

*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 *des Sciences Alimentaires***  
**Spécialité qualité des produits et sécurité alimentaire**



**Réf :.....**

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

**MASTER**

*Thème*

Elaboration d'un biscuit enrichit avec  
la poudre des gousses  
de caroube

Présenté par :

**derradji cylvia & Hemamcha Linda**

Soutenu le : **22 Septembre 2021**

Devant le jury composé de :

M. ACHAT Sabiha  
Mme. BRAHMI Nabila  
Melle. ISSAADI Ouarda

Professeur	Président
MCA	Encadreur
MCB	Examineur

**Année universitaire : 2020 / 2021**

# Remerciement

*Nous tenons, tous d'abord à remercier en premier lieu et avant tous le*

*Grâce au **DIEU** le tout puissant, qui nous a donné la force, la  
patience de mener à bien ce modeste travail*

*Nous présentant nos sincères remerciements à notre promotrice*

***Mme BRAHMI Nabila** qui nous a aidé le long de notre travail.*

*Tous les membres de jury, à **Mme ACHAT** pour sa présidence et **Mme***

***ISSAADI** pour avoir accepté nous examiner.*

*On tient aussi à remercier tout le personnel du laboratoire en particulier*

***Mme KHERFELLAH.S** pour sa patience et son aide.*

*Toutes les personnes qui nous ont aidés de près ou de loin.*

*Toute la promotion MASTER (QPSA)*

*2020/2021*

*Tous ceux qui ont l'aimable volonté de feuilleter ce mémoire.*

# *Dédicaces*

*Avant Tout je tiens à remercier Dieu le plus puissant pour  
m'avoir donné la force et la patience afin de réaliser ce modeste  
travail.*

*Je dédie ce modeste travail*

*A mes très chers parents qui m'ont tout donné. Qui ont toujours  
été là pour moi.*

*A mes très chères sœurs et frères*

*A toute ma famille,*

*A mon binôme Linda et sa famille.*

*A tous mes amies, à tous ce qui m'aiment.*

*Je n'oublierai pas la promotion QPSA.*

*Je Dédie aussi ce travail à tous ceux qui ont contribué de près  
et de loin pour que je réussisse dans mes études.*

*CYLIA*

# *Dédicaces*

*A mes Très Chers Parents et frères  
Famille et Amies.*

*Linda*

## Liste des abréviations

**%** : Pour cent.

**°C** : Degré Celsius.

**ABTS** : 2,2- Azinobis-3-éthyl-Benzothiazoline-6-Sulfonique.

**ADN** : acide désoxyribonucléique.

**AGPI** : acides gras polyinsaturés.

**ALCL3** : Chlorure d'Aluminium.

**ANOVA**: Analysis of the variance.

**BSA**: Bovin serum albumin.

**Cm**: centimètre.

**DPPH** : 2,2 Diphényle-1-Picryl-Hydrazyle.

**EAG** : Equivalent d'Acide Gallique.

**EOR** : espèces réactives de l'oxygène.

**EQ**: Equivalent Quercétine.

**FAO**: Food and Agriculture Organization

**g**: gramme.

**GPx**: glutathion peroxydase.

**GR** : glutathion réductase.

**GSH** : glutathion réduit.

**GSSG** : glutathion oxydé.

**HCL** : Acide Chlohydrique.

**Kg**: kilogramme.

**LDL**: Inter mediate Density Lipoprotein

**M** : mètre

**Max** : maximum.

**Mg** : milligramme.

**MG** : Matière Grasse.

**ml** : Millilitre

**Mm** : millimètre

**Mn** : Minute

**MS** : matière sèche

**NF** : Normes françaises

**nm** : Nanomètre

**NO** : oxyde nitrique ou monoxyde d'azote.

**OMS** : Organisation mondiale de la santé.

**PH** : Potentiel Hydrogène.

**PT** : **Polyphénols** totaux.

**RO** : radical alkoxyde.

**RO2** : radical peroxyde.

**ROS** : espèces oxygénées actives.

**SDS**: Sodium Dodecyl Sulfate ( $\text{NaC}_{12}\text{H}_{25}\text{SO}_4$ ).

**SOD**: Super oxyde dismutase.

**TEA** : Triéthanolamine ou Trolamine ( $\text{C}_6\text{H}_{15}\text{NO}_3$ ).

**THs** : Les tanins hydrolysables.

**UV** : ultra-violet.

**μl** : Microlitre.

**CAH** : classification Ascendante Hiérarchique.

**ACP** : Analyse en Composante Principale.

## Liste des tableaux

<b>Tableau I</b> : classification de <i>Ceratonia siliqua</i> L.....	3
<b>Tableau II</b> : ingrédients des 4 types de biscuits.....	15
<b>Tableau III</b> : Moyenne ajustée par produits pour les jurys experts.....	44
<b>Tableau IV</b> : objets classés par ordre croissant de préférence.....	47
<b>Tableau V</b> : pourcentage de juges satisfait pour chaque biscuit.....	48

