiatopses

**Division** : Magnoliophyta

**Classe** : Magnoliopsida

**Sous-classe** : Rosidae

**Ordre** : Apiales

**Famille** : Apiaceae

**Genre** : *Daucus*

**Espèce** : *Daucus carota*

**Sous espèce** : *Daucus carota* subsp. *Sativus* (figure n°1).



**Figure n°2 : plante de la carotte (Pollat et al., 2022).**

### **I.3. Origine et variété**

Les premières carottes, qui étaient blanches, pourpres ou jaunes, ont été cultivées en Afghanistan en Asie, puis apportées à la zone Méditerranéenne. Les carottes orange d'aujourd'hui descendent des carottes Hollandaises (**Tremblin et Marouf, 2022**).

La carotte est cultivée dans toutes les zones tempérées du monde. La plupart des variétés actuelles dérivent des variétés anciennes. Il existe plus de 400 variétés de carotte comme: Nantais, Presto, Austria et Ibiza (**Official Journal of the European Union, 2015**).

### **I.4. Habitat**

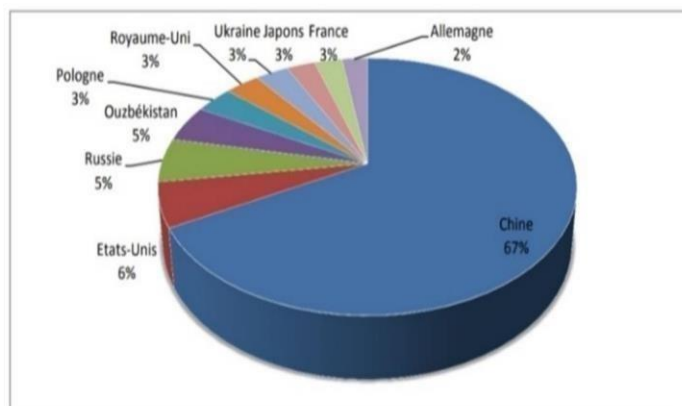
La carotte est un légume qui n'a pas de grandes exigences de culture car c'est un produit cultivé tout au long de l'année. Le climat océanique doux et humide est favorable à une bonne croissance de la carotte et une tubérisation de sa racine. Les basses températures sont préjudiciables à la formation du carotène et donc à une coloration correcte de la racine. Cette dernière résiste à des températures de -3°C à -4°C. Les températures optimales de croissance sont comprises entre 16 et 18°C (**Peron, 2006**).

Le légume racine de *Daucus carota* nécessite, pour former des racines longues, droites et de belle qualité, des sols profonds et meubles, doués d'une bonne capacité de rétention en eau et exempts de pierres ou de mottes pouvant entraîner la déformation de la racine. Le pH optimal se situe à 6,5. Elle est également sensible au déséquilibre calcium magnésium (**Peron, 2006**).

### **I.5. Production de la carotte**

La carotte fait partie des dix cultures légumières les plus importantes dans le monde, en termes de surface de production et de valeur marchande. La carotte, par sa valeur nutritionnelle, ses modes de consommation simples et variés, ainsi que par son prix modéré, est le légume racine le plus consommé dans le monde (**food and agriculture organisation, 2018**).

La production mondiale de la carotte est en augmentation progressive, de 33 millions de tonnes en 2009 jusqu' à 37,8 millions de tonnes en 2013 sur une superficie d'environ 1,2 Millions d'hectares à travers le monde (**Anonyme 1**) (**figure n°2**).



**Figure n°2** : Premiers pays producteurs de carotte en 2010 (**Anonyme 1**).

En Algérie, la production est très répandue dans les régions du littoral (Alger, Boumerdès et Mostaganem), les hauts plateaux (M'sila, Oum El Bouaghi et Sétif) et le sud (Adrar, Biskra, Ghardaia et El Oued) (**PROFERT, 2016**) .

Au niveau de la wilaya de Bejaia, la production de la carotte a atteint 1340 quintaux pendant la saison 2016/2017, cultivés sur une superficie de 12 hectares (**D.S.A.S.I., 2017**).

## **I.6. Composition chimique et valeur nutritionnelle**

La carotte est une source de divers macro- et micronutriments. Elle a une bonne valeur nutritive avec 42 kcal/d'nergie (**Purkiewicz et al., 2020**).

Le goût de la carotte est principalement dû à la présence d'acide glutamique et à l'action tampon des acides aminés libres. Elle est riche en vitamines (notamment A, B1, B2, B6, B12 et C), minéraux, phyto-nutriments, sucres, fibres et en composés bioactifs (**Surbhi et al., 2018**) (**tableau I**). Les carottes sont communément classées selon la couleur de leurs racines : blanche, noire, orange, jaune pourpre et rouge. La carotte orange contient de grandes quantités d' $\alpha$ -carotène et de  $\beta$ -carotène qui sont les précurseurs de la vitamine A (**Purkiewicz et al., 2020**).



**Tableau I** : Composition chimique de la carotte (Maiani et al., 2009; Fokone et Edoun, 2013).

Constituants	Quantités
Eau	80-90g/100 g
Glucides	6,6/100g/100 g
Protéines	0,98 g/100h
Lipides	0,30 g/100g
Caroténoïdes	4350-8840 µg/100g
Acides ascorbique	4 mg/100g
Cendres	0,78 g/100g

## I.7. Intérêts et rôles de la carotte

### I.7.1. Effets protecteurs et les bienfaits de la carotte

La carotte est l'un des légumes les plus consommés régulièrement à l'état cru, cuit ou sous forme de jus pour sa richesse en caroténoïdes (Purkiewicz et al., 2020) ayant une activité provitamine A et un rôle important dans la protection contre les maladies (Cahuzack, 2023) comme :

- les cancers de la prostate, du sein et des poumons, ainsi que les tumeurs de l'estomac, de l'intestin ou de l'œsophage. Les caroténoïdes ont un effet inhibiteur de la différenciation et de la prolifération cellulaire (Krinsky et Johnson, 2005; Deding et al., 2020) ;
- l'athérosclérose dont le risque est diminué suite à l'augmentation des taux d' $\alpha$ -carotène et de  $\beta$ -carotène dans le sang. Les caroténoïdes luttent contre l'oxydation du LDL cholestérol et limitent ainsi le dépôt de cholestérol sur la paroi des artères (Krinsky et Johnson, 2005; Cahuzack, 2023) ;
- la cataracte : le  $\beta$ -carotène et d'autres antioxydants peuvent aider à retarder la dégénérescence maculaire liée à l'âge. Le cristallin est un organe exposé à tous les troubles du métabolisme au cours du vieillissement. (Krinsky et Johnson, 2005 ; Surbhi et al., 2018).

En plus du rôle des caroténoïdes, les fibres contenues dans la carotte sont particulièrement bien acceptés par l'organisme. Ceci fait que leur consommation est favorable dans le cas des gastrites et d'ulcères pour combattre les acidoses aiguës ou chroniques (Cahuzack, 2023).

### **I.7.2. Intérêt en industries pharmaceutique et cosmétique**

Les industries pharmaceutiques et cosmétiques utilisent les extraits de la carotte tels que le carotène et les oléorésines (**Doré et Varoquaux, 2006**). L'huile de carotte utilisée est riche en vitamines, elle tonifie la peau et peut servir à plusieurs usages cosmétiques (**Surbhi et al., 2018**). L'huile essentielle de carotte, obtenue par distillation des semences, est employée en parfumerie et aromathérapie. Le carotol (alcool sesquiterpénique) est le composant majoritaire de cette huile, qui contient également du daucène, de l' $\alpha$ -pinène, du limonène, du sabinène et de l'acétate de géranyle (**Reduron, 2007**).

### **I.7.3. Intérêt fourragère**

Les déchets des différents traitements industriels de carottes peuvent servir à nourrir les animaux étant considérés comme aliments de bétail. Les déchets des carottes jaune et blanche sont riches en calories, mais leur teneurs en matière grasse sont médiocres (**Doré et Varoquaux, 2006**).

## **II. Activité antioxydante**

### **II.1. Définition de l'oxydation**

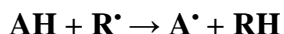
L'oxydation est un phénomène complexe qui met en jeu des espèces moléculaires très réactives et très labiles. Il fait rouiller les métaux, flétrir les légumes et les fruits, et rancir les graisses. Il modifie également le goût et la couleur des aliments (**Rolland, 2004**).

### **II.2. Antioxydants**

Les antioxydants sont des substances qui, lorsqu'elles sont présentes dans les aliments ou dans l'organisme à de faibles concentrations par rapport à celles d'un substrat oxydable, retardent ou empêchent considérablement l'oxydation de ce substrat (**Shahidi, 1997**).

Il existe deux types d'antioxydants (**Rolland, 2004**):

– **Les antioxydants primaires ou radicalaires ou vrais** : ils permettent l'interruption de la chaîne autocatalytique :



La molécule AH est antioxydante si le radical formé  $\text{A}^{\bullet}$  est plus stable. La stabilité du radical  $\text{A}^{\bullet}$  peut s'expliquer par sa conversion en composés non radicalaires :



– **Les antioxydants secondaires ou préventifs** : ils assurent l'inhibition de la production des radicaux libres. Ce sont des substances décomposant les hydroperoxydes en alcool, des thiols (glutathion, acides aminés soufrés) ou les disulfures, des protecteurs vis-à-vis des UV (comme les carotènes), des chélatants des métaux promoteurs d'oxydation type fer et cuivre (comme l'acide citrique et les lécithines), ou enfin de séquestrants d'oxygène (comme l'acide ascorbique).

### **II.3. Un radical libre**

Un radical libre est une espèce chimique, molécule, partie de molécule ou simple atome, capable d'avoir une existence indépendante en contenant un ou plusieurs électrons célibataires sur une orbitale. Cela lui confère une grande réactivité donc une demi-vie très courte. En effet, ce radical libre aura toujours tendance à remplir son orbitale en captant un électron pour devenir plus stable: il va donc réduire en oxydant un autre composé (**Goudable et Favier, 1997**).

Il existe plusieurs types de radicaux libres : le radical anion superoxyde ( $O_2^{\cdot-}$ ), le radical hydroxyle ( $OH^{\cdot}$ ), l'oxygène singlet ( $^1O_2$ ) et le peroxyde d'hydrogène ( $H_2O_2$ ) (**Lee et al., 2004**).

### **II.4. Stress oxydant**

Le stress oxydant résulte d'un déséquilibre entre la production d'espèces réactives de l'oxygène (ERO) et les capacités de défense antioxydante de l'organisme. Produits de façon continue et élevée, les ERO sont à l'origine du stress oxydant avec modifications irréversibles de lipides, de protéines et d'acides nucléiques. Le stress oxydant a été incriminé dans le vieillissement et la physiopathologie de nombreuses maladies comme le cancer, les maladies cardiovasculaires et les maladies inflammatoires (**Baudin, 2020**).

### **II.5. Système antioxydant**

L'organisme humain est équipé de systèmes de défense antioxydants très complexes, enzymatique et non enzymatique localisé dans les compartiments intra- et extracellulaires (**Berké et al., 2003; Amarowicz et al., 2004 ; Berger, 2006**).

### II.5.1. Système antioxydant enzymatique

L'organisme se défend contre les radicaux libres en synthétisant des enzymes qui les neutralisent. Les principales enzymes antioxydantes sont la superoxyde dismutase, la glutathion peroxydase et la catalase (Vincent *et al.*, 2004; Li *et al.*, 2009).

### II.5.2. Système antioxydant non enzymatique

Le système antioxydant non enzymatique fait appel à des molécules non enzymatiques telles que les vitamines antioxydantes (vitamine C et vitamine E), les caroténoïdes et les composés phénoliques (Samarth *et al.*, 2008).

#### II.5.2.1. Caroténoïdes

Les caroténoïdes constituent une importante famille de pigments de nature terpénoïde, dont la couleur varie du jaune au rouge orangé (Nicol *et al.*, 2000). Le squelette structural de base des caroténoïdes est constitué d'unités isoprénoïdes (Lee *et al.*, 2004). Ils sont synthétisés par les plantes et les micro-organismes photosynthétiques (Nicol *et al.*, 2000). Six cents caroténoïdes sont actuellement identifiés, dont une soixantaine possède une activité provitaminique A, notamment, l'alpha, le bêta et le gamma-carotène ainsi que la cryptoxanthine (Nicol *et al.*, 2000). Le lycopène, qui est un caroténoïde, est utilisé comme colorant naturel depuis des décennies. C'est un puissant antioxydant abondant dans les tomates et autres fruits rouges (Ciriminna *et al.*, 2016) (figure n°3).

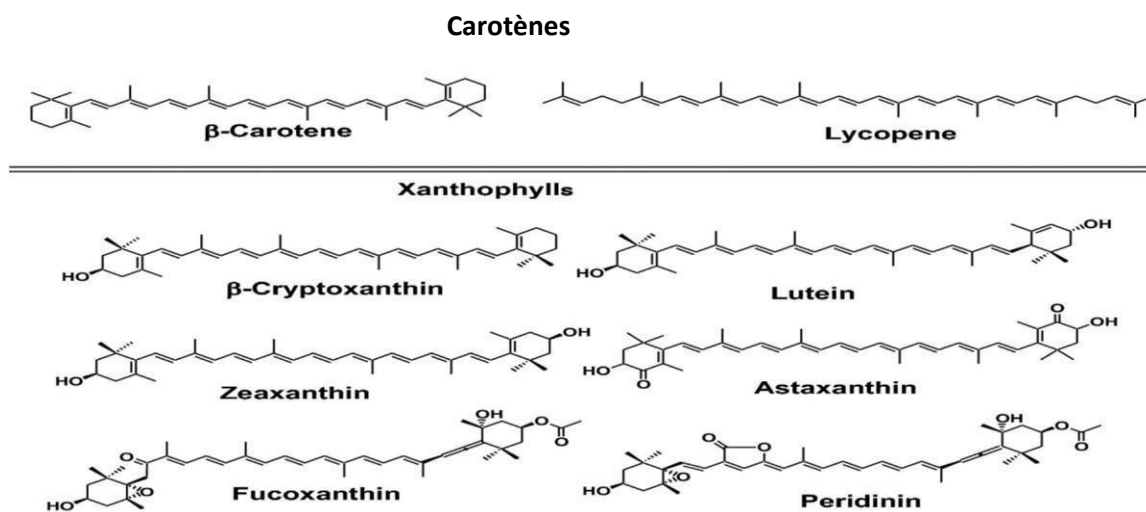


Figure n°3: principaux caroténoïdes de la carotte (Maoka, 2020).

Une fonction importante des caroténoïdes est d'intercepter l'état triplet de la chlorophylle, afin d'empêcher la formation d'oxygène singulet, ou pour désactiver directement la molécule d'oxygène singulet ( $^1\text{O}_2$ ) (Martin et al., 1999).

Les caroténoïdes peuvent piéger les radicaux libres par différents mécanismes tels que le transfert d'électrons, la formation d'adduits et le transfert d'hydrogène (Dutta et al., 2005).

### II.5.2.2. Polyphénols

Les polyphénols sont des composés bioactifs, ils constituent une famille importante d'antioxydants présents dans les végétaux. L'alimentation fournit environ un gramme de polyphénols par jour principalement par l'apport en fruits et, dans une moindre mesure, en légumes et en céréales. Ils sont présents sous forme d'anthocyanines dans les fruits rouges et le vin rouge, de flavonoïdes dans les agrumes et l'huile de lin, et d'épicatéchine dans le vin, le thé, le chocolat, les pommes, les oignons et les algues brunes. Globalement, ce sont d'excellents piègeurs des espèces réactives de l'oxygène et de très bons chélateurs des métaux de transition comme le fer et le cuivre (Haleng et al., 2007).

- **Flavonoïdes**

Les flavonoïdes sont les composés phénoliques les plus abondants dans les végétaux. Leur structure comprend un squelette composé de deux cycles aromatiques porteurs de plusieurs fonctions phénol et réunis par une chaîne de trois atomes de carbone. Ces derniers étant le plus souvent engagés dans un hétérocycle avec un atome d'oxygène. La présence de plusieurs fonctions phénol confère à ces composés des propriétés antioxydantes ou oxydantes, suivant la position des phénols et le milieu où la réaction prend place (Stoclet et Schini-Kerth, 2011).

Tous les flavonoïdes dérivent de l'enchaînement benzo- $\gamma$ pyrone et peuvent être classés selon la nature des différents substituants présents sur les cycles de la molécule et du degré de saturation du squelette benzo- $\gamma$ -pyrone (Ghedira, 2005)(figure n°4). Ainsi, ils sont subdivisés en différentes classes dont les anthocyanines, les flavanones, les flavones et les flavanonols (Stoclet et al., 2011).

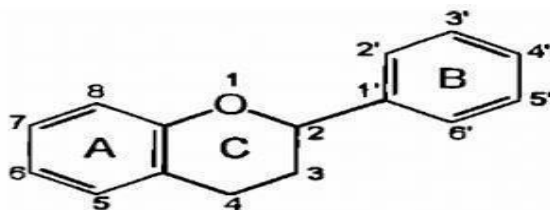


Figure n°4: Structure de l'enchaînement benzo- $\gamma$ -pyrone (Ghedira, 2005).

La propriété des flavonoïdes la mieux décrite est leur activité antioxydante et leur capacité à piéger les radicaux libres (Procházková et al., 2011). Cette activité dépend de la disposition des groupes fonctionnels sur sa structure et le nombre total de groupes hydroxyle (Hirano et al., 2001).

- **Acides phénoliques**

Le terme acide phénolique s'applique à tous les composés organiques ayant au moins un groupe carboxyle et un groupe hydroxyle phénolique (Bruneton, 1999). Ils sont subdivisés en deux groupes: les acides hydroxybenzoïques et les acides hydroxycinnamiques. Ces acides se trouvent rarement sous forme libre, sauf dans aliments transformés ayant subi une congélation, une stérilisation, ou fermentation (Manach et al., 2004).

- **Tanins**

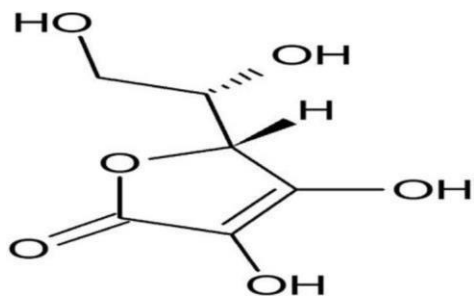
Les tanins sont des polyphénols polaires ayant des poids moléculaire compris entre 500 et 3000 Da), d'origine végétale et existent dans presque toutes les parties de la plante: écorce, bois, feuilles, fruits et racines. Il est difficile de les séparer dans un extrait végétal parce que de nombreux isomères avec une base moléculaire très semblable coexistent (Berthod et al., 1999).

Les tanins peuvent se diviser en deux classes : des tanins pyrogalliques (ou hydrolysables) et des tanins catéchiques (ou non hydrolysables, ou condensés) (Alara et al., 2021).

### II.5.2.3. Vitamine C

La vitamine C ou l'acide L-ascorbique est une vitamine hydrosoluble, sensible à la chaleur, aux ultraviolets et à l'oxygène (Fain, 2004). Elle est indispensable à l'Homme et à de nombreuses espèces animales. Sa formule brute est  $C_6H_8O_6$  (Levine et al., 1999). Cette molécule est formée d'atomes asymétriques à six carbones qui est structurellement lié au glucose (Le Blanc, 2019) (figure n°5).

La vitamine C est un excellent piègeur des espèces réactives d'oxygène ( $\text{HO}^\bullet$  ou  $\text{O}_2^{\bullet-}$ ). Elle inhibe également la peroxydation lipidique en régénérant la vitamine E à partir de la forme radicalaire issue de sa réaction avec des radicaux lipidiques (**Le Blanc, 2019**).



**Figure n°5:** Structure de l'acide ascorbique (**Bayerle-Eder et al., 2004**).

### **III. Cuisson des aliments**

#### **III.1. Définition de la cuisson**

La cuisson est une opération qui consiste à chauffer un aliment à un certain niveau pendant un certain temps et dans un environnement bien défini. C'est un traitement thermique faisant intervenir des transferts de chaleur, de matière et des réactions physiques, chimiques, biochimiques et microbiologiques (**Bimbenet et al., 2002**).

#### **III.2. Modes de cuisson**

Les méthodes de cuisson des aliments ont évolué au cours du temps. Elles ont toujours été considérées comme avancées technologiques permettant une plus grande offre alimentaire (**Mehmood et Zeb, 2020**). Les méthodes les plus utilisées dans les préparations culinaires sont :

##### **III.2.1. Cuisson à la vapeur**

La cuisson à la vapeur est une manière de cuisiner très saine et sans ajout de matière grasse. Les aliments sont disposés dans un panier sur un faitout avec de l'eau qui assure une cuisson uniforme (**Li et al., 2017**).

C'est un processus de chauffage relativement doux qui confère certains avantages comme la réduction des pertes à la cuisson, la prévention de la formation d'amines aromatiques hétérocycliques et la réduction des modifications oxydatives des protéines (**Barzegar et al., 2019**).

### **III.2.2. Cuisson à l'eau**

La cuisson à l'eau consiste à porter à ébullition un volume d'eau et d'y prolonger les aliments à cuire. Cette cuisson s'illustre par sa rapidité et sa facilité d'utilisation. Elle permet d'hydrater et de faciliter la digestion de l'amidon. La plupart des légumes sont cuits dans de l'eau bouillante pour les rendre tendres et appétissants (**Mehmood et Zeb, 2020**). Ce mode de cuisson entraîne plusieurs changements dans la composition physique et chimique des légumes, elle favorise la fuite des minéraux ou des vitamines solubles comme les vitamines B et C (**Rocca-Poliméni, 2007**).

### **III.2.3. Cuisson à l'huile**

La cuisson à l'huile ou la friture est un mode de cuisson qui utilise une matière grasse alimentaire comme vecteur de la chaleur. Frire convient bien à des aliments, qui sont cuits tout en flottant ou étant immergés dans de l'huile chaude. L'aliment cuit en friture est très croustillant à l'extérieur et moelleux à l'intérieur (**Ramaswamy et Marcotte, 2005 ; Wu et al., 2013**). Ainsi, la matière grasse de friture devient également un composant de l'aliment cuit (**Wu et al., 2013**).

### **III.2.4. Cuisson aux micro-ondes**

La cuisson aux micro-ondes est considérée comme une technique de cuisson très populaire dans le monde entier malgré qu'elle requière certaines précautions de sécurité dans sa manipulation, en raison de sa capacité à atteindre des températures de chauffage élevées. Ce mode de cuisson présente l'avantage d'être rapide et facile à utiliser (**Salazar-González et al., 2012**). Il permet également aux aliments de garder plus de nutriments que la majorité des autres modes de cuisson (**Vadivambal et Jayas, 2010**).

### **III.2.5. Cuisson sous pression**

La cuisson sous pression consiste à faire chauffer un liquide pour cuire un aliment dans un récipient hermétique conçu à cette fin, une cocotte ou un autocuiseur. Lorsque les aliments et le liquide sont chauffés à l'intérieur, la vapeur s'accumule et la pression s'élève à l'intérieur de la cuve. Cette méthode est très appréciée par sa rapidité et permet de réduire le temps de cuisson en deux tiers. Elle est également économique sur le plan énergétique (**Ramaswamy et Marcotte, 2005**).



La température de la cocotte peut atteindre 110-120°C, donc les aliments sont en contact directe avec l'eau ce qui favorise la déperdition de vitamines. Plus la cuisson est longue, plus les aliments perdent en nutriments (**Vadivambal et Jayas, 2010**).

### **III.3. Impact de la cuisson sur les aliments**

La cuisson change l'aspect, la couleur, le goût et la texture des aliments, ainsi que la teneur en nutriments essentiels. Ceci varie selon l'aliment lui-même et le mode de cuisson, (**Vadivambal et Jayas, 2010**). Il est possible de regrouper les effets engendrés par la cuisson dans trois principaux groupes : effet sanitaire, effet nutritionnel et effet organoleptique.

#### **III.3.1. Impact sanitaire**

La cuisson contribue souvent à rendre les aliments plus sains car elle entraîne la destruction d'une partie de la flore thermosensible (**Ramaswamy et Marcotte, 2005**) et les parasites présents dans l'aliment selon la température et le mode de cuisson (**Sun et al., 2023**).

Néanmoins, lorsqu'elle est élevée, la température de cuisson présente un effet néfaste car elle conduit à la formation de molécules cancérigènes comme les nitrites et les amines aromatiques polycyclique, et hétérocyclique (**Sugimura, 2002**).

#### **III.3.2. Impact nutritionnel**

La cuisson des légumes permet d'améliorer la digestibilité des macronutriments par la gélatinisation et l'augmentation de la digestibilité des aliments riches en amidon, ce qui est très bénéfique pour la santé (**Van Boekel et al., 2010**).

En revanche, les processus de cuisson présentent des effets négatifs comme la réduction des valeurs nutritives causée par la dégradation des vitamines thermolabiles, la lipolyse, l'oxydation ainsi que la polymérisation et la dégradation des lipides, et aussi la fuite des minéraux dans l'eau de cuisson (**Barzegar et al., 2019**). Il y a aussi la perte des sucres réducteurs en raison de leur implication dans diverses réactions notamment la réaction de Maillard (**Boumendjel et al., 2002**) (figure n°6).

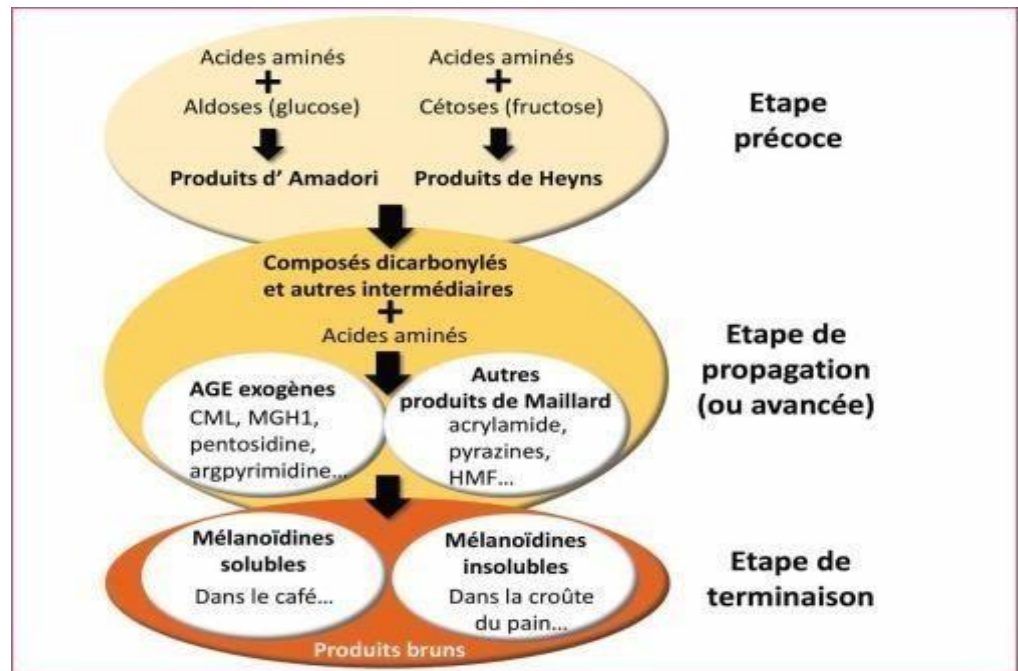


Figure n°6 : Les différentes phases de la réaction de Maillard (Cladière et Camel, 2017).

La cuisson affecte également la teneur et la disponibilité des composés bioactifs tels que les polyphénols totaux et les caroténoïdes (Mazzeo et al., 2011; Cervantes-Paz et al., 2014).

### III.3.3. Impact organoleptique

La cuisson améliore la qualité organoleptique des aliments (Sun et al., 2023). Les caractéristiques organoleptiques des aliments peuvent être divisées en trois grandes catégories distinctes : l'apparence, la texture et la saveur.

#### III.3.3.1. Apparence

L'apparence est liée aux propriétés visuelles telles que la couleur, la taille et la forme. La cuisson entraîne la modification et la perte des pigments spécifiques responsables de la couleur des végétaux tels que les caroténoïdes, les anthocyanes et la chlorophylle (Roudaut et al., 2002). Elle est responsable du brunissement des aliments et le développement en surface de croûtes croustillantes et dorées (Pouyat-Leclère et Birlouez-Aragon, 2005).

#### III.3.3.2. Texture

La texture est liée principalement à des sensations tactiles. Pour les végétaux, la cuisson en tant que traitement thermique, provoque un ramollissement des tissus pouvant aller jusqu'à la délitescence des fruits et légumes (Roudaut et al., 2002).

### **III.3.3.3. Flaveur**

La flaveur est liée au goût et à l'odeur. Lors des traitements thermiques à haute température, des composés aromatiques se forment principalement lors de la réaction de Maillard (**Van Boekel, 2006**). L'oxydation est une autre réaction qui peut survenir lors de la cuisson. Elle est très importante car elle a un impact sur la qualité des aliments. C'est une réaction qui n'est pas souhaitable car elle entraîne la formation de composés aromatiques indésirables (**Lindsay, 2008**).

# Partie expérimentale

## I. Matériel et méthodes

### I.1.1. Description du matériel végétal

La présente étude est effectuée sur la carotte (*Daucus carotta*) (**figure n°7**) dont les caractéristiques sont présentées dans le **tableau II**.

**Tableau II:** caractéristique de légume racine

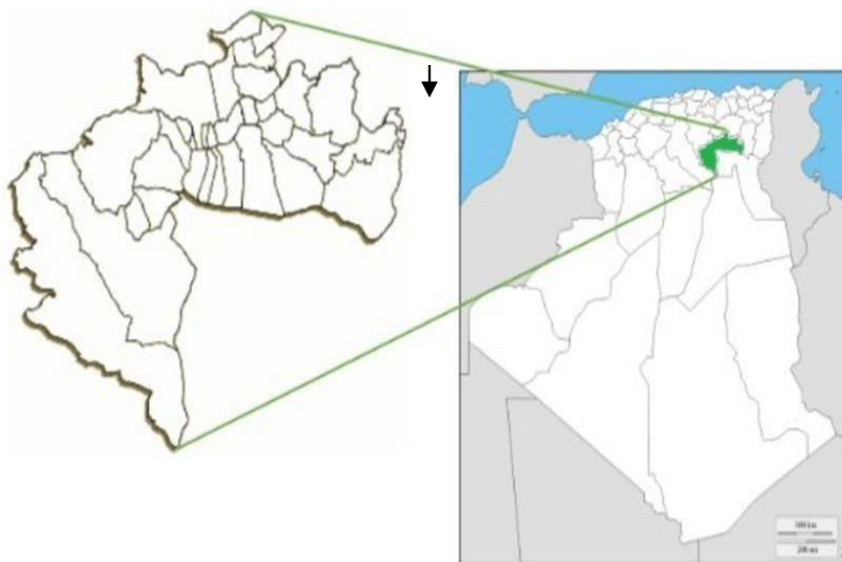
Caractéristiques	<i>Daucus carotta</i>
Variété	Supermuscade de Biskra
Couleur	Orange
Largeur	0,5- 1 cm
Longueur	2- 6 cm
Goût	Très Sucré



**Figure n°7 :** Photographie de la carotte.

### I.1.2. Récolte des échantillons

Une quantité de 15 Kilogrammes de carotte a été achetée en février 2023 chez un agriculteur de la région de Mitidja du sud dans la wilaya de Biskra. Cette dernière est située à 314,5 Kilomètres du chef-lieu de la wilaya de Bejaia (**figure n°8**). La plante a été récoltée en fin du mois de Février.



**Figure n°8:** Situation géographique du lieu de la récolte de la carotte  
(La situation géographique est selon Google maps Algérie)  
(<https://maps.google.com/>).

## **I.2. Méthodes**

### **I.2.1. Cuisson de la carotte**

Ce travail est réalisé pour déterminer l'effet de la cuisson sur la teneur en métabolites primaires et secondaires, et l'activité anti-oxydante de la carotte. Nous avons comparé des carottes cuites selon cinq modes de cuisson différents (dans l'eau, à la vapeur, sous pression à l'aide d'une cocotte-minute, aux micro-ondes et friture).

Après lavage à l'eau de robinet, les carottes sont épluchées à l'aide d'un couteau et découpées en petits morceaux qui ont été soumis à différents traitements de cuisson. Les procédés de cuisson effectués sont établis selon **Turkmen et al. (2005)** avec quelques modifications. Une quantité de 100 g de carottes est cuite pendant 10 à 30 minutes selon le mode de cuisson. Ensuite, les carottes cuites sont conservées au congélateur.

### **I.2.2. Extraction des extraits de la carotte :**

L'extraction est une étape du processus de transformation de la matière première végétale en un extrait (**Richter, 1993**).

L'extraction des antioxydants est réalisée selon la méthode modifiée de **Soares et al. (2009)**. Elle consiste à faire macérer une quantité de 15 g de chaque échantillon broyé (carotte crue, cuite sous pression, aux micro-ondes, à la vapeur, dans l'eau et frite) dans 50 mL d'eau distillée. Les mélanges étaient maintenus sous agitation magnétique à la température ambiante et à l'obscurité. Après 1h

d'agitation, les extraits ont été filtrés, ensuite un volume est utilisé pour déterminer le rendement d'extraction et un autre est conservé dans des eppendorfs au congélateur pour d'éventuelles analyses.

Afin de déterminer les rendements d'extraction, 2 mL de chaque extrait aqueux ont été mis dans des boîtes de Pétri, puis séchés à l'étuve (40°C) jusqu'à l'évaporation totale de l'eau. Les extraits secs obtenus ont été pesés et les rendements d'extraction sont calculés comme suit :

$$\text{Le rendement d'extraction (\%)} = \left( \frac{P_1 - P_0}{E} \right) * 100$$

Avec,

**P<sub>0</sub>** : poids de la boîte de Pétri vide (g) ;

**P<sub>1</sub>** : poids de la boîte de Pétri + l'extrait sec (g) ;

**E** : poids de l'extrait sec (g).

### **I.2.3. Analyses physico-chimiques**

#### **I.2.3.1. Taux d'humidité**

Le principe de la détermination du taux d'humidité est basé sur l'élimination de l'eau contenue dans un échantillon donné par chauffage dans une étuve ventilée à 105°C pendant cinq heures jusqu'à ce que le poids de l'échantillon soit constant (NF V 18-109, 1982).

La teneur en eau présente dans les échantillons issus des différents modes de cuissons a été déterminée comme suit : 1 g de chaque échantillon est pesé dans des boîtes de Pétri en verre, puis placés à l'étuve à 105°C jusqu'à ce que le poids soit stable. Le pourcentage d'humidité pour chaque échantillon est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux d'humidité} = \frac{M2 - M1}{P} \times 100$$

**Soit,**

**H** : Humidité (%) ;

**M1** : Masse de la boîte Pétri + échantillon avant séchage (g) ;

**M2** : Masse de la boîte Pétri + échantillon après séchage (g) ;

**Pe** : Masse de la prise d'essai (1 g).

#### **I.2.3.2. Taux de cendres**

La détermination du taux de cendres consiste à faire calciner les différents échantillons dans un four à moufle à 600°C pendant 05 heures jusqu'à l'obtention d'une poudre blanche à grise (NF V05-113, 1972).

La méthode suivie dans ce travail est celle de l'AOAC (1995) qui est décrite comme suit: trois grammes de chaque échantillon des différents modes de cuissons y compris le cru ont été pesés dans des creusets en porcelaine. Ces derniers sont ensuite placés dans un four à moufle à 550°C pendant 4 heures. Le taux de cendres est calculé selon la formule suivante :

$$\text{Cd \%} = \frac{M1 - M2}{Pe} \times 100$$

**Avec,**

**Cd** : Teneur en cendres (%) ;

**M1** : Masse du creuset avec cendres (g) ;

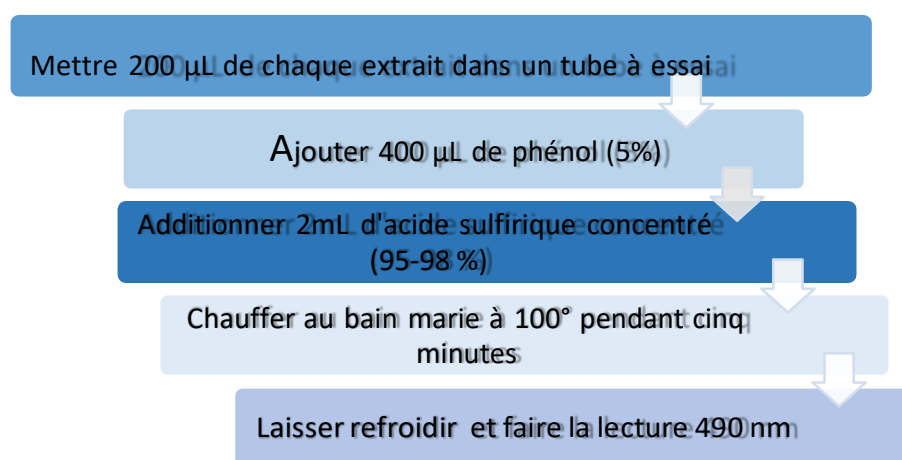
**M2** : Masse du creuset vide (g) ;

**Pe** : Masse de la prise d'essai (3 g).

### **I.2.3.3. Dosages des sucres totaux**

La méthode de dosage des sucres totaux repose sur la déshydratation des sucres présents dans l'extrait par l'acide sulfurique concentré et à chaud, ce qui implique la formation de l'hydroxy méthyl furfural (HMF) et d'autres composés réactionnels qui réagissent avec le phénol. Ces réactions donnent un complexe stable de couleur jaune-orangé dont l'intensité est proportionnelle à la quantité en sucre présente dans l'échantillon (**Dubois et al., 1956**).

Le protocole de dosage des sucres totaux est décrit dans le **figure 09**.



**Figure n°9:** Protocole de dosage des sucres totaux (**Dubois et al., 1956**).

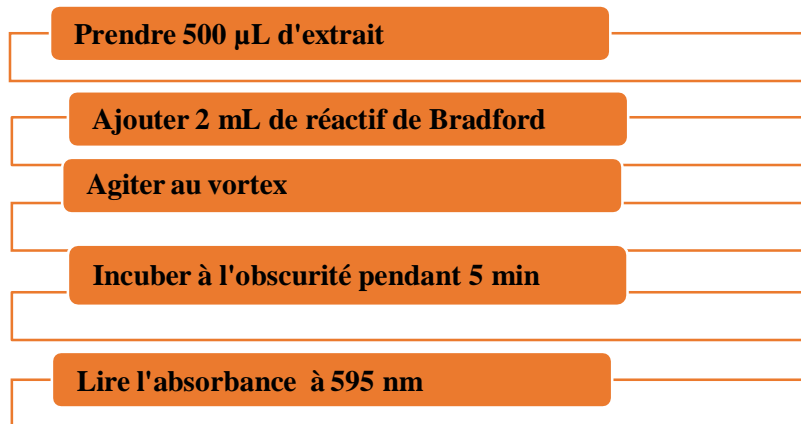
La concentration en sucre totaux pour chaque extrait est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec le D-glucose (**annexe 01**). Les résultats obtenus sont exprimés en milligramme d'équivalent D-glucose par gramme de matière fraîche.

### **I.2.3.4. Dosages des protéines**

Selon la méthode de **Bradford (1976)**, le colorant bleu brillant de Coomassie et ces interactions les protéines entraînent un déplacement du pic d'absorption du colorant de 465 nm à 595 nm qui se traduit par un changement de couleur du milieu, passant d'une teinte brun orangée à une teinte bleue. L'intensité de la couleur est proportionnelle à la teneur en protéines dans les extraits analysés.



Le dosage des protéines a été réalisé selon le protocole décrit dans la **figure n°10**.



**Figure n°10:** Protocole de dosage des protéines (Bradford, 1976).

La teneur en protéines des différents échantillons a été déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec la BSA (albumine sérum bovine) (**annexe 01**). Les résultats ont été exprimés en milligramme d'équivalent BSA par gramme de matière fraîche (mg EQ BSA/g MF).

#### **I.2.4. Taux de Gonflement et solubilité**

Le gonflement est déterminé selon la méthode de **Kolawole et Chidinma (2013)**, qui consiste à mesurer le volume d'eau qui conduit à l'éclatement des macromolécules de structure solide et leur gonflement qui permettent leurs solubilités. Le protocole expérimental suivi pour la détermination du taux de gonflement est décrit dans la **figure n°11**.