## Liste des figures

<b>Figure 1:</b> Photographie de l'arbre du caroubier.....	3
<b>Figure 2 :</b> photographie fruits du caroubier.....	4
<b>Figure 3:</b> Structure chimique de base des flavonoïdes .....	5
<b>Figure 4 :</b> Les systèmes de défense antioxydant contre les espèces réactives de l'oxygène...8	
<b>Figure 5 :</b> Diagramme des étapes de fabrication des biscuits.....	12
<b>Figure 6:</b> Photographie des différents échantillons.....	13
<b>Figure 7 :</b> Diagramme de préparation de la poudre de caroube.....	14
<b>Figure 8 :</b> Diagramme de fabrication du biscuit.....	15
<b>Figure 9:</b> Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH.....	22
<b>Figure 10 :</b> Salle de dégustation.....	23
<b>Figure 11 :</b> Teneur en matière sèche de la caroube.....	24
<b>Figure 12 :</b> La teneur en eau du fruit de l'espèce <i>Ceratonia siliqua</i> L.....	25
<b>Figure 13 :</b> Teneur en poly phénols de la caroube.....	26
<b>Figure 14 :</b> Teneur en flavonoïdes de la caroube.....	27
<b>Figure 15 :</b> Teneur en flavonols de la caroube.....	28
<b>Figure 16 :</b> Teneur en tanins de la caroube.....	29
<b>Figure 17:</b> Teneur en protéines de poudre de la caroube.....	30
<b>Figure 18:</b> Le pourcentage de l'activité antioxydante par le test au DPPH des trois échantillons.....	31
<b>Figure 19:</b> Le pourcentage de l'activité antioxydante par le test ABTS des trois échantillons.....	32
<b>Figure 20 :</b> Teneur du pouvoir réducteur des différents échantillons.....	33
<b>Figure 21:</b> Teneur en matière sèche des différents échantillons de biscuit.....	34
<b>Figure 22:</b> Teneur en humidité des différents échantillons de biscuit.....	35
<b>Figure 23 :</b> Teneur en matière grasse des différents échantillons de biscuit.....	35
<b>Figure 24 :</b> Teneur en protéines des différents échantillons de biscuit.....	36
<b>Figure 25 :</b> Concentration en poly phénols des différents échantillons étudiés.....	37

<b>Figure 26 :</b> Concentration en flavonoïdes des différents échantillons étudiés.....	38
<b>Figure 27 :</b> Concentration en flavonols des différents échantillons de biscuit.....	39
<b>Figure 28 :</b> Concentration en tanins des différents échantillons de biscuit.....	40
<b>Figure 29 :</b> Pouvoir discriminant par le descripteur.....	41
<b>Figure 30:</b> Coefficients des modèles des quatre échantillons des biscuits..... ;.....	42
<b>Figure 31 :</b> Corrélation entre les variables (a) et les facteurs b).....	45
<b>Figure32:</b> Dendrogramme des consommateurs naïfs (a), les différentes classes de consommateurs naïfs (b).....	46
<b>Figure 33 :</b> Profil des différentes classes créées.....	46

## Sommaire

Liste des abréviations	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Introduction .....	2

## Synthèse bibliographique

I. Généralités sur le caroubier.....	3
I.1. Taxonomie et terminologie commune .....	3
I.2. Description botanique .....	3
I.3. Intérêt et utilisation de caroubier .....	4
II. Métabolite secondaire.....	5
II.1. Principales classes de composés phénoliques.....	5
II.1.1. Composés phénoliques simples .....	5
II.1.1.1. Acides phénoliques.....	5
II.1.1.2. flavonoïdes.....	5
II.1.2. Les composés phénoliques complexes .....	6
II.1.2.1. Les tanins.....	6
III. Stress oxydatif.....	6
III.1. Origine du stress et ses conséquences biologiques .....	6
III.2. Les maladies liées au stress oxydatif.....	7
III.3. Les radicaux libres.....	7
III.4. Les antioxydants.....	7
III.4.1. Système de défense antioxydant.....	7
III.4.1.1. Systèmes antioxydants enzymatiques .....	8
III.4.1.2. Système antioxydant non enzymatiques.....	9
IV. Généralités sur les biscuits .....	9
IV.1. Classification des biscuits .....	10
IV.2. Matières premières utilisées dans la fabrication des biscuits.....	10
IV.2.1. Farine .....	10
IV.2.2. Matière grasse .....	11
IV.2.3. Sucre.....	11
IV.2.4. Lait .....	11
IV.2.5. Œufs .....	11
V. Technologie des biscuits .....	12

## Matériel et méthode

I. Objectif du travail .....	13
II. Echantillonnage .....	13
III .Traitement des échantillons.....	13
IV. Formulation du biscuit .....	14
V. Analyses physico-chimiques .....	16
V.1. Détermination d'humidité .....	16
V.2. Préparation des extraits.....	16
V.3. Dosage des polyphénols totaux .....	17
V.4. Dosage des flavonoïdes .....	17
V.5. Dosage des Flavonols .....	18
V.6. Dosage des tannins .....	18
V.7. Teneur en Protéines .....	19
V.7.1. Extraction des protéines .....	19
V.7.2. Dosage des protéines .....	19
V.8. Évaluation de l'activité antioxydante par le test ABTS .....	19
VI. Teneur en matière grasse.....	20
VII. Activité antioxydante.....	21
VII.1. Pouvoir anti-radicalaire (DPPH).....	21
VII.2.Pouvoir réducteur.....	22
VIII. Analyse statistique.....	23
VX. Analyse sensorielle .....	23

## Résultat et discussions

I. Résultats des analyses physico-chimiques .....	24
1.1. Teneur en matière sèche .....	24
1.2. Teneur en humidité .....	25
1. 3. Teneur en polyphénols. ....	26
1 .4. Teneur en flavonoïdes .....	27
I. 5. Dosage des flavonols .....	27
I. 6. Dosage des tanins .....	28
I. 7. Dosage des protéines .....	29
II. Etude de l'activité antioxydante .....	30
II.1. Activité antiradicalaire au DPPH .....	30

II.2. Réduction du radical-cation ABTS .....	31
II.3. Pouvoir réducteur .....	32
II.1.1. Teneur en matière sèche .....	34
II.2. Teneur en humidité .....	34
II.3. Teneur en matière grasse .....	35
II.4. Teneur en protéines .....	36
II.2.5. Dosage des polyphénols. ....	37
II.6. Dosage des flavonoïdes .....	38
II.7. Dosage des flavonols .....	39
II.8. Dosage des tanins .....	40
III. Analyse sensorielle .....	40
III.1. Caractérisation des produits .....	41
III.2. Pouvoir discriminant par descripteur . ....	41
III.3. Coefficient des modelés . ....	42
III.4. Moyennes ajustées par produits . ....	43
III.5. Préférence MAPPING (cartographie des préférences) .....	44
III.6. Analyse en composante principale (ACP).....	44
III.7. Classification ascendante Hiérarchique (CAH) .....	45
III.8. Synthèse de Mapping des préférences.....	46
Conclusion .....	49

# Introduction

*Ceratonia siliqua* L, connue sous le nom de caroubier, appartient à la famille des Légumineuse (syn. Fabacées). Cet arbre fruitier et forestier est originaire des zones arides et semi-arides de la méditerranée et de la péninsule arabique (**Mahdad., 2012**). Il présente un grand intérêt en raison non seulement de sa rusticité, de son indifférence vis-à-vis de la nature du sol, de son bois de qualité, de sa valeur ornementale et paysagère, mais essentiellement pour ses graines qui font l'objet de transactions commerciales (**Biner et al., 2007**). Sa valeur commerciale a été récemment découverte et appréciée créant ainsi un nouvel avantage pour la plantation de caroubiers (**Sidina et al., 2009; Yousif et Alghzawi., 2000**). L'intérêt de planter les caroubiers a été augmenté dans les régions méditerranéennes en raison du développement de l'industrie alimentaire et l'augmentation de la demande pour les produits à base de caroube (**Gubbuk et al., 2010**).

La production mondiale annuelle, essentiellement méditerranéenne, est estimée à 310 000 tonnes, dont une bonne partie est fournie par l'Espagne suivie de l'Italie, du Portugal du Maroc et de l'Algérie (**FAOSTAT., 2010**).

L'Algérie recèle d'un patrimoine végétal élevé par sa richesse et sa diversité dans les régions côtières, les massifs montagneux, les hauts-plateaux, la steppe et les oasis sahariennes on y trouve plus de 3000 espèces végétales. Parmi ces ressources naturelles, les plantes aromatiques et médicinales occupent une large place et jouent un grand rôle dans l'économie nationale (**Duraffourd et al., 1997**).

Le caroubier possède un intérêt socio-économique et écologique considérable, tous les composants de graine de caroubier jouer un rôle industriel et médical important, la grande valeur de la caroube est connue grâce aux gousses et aux graines, sa pulpe est un substitut naturel de cacao utilisé pour la préparation de chocolat et aussi utilisé traditionnellement comme médicament contre les diarrhées et certains maladies gastrique ainsi que pour la production de farine pour la préparation des gâteaux et l'alimentation animale. La gomme utilisé dans plusieurs produits que se soit dans l'agroalimentaire comme un agent stabilisant ou bien dans le domaine médical et pharmaceutique (**Berrougui., (2007)**). Cependant, la pulpe de la caroube reste moins valorisée malgré sa richesse en nutriments et en particulier les poly phénols. Récemment, l'attention a été attirée sur l'effet de la pulpe de la caroube en raison de sa teneur poly phénolique et ses fibres alimentaires, qui sont à l'origine des différents bienfaits pour la santé humaine (**Gabriela., 2011**).