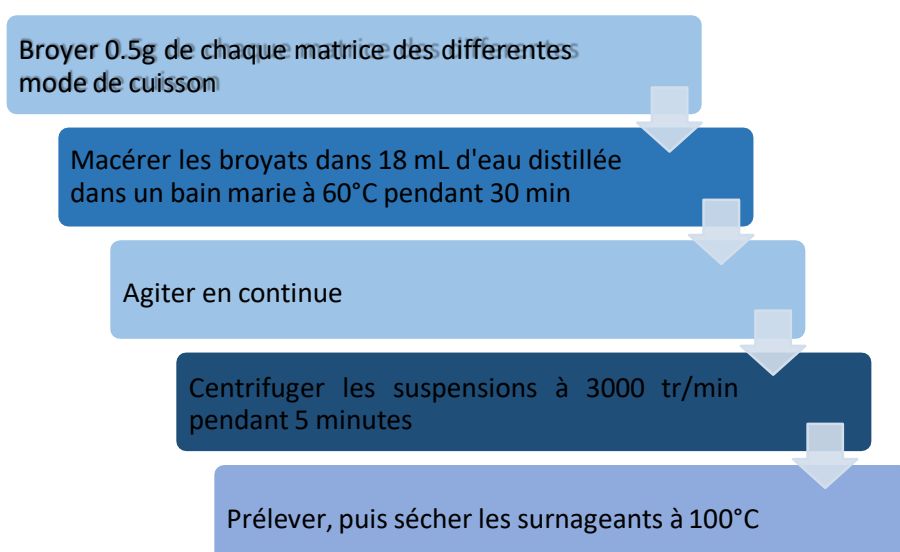


Figure n°11: Protocole pour le gonflement et solubilité (Kolawole et Chidinma, 2013).

Le gonflement et la solubilité sont calculés par les relations citées par (Ju et al., 2012).

$$\text{Gonflement \%} = \frac{\text{Poids du culot hummide (g)}}{\text{Prise d'essai (g)} \times (100 - \text{Solubilité \%})} \times 100$$

$$\text{Solubilité \%} = \frac{\text{Poids des solides dans le surnageant}}{\text{Poids de la prise d'essai (g)}} \times 100$$

## I.2.5. Analyses phyto-chimiques

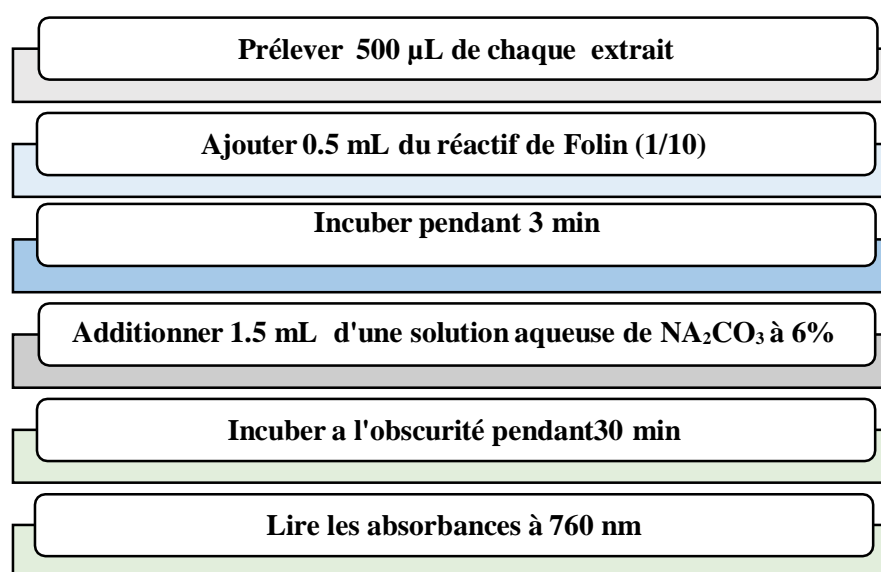
### I.2.5.1. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux par la méthode utilisant le réactif de Folin-Ciocalteu a été décrit en 1965 par Singleton et Rossi. Depuis, son utilisation s'est largement répandue pour caractériser les extraits végétaux de différentes origines.

Le réactif de Folin-Ciocalteu, de couleur jaune, est constitué d'un mélange d'acide phosphotungstique et d'acide phosphomolybdique. Il est réduit lors de l'oxydation des phénols, en un mélange d'oxydes bleu de tungstène et de molybdène. La présence de carbonate de sodium rend le milieu légèrement alcalin qui se traduit par une coloration bleu foncé (Ribéreau-Gayon, 1968). La coloration produite, dont l'absorption maximum à environ 760-765 nm, est proportionnelle à la quantité de polyphénols présents dans les extraits végétaux (Boizot et Charpentier, 2006).

La teneur en composés phénoliques totaux a été déterminée selon la méthode décrite par **Singleton et Rossi (1965)** qui est est comme suit : 0,5 mL du réactif de Folin-Ciocalteu ont été ajoutés à 0,5 mL de chaque extrait des différents modes de cuissons. Après trois minutes un volume de 1,5 mL du monocarbonate de sodium (06%) a été additionné. Ce mélange est ajusté avec l'eau distillé jusqu'à 10 mL, puis l'incubation à l'obscurité. Après 30 minutes d'incubation, la lecture des absorbances a été faite à 760 nm.

Le protocole de dosage des polyphénols totaux est illustré dans la **figure 12**.



**Figure n°12:** Protocole de dosage des polyphénols totaux (**Haddadi-Guemghar et al., 2014**).

La concentration en polyphénols totaux est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide gallique (**annexe 02**). Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent acide gallique par gramme de matière fraîche (mg EAG/g MF).

### **I.2.5.2. Dosages des flavonoïdes**

La teneur en flavonoïdes a été déterminée par la méthode colorimétrique de **Lamaison et Carnat (1991)**. Cette méthode est basée sur la formation de complexe jaunâtre suite à la chélation de l'ion  $\text{Al}^{3+}$ , utilisés sous forme de chlorure d'aluminium ( $\text{AlCl}_3$ ), par les groupements OH des flavonoïdes. Ce complexe jaunâtre absorbe la lumière visible à une longueur d'onde de 430 nm. La coloration ainsi formée est proportionnelle au taux de flavonoïdes dans le mélange (**Ribereau-Gayon, 1968**).

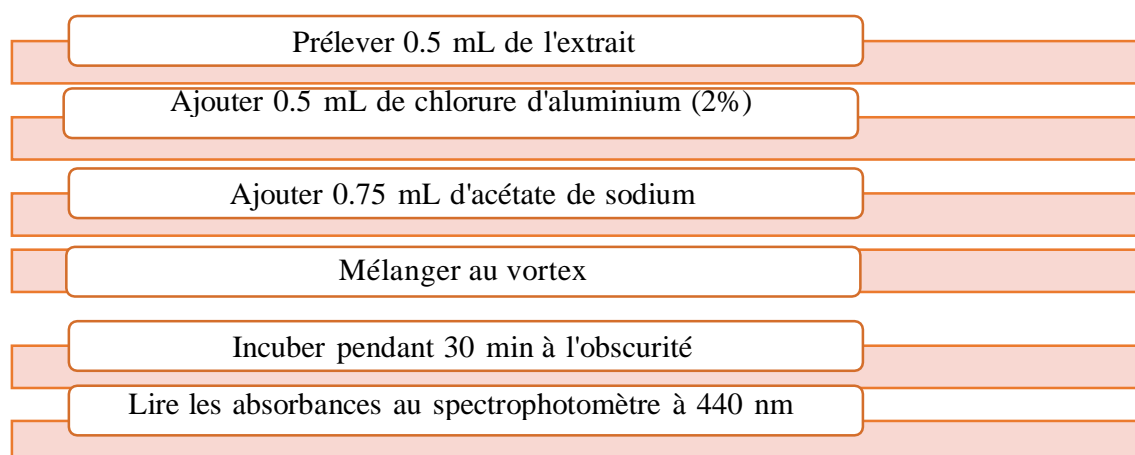
Selon la méthode de  $\text{AlCl}_3$  de **Lamaison et Carnat (1990)**, la teneur en flavonoïdes est déterminée comme suit : un volume de 1 mL de la solution de chlorure d'Aluminium (2%) a été ajouté à 1mL de chaque extrait. Ces mélanges ont été ensuite incubés à l'obscurité. Après 15 minutes d'incubation, la lecture des absorbances est réalisée à 430 nm.

La teneur en flavonoïdes dans les extraits a été déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec la quercétine (**annexe 02**) et les résultats ont été exprimés en milligramme d'équivalent quercétine par gramme de matière fraîche (mg EQ/g MF).

### 1.2.5.3. Dosage des flavonols

La méthode utilisée pour la détermination de la teneur en flavonols est celle de **Kumaran et Karunakaran (2007)**.

Le protocole de dosage des flavonols est illustré dans la **figure 13**.



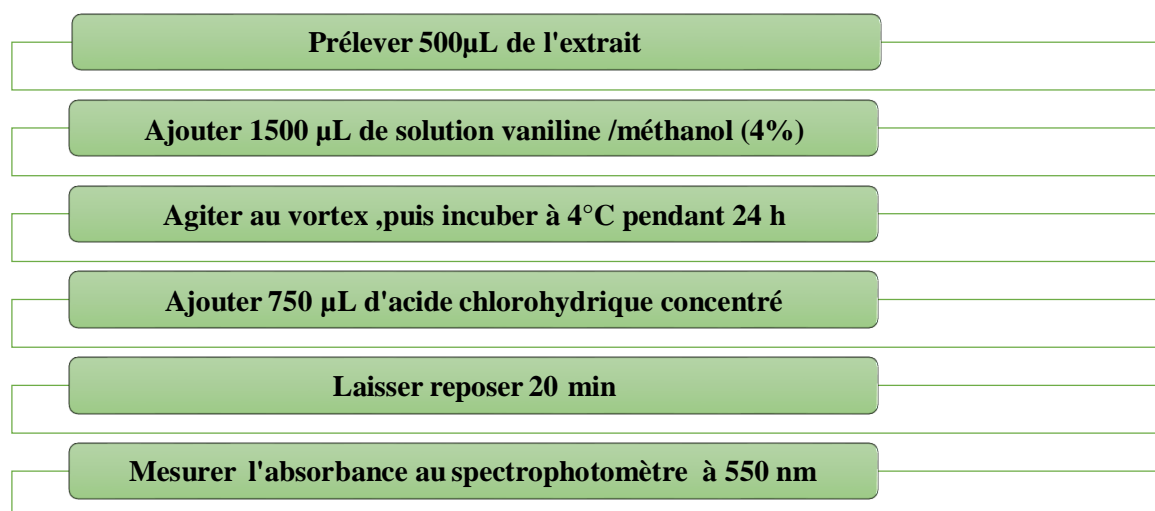
**Figure n°13:** Protocole dosage des flavonols (**Kumaran et Karunakaran, 2007**).

La teneur en flavonols a été déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec la quercétine (**annexe 02**). Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent quercétine par gramme de matière fraîche (mg EQ/g MF).

#### **I.2.5.4. Dosage des tanins condensés**

Les tanins condensés ont été évalués par la méthode de la réaction à la vanilline en milieu acide. Cette méthode repose sur la capacité de la vanilline à réagir avec les unités des tanins condensés en présence d'acide, formant ainsi un complexe coloré qui absorbe à 550 nm. Il est important de noter que la réactivité de la vanilline avec les tanins ne concerne que la première unité du polymère (**Julkunen-Tiitto, 1985**).

Le protocole de dosage des tanins condensés est illustré dans la **figure n°14**.




**Figure n°14:** Protocole de dosage des tanins condensés (**Julkunen-Titto, 1985**).

La teneur en tanins condensés dans les échantillons de carottes a été déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec la catéchine (**annexe 02**). Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent catéchine par gramme de matière fraîche (mg EC/g MF).

#### **I.2.5.5. Dosage de la vitamine C**

Le dosage est basé sur la réaction d'oxydation de la vitamine C (acide L-ascorbique) par une solution de DCPIP (2,6-dichlorophénolindophénol) en milieu acide. Le produit de réduction de ce dernier est de couleur rose. Si la vitamine C est présente, la coloration bleue du DCPIP qui devient rose dans les conditions acides, va donner un composé incolore en oxydant l'acide ascorbique. La présence de l'acide ascorbique se traduit par la décoloration du DCPIP (**Hughes, 1983**).

Le protocole de dosage de la vitamine C est illustré dans la **figure n°15**.



• Prélever 5 mL de l'extrait
• Ajouter 2 mL d'acide oxalique (0.4%)
• Agiter pendant 5 min sur une plaque agitatrice
• Filtrer par du papier filtre
• Centrifuger à 4500 tr pendant 15 min
• Prendre 500 µL du surnageant
• Ajouter 2500 µL de 2,6-dichloroindophénol (0.003%)
• Mesurer l'absorbance à 515 nm

**Figure n°15:** Protocole de dosage de la vitamine C (Mau et al., 2005).

La teneur en vitamine C dans les échantillons a été déterminée partant d'une courbe d'étalonnage réalisée à base de l'acide ascorbique (**annexe 02**). Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent acide ascorbique par gramme de matière fraîche.

Par ce test, nous avons également déterminé le pourcentage d'inhibition du DCPIP en utilisant l'équation suivante :

$$\% \text{ Inhibition} = \left( \frac{A_{\text{contrôle}} - A}{A_{\text{contrôle}}} \right) \times 100$$

**Soit,**


**A :** absorbance de l'échantillon en présence des molécules testées ;

**ACONTROLE :** absorbance de l'échantillon en absence de molécules testées.

#### **I.2.5.6. Dosage des caroténoïdes**

Les caroténoïdes sont des composés terpéniques très importants qui sont trouvés en grande quantité dans la carotte. Leur structure polyène, leurs confère un rôle dans l'absorption de la lumière et la neutralisation de l'oxygène singulet (**Mouhammedi, 2006**).

Le protocole de dosage des caroténoïdes est décrit dans la **figure n°16**.

- 
- Broyer 1.5 g de carottes
  - Ajouter 10 mL du mélange hexane/acétone/éthanol (2:1:1) au broyat
  - Agiter pendant 10 min sur une plaque agitatrice
  - Récupérer la phase hexanique supérieure
  - Mesurer l'absorbance à 450 nm


**Figure n°16:** Protocole de dosage des caroténoïdes (**Sass-kiss et al., 2005**).

La concentration en caroténoïdes est déterminée en se référant à une courbe d'étalonnage réalisée avec le  $\beta$ -carotène (**annexe 02**). Les résultats sont exprimés en milligramme d'équivalent  $\beta$ -carotène par gramme de matière fraîche (mg équivalent  $\beta$ -carotène/g MF).

#### **I.2.5.7. Dosage des tanins totaux**

La méthode de dosage des tanins totaux selon **Hagerman et Butler (1978)** repose sur la réaction des tanins avec la protéine albumine du sérum bovin (BSA) solubilisée à son pH isoélectrique (pH = 4,9, préparée dans du tampon acétate). L'échantillon à analyser est mélangé avec une solution de BSA, ce qui conduit à la formation d'un complexe tanin-BSA. Ce dernier est précipité en utilisant les sels ferriques.

Le protocole de dosage des tanins totaux est décrit dans la **figure n°17**.

- 
- Prendre 0.5 mL d'extrait
  - Ajouter 1 mL de la solution de sérum albumine bovine (BSA)
  - Agiter au vortex puis incubé à 4°C pendant 24 h
  - Centrifuger le mélange à 5000 tr/min pendant 45 min
  - Enlever le surnageant
  - Dissoudre les précipités dans 2ml de la solution SDS/TEA (5% , PH:9,4) et Ajouter 0.5 mL de la solution de chlorure ferrique FeCl<sub>3</sub>
  - Agiter et incubé pendant 15 min à la température ambiante
  - Lire l'absorbance au spectrophotomètre à 515 nm

**Figure n°17:** Protocole de dosage des tanins totaux (**Hagerman et Butler, 1978**).

La teneur en tanins totaux est déterminée à partir d'une courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide tannique (**annexe 02**). Les résultats sont exprimés en milligrammes d'équivalent acide tannique par gramme de matière fraîche (mg EAT/g MF).

#### **I.2.5.8. Dosage des anthocyanines**

Le dosage des anthocyanines a été mené selon la méthode du pH différentiel basée sur les réactions de transformations réversibles que subissent les pigments d'anthocyanes lors des changements de pH. Deux formes qui se manifestent par différents spectres sont distinguées : La forme oxonium colorée qui prédomine à pH 1,0 et la forme hémicétale qui prédomine à un pH 4,5. Cette méthode de quantification est efficace puisqu'elle reste précise et rapide même si des pigments dégradés et/ou d'autres composés interférents sont présents (**Giusti et Wrolstad, 2001**).

Le protocole utilisé pour le dosage des anthocyanines est celui de **Giusti et Wrolstad, 2001**) qui est décrit comme suit : un volume de 7 mL du tampon chlorure de potassium (0,025M, pH = 1) est ajouté à 0,2 mL de l'extrait, ensuite son absorbance est lue au spectrophotomètre à 520 nm, puis à 700 nm. La même procédure est refaite avec le tampon acétate de sodium (0,41 M, pH = 4,5).

L'absorbance des anthocyanines est calculée selon la formule suivante :

$$A = (A_{520} - A_{700})_{pH1} - (A_{520} - A_{700})_{pH4,5}$$

Les concentrations en anthocyanines monomériques des différents extraits ont été calculées comme suit :

$$C \text{ (mg/mL)} = \frac{A.M.F.1000}{s.l}$$

**Soit,**

**A** : Absorbance des anthocyanines ;

**M** : Poids moléculaire de la cyanidine-3-glucoside (449.2 g/mol) ;

**F** : Facteur de dilution ;

**l** : Longueur de la cuve (0.5 cm) ;

**ε** : Coefficient d'extinction molaire (26900 cm<sup>-1</sup> .mol<sup>-1</sup>.L).

Les teneurs en anthocyanines sont exprimées en milligramme d'équivalent cyanidine-3-glucoside par gramme de matière fraîche.



## I.2.6. Évaluation de l'activité antioxydante

Deux tests ont été réalisés afin d'évaluer l'activité antioxydante des six extraits de carottes en occurrence, le test scavenger du radical DPPH<sup>•</sup> et le pouvoir réducteur au phosphomolybdate d'ammonium.

### I.2.6.1. Test au radical DPPH<sup>•</sup>

Le radical DPPH<sup>•</sup>, naturellement de couleur violette foncée en solution dans le méthanol, subit une transformation en présence d'un antioxydant. Sa couleur caractéristique se transforme en un jaune pâle et son absorbance à 517 nm diminue lorsqu'il est réduit en hydrazine. La mesure de la décoloration permet d'évaluer le potentiel de l'extrait à piéger ce radical. Le radical DPPH<sup>•</sup> réagit avec les agents réducteurs, qui sont capables de le réduire en donnant des atomes d'hydrogène (Popovici et al., 2009; Guimarães et al., 2010) (figure n°18).

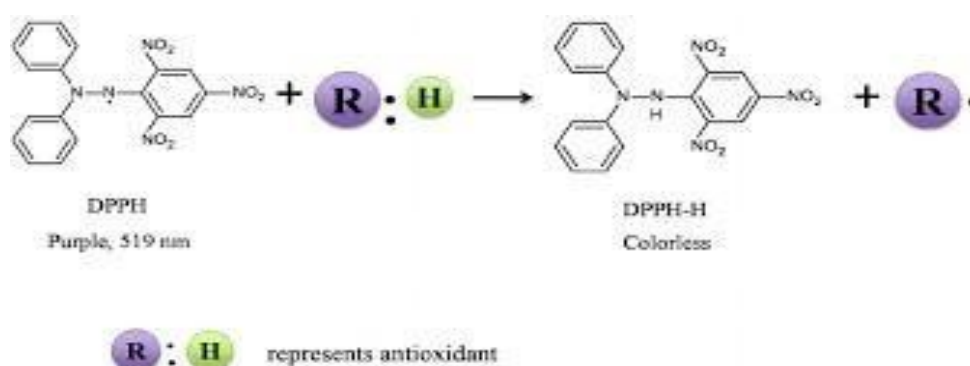


Figure n°18: Réduction du radical DPPH<sup>•</sup> en DPPH-H (Guimarães et al., 2010).

Pour chaque extrait, cinq dilutions ont été préparées dans l'eau distillée (tableau II). Le DPPH utilisé est dissout dans du méthanol ( $10^{-3}$ M). Les mélanges réactionnels obtenus ont été maintenus dans l'obscurité à la température ambiante pendant une heure. Ensuite, les absorbances ont été mesurées à 517 nm par rapport à un témoin préparé sans l'extrait (Blois, 1958). Les mêmes opérations ont été répétées pour l'acide gallique, qui est utilisé comme standard (annexe 03).

Tableau II: Mode opératoire du test de DPPH' (Blois, 1958).

Extrait ( $\mu\text{L}$ )	200	400	600	800	1000
Eau distillée ( $\mu\text{L}$ )	800	600	400	200	0
Méthanol ( $\mu\text{L}$ )	1	1	1	1	1
DPPH (5mL)	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15
Volume total (mL)	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15

### I.2.6.2. Pouvoir réducteur au phosphomolybdate d'ammonium

Le test du pouvoir réducteur au phosphomolybdate d'ammonium est basé sur la réduction du molybdate sous la forme  $\text{MO}^{6+}$  vers la forme  $\text{MO}^{5+}$  par des substances présentes dans les extraits des différents échantillons de carotte. En milieu acide, la formation du complexe phosphate- $\text{Mo}^{5+}$  induit l'apparition d'une couleur verte, dont l'intensité est directement proportionnelle à la concentration en antioxydants (Bougatef et al., 2009) (figure n° 19).

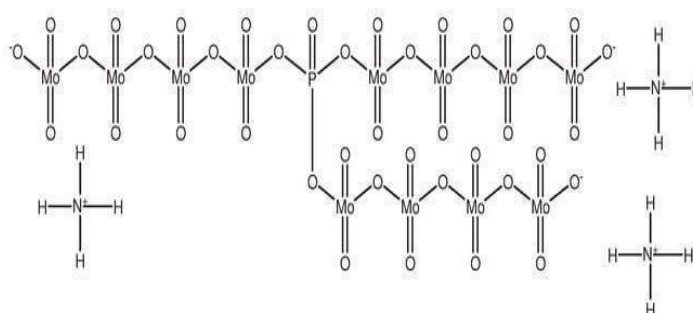


Figure n°19: Réduction du molybdate sous forme  $\text{MO}^{6+}$  vers la forme  $\text{MO}^{5+}$  (Bougatef et al., 2009).

La détermination du pouvoir réducteur des différents extraits a été menée selon la méthode de Silici et al. (2010) qui est décrite comme suite : 2 mL d'un solvant réactif (mélange de phosphate de sodium (28 mM), de molybdate d'ammonium (28 mM) et d'acide sulfurique (0,6 mM)) ont été ajouté à 0,2 mL de chaque extrait, puis ce mélange est agité et incubé dans un bain marie à  $90^\circ\text{C}$  pendant 90 min. La lecture des absorbances a été ensuite faite à 695 nm. Les mêmes opérations ont été répétées pour l'acide gallique, qui est utilisé comme standard (annexe 03).

### **I.2.7. Analyse statistique**

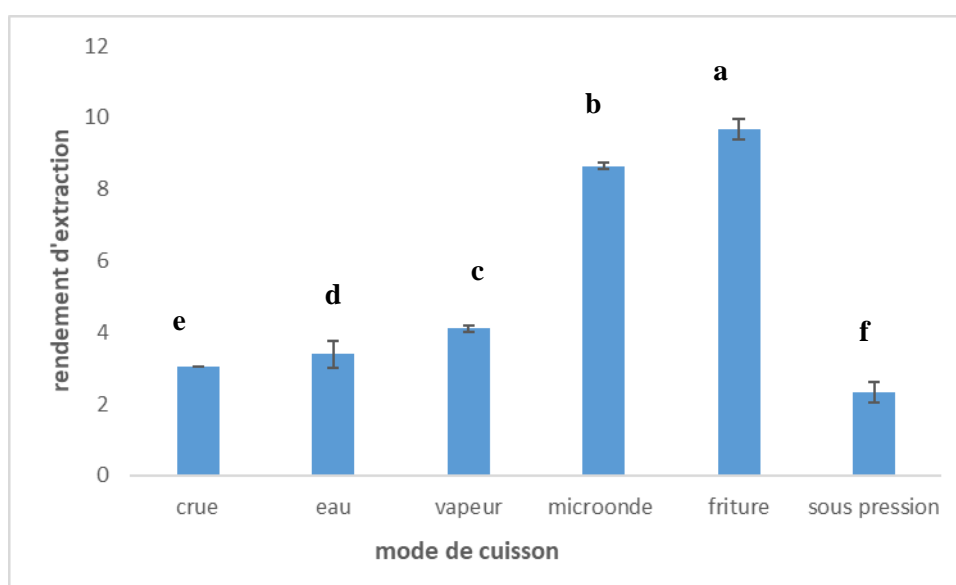
Toutes les déterminations ont été effectuées en triple essais. L'analyse statistique qui consiste en la détermination des moyennes et écarts types des tests est faite à l'aide du **Microsoft Excel 2010**. Tandis que l'analyse de la variance (ANOVA) pour comparer les résultats de certaines analyses est effectuée grâce au logiciel **Statistica 7.1**, ainsi, les valeurs  $P$  inférieures à 0,05 ont été jugées comme significatives.

## II. Résultats et discussion

### II.1. Analyses physico-chimiques

#### II.1.1. Rendement des extraits de carotte

L'extraction utilisée est de type solide-liquide, c'est-à-dire que le solvant doit franchir la barrière de l'interface solide-liquide, dissoudre le principe actif à l'intérieur du solide et le soluté sortira. La plupart des auteurs suggèrent que l'entrée du solvant se fait par un mécanisme osmotique et la sortie du soluté par diffusion (**Ribereau-Gayon, 1968**). Après macération, filtration et évaporation des filtrats, le taux d'extraction a été déterminé pour chaque extrait (**figure n°20**).



**Figure n°20:** Rendements d'extraction de la carotte selon différents modes de cuisson. Les lettres a, b, c, d, e et f indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

D'après la **figure n°20**, les rendements d'extraction varient d'un échantillon à un autre selon le mode de cuisson appliqué. Ainsi, c'est l'échantillon frit qui a donné le rendement d'extraction le plus élevé ( $9,66 \pm 0,29\%$ ), suivie de celui cuit aux micro-ondes ( $8,64 \pm 0,29\%$ ), puis ceux cuits à la vapeur ( $4,10 \pm 0,09\%$ ), dans l'eau ( $3,38 \pm 0,10\%$ ) et sous pression ( $2,33 \pm 0,17\%$ ). Par contre, l'échantillon cru a donné un rendement d'extraction de  $3,05 \pm 0,38\%$ . Ce dernier est inférieur à celui rapporté par **Simard (2014)** qui est de  $29,8 \pm 9,9\%$ .

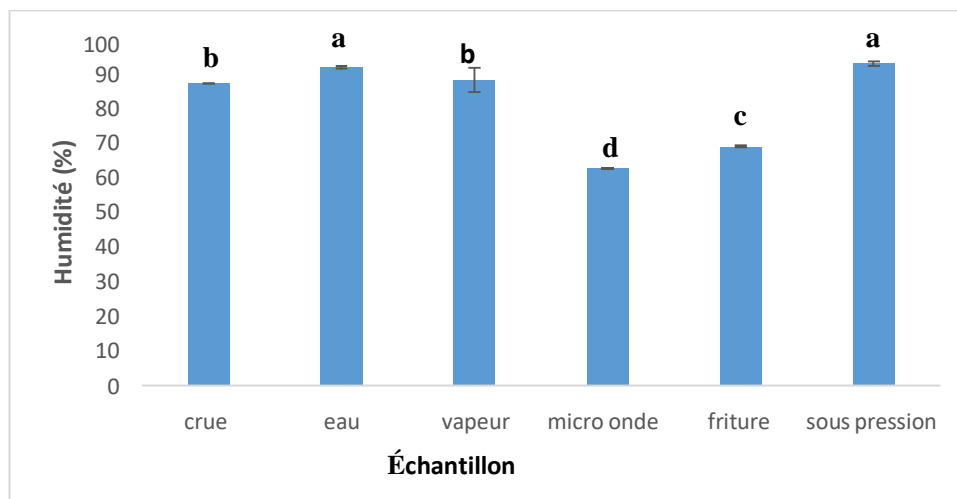
L'étude statistique a montré qu'il y a une différence significative des rendements d'extraction entre les différents échantillons ( $P < 0,05$ ).

D'après **Naczk et Shahidi (2006)**, l'extraction peut être influencée par la méthode d'extraction, la taille des particules et les conditions de préparation de l'échantillon.

### II.1.2. Test d'humidité

La teneur en eau contenue dans les légumes et les fruits est généralement comprise entre 75-95% du poids total, cette dernière a une grande importance car elle contribue à l'apport hydrique du corps humain (**Lecerf, 2018**).

Les résultats du test d'humidité des 6 échantillons de carottes sont présentés sur la **figure n°21**.



**Figure n°21:** Taux d'humidité de la carotte selon les différents modes de cuisson appliqués. Les lettres a, b, c et d indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

La **figure n°21** montre que la carotte cuite sous pression présente le taux d'humidité le plus élevée ( $92,90 \pm 0,68\%$ ), suivie par celles cuites dans l'eau ( $91,85 \pm 0,38\%$ ), à la vapeur ( $88,12 \pm 3,50\%$ ), dans l'huile ( $69 \pm 0,31\%$ ) et aux micro-ondes ( $62,61 \pm 0,31\%$ ). Ces différences pourraient être dues aux différents traitements thermiques appliqués. Par contre la carotte crue présente un taux d'humidité de  $87,13 \pm 0,18\%$ .

L'étude statistique a montré qu'il y a une différence significative des taux d'humidité entre les différents échantillons ( $P < 0,05$ ).

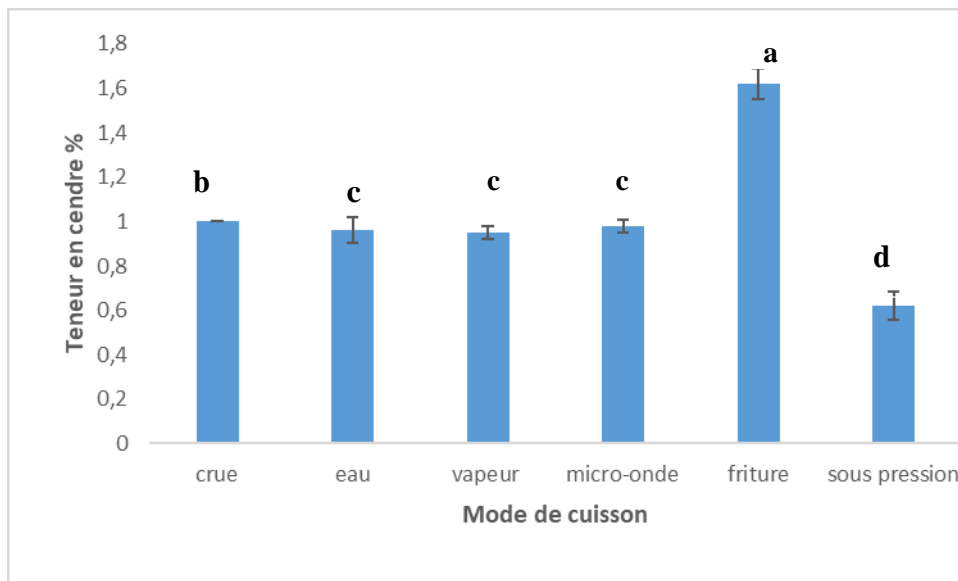
Dans leur travaux sur la variété Bahia crue, qui est une variété hybride de *Daucus carotta* cultivé au nord des Côtes d'Ivoire, **Coulibaly et al. (2018)** ont enregistré un taux de 86,44 % proche de celui trouvé dans notre travail sur la variété supermuscade ( $87,13 \pm$

0,18%). Cette différence pourrait être due aux degrés de maturation, la variété, les conditions climatiques ainsi que les conditions de culture.

### II.1.3. Détermination de la teneur en cendres

La teneur en matière minérale nous informe sur la qualité nutritionnelle des échantillons à analyser.

Les résultats du test de cendre sont illustrés dans la **figure n°22**.



**Figure n°22:** Taux de cendres des différents échantillons de carotte. Les lettres a, b, c et d indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

La **figure n°22** montre que les taux des cendres s'échelonnent entre  $0,62 \pm 0,06$  et  $1,62 \pm 0,07\%$ . Selon de mode cuisson c'est la carotte cuite dans l'huile qui a donné le taux de cendres le plus élevé. Tandis que la carotte crue a donné un taux de cendres de  $1 \pm 0\%$ .

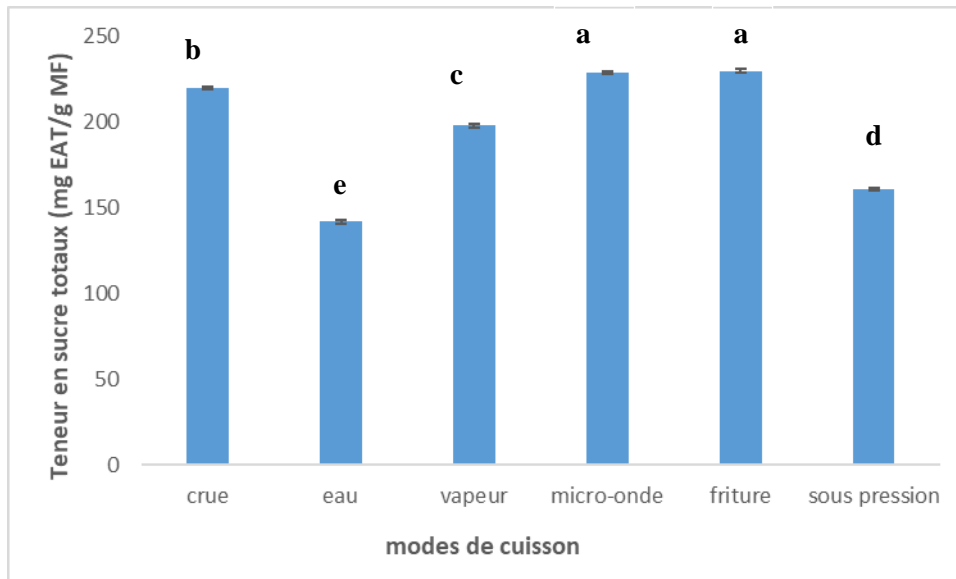
L'étude statistique a montré qu'il y a une différence significative des taux de cendres entre les différents échantillons ( $P < 0,05$ ).

Nos résultats pour la carotte crue sont proches de ceux trouvés par **Coulibaly et al. (2018)** qui ont travaillé sur quatre variétés hybrides de carotte crue (*Daucus carotta*) cultivés au nord des Côtes d'Ivoire à savoir Amazonie (1,30%), Bahia (0,89%), Madona (1,24%) et Pamela (0,89%).

### II.1.4. Sucres totaux

Les sucres totaux sont déterminés d'après la méthode de **Dubois et al.(1956)**. Le principe de cette méthode repose sur la déshydratation des oses en milieu acide et à chaud.

Les résultats de dosage des sucres totaux sont présentés dans la **figure n°23**.



**Figure n°23:** Teneurs en sucres totaux des extraits des différents modes de cuisson. Les lettres a, b, c, d et e indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

La **figure n°23** montre que les teneurs en sucres totaux varient entre  $142 \pm 0,00015$  et  $230 \pm 0$  mg d'équivalent D-glucose/g MF. Selon de mode cuisson, c'est la carotte cuite dans l'huile qui présente la teneur en sucres totaux la plus élevée. Par contre, la carotte crue contient  $220 \pm 0$  mg d'équivalent D-glucose/g MF.

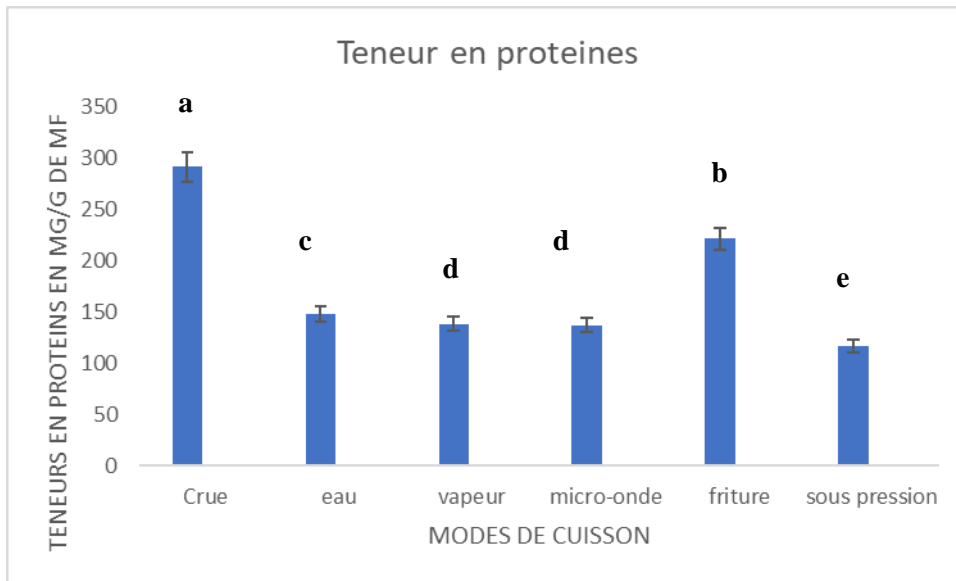
L'étude statistique a montré qu'il y a une différence significative des teneurs en sucres totaux entre les différents échantillons ( $P < 0,05$ ).

Selon **Loison (2006)**, la teneur en sucres totaux dans la carotte crue est de 23 mg/g qui est inférieure à celle trouvée dans le présent travail.

### II.1.5. Dosage des protéines

La cuisson affecte la composition chimique et l'hydroxylation des acides aminés aromatiques. Ces modifications oxydatives des acides aminés, dont certains sont essentiels, conduisent à une diminution de la valeur nutritionnelle des protéines (**Yuan et al., 2009**).

La **figure n°24** illustre les teneurs en protéines dans les extraits des différents échantillons de carottes.



**Figure n°24:** Teneur en protéines des extraits des différents échantillons de carotte. Les lettres, b, c, d et e indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

Les résultats de la **figure n°24** montrent que c'est l'extrait de la carotte crue qui contient la plus grande quantité de protéines ( $291,08 \pm 0,18$  mg EQ BSA/g MF) comparant aux autres extraits provenant d'échantillons ayant subi des traitements thermiques. Selon le mode de cuisson appliqué, c'est la carotte frite qui présente la teneur la plus élevée en protéines ( $221 \pm 0$  mg EQ BSA/g MF), suivie par celles cuites dans l'eau ( $147,53 \pm 0,19$  mg EQ BSA/g MF), aux micro-ondes ( $137,02 \pm 0,092$  mg E BSA/g MF), à la vapeur ( $138,34 \pm 0,22$  mg EQ BSA/g MF) et sous pression ( $116,7 \pm 0,18$  mg EQ BSA/g MF). Ces valeurs sont largement supérieures à celles trouvées par **Marty et al. (1973)** qui ont trouvé que les teneurs en protéines dans 100 g carotte varient entre 0,1 à 0,2 mg /100g.

L'étude statistique a montré qu'il y a une différence significative des teneurs en protéines entre les différents échantillons ( $P < 0,05$ ).

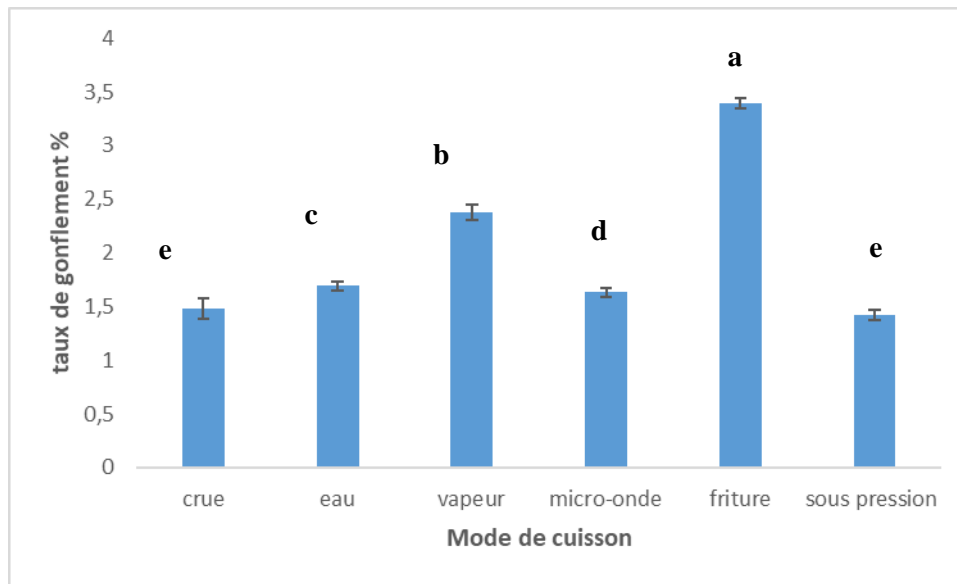
Les variations des teneurs en protéines des extraits de carottes cuites par différents modes de cuisson par rapport à la carotte crue est due aux traitements thermiques qui entraînent une dénaturation protéique rapide qui se traduit par des changements de conformation (**Promeyrat et al., 2010**).



## II.2. Détermination du taux de gonflement

Ce test consiste à mesurer le volume d'eau permettant l'écartement des macromolécules dans une structure solide, ce dernier peut conduire à la solubilité (Kolawole et Chidinma, 2013).

Les résultats du taux de gonflement des différents échantillons sont présentés dans la figure n°25.