Le but de ce présent travail est l'étude de la composition chimique de trois échantillons des gousses de caroubier de la région de Bejaia, et l'enrichissement d'un biscuit à partir de la poudre du caroubier (gousses), ainsi une évaluation de l'activité antioxydante, et leur composition phénolique.

Notre objectif réside dans l'amélioration de la qualité nutritive et sensorielle des biscuits enrichis.

Notre travail est structuré en trois parties dont la première est une revue bibliographique englobant la présentation de l'espèce *Ceratonia siliqua*, leurs métabolites secondaires, l'activité antioxydante et des généralités sur les biscuits et leurs constituants de base. La seconde partie rapporte la méthodologie détaillée du travail, la troisième expose les résultats obtenus comparés et discutés suivie d'une conclusion générale et des perspectives.

Synthèse  
bibliographique

## I. Généralité sur le caroubier

### I.1. Taxonomie et terminologie commune

Le nom scientifique du caroubier, *Ceratonia siliqua* L dérive du grec Keras (corne) et du latin siliqua désignant une silique ou gousse et faisant allusion à la dureté et à la forme du fruit qui ressemble à la corne de bouc (**Battle et al., 1997**).

Selon **Quezel et santa (1962)**, la classification botanique de *Ceratonia siliqua* L est illustrée sur le tableau qui suit (Tableau I) :

**Tableau I** : Classification de *Ceratonia siliqua* L.

<b>Règne</b>	Plantae
<b>Classe</b>	Magnoliopsida
<b>Sous-classe</b>	Rosidae
<b>Famille</b>	Fabacées
<b>Ordre</b>	Fabales
<b>Genre</b>	Ceratonia
<b>Espèce</b>	<i>Ceratonia siliqua</i> L

### I.2. Description botanique

Le caroubier appartient à la famille des légumineuses (Fabacées) de l'ordre des Rosales, de la sous famille des Césalpiniacées. C'est un arbre de croissance lente et d'une longévité dépassant souvent 200ans (**Rejeb et al., 1995 ; Battle et al., 1997**). Il peut atteindre 7 à 20m de hauteur et une circonférence à la base du tronc de 2 à 3m. Il a une écorce lisse et grise lorsque la plante est jeune et brune rugueuse à l'âge adulte. Son bois de couleur rougeâtre est très dur (**Ait Chitt et al., 2007**).



**Figure 1**: l'arbre du caroubier.

Le fruit appelé caroube, est une gousse indéhiscente à bords irréguliers, de forme allongée, rectiligne ou courbée, de 10 à 20 cm de longueur, 1.5 à 3 cm de largeur et de 1 à 2.5 cm d'épaisseur. La gousse est composée de trois parties : l'épicarpe, le mésocarpe et les graines, elle est séparée à l'intérieur par des cloisons pulpeuses transversales et renferme de 4 à 16 graines dont la longueur et la largeur sont respectivement de 8 à 10 mm et de 7 à 8 mm. Sa couleur est d'abord verte, puis elle devient brune foncée (Figure 2) (Batlle et al., 1997 ; Ait Chitt et al., 2007).



**Figure 2 :** fruits du caroubier.

### **I.3. Intérêt et utilisation de caroubier**

Le caroubier est cultivé depuis longtemps pour divers usages. Ses fruits sont comestibles et sucrés. La caroube a deux principaux produits :

La farine, obtenue en séchant, torréfiant et moulant les gousses après les avoir débarrassées de leurs graines, est employée pour la production industrielle d'alcool par fermentation mais surtout en agroalimentaire comme antioxydant grâce à sa composition riche en poly phénols. En effet, la caroube contient 2 à 20% de composés phénoliques (Owen et al., 2003 ; Makris et Kefalas., 2004).

La gomme, extraite de l'endosperme blanc et translucide de la graine, est utilisée dans l'industrie agro-alimentaire, pharmaceutique (principalement contre les diarrhées), textile et cosmétique (Ait Chitt et al., 2007).

## II. Métabolite secondaire

Les polyphénols constituent le groupe de métabolites secondaires, le plus large et le plus répandu du règne végétal et font partie intégrante de l'alimentation (Naczk et Shahid.i., 2004 ; Gülcin., 2006).

### II.1. Principales classes de composés phénoliques

La classification des poly phénols est basée essentiellement sur la structure, le nombre de noyaux aromatiques et les éléments structuraux qui lient ces noyaux, il existe deux catégories des composés phénoliques simples complexes (Pascual-Reguera., 1997).

#### II.1.1. Composés phénoliques simples

##### II.1.1.1. Acides phénoliques

Ce sont des composés organiques possédant au moins une fonction carboxylique et un hydroxyle phénolique. Ils sont représentés par deux sous-classes, les dérivés de l'acide hydrox benzoïque et de l'acide hydroxy cinnamique (Thompsen et Mottola., 1984).