**Figure n°25:** Taux de gonflement échantillons issus des différents échantillons. Les lettres a, b, c, d et e indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

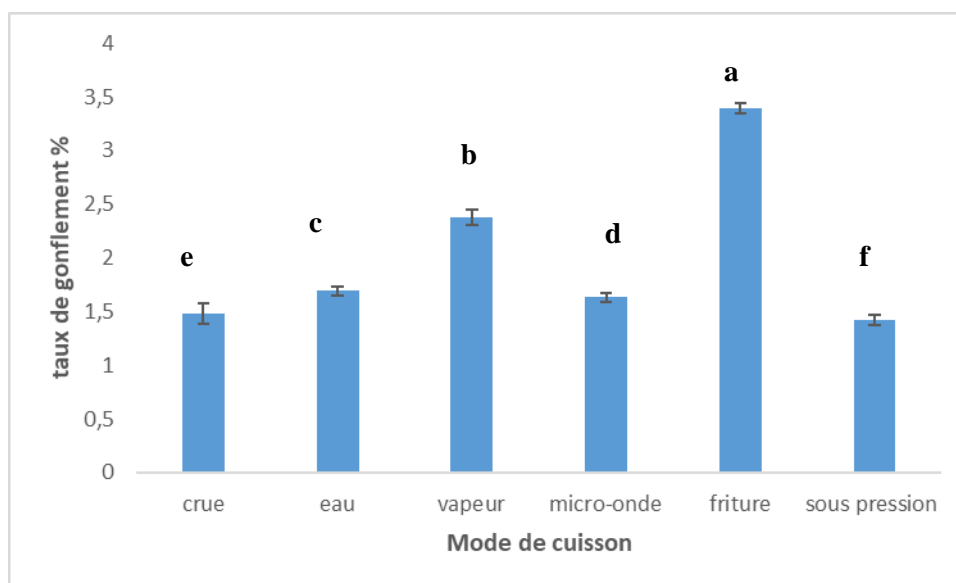
Le taux de gonflement exprimé en pourcentage des broyats des différents modes de cuissons d'après l'histogramme de la figure n°25 montre que c'est l'échantillon frit qui présente le taux le plus élevé ( $3,35 \pm 0,05686\%$ ), suivie de ceux cuits à la vapeur ( $2,38 \pm 0,07\%$ ), dans l'eau ( $1,69 \pm 0,045\%$ ), aux micro-ondes ( $1,63 \pm 0,046\%$ ) et sous pression ( $1,42\%$ ). Par contre, l'échantillon cru a enregistré un taux de gonflement de  $1,48 \pm 0,099\%$ .

L'étude statistique a montré qu'il y a une différence significative des taux de gonflement entre les différents échantillons ( $P < 0,05$ ).

## II.3. Analyses phyto-chimiques

### II.3.1. Dosage des polyphénols totaux

Les résultats du dosage des polyphénols totaux à partir des différents extraits aqueux de carottes sont présentés sur la **figure n°26**.



**Figure n°26:** Teneurs en polyphénols totaux des extraits des différents modes de cuisson. Les lettres a, b, c, d, e et f indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

D'après les résultats enregistrés dans la **figure n°26**, ce sont les extraits issus des échantillons cuits dans l'huile, aux micro-ondes et à la vapeur qui ont donné les teneurs les plus élevées en polyphénols totaux qui sont respectivement de  $29,96 \pm 0,03$ ,  $27,86 \pm 0,01$  et  $27,41 \pm 0,02$  mg EAG/g MF. Les autres échantillons présentent des teneurs de  $20,81 \pm 0,02$  mg EAG/g pour le cru,  $14,66 \pm 0,03$  mg EAG/g pour celui cuit dans l'eau et  $13,33 \pm 0,01$  mg EAG/g MF pour celui cuit sous pression.

L'étude statistique a montré qu'il y a une différence significative des teneurs en polyphénols totaux entre les différents échantillons ( $P < 0,05$ ).

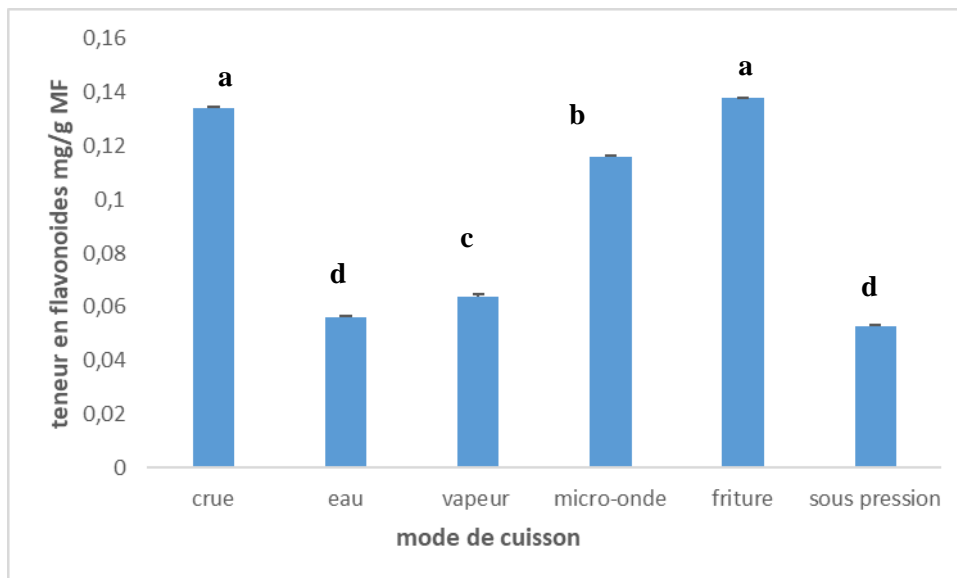
Dans leur étude sur l'effet de trois modes de cuisson sur la carotte, **Laib et al. (2018)** ont trouvé des teneurs en polyphénols totaux de 16, 9, 10 et 12 mg EAG/g de carottes crue, cuite dans l'eau, cuite à la vapeur et cuite aux micro-ondes respectivement. Ces valeurs sont inférieures à celles trouvées dans notre étude. **Lako et al. (2007)** et **Simard et al. (2014)**, ayant travaillé sur la carotte crue, ont noté des valeurs de 16 mg EAG/g d'extrait sec et  $8,27 \pm 0,79$  mg EAG/g MF, respectivement.

L'analyse de l'eau de cuisson de la carotte a révélé une quantité considérable de polyphénols totaux (2345µg EAG/g). Ces composés proviennent probablement de la solubilisation des polyphénols de la matrice végétale dans l'eau de cuisson. L'ébullition des carottes dans l'eau pendant une minute provoque la réduction de la teneur en polyphénols de 14% jusqu'à 40% (Yoruk et al., 2003).

### II.3.2. Dosage des flavonoïdes

Les flavonoïdes représentent une grande classe des composés polyphénoliques présents chez les végétaux. Ils exercent d'énormes effets positifs sur la santé, par exemple l'inhibition de la production des radicaux libres dans le corps humain (Ahmed et Eun, 2018).

La **figure n°27** illustre les teneurs en flavonoïdes des extraits des différents échantillons de carottes.



**Figure n°27:** Teneurs en flavonoïdes des extraits des différents échantillons. Les lettres a, b, c et d indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

D'après les résultats de la **figure n°27**, les extraits de carottes crues, frites et cuites aux micro-ondes ont donné des teneurs en flavonoïdes de 0,134, 0,138 et 0,116 mg EQ/g MF respectivement. Ces valeurs sont plus élevées que celles des extraits des autres échantillons : cuits à la vapeur (0,064 mg EQ/g MF), dans l'eau (0,056 mg EQ/g MF) et sous pression (0,053 mg EQ/g MF).

L'étude statistique a montré qu'il y a une différence significative des teneurs en flavonoïdes entre les différents échantillons ( $P < 0,05$ ).

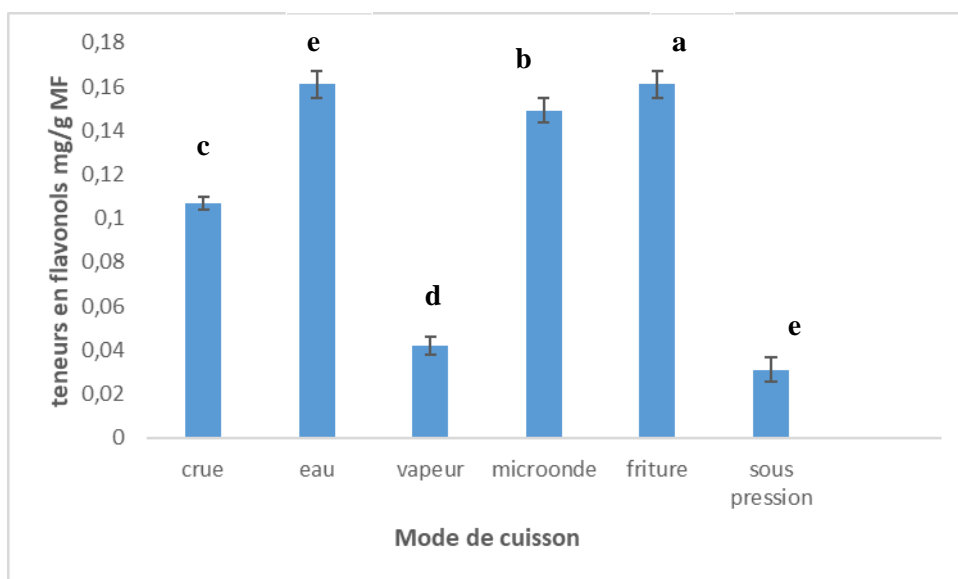
**Laib et al. (2018)** ont rapporté des teneurs en flavonoïdes de 9, 5, 7 et 8 mg EQ/g de carottes crues, cuites dans l'eau, à la vapeur et aux micro-ondes respectivement. Ces teneurs sont plus importantes que celles trouvées dans le présent travail.

La diminution des flavonoïdes de la carotte pourrait être due à plusieurs facteurs comme la dégradation thermique (auto-oxydation) et la diffusion et/ou la lixiviation (**Ismail et al., 2004; Turkmen et al., 2005**).

### II.3.3. Dosage des Flavonols

Les flavonols appartiennent à la sous famille des flavonoïdes, dans lesquels le cycle C est un hétérocycle saturé avec un groupe hydroxyle en position 4. Ils peuvent avoir un groupe OH ou OCH<sub>3</sub> en haut à trois positions dans le noyau B (**Fraga et Oteiza, 2011**).

Les résultats du dosage des flavonols sont présentés dans la **figure n°28**.



**Figure n°28:** Teneurs en flavonols des extraits des différents échantillons de carottes. Les lettres a, b, c, d et e indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

D'après l'histogramme de la **figure n°28**, l'extrait de carottes cuites dans l'huile représente la valeur la plus élevée en flavonols ( $0,16 \pm 0,006$  mg EQ/g MF), suivie de celles cuites aux micro-ondes ( $0,15 \pm 0,0055$  mg EQ/g MF), à la vapeur ( $0,04 \pm 0,004$  mg EQ/g MF), dans l'eau ( $0,03 \pm 0,006$  mg EQ/g MF) et sous pression ( $0,03 \pm 0,0055$  mg EQ /g MF). Par contre, les carottes crues contiennent une teneur de  $0,11 \pm 0,003$  mg EQ/g MF de flavonols.

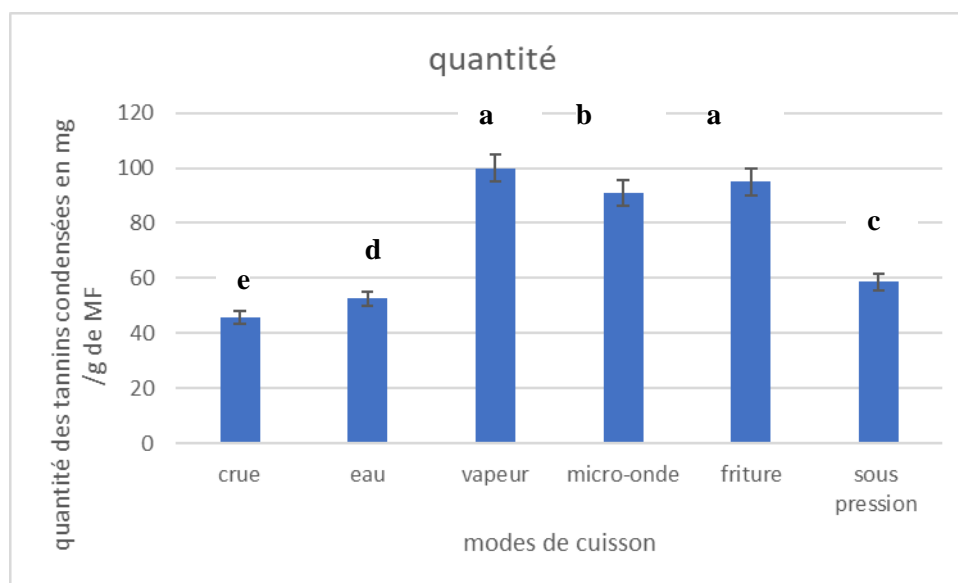
L'étude statistique a montré qu'il y a une différence significative des teneurs en flavonols entre les différents échantillons ( $P < 0,05$ ).

Selon **APRIFEL** (Agence pour la recherche et l'information sur les légumes et fruits) (**1981**), la teneur en flavonols dans la carotte cuite à la vapeur est de 0,0172 mg/g est inférieur à celle apportée dans notre étude ( $0,04 \pm 0,004$  mg EQ/g MF).

### II.3.4. Dosage des tanins condensés

Les tanins condensés sont également appelés proanthocyanidines. En effet, leur oxydation en milieu alcool-acide et à chaud entraîne la formation de pigments anthocyaniques tels que la cyanidine et la delphinidine. Ce type de molécules est doté de propriétés remarquables chez les plantes qui en sont pourvues (**Merghem, 2009**).

Les résultats du dosage des tanins condensés sont illustrés dans la **figure n°29**.



**Figure n°29:** Teneurs en tanins condensés des extraits des différents échantillons de carottes.

Les lettres a, b, c, d et e indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

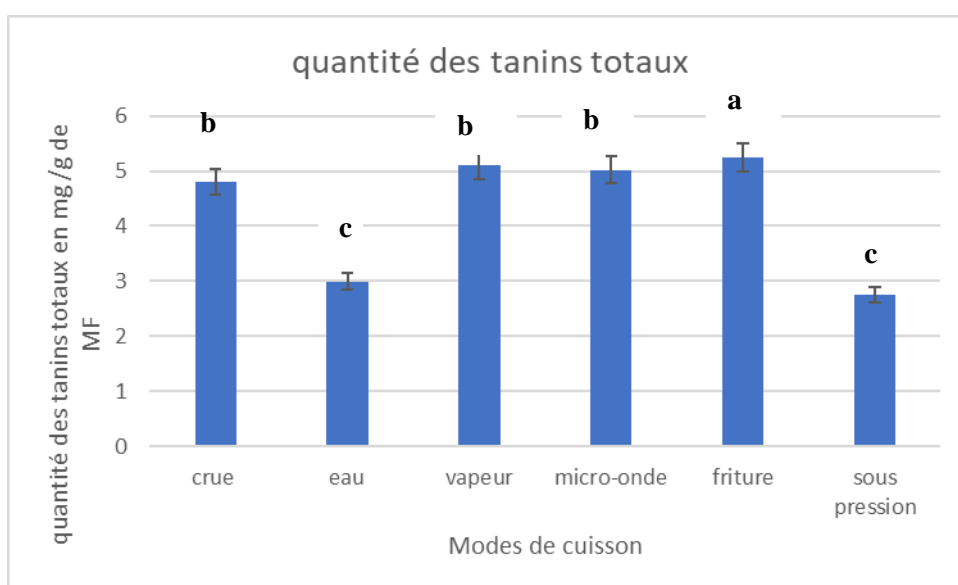
D'après les résultats de la **figure n°29**, l'extrait de carotte cuite à la vapeur présente la teneur la plus élevée en proanthocyanidines ( $100,01 \pm 0,09$  mg EC/g MF), suivie de ceux obtenus à partir de carottes frite ( $94,89 \pm 0,11$  mg EC/g MF), cuite aux micro-ondes ( $90,93 \pm 0,058$  mg EC/g MF), cuite sous pression ( $58,52 \pm 0,14$  mg EC/g MF) et cuite dans l'eau ( $52,66 \pm 0,21$  mg EC/g MF). Par contre, l'extrait de carotte crue contient la quantité la moins élevée ( $45,66 \pm 0,11$  mg EC/g MF).

L'étude statistique a montré qu'il y a une différence significative des teneurs en tanins condensés entre les différents échantillons ( $P < 0,05$ ).

### II.3.5. Dosage des tanins totaux

Les tanins totaux sont des molécules fortement hydroxylées et peuvent former des complexes insolubles lorsqu'ils sont associés aux glucides, aux protéines et aux enzymes digestives, réduisant ainsi la digestibilité des aliments. Ils peuvent être liés à la cellulose et aux nombreux éléments minéraux (Alkurd et al., 2008).

Les résultats de dosage des tanins totaux sont présentés dans la **figure n°30**.



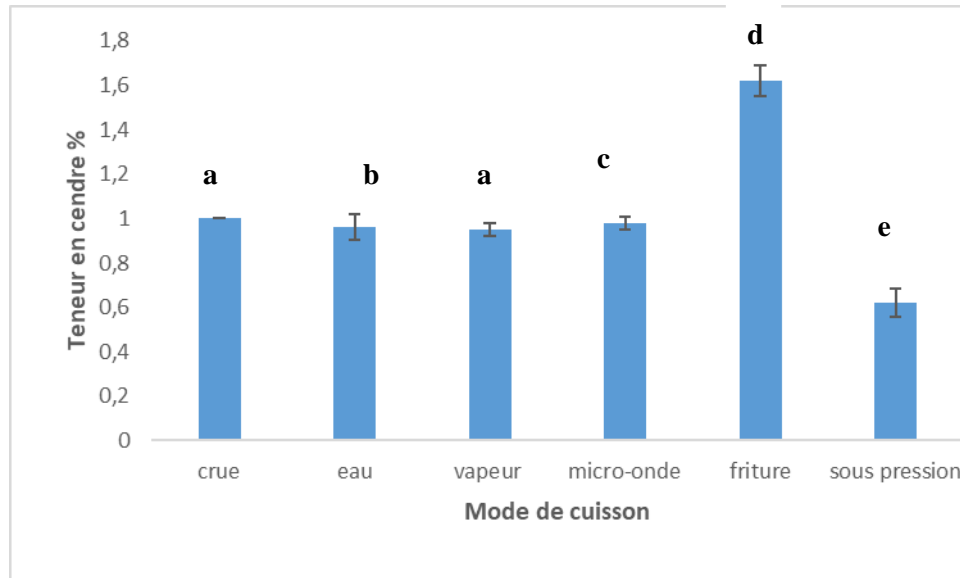
**Figure n°30:** Teneurs en tanins totaux des extraits des différents échantillons de carottes. Les lettres a, b et c indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

D'après la **figure n°30**, l'extrait de carotte frite présente la valeur la plus élevée en tanins totaux ( $5,25 \pm 0,027$  mg EAT/g MF), alors que celui de carotte cuite sous pression donne la valeur la plus faible ( $2,99 \pm 0,033$  mg EAT /g MF). Tandis que l'extrait de carotte crue contient  $4,81 \pm 0,15$  mg EAT /g MF.

L'étude statistique a montré qu'il y a une différence significative des teneurs en tanins totaux entre les différents échantillons ( $P < 0,05$ ).

### II.3.6. Vitamine C

La **figure n°31** résume les teneurs en Vitamine C des extraits de la carotte exprimés en mg équivalent acide ascorbique par gramme de matière fraîche EAA/g MF.



**Figure n°31:** Teneurs en vitamine C des différents échantillons de carottes. Les lettres a, b, c, d et e indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

Selon les résultats de la **figure n°31**, les teneurs en vitamine C dans les différents échantillons s'échelonnent entre  $1,7 \pm 0,017$  (carotte cuite sous pression) et  $5,96 \pm 0,0058$  mg EAA/g MF (carotte crue). Ces résultats montrent que la cuisson de la carotte a fait diminuer la teneur en vitamine C. Cette dernière est la vitamine la plus sensible à la température. Sa dégradation en acide dicétogluconique est la cause primaire de sa perte (**Ali et Sakr, 1982**). Ceci expliquerait la diminution de l'acide ascorbique dans les différents échantillons obtenus par les divers modes de cuisson appliqués par rapport à l'échantillon cru.