##### II.1.1.2. flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés possédant un squelette de base à quinze atomes de carbone, constitués de deux noyaux aromatiques et d'un hétérocycle central de type pyranne, formant une structure C6-C3-C6 (Souza., 2004). Ce sont les composés les plus abondants parmi tous les composés phénoliques. Ils interviennent dans la pigmentation des fleurs et dans les processus de défense contre le rayonnement UV, les herbivores et les attaques microbiennes (Korkina et Afanas'ev., 1997). Les flavonoïdes sont présents dans une grande variété d'aliments (fruits et légumes, céréales, jus de fruits, thé et vin, etc. ).

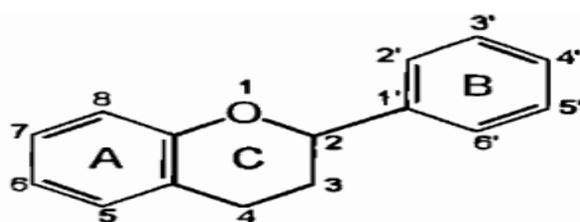


Figure 3: Structure chimique de base des flavonoïdes (Dacosta., 2003).

#### ➤ Flavonols

Les flavonols se distinguent par la présence d'un groupement OH en position C3 et d'une double liaison en C2-C3. Ils peuvent exister soit sous forme d'aglycones, soit sous forme d'hétérosides. Les sucres les plus souvent impliqués sont des aldoses: D-glucose et L-rhamnose (Korkina et Afanas'ev., 1997). Leurs principaux représentants sont la quercétine, le kaempférol et la rutine (Simić et al., 2007).

## II.1.2. Les composés phénoliques complexes

### II.1.2.1. Les tanins

Ce sont des substances d'origine végétale, non azotées, de structure poly phénolique. Ils sont soluble dans l'eau, l'alcool, l'acétone et sont peu soluble dans l'éther. De saveur astringente, responsables de transformer la peau fraîche en un matériau imputrescible (**Brunet, 2008**). Dans les plantes, les tanins existent à l'état complexe, les tannoïdes; certains sont combinés à des sucres.

Les tannins sont des macromolécules qui se divisent selon leur structure en deux groupes distincts. Les tanins hydrolysables, sont des phénols liés à un résidu sucré par un lien ester et les tanins condensés qui sont des polymères dérivés de résidus flavonols (**Mueller-Harvey et Mc Allan., 1992; Bruneton., 1999; Hagerman., 2002**).

## III. Stress oxydatif

Le stress oxydant est une circonstance anormale qui traversent parfois nos cellules ou un de nos tissus lorsqu'ils sont soumis à une production, endogène ou exogène, des radicaux libres oxygénés qui dépasse leurs capacités antioxydants, ces derniers sont des espèces fortement toxique et leur excès non neutralisés par les systèmes de défense est très dommageable pour les macromolécules essentielles de nos cellules, entraînant des anomalies d'expression des gènes et des récepteurs membranaires, prolifération à la mort cellulaire, troubles immunitaires, mutagenèse, dépôts de protéines dans les tissus (**Favier.,2006**) ; à ce fait là pour se protéger contre cet effet toxique de l'oxygène, l'organisme a développé des systèmes de défense qui permettent de réguler la production des ROS (Espèces oxygènes actives), Ces systèmes sont composés d'antioxydants, d'oligo-éléments et des protéines (**Pincemail et al., 2003**).

### III.1. Origine du stress et ses conséquences biologiques

Le stress oxydant est un événement important dans la cellule (**Theriuelt et al ., 2006**). Les effets de ce stress sont les conséquences de l'oxydation des molécules importantes (tels que les lipides, les protéines et l'ADN (**Jearamraja., 2005**).

L'accumulation des EOR a pour conséquence l'apparition de dégâts cellulaires et tissulaires souvent irréversibles dont les cibles biologiques les plus vulnérables sont les

protéines les lipides et l'acide désoxyribonucléique (Halliwell et Whiteman., 2004; Valko et al., 2006).

### III.2. Les maladies liées au stress oxydatif

Le stress oxydant provoqué par les ERO jouent un rôle important dans l'apparition de plusieurs maladies chroniques et dégénératives (Nair et al., 2012). Il est impliqué dans le développement du cancer, des maladies neurodégénératives et dans la pathogenèse des infections virales (Poston et Raijmakers., 2004). Selon Miwa et Fujita ., (2008), le stress oxydant augmente par la présence de divers facteurs de risque tels que : Le tabagisme, l'hypertension, le diabète et l'obésité.

### III.3. Les radicaux libres

Les radicaux libres sont des atomes ou des molécules portant un électron non apparié. Ce sont des espèces chimiques très instables qui jouent un rôle dans l'action de certains traitements anti-cancéreux. Leur structure comprend un électron célibataire qu'ils recherchent à assembler en attaquant et en endommageant les molécules voisines (Robert., 2005).

Les radicaux libres se divisent en deux types :

- Primaires qui dérivent directement de l'oxygène et appelé (ROS) comme : le radical superoxyde  $O_2$ , radical hydroxyl OH, monoxyde d'azote NO.
- Secondaires comme : radical peroxy ROO, radical alkoxy RO (Favier., 2003).

### III.4. Les antioxydants

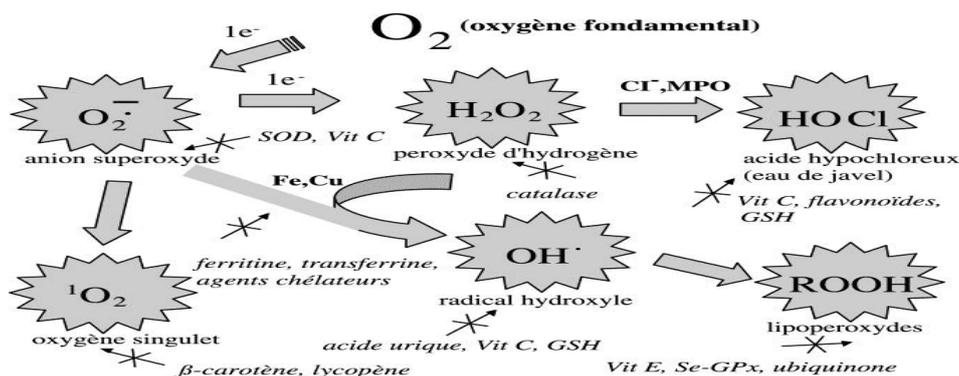
Toute substance qui, lorsqu'elle est présente en faible concentration comparée à celle du substrat oxydable, retarde ou prévient de manière significative l'oxydation de ce substrat est appelée antioxydant. Le terme de substrat oxydable inclut toutes sortes de molécules *in vivo* (Halliwell., 1999).

L'organisme est capable, dans certaines mesures, de limiter les dommages dus aux radicaux libres, grâce à des mécanismes de défense développés au cours de l'évolution (Hennebelle., 2006).

#### III.4.1. Système de défense antioxydant

Pour protéger les tissus contre les effets nocifs des ERO, la cellule fait appel à des systèmes de défense appelés antioxydants (figure 4). Les antioxydants sont toute substance ayant la capacité de supprimer, retarder, prévenir, empêcher ou réparer un dommage oxydatif d'une molécule cible (Halliwell et Gutteridge., 2007). Ainsi, les antioxydants servent à

contrôler le niveau des espèces réactives pour minimiser le dommage oxydatif (Tang et Halliwell., 2010).



**Figure 4 :** Systèmes de défense antioxydant contre les espèces réactives de l'oxygène (Pincemail *et al.*, 1999).

La nature du système antioxydant varie en fonction des tissus et des types cellulaires et selon qu'il s'agisse de milieu intracellulaire ou extracellulaire (Chaudiere et Ferrari-iliou., 1999). Dans l'organisme, on distingue des systèmes antioxydants enzymatiques et des systèmes non enzymatiques.

### III.4.1.1. Systèmes antioxydants enzymatiques

Les enzymes constituent la première ligne de défense contre les radicaux libres qui reposent principalement sur 3 enzymes (Lehucher-Michel *et al.*, 2010).

#### ➤ Super oxyde dismutase (SOD)

Superoxyde dismutase est l'enzyme antioxydant la plus importante dans la défense contre le stress oxydatif (Anderson *et al.*, 1997), qui est capable d'éliminer l'anion superoxyde en produisant une molécule d'oxygène et une molécule de peroxyde d'hydrogène (Gaté *et al.*, 1999 ; Ratnam *et al.*, 2006 ; Parrilla-Taylor et Zenteno-Savin., 2011).



Il existe plusieurs enzymes qui diffèrent selon la localisation chromosomique du gène, leur contenu métallique, leur structure quaternaire et leur localisation cellulaire (cytosolique, mitochondriale ou extracellulaire) (Zelko *et al.*, 2002).

- SOD à manganèse (Mn-SOD) : protège la mitochondrie.

- SOD à cuivre zinc, protège le cytosol (cCu-ZnSOD), La face externe de la membrane des cellules endothéliales (ecCu-ZnSOD) ou Le plasma sanguin (pCu-ZnSOD).

#### ➤ Catalase

La catalase est une enzyme capable de transformer le peroxyde d'hydrogène en eau et en oxygène moléculaire. Cette enzyme est abondante dans le foie et les globules rouges, elle se retrouve préférentiellement dans les peroxysomes et en plus faible quantité dans le cytosol.

La réaction catalysée par cette enzyme consiste en une dismutation du peroxyde d'hydrogène (Nancy *et al.*, 2006):  $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

### ➤ Glutathion peroxydase (GPx) et réductase (GR)

Ces deux enzymes sont présentes dans le cytosol et dans les mitochondries. La glutathion peroxydase (GPx) agit en synergie avec la SOD puisque son rôle est d'accélérer la dismutation du  $\text{H}_2\text{O}_2$  en  $\text{H}_2\text{O}$  et  $\text{O}_2$ , lors de cette réaction deux molécules de glutathion réduit (GSH) sont oxydées en glutathion-disulfure (GSSG) (Mates *et al.*, 1999; Powers *et Lennon.*, 1999).