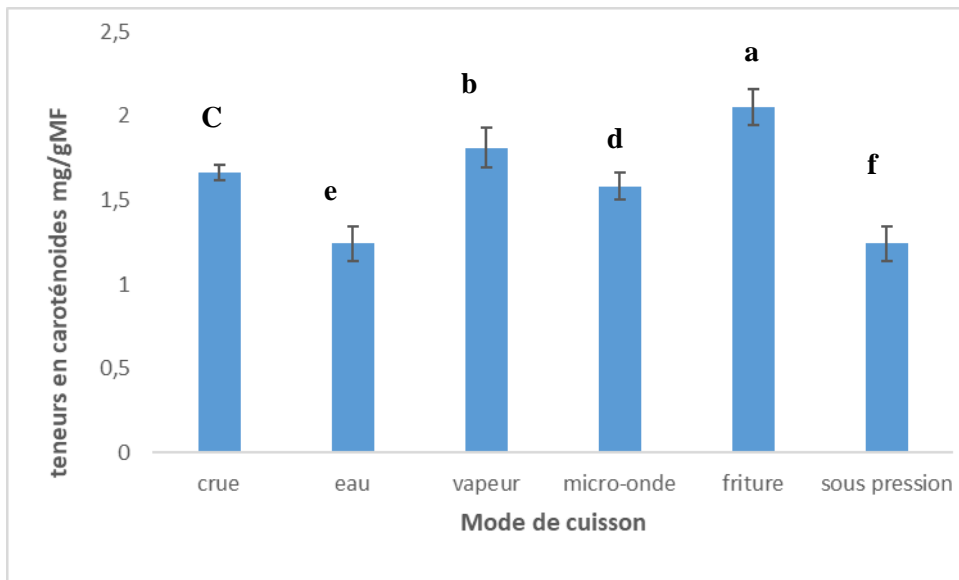
**Adubofuor et al. (2016)** ont noté également que les traitements thermiques entraînent une diminution de la teneur en vitamine C dans les aliments.

L'étude statistique a montré qu'il y a une différence significative des teneurs en acide L-ascorbique entre les différents échantillons ( $P < 0,05$ ).

### II.3.7. Dosage des caroténoïdes

Les caroténoïdes constituent une importante famille de pigments de nature terpénoïde, dont la couleur varie du jaune au rouge orangé (absorption de la lumière entre 400 et 550 nm) (Nicol et al., 2000).

Les résultats du dosage des caroténoïdes dans les extraits des différents échantillons de carottes sont présentés dans la **figure n°32**.



**Figure n°32:** Teneurs en caroténoïdes des différents échantillons de carottes. Les lettres a, b, c, de et f indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

La **figure n°32** montre que les échantillons de carottes frite et cuite à la vapeur présentent les teneurs les plus élevées en caroténoïdes, soit  $2,05 \pm 0,10$  et  $1,81 \pm 0,12$  mg E $\beta$ -C/g MF, respectivement. Tandis que la carotte crue contient  $1,66 \pm 0,047$  mg E $\beta$ -C/g MF.

L'étude statistique a montré qu'il y a une différence significative des teneurs en caroténoïdes entre les différents échantillons ( $P < 0,05$ ).

**Simard (2014)** a rapporté une teneur de  $3,85 \pm 0,40$  mg d'équivalent  $\beta$ -carotène/100 g de MF en caroténoïdes dans la carotte crue, qui est très inférieure à celle trouvée dans ce présent travail.



La teneur élevée en caroténoïdes dans les carottes frites est due à l'absorption de la matrice végétale des composants de l'huile de friture utilisée au cours de la cuisson, essentiellement les caroténoïdes. D'après **Courtoiset al. (2012)**, la friture fait augmenter la surface d'échange entre la matière grasse et la matrice végétale.

**Vanhet et al. (2000)** ont noté que parfois la disponibilité des caroténoïdes augmente avec la cuisson, en particulier les plus hydrophobes comme les carotènes et le lycopène, qui sont très peu biodisponibles à partir de végétaux. Leurs biodisponibilités augmentent si les aliments sont cuits ou broyés.

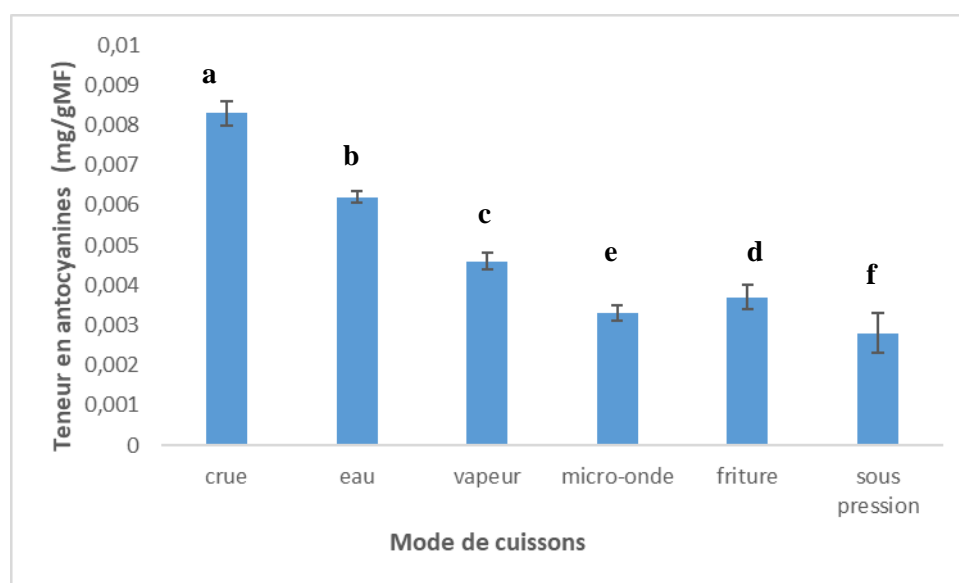
Selon **Reboul et al. (2006)**, les caroténoïdes sont sous forme de cristaux solides dans la cellule des légumes et seront libérés lors de la digestion et éventuellement des traitements technologique ou culinaire de l'aliment qui les contient.

D'après **Rajkumar et al. (2003)**, la cuisson à la vapeur a gardé des teneurs en caroténoïdes supérieures par rapport aux autres modes de cuisson. La cuisson à la vapeur, comme le blanchiment et le séchage à l'air, peut être utilisé pour former une barrière étanche à la surface extérieure du produit en raison d'une sévère gélatinisation de l'amidon.

### **II.3.8. Dosage des Anthocyanines**

Les anthocyanines sont des pigments végétaux solubles dans l'eau dont la couleur dépend du pH et du nombre de OH non méthylés. Ces composés existent presque toujours sous forme O-glycoside (mono-, di-, tri-) et acylglycosides d'anthocyanidine (**Kumari et al., 2021**).

Les teneurs en anthocyanines dans les différents extraits sont présentés dans la **figure n°33**.



**Figure n°33:** Teneurs en anthocyanines des différents échantillons de carottes. Les lettres a, b, c, d, e et f indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

D'après la **figure n°33**, l'extrait de la carotte crue contient la teneur la plus élevée en anthocyanines, soit  $0,008 \pm 0,0003$  mg E cyanidine-3-glucosides, et la teneur la plus faible est enregistrée pour l'extrait de la carotte cuite sous pression  $0,003 \pm 0,0005$  mg E cyanidine-3-glucosides.

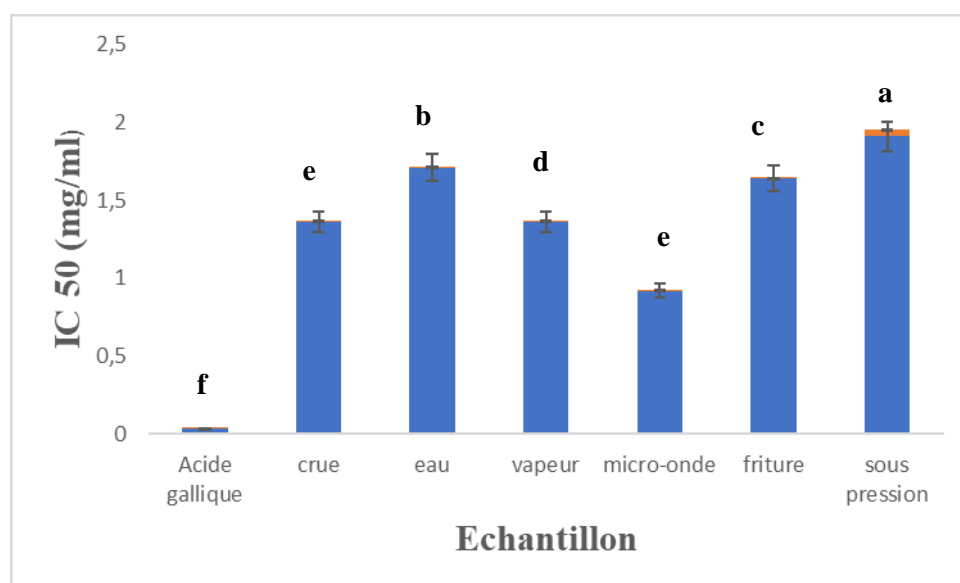
Selon **Xu et al. (2016)**, la teneur en anthocyanines dans la carotte violette (*Daucus carotta* L.) est de  $65.57 \pm 5.14$  mg E cyanidine-3-glucosides, supérieure à celle obtenue dans cette présente étude.

## II.4. Évaluation de l'activité anti-oxydante

### II.4.1. Test du pouvoir scavenger du radical DPPH'

Le piégeage du radical DPPH' est une méthode utilisée pour la détermination et l'évaluation de l'activité antioxydante. L'activité antiradicalaire des extraits de carotte pour les différents modes de cuisson est déterminée par une méthode basée sur la réduction du radical diphénylpicryl-hydrazyl (DPPH') (**Popovici et al., 2010**). Le changement de couleur peut être suivi par spectrophotométrie à 517nm. Cette décoloration indique le potentiel de l'effet de piégeage de l'extrait (**Guimarães et al., 2010**).

L'activité anti-radicalaire exprimée par les **IC50** (concentration en extrait qui inhibe 50% du radical DPPH'), est présentée dans la **figure n°34**.



**Figure n°34:** Concentrations des extraits de la carotte réductrices de 50% du radical DPPH'.

Les lettres a, b, c, d, e et f indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

La figure n°34 montre que les extraits de carottes cuites sous pression, dans l'eau et frite présente les valeurs IC<sub>50</sub> les plus élevées qui sont respectivement de  $1,91 \pm 0,041$ ,  $1,71 \pm 0,017$  et  $1,64 \pm 0,0021$  mg/mL. Tandis que les extraits de carottes crue, cuite aux micro-ondes et à la vapeur ont donnée des IC<sub>50</sub> de  $0,88 \pm 0,0067$ ,  $0,92 \pm 0,0012$  et  $1,36 \pm 0,0076$  mg/mL, respectivement.

L'extrait de la carotte cuite sous pression présente la plus grande valeur d'IC<sub>50</sub>, donc elle possède la plus faible activité antioxydante. Par contre, l'extrait de carotte crue possède la plus petite valeur d'IC<sub>50</sub> donc la plus forte activité anti-oxydante.

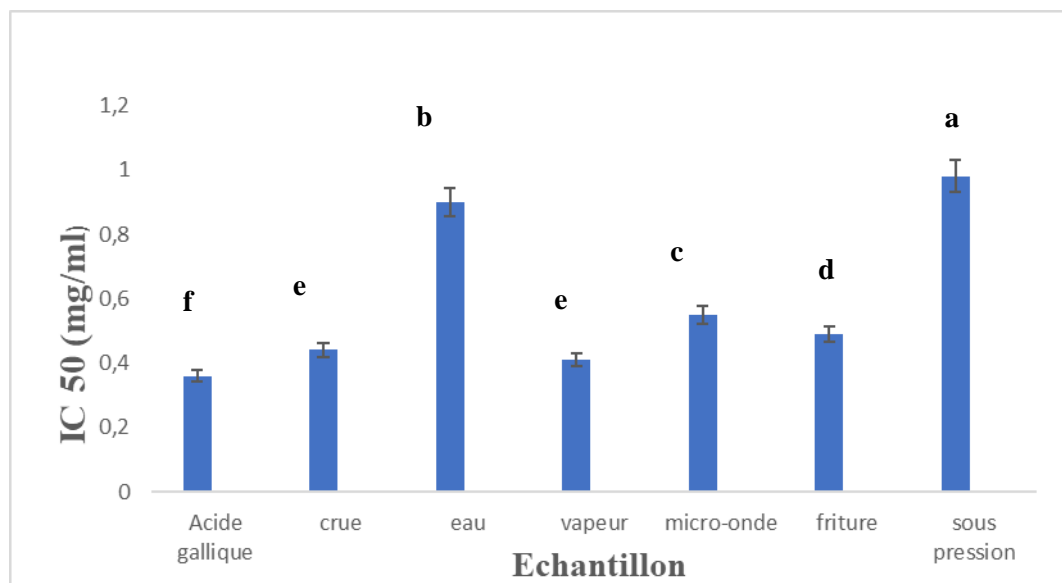
Les activités antioxydantes de nos extraits sont dans le même ordre avec celles trouvées par **Laib et al.(2018)** qui ont évalué l'activité antioxydante avec le radical DPPH'. Les auteurs ont constaté que la meilleure activité antioxydante des extraits est attribuée à l'extrait de la carotte crue ( $1586,65 \pm 0,06$  µg/mL), suivie par celui de la carotte cuite aux micro-ondes ( $1609,8 \pm 0,98$  µg/mL) et à la vapeur ( $1820,76 \pm 0,13$  µg/mL), et enfin l'extrait de celle cuite dans l'eau ( $2703,54 \pm 0,23$  µg/mL).

#### II.4.2. Test du pouvoir réducteur au phosphomolibdate d'ammonium

Le test du pouvoir réducteur au phosphomolibdate d'ammonium s'exprime par la réduction de l'ion  $\text{Mo}^{6+}$  en ion  $\text{Mo}^{5+}$ . Ce dernier se complexe avec le phosphate et aboutit à une couleur verte dont l'intensité est proportionnel à la concentration de l'extrait (Prasad et al., 2009).

Les résultats du test du pouvoir réducteur des extraits des différents échantillons de carottes, ainsi que celui de l'acide gallique sont exprimés en termes d'IC50 et sont présentés dans la **figure n°35**.

L'IC50 représente la concentration de l'extrait ou de l'acide gallique qu'il faut pour réduire 50% des ions  $\text{Mo}^{6+}$  en  $\text{Mo}^{5+}$ .



**Figure n°35:** Concentrations des extraits de carotte et d'acide gallique réductrices de 50% du phosphomolibdate d'ammonium. Les lettres a, b, c, d, e et f indiquent des différences significatives ( $p < 0,05$ ).

La **figure n°35** illustre les valeurs des IC50 pour chaque extrait. Ces IC50 varient entre  $0,41 \pm 0,0036$  et  $0,98 \pm 0,0021$  mg/mL. C'est l'extrait de la carotte cuite à la vapeur qui présente la IC50 la plus élevée, alors que celui de la carotte cuite sous pression donne la valeur la plus faible. L'acide gallique, utilisé comme standard, a donné la IC50 la plus faible ( $0,14 \pm 0,0057$  mg/mL), donc représente le pouvoir réducteur le plus élevé.

Nous constatons que le pouvoir réducteur des extraits de carotte crue et celui de carotte cuite à la vapeur possèdent des activités antioxydantes plus élevées par rapport aux autres extraits issus des autres modes de cuisson.

# Conclusion

Cette étude a été réalisée dans le but d'évaluer l'effet de cinq modes de cuisson (vapeur, sous pression, micro-ondes, dans l'eau et la friture) sur le contenu métabolique et l'activité antioxydante de la carotte supermuscade récoltée au niveau de la wilaya de Biskra.

Des analyses physico-chimiques (humidité, taux de cendres, sucres totaux et protéines), fonctionnelles (gonflement et solubilité) et des analyses phytochimiques (polyphénols totaux, flavonoïdes, flavonols, tanins totaux et condensés, caroténoïdes et des anthocyanines, test scavenger du radical DPPH<sup>•</sup> et le test du pouvoir réducteur au molybdate d'ammonium) sont réalisées sur des carottes crues et cuites par différents modes de cuisson.

Les résultats obtenus dépendent du mode de cuisson utilisé et du métabolite lui-même. Par exemple pour les caroténoïdes, les polyphénols totaux, les flavonoïdes, les flavonols, les proanthocyanidines, les tanins totaux, les cendres, les sucres totaux et les protéines, c'est la cuisson dans l'huile qui a donné les teneurs les plus élevées. Alors que pour la vitamine C, c'est la cuisson à la vapeur qui en a donné la meilleure teneur. Pour les anthocyanines, c'est la cuisson dans l'eau qui présente le meilleur résultat. Quant à l'évaluation de l'activité antioxydante, l'extrait de la carotte cuite aux micro-ondes possède le pouvoir le plus fort de piégeage du radical DPPH<sup>•</sup>, alors que l'extrait de la carotte cuite à la vapeur présente le plus fort pouvoir réducteur du phosphomolybdate d'ammonium.

Afin de compléter ce travail, il est souhaitable de faire :

- L'étude des autres modes de cuisson tel que la cuisson à la braise;
- Caractérisation des différents extraits par LC-MS, UPLC et la RMN.
- Elaboration des produits à base des carottes cuites, et faire l'analyse sensorielle.

# Références bibliographiques



**A**

- Adubofuor, J., Amoah, I., & Agyekum, P. B. (2016).** Physicochemical properties of pumpkin fruit pulp and sensory evaluation of pumpkin-pineapple juice blends. *American Journal of Food Science and Technology*, 4(4), 89-96.
- Ahmed, M., & Eun, J. B. (2018).** Flavonoids in fruits and vegetables after thermal and nonthermal processing: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 58(18), 3159-3188.
- Alara, O. R., Abdurahman, N. H., & Ukaegbu, C. I. (2021).** Extraction of phenolic compounds : A review. *Current Research in Food Science*, 4, 200-214.
- ALI, H.M. and Saker, I.A., (1982).** Drying of vegetables in Egypt. *International development Research Center* .15-19.
- Alkurd, A., Hamed, T. R., & Al-Sayyed, H. (2008).** Tannin contents of selected plants used in Jordan. *Jordan Journal of Agricultural Sciences*, 4, 265 – 274.
- AOAC (1995).** Official methods of analysis (16th ed.). Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemists.

**B**

- Barzegar, F., Kamankesh, M., Mohammadi, A., (2019).** Heterocyclic aromatic amines in cooked food: A review on formation, health risk-toxicology and their analytical techniques. *Food Chemistry* 280, 240-254.
- Baudin, B. (2020).** Stress oxydant et protections antioxydantes. *Revue Francophone des Laboratoires*, 2020(522), 22-30.
- Bayerle-Eder, M., Pleiner, J., Mittermayer, F., Schaller, G., Roden, M., Waldhäusl, W., & Wolzt, M. (2004).** Effect of systemic vitamin C on free fatty acid-induced lipid peroxidation. *Diabetes & Metabolism*, 30(5), 433-439.
- Berthod, A., Billardello, B., & Geoffroy, S. (1999).** Polyphenols in countercurrent chromatography. An example of large scale separation. *Analisis*, 27(9), 750-757.

**Bimbenet, J., Duquenoy, A., Trystram, G., (2002).** Génie des procédés alimentaires: des bases aux applications, édition DUNOD. ISBN.

**Blois, M. S. (1958).** Antioxidant determinations by the use of a stable free radical. *Nature*, 26, 1199–1200.

**Boizot, N., et Charpentier, J.P. (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénolique d'un arbre forestier. Méthode et outils pour l'observation et l'évaluation des milieux forestiers, prairiaux et aquatiques INRA.p79-82.

**Botineau M. (2010) :** Botanique systématique et appliquée des plantes à fleurs, Tec & Doc, Paris, 13-35 pp.

**Bougatef, A., Hajji, M., Balti, R., Lassoued, I., Triki-Ellouz, Y., & Nasri, M. (2009).** Antioxidant and free radical-scavenging activities of smooth hound (*Mustelus mustelus*) muscle protein hydrolysates obtained by gastrointestinal proteases. *Food Chemistry*, 114(4), 1198–1205.

**Bradford M. M. (1976).** A Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. *Analytical biochemistry*, 72 (1-2), 248-254.

**Bruneton, J. (1999).** Pharmacognosie : Phytochimie et plantes médicinales. 3<sup>ème</sup> édition. Technique et Documentation, Paris. 1120 p.

## C

**Cahuzac, M. (2023).** Le conseil alimentaire en pathologie du vieillissement rétinien. Cahiers de Nutrition et de Diététique.

**Cervantes-Paz, B., Yahia, E. M., de Jesús Ornelas-Paz, J., Victoria-Campos, C. I., IbarraJunquera, V., Pérez-Martínez, J. D., Escalante-Minakata, P., 2014.** Antioxidant activity and content of chlorophylls and carotenoids in raw and heat-processed Jalapeño peppers at intermediate stages of ripening. *Food Chemistry* 146, 188-196.

**Coulibaly, L. F., Toure, A., Laope, A. C. S., Coulibaly, N. A., & Soro, Y. R. (2018).** Caractérisation agronomique, physico-chimique et nutritionnelle de quatre variétés hybrides de carotte (*Daucus carota*) au nord de la cote d'ivoire. *Agronomie Africaine*, 30(1), 45-55.

**Courtois, F., Ziaifar, A. M., Trezzani, I., & Trystram, G. (2012).** Friture profonde: les interactions huile-produit. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 19(2), 89-95.

## D

**Deding, U., Baatrup, G., Christensen, L. P., & Kobaek-Larsen, M. (2020).** Carrot intake and risk of colorectal cancer: *A prospective cohort study of 57,053 Danes. Nutrients*, 12(2), 332.

**Doré C, Varoquaux F. (2006)** : Histoire et amélioration de cinquante plantes cultivées. Éditions Quae, 185 pp.

**Downie, S. R., & Katz-Downie, D. S. (1996).** A Molecular Phylogeny of Apiaceae Subfamily Apioideae: Evidence from Nuclear Ribosomal DNA Internal Transcribed Spacer Sequences. *American Journal of Botany*, 83, 234-251.

**D.S.A.S.I 2017.** Directions des services agricoles de la wilaya de Bejaia.

**Dubois M., Gilles K.A., Hamilton J.K., Robert P.A., Smith F. (1956).** Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28, 350-356.

**Dutta, D., Chaudhuri, U. R., & Chakraborty, R. (2005).** Structure, health benefits, antioxidant property and processing and storage of carotenoids. *African Journal of Biotechnology*, 4(13).

## F

**Fain, O. (2004).** Carences en vitamine C. *La revue de médecine interne*, 25(12), 872-880.

**FAOSTAT, 2018** : Food and Agriculture Organisation (FAO) Institution spécialisée des Nations Unies. Consulter : 17.04 .23 <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/>

**Fokone, AT, Edoun, M., Kuitche A. et Kengne C. (2013).** Modélisation de la cinétique de carotte (*Daucus carota*) [Modélisation de la cinétique de séchage de la carotte fraîche (*Daucus carota*)]. *Revue internationale de l'innovation et des études appliquées*, 4 (2), 375-381.

**Fraga, C. J., & Oteiza, P. I. (2011).** Dietary flavonoides : Role of (-) – epicatechin and related procyanidins in cell signaling. *Free Radical Biology & Medicine*, 51, 813 – 823.

## G

- Ghedira, K. (2005).** Les flavonoïdes: structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, 3(4), 162-169.
- Giusti M. M. & Wrolstad R. E. (2001).** Characterization and measurement of anthocyanins by UV-visible spectroscopy. In : Wrolstad, R., Ed., *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, John Wiley & Sons, Inc., New York, F1.2.1-F1.2.13.
- Goudable, J., & Favier, A. (1997).** Radicaux libres oxygénés et antioxydants. *Nutrition clinique et métabolisme*, 11(2), 115-120.
- Guimaraes, P., & Portugal, P. (2010).** A simple feasible procedure to fit models with high-dimensional fixed effects. *The Stata Journal*, 10(4), 628-649.

## H

- Haddadi-Guemghar, H., Janel, N., Dairou, J., Remini, H., & Madani, K. (2014).** Optimisation of microwave-assisted extraction of prune (*Prunus domestica*) antioxidants by response surface methodology. *International Journal of Food Science & Technology*, 49(10), 2158-2166.
- Hagerman A.E. and Bulter I.G. (1978).** Protein precipitation method for the quantitative determination of tannins. *Agriculture and Food Chemistry*. 26 : 809-812.
- Haleng, J., Pincemail, J., Defraigne, J. O., Charlier, C., & Chapelle, J. P. (2007).** Le stress oxydant. *Revue médicale de Liège*, 62(10).
- Hirano R, Sasamoto W, Matsumoto A, Itakura H, Igarashi O, Kondo K. (2001).** Antioxidant ability of various flavonoids against DPPH radicals and LDL oxidation. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)* 47:357–62.
- Hof, K. H. V. H., de Boer, B. C., Tijburg, L. B., Lucius, B. R., Zijp, I., West, C. E., ... & Weststrate, J. A. (2000).** Carotenoid bioavailability in humans from tomatoes processed in different ways determined from the carotenoid response in the triglyceride-rich lipoprotein fraction of plasma after a single consumption and in plasma after four days of consumption. *The Journal of nutrition*, 130(5), 1189-1196.

**Hughes, E. S. R., McDermott, F. T., Polglase, A. L., & Johnson, W. R. (1983).** Tumor recurrence in the abdominal wall scar tissue after large-bowel cancer surgery. *Diseases of the colon & rectum*, 26, 571-572.

## I

**Ismail, A., Marjan, Z.M., Foong, C.W. (2004).** Total antioxidant activity and phenolic content in selected vegetables. *Food Chem.*, 87: 581–586.

## J

**Julkunen-Titto R. (1985).** Phenolic constituents in the leaves of northern willows: methods for the analysis of certain phenolics. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, p213.

## K

**Krinsky N.I et Johnson E. J. (2005).** Carotenoid actions and their relation to health and disease. *Molecular Aspects of Medicine*. 26: 459–516.

**Kumaran, A. et Karunakaran, R.J. (2007).** In vitro antioxidant activities of methanol extracts of five *Phyllanthus* species from India. *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. 40, 344–352.

**Kumari, P., Ujala, & Bhargava, B. (2021).** *Journal of Functional Foods*. Phytochemicals from edible flowers: Opening a new arena for healthy lifestyle, 78, 1-18.

## L

**Laib, I., & Barkat, M. (2018).** Essais d'optimisation des conditions de cuisson et d'extraction des polyphénols de six légumes et évaluation des activités (Doctoral dissertation, Université Frères Mentouri-Constantine 1).

**Lako, J., Trenerry, V.C., Wahlqvist, M., Wattanapenpaiboon, N., Sotheeswaran, S., Premier, R. (2007).** Phytochemical flavonols, carotenoids and the antioxidant properties of a wide selection of Fijian.

**Lamaison, J.L.C., Carnet, A. (1990).** Teneur en principaux flavonoïdes des fleurs de *Cratageus monogyna* Jacq et de *Cratageus laevigata* (Poiret D.C.) en fonction de la végétation. *Pharmaceutic Acta Helvetiae* 65, 315–320.

**Le Blanc, J. G. (Ed.). (2019).** *Vitamin C: An Update on Current Uses and Functions*. BoD–Books on Demand.

**LEE, Joo, KOO, Nan, et MIN, David B.** Reactive oxygen species, aging, and antioxidative nutraceuticals. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 2004, vol. 3, no 1, p. 21-33.

**Levine, M., Rumsey, S. C., Daruwala, R., Park, J. B., & Wang, Y. (1999).** Criteria and recommendations for vitamin C intake. *Jama*, 281(15), 1415-1423.

**Lecerf, J. M., Borgies, B., Boukandoura, B., Cayzeele, A., Robin, J. M., & Grivet, D. (2008).** Influence du procédé de fabrication sur la qualité nutritionnelle du pain de campagne. *Sciences des aliments*, 28(6), 431.

**Li, H., Sun, D. W., Han, Z., Yu, X. C., (2017).** Effects of low temperature cooking methods and holding times on selected quality attributes of cooked pork longissimus dorsi. *Journal of Food Process Engineering* 40, e12585.

**Li, S.W., Xue, L., Xu, S., Feng, H., Lizhe, A., 2009.** IBA-induced changes in antioxidant enzymes during adventitious rooting in mung bean seedlings: The role of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. *Environmental and Experimental Botany* 66, 442–450.

**Lindsay, R., (2008).** Flavors, kap 10, *Fennemass Food Chemistry* 4. Utg. CRC Press, London.

Liu, R. H., 2013. Dietary bioactive compounds and their health implications. *Journal of food science* 78, A18-A25.

**Loison, M. (2006).** *Légumes anciens, saveurs nouvelles*. France Agricole Editions.

**M**

- Manach, C., Scalbert, A., Morand, C., Rémésy, C., & Jiménez, L. (2004).** Polyphenols: food sources and bioavailability. *The American journal of clinical nutrition*, 79(5), 727-747.
- Maoka, T. (2020).** Carotenoids as natural functional pigments. *Journal of natural medicines*, 74(1), 1-16.
- Martin, H. D., Ruck, C., Schmidt, M., Sell, S., Beutner, S., Mayer, B., & Walsh, R. (1999).** Chemistry of carotenoid oxidation and free radical reactions. *Pure and applied chemistry*, 71(12), 2253-2262.
- Marty, J., Raynaud, P., & Carles, J. (1973).** Les acides amines et les acides carboxyliques dans le caecum du lapin. In *Annales de Biologie Animale Biochimie Biophysique* (Vol. 13, No. 3, pp. 429-451). EDP Sciences
- Mazzeo, T., Paciulli, M., Chiavaro, E., Visconti, A., Fogliano, V., Ganino, T., Pellegrini, N., (2011).** Impact of the industrial freezing process on selected vegetables-Part II. Colour and bioactive compounds. *Food Research International* 75, 89-97.
- Mau, W., Listing, J., Huscher, D., Zeidler, H., & Zink, A. (2005).** Employment across chronic inflammatory rheumatic diseases and comparison with the general population. *The Journal of rheumatology*, 32(4), 721-728.
- Mehmood, A., Zeb, A., 2020.** Effects of different cooking techniques on bioactive contents of leafy vegetables. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 100246.
- Merghem, R. (2009).** *Eléments de biochimie végétale*. Editions Bahaeddine Algérie, p 111, 123.
- Mouhammedi Z. (2006).** Etude du pouvoir antimicrobien et antioxydant des huiles essentielles et flavonoïdes de quelques plantes de la région de Tlemcen. *Laboratoires produits naturels* .
- Moon, J. K., & Shibamoto, T. (2009).** Antioxidant assays for plant and food components. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(5), 1655-1666.
- Maiani C., Catasta T., Cambrodón B., Granado-Lorencio., (2009).** Carotenoids: actual knowledge on food sources, intakes, stability and bioavailability and their protective role in humans. *Molecular nutrition et food research*, 53 Suppl 2, S194 - 218.

## N

**Nicol, M., & Maudet, M. (2000).** Caroténoïdes et vitamine A. Actualités. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 7(3), 266-270.

## O

**Official Journal of the European Union. (2015).** Information from European Union institutions, bodies, offices and agencies European commission common catalogue of varieties of vegetable species. 34th complete Edition (C 395/01).

## P

**Peron J.-Y. (2006).** Références Productions légumières : 2ème édition. Synthèse Agricole, 696 pp.

**Pollat, S., Guclu, G., Kelebek, H., Keskin, M., & Selli, S. (2022).** Comparative elucidation of colour, volatile and phenolic profiles of black carrot (*Daucus carota* L.) pomace and powders prepared by five different drying methods. *Food Chemistry*, 369, 130941.

**Popovici C., Saykova I., Tylkowski B. (2010).** Evaluation de l'activité antioxydant des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH. *Revue de Genie Industrielle*. (4): 25-39.

**Procházková, D., Boušová, I., & Wilhelmová, N. (2011).** Antioxidant and pro oxidant properties of flavonoids. *Fitoterapia*, 82(4), 513-523.

**PROFERT** : Espace Agronome PROFERT. Consulter 22.05.23 <http://www.nouara-algerie.com/article-la-culture-de-la-carotte-par-espace-agronome-algerien-47181021.html>

**Promeyrat, A., Gatellier, P., Lebret, B., Kajak-Siemaszko, K., Aubry, L., Sante-Lhoutellier, V.(2010).** Evaluation of protein aggregation in cooked meat. *Food Chemistry* 121, 412-417.

**Purkiewicz, A., Ciborska, J., Tańska, M., Narwojsz, A., Starowicz, M., Przybyłowicz, K. E., & Sawicki, T. (2020).** The impact of the method extraction and different carrot variety on



the carotenoid profile, total phenolic content and antioxidant properties of juices. *Plants*, 9(12), 1759.

## Q

**Que, F., Hou, X. L., Wang, G. L., Xu, Z. S., Tan, G. F., Li, T., ... & Xiong, A. S. (2019).** Advances in research on the carrot, an important root vegetable in the Apiaceae family. *Horticulture Research*, 6(9), 10-15.

## R

**Rajkumar V, Moreira R, Barrufet M (2003).** Modeling the structural changes of tortilla chips during frying. *J Food Eng* 2003 ; 60 : 167-75.

**Ramaswamy, H. S., Marcotte, M., (2005).** Food processing: principles and applications. CRC Press.

**Reboul, E., Richelle, M., Perrot, E., Desmoulins-Malezet, C., Pirisi, V., & Borel, P. (2006).** Bioaccessibility of carotenoids and vitamin E from their main dietary sources. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(23), 8749-8755

**Reduron J.-P. (2007).** Ombellifères de France - tome 2 (Bulletin de la Société Botanique du Centre-Ouest, 27). Société Botanique du Centre-Ouest, 564 p.

**Ribéreau-Gayon, P. (1968).** Les tannins, les composés phénoliques des végétaux. Paris. Ed Dunod.173-201.

**Rocca-Poliméni, R., 2007.** Contribution à la compréhension de la cuisson domestique sous pression de vapeur. Etude expérimentale et modélisation des transferts, de l'évolution de la texture des légumes et du fonctionnement d'un autocuiseur. AgroParisTech.

**Rolland, Y. (2004).** Antioxydants naturels végétaux. *Oléagineux, Corps gras, Lipides*, 11(6), 419-424.

**Roudaut, G., Dacremont, C., Pàmies, B. V., Colas, B., Le Meste, M., 2002.** Crispness: a critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science & Technology* 13, 217-227.

## S

**Salazar-González, C., San Martín-González, M. F., López-Malo, A., Sosa-Morales, M. E., 2012.** Recent studies related to microwave processing of fluid foods. *Food and Bioprocess Technology* 5, 31-46.

**Samarth, R.M., Panwar, M., Kumar, M., Soni, A., Kumar, M., Kumar, A., (2008).** Analytical, Nutritional and Clinical Methods Evaluation of antioxidant and radical-scavenging activities of certain radioprotective plant extracts. *Food Chemistry* 106, 868–873.

**Sass-Kiss A., Kiss J., Milotay P., Kerek M. M. et Toth-Markus M., (2005).** Differences in anthocyanin and carotenoid content of fruits and vegetables. *Food Research International*. 38 : 1023-1029.

**Shahidi, F. (Ed.). (1997).** *Natural antioxidants: chemistry, health effects, and applications*. The American Oil Chemists Society.

**Silici S., Sagdic O. & Ekici L. (2010).** Total phenolic content, antiradical, antioxidant and antimicrobial activities of *Rhododendron* honeys. *Food Chemistry* 121. 238–243.

**Singleton, V. L. & Rossi, J. A. (1965).** Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic–phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16 (3), 144–158.

**Simard, F. (2014).** *Stimulation de la synthèse des composés nutraceutiques et aromatiques dans les fines herbes et les légumes par les champignons mycorrhiziens à arbuscules* (Doctoral dissertation, Université Laval).

**Stoclet, J. C., & Schini-Kerth, V. (2011).** Flavonoïdes alimentaires et santé humaine. In *Annales pharmaceutiques françaises* (Vol. 69, No. 2, pp. 78-90). Elsevier Masson.

**Sugimura, T., 2002.** Food and cancer. *Toxicology* 181, 17-21.

**Sun, M., & Temelli, F. (2006).** Supercritical carbon dioxide extraction of carotenoids from carrot using canola oil as a continuous co-solvent. *The Journal of supercritical fluids*, 37(3), 397-408.

**Sun, Q., Zhang, J., Wang, T., Xiong, Y., Zhan, X., Zhao, H., & Khim, J. S. (2023).** Cooking methods effectively alter perfluoroalkyl substances and nutrients in cultured and wild bullfrogs. *Journal of Hazardous Materials*, 445, 130555.

**Surbhi, S., Verma, R. C., Deepak, R., Jain, H. K., & Yadav, K. K. (2018).** A review: Food, chemical composition and utilization of carrot (*Daucus carota* L.) pomace. *International Journal of Chemical Studies*, 6(3), 2921-2926.

## T

**Tremblin, G., & Marouf, A. (2022).** La carotte. In *Les plantes légumières racines* (pp. 20-23). EDP Sciences.

**Turkmen, N., Sari, F., & Velioglu, YS (2005).** L'effet des méthodes de cuisson sur les composés phénoliques totaux et l'activité antioxydante de légumes verts sélectionnés. *Chimie alimentaire*, 93 (4), 713-718.

## V

**Vadivambal, R., Jayas, D., (2010).** Non-uniform temperature distribution during microwave heating of food materials—A review. *Food and Bioprocess Technology* 3, 161-171.

**Van Boekel, M., Fogliano, V., Pellegrini, N., Stanton, C., Scholz, G., Lalljie, S., Somoza, V., Knorr, D., Jasti, P. R., Eisenbrand, G., (2010).** A review on the beneficial aspects of food processing. *Molecular nutrition & food research* 54, 1215-1247.

**Vincent, A.M., Russeli, J.W., Low, P., Feldnan, E.L., (2004).** Oxidative stress in the pathogenesis of Diabetic Neuropathy. Department of Neurology, *Endocrine Reviews* 25 (4), 612-628.

**van het Hof, K.H., et al., S ( 2000) .** Carotenoid bioavailability in humans from tomatoes processed in different ways determined from the carotenoid response in the triglyceride-rich lipoprotein fraction of plasma after a single consumption and in plasma after four days of consumption. *Journal of Nutrition*. 130(5): p. 1189-1196.

## W

**Wu, H., Tassou, S., Karayiannis, T., Jouhara, H., 2013.** Analysis and simulation of continuous food frying processes. *Applied Thermal Engineering* 53, 332-339.

## X

**Xu, Z. S., Ma, J., Wang, F., Ma, H. Y., Wang, Q. X., & Xiong, A. S. (2016).** Identification and characterization of DcUCGalT1, a galactosyltransferase responsible for anthocyanin galactosylation in purple carrot (*Daucus carota* L.) taproots. *Scientific reports*, 6(1), 1-10.

## Y

**Yoruk,R., Marshall, M.R. (2003).** Physicochemical properties and function of plant polyphenol oxidase: a review. *J.Food Biochem.*, 27:361– 422.

**Yuan, G.-f., Sun, B., Yuan, J., Wang, Q.-m., (2009).** Effects of different cooking methods on health-promoting compounds of broccoli. *Journal of Zhejiang University Science B* 10, 580-588.

## Liste de références électroniques

**Google maps :** <https://maps.google.com/> consulter le 16.05.2023.

**APRIFEL (1981) :** Agence pour la recherche et l'information en les fruits et légumes.

<https://www.aprifel.com/fr/fiche-nutritionnelle/carotte>. Consulter le 20/06/23.

**Anonyme 01 :** <https://www.planetoscope.com/fruits-legumes/1486-production-mondiale-de-carottes.html> consulter le 11.04.23.

**OJEV , 2015 :** Official journal of the European Union .

<https://www.ema.europa.eu/en/glossary/official-journal-european-union> consulter : 17.04 .23.