La glutathion réductase, quant à elle, a pour rôle de régénérer le GSH à partir du GSSG grâce au NADPH qui est utilisé comme donneur d'électrons.

### III.4.1.2. Système antioxydant non enzymatiques

Les antioxydants non-enzymatiques sont des molécules qui possèdent des capacités de piéger les radicaux libres et les désactiver.

#### A- La vitamine E

La vitamine E ou  $\alpha$ -tocophérol, est un antioxydant liposoluble, elle capte les radicaux peroxydes lipidique  $\text{RO}_2$ . La partie active de la molécule étant la fonction phénol réductrice. Celle-ci perd facilement un atome d'hydrogène et se transforme en radical  $\alpha$ -tocophéryle, ce radical capte les radicaux superoxydes, les radicaux hydroxyles et l'oxygène singulet.

#### B- La vitamine C

La vitamine C ou acide ascorbique est une vitamine hydrosoluble. L'ascorbate est un très bon capteur de radicaux libres oxygénés puisque il réagit non seulement avec les radicaux hydroxyles mais aussi avec les radicaux syperoxydes  $\text{O}_2$  (diallo., 2005).

## IV. Généralités sur les biscuits

Le mot biscuit est dérivé du Latin "biscoctus" qui signifie "cuit deux fois. C'est parce que le processus original consistait à cuire les biscuits à une température élevée puis sécher à une autre température plus basse. Premièrement pour définir la structure, puis pour réduire la teneur en humidité (Serrem., 2010; Zhou., 2014).

Les biscuits normaux sont cependant cuits seulement une fois. Les biscuits se caractérisent des autres produits de boulangerie par leur faible taux d'humidité ce qui les rend peu susceptible de subir une altération microbienne.

A ce biscuit peut être attribuée la définition suivante : "C'est un aliment contenant trois principaux ingrédients de base, à savoir la farines alimentaires, la matière sucrantes et la matière grasse, et de tous autres produits alimentaires, tels que le lait, sel, agent aromatisant et les agents d'aération. (Kiger et Kiger., 1967 ; Mohtedji-Lambalais., 1989). Les ingrédients sont mélangés et la pâte est découpée en morceaux de la taille souhaitée puis cuite pendant quelques minutes (Ansari et Kumar., 2012).

### IV.1. Classification des biscuits

En raison de la très grande variété des productions et de la multiplicité des composants pouvant entrer dans les diverses fabrications des biscuits. Il n'existe pas de classification officielle. Cependant, elle peut être envisagée en fonction de la consistance de la pâte du biscuit avant cuisson (Kiger et Kiger., 1967; Mohtedji-Lambalais., 1989; feillet., 2000).

- Les pâtes dures ou semi-dures donnant naissance au type de biscuits secs casse-croûte, etc.
- Les pâtes molles s'adressent aux pâtisseries industrielles telles que les génoises, madeleines et les macarons. La particularité de ces biscuits est leur richesse en œufs et en matières grasses.
- Les pâtes qui ont une forte teneur en lait ou en eau et contiennent peu de matières grasses. Ce sont les pâtes à gaufrettes (Kiger et Kiger., 1967; Mohtedji-Lambalais, 1989; Manoharr et Rao., 2002).

### IV.2. Matières premières utilisées dans la fabrication des biscuits

#### IV.2.1. Farine

La farine de blé tendre est la matière première principale de la majorité des biscuits. Les propriétés physiques et chimiques des farines affectent leurs fonctionnalités (Mamatet Hill., 2018).

L'utilisation très fréquente de la farine dans la préparation de la pâte des biscuits est liée à sa capacité à retenir le gaz permettant ainsi son gonflement lors de la cuisson.

La farine constitue un élément clé de la qualité des produits de biscuiteries, ces différents constituants (tels que les protéines, lipides et glucides...) jouent un rôle direct ou indirect dans la structuration et l'aération de la pâte (Ndangui., 2015).

### VI.2.2. Matière grasse

En biscuiterie, les matières grasses utilisées sont généralement d'origine végétale (Mohtedji-Lambalais., 1989;feillet., 2000). C'est le troisième ingrédient le plus important utilisé dans la fabrication des biscuits .Celles-ci permettent d'accomplir un nombre considérable de fonctions telles que :

- ✓ Plasticité.
- ✓ Contribution structurale.
- ✓ Incorporation et stabilisation d'air
- ✓ Transfert de chaleur.
- ✓ Qualités organoleptiques et nutritionnelles.

### IV.2.3. Sucre

Le sucre représente de 20 à 35% du poids des matières premières dans le biscuit, le saccharose, ajouté à l'état cristallin, est le plus employé. En plus de son pouvoir sucrant, il contribue à la formation des arômes, de la texture, de la coloration et à la conservation des biscuits, il a également une fonction plastique (Feillet., 2000).