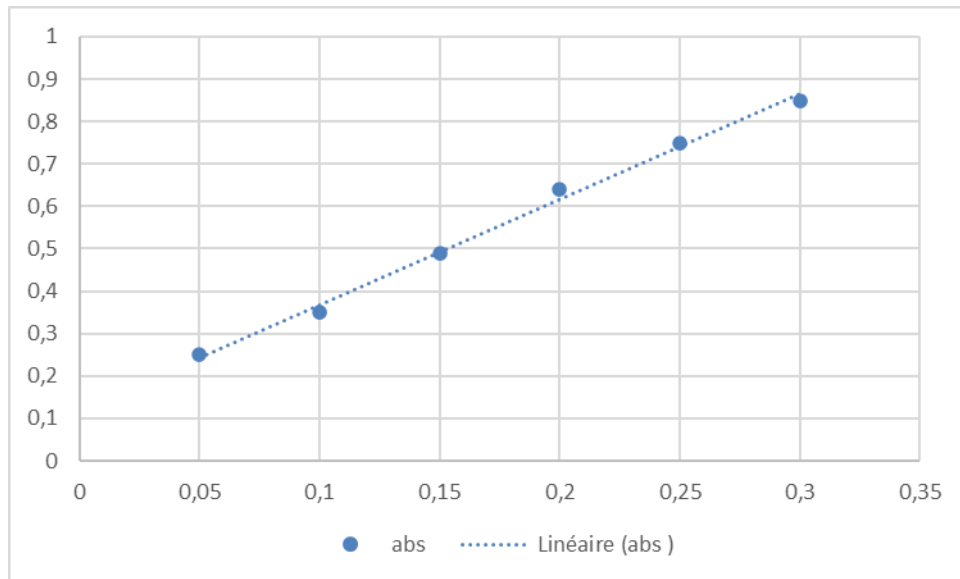
**FAOSTAT, 2018 :** Food and Agriculture Organisation (FAO) Institution spécialisée des Nations Unies. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/> Consulter : 17.04 .23

---

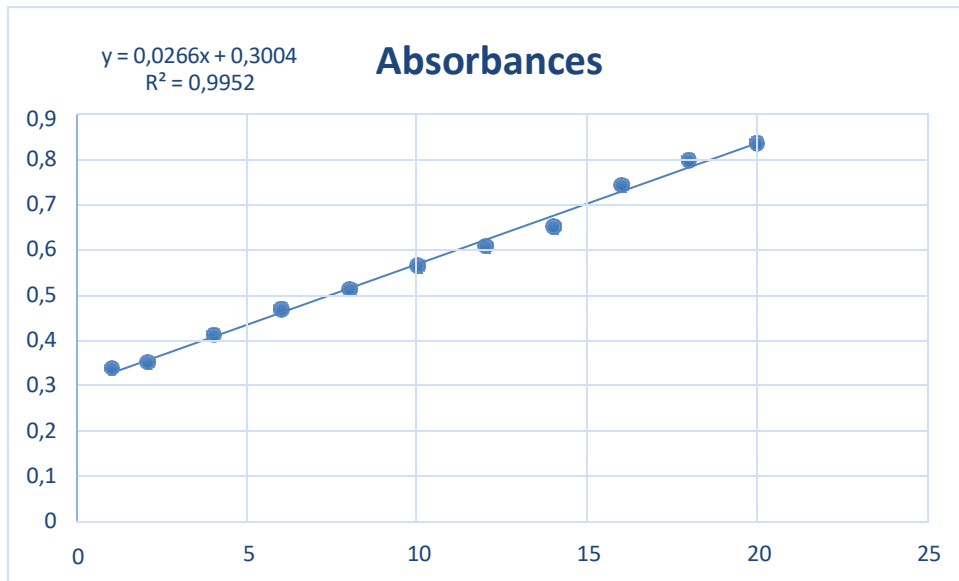
# Annexes

## Annexe 01

### Courbes d'étalonnage des analyses physico-chimiques



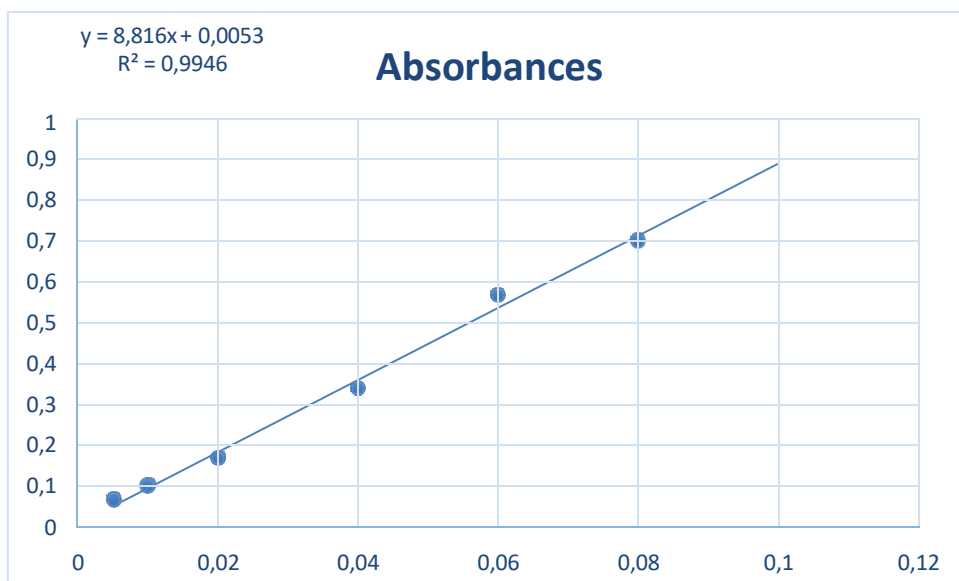
**Figure n°1 :** Courbe d'étalonnage des sucres totaux réalisée avec le D-glucose



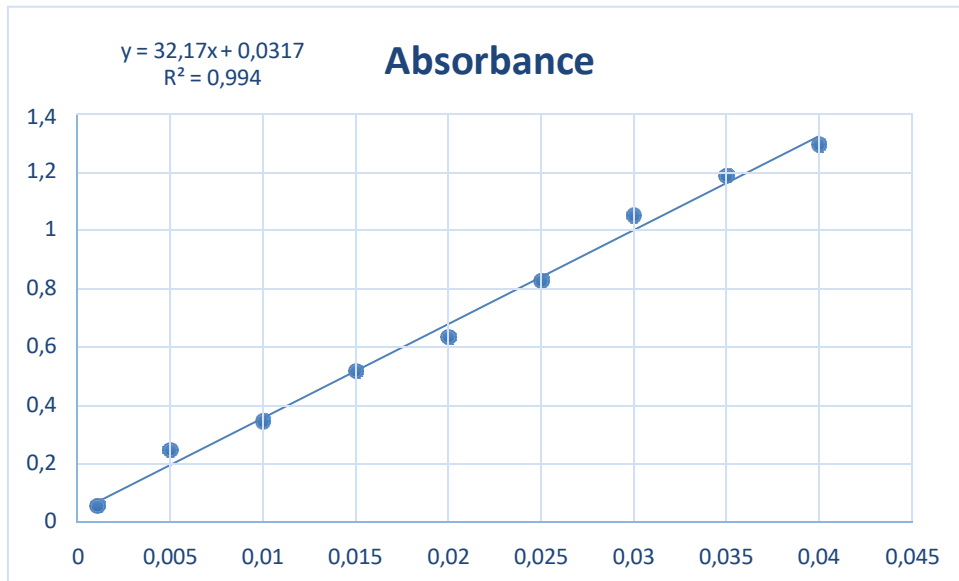
**Figure n°2 :** Courbe d'étalonnage des protéines réalisée avec la BSA.

## Annexe 02

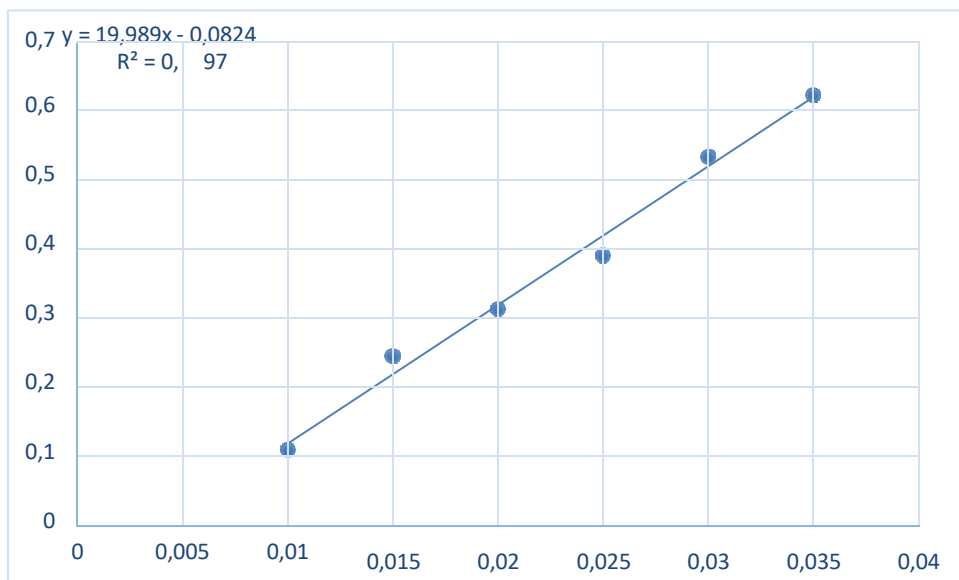
### Courbes d'étalonnage des analyses phyto-chimiques



**Figure n°3 :** Courbe d'étalonnage des polyphénols totaux réalisée avec l'acide gallique.

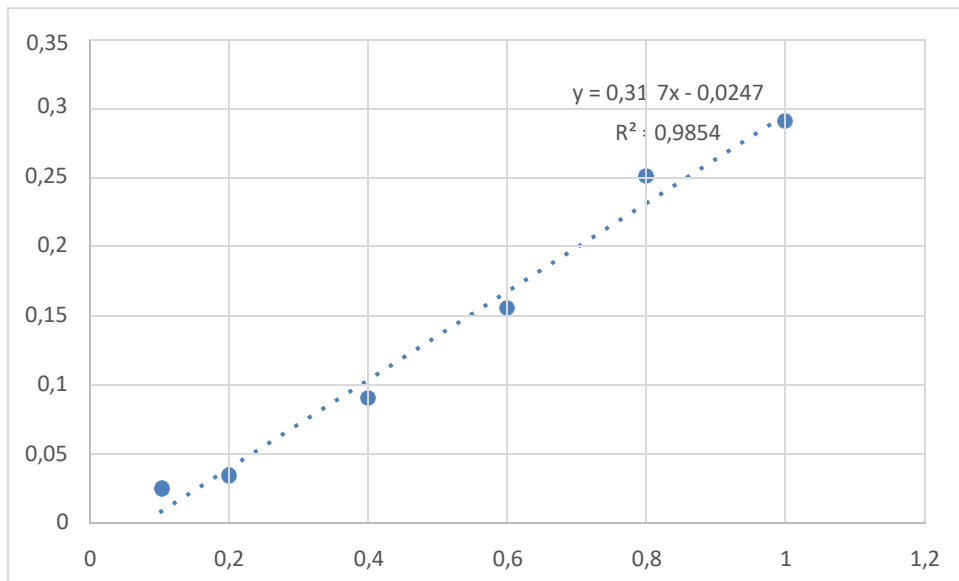


**Figure n°4 :** Courbe d'étalonnage des flavonoïdes réalisée avec la quercétine.

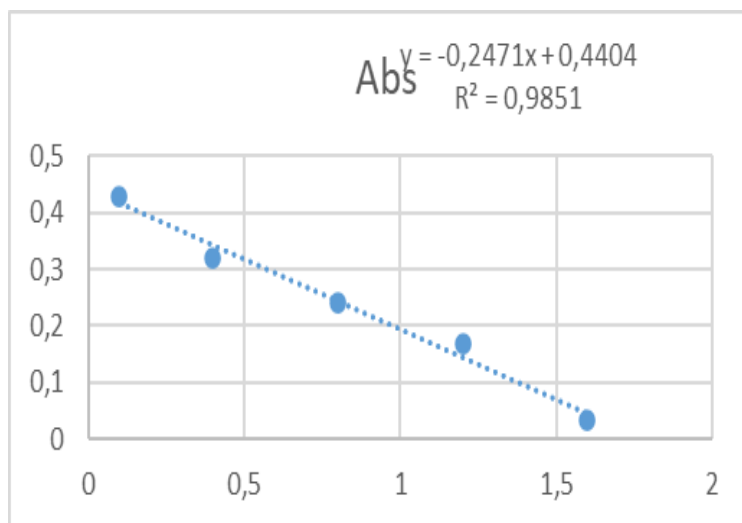


**Figure n°5 :** Courbe d'étalonnage des flavanols réalisée avec la quercétine.

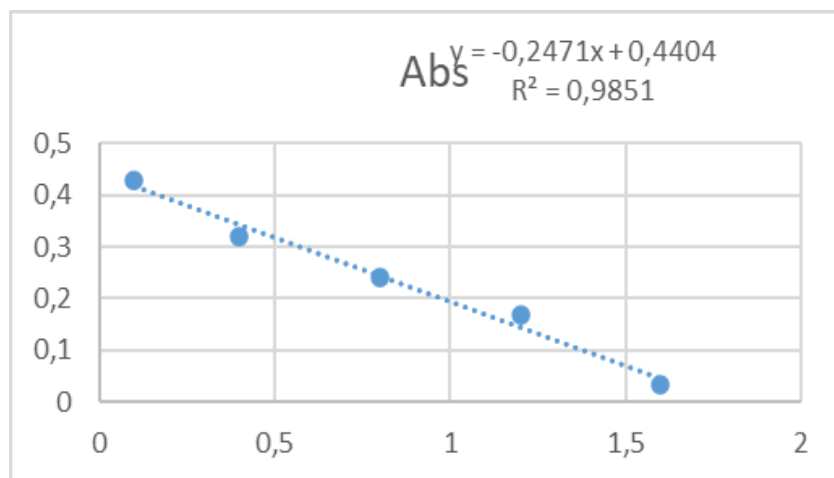




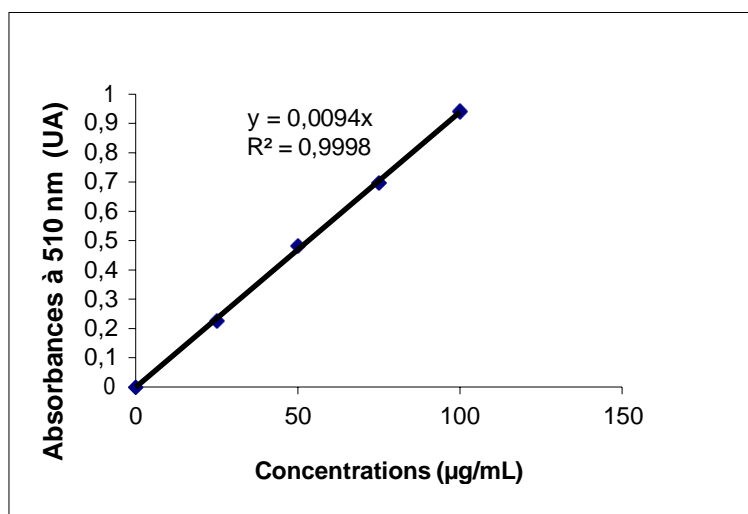
**Figure n°6 :** Courbe d'étalonnage des tanins condensés réalisée avec la catéchine.



**Figure 07 :** Courbe d'étalonnage de la vitamine C réalisé avec L'acide Ascorbique



**Figure 08** : Courbe standard Des Caroténoïdes réalisé avec le bêta-carotène



**Figure n 9** : Courbe d'étalonnage des tanins totaux réalisée avec l'acide tanique.

## Annexe 03

### Courbes détalonnage des activités antioxydantes

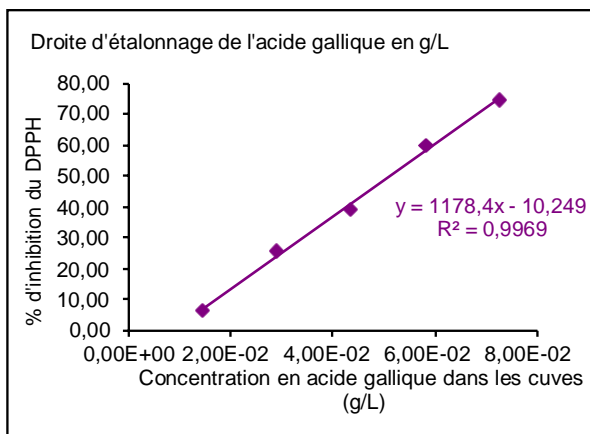


Figure 10 : courbe d'étalonnage standard de l'acide gallique pour le DPPH.

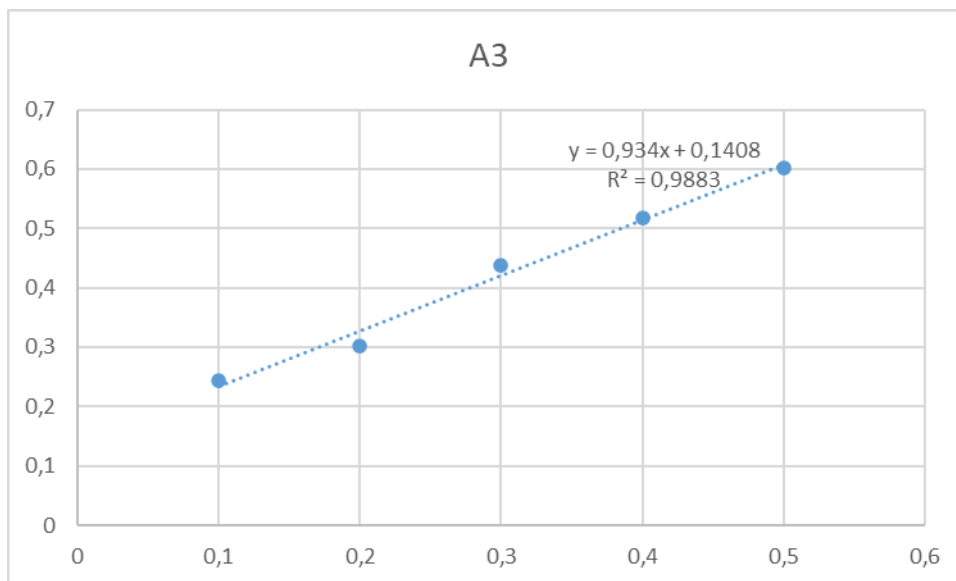


Figure 11 : courbe d'étalonnage standard de l'acide gallique pour le phosphomolybdate d'ammonium

**Résumé :** Cette étude a pour objectif l'évaluation de l'effet de différents modes de cuisson sur l'activité antioxydante et les métabolites de la carotte (*Daucus carota*). Des analyses physico-chimiques (test d'humidité, teneurs en cendres, en sucres totaux et en protéines) et phytochimiques (polyphénols totaux, flavonoïdes, flavonols, caroténoïdes, anthocyanines, vitamine C, proanthocyanidines et tanins totaux) ont été réalisées pour chaque échantillon. L'activité antioxydante a été évaluée par deux tests, le pouvoir réducteur au phosphomolybdate d'ammonium et le test scavenger au radical DPPH'. Les résultats obtenus montrent que la teneur en eau s'échelonne entre  $62,61 \pm 0\%$  et  $92,90 \pm 0,68\%$ , et celle des cendres varie de  $0,62 \pm 0,06$  et  $1,62 \pm 0,07\%$ . Les teneurs les plus importantes en sucres totaux, protéines, polyphénols totaux, flavonoïdes, flavonols, tanins totaux et en caroténoïdes ont été enregistrées pour la carotte cuite dans l'huile ( $230 \pm 0$  mg ED-glucose/g MF;  $221 \pm 0$  mg EQ BSA/g MF;  $29,96 \pm 0,03$  mg EAG/g MF;  $0,138$  mg EQ/g MF;  $0,16 \pm 0,006$  mg EQ/g MF;  $5,25 \pm 0,027$  mg EAT/g MF;  $2,05 \pm 0,10$  mg E $\beta$ -carotène/g MF respectivement). Tandis que la teneur la plus élevée en vitamine C a été enregistrée pour la carotte cuite à la vapeur ( $5,86$  mg EAA/g MF). Les résultats obtenus montrent également que c'est l'extrait de carotte cuite à la vapeur qui présente le pouvoir réducteur le plus élevé, alors que pour le test scavenger au radical DPPH', c'est l'extrait de carotte cuite aux micro-ondes qui présente le pouvoir antioxydant le plus élevé.

**Mots clés :** Carotte ; Mode de cuisson ; Analyses physico-chimiques; Analyses phyto-chimiques ; Activité antioxydante.

**Abstract:** This study aims to evaluate the effect of different cooking methods on the antioxidant activity and metabolites of carrot (*Daucus carota*). Physico-chemical (moisture test, ash, total sugar and protein content) and phytochemical (total polyphenols, flavonoids, flavonols, carotenoids, anthocyanins, vitamin C, proanthocyanidins and total tannins) analyzes were carried out for each sample. . The antioxidant activity was attributed by two tests, the reducing power to ammonium phosphomolybdate and the DPPH• radical scavenging test. The results obtained show that the water content ranges between  $62.61 \pm 0\%$  and  $92.90 \pm 0.68\%$ , and that of the ashes varies from  $0.62 \pm 0.06$  and  $1.62 \pm 0.07 \%$ . The highest contents of total sugars, proteins, total polyphenols, flavonoids, flavonols, total tannins and carotenoids were recorded for the carrot cooked in oil ( $230 \pm 0$  mg ED-glucose/g MF;  $221 \pm 0$  mg EQ BSA/g MF;  $29.96 \pm 0.03$  mg EAG/g MF;  $0.138$  mg EQ/g MF;  $0.16 \pm 0.006$  mg EQ/g MF;  $5.25 \pm 0.027$  mg EAT/g MF;  $2, 05 \pm 0.10$  mg E $\beta$ -carotene/g MF respectively). While the highest vitamin C content was recorded for steamed carrot ( $5.86$  mg EAA/g MF). The results also demonstrated that it is the extract of steamed carrot which presents the highest reducing power, whereas for the DPPH• radical scavenger test, it is the extract of carrot cooked in micro-organisms. waves that present the highest antioxidant power.

**Keywords:** Carrot; Cooking mode ; Physico-chemical analyses; Phyto-chemical analyses; Antioxidant ..activity