Le sucre inhibe le développement du gluten pendant le pétrissage de la pâte en concurrence avec la farine pour l'eau de la recette (Mamat et Hill., 2014).

### IV.2.4. Lait

Dans certaines recettes de biscuit, l'eau peut être remplacé par le lait, Il mouille et améliore la structure et la texture de la pâte, stimule la saveur acquise aux biscuits, il participe aussi à la coloration de la croûte par la réaction de Maillard grâce à sa forte teneur en lactose (Mezian., 2011).

### IV.2.5. Oeufs

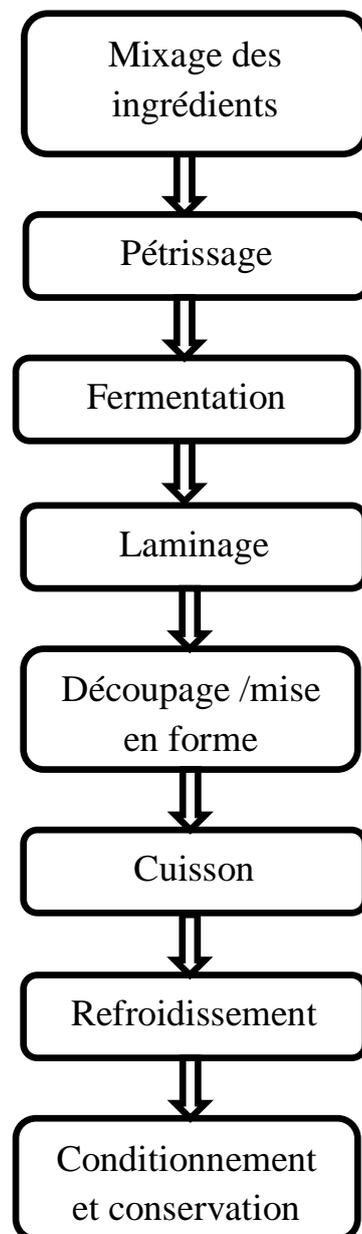
Les œufs apportent de la légèreté et du moussant aux biscuits, comme pour les madeleines, les génoises, ils permettent aussi de donner une couleur doré aux biscuits (Coutouly et al., 1998),les œufs peuvent également assurer des fonctions d'aération et de coagulation lors de la préparation de biscuit (Hui et al., 2006).

### V. Technologie des biscuits

La technologie de biscuit englobe 8 étapes : mixage, pétrissage, fermentation, laminage, mise en forme, cuisson, refroidissement et conditionnement (figure 5).

La qualité des biscuits est influencée par plusieurs agents tels que la qualité et la quantité des ingrédients utilisés et les traitements réalisées comme le pétrissage, la fermentation et la cuisson (Sudha *et al.*, 2007; Devi et Khatkar., 2016).

Le diagramme suivant représente le procédé général de fabrication des biscuits :



**Figure 5** : Diagramme des étapes de fabrication des biscuits (Yadav *et al.*, 2012; Denis.,2011).

Matériels  
et  
méthodes

## I. Objectif du travail

Le but de ce travail réside dans l'enrichissement d'un biscuit par différentes poudres des gousses du caroubier, puis l'étude de ses caractéristiques physico-chimiques.

## II. Echantillonnage

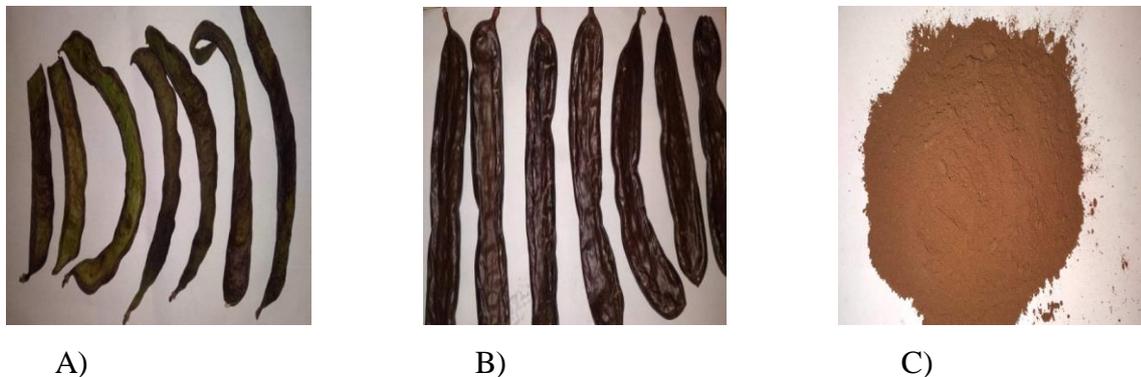
Les différents échantillons utilisés dans la présente étude sont comme suit :

-Les gousses immatures de couleur verte sont récoltées en mois de mai 2021 dans la région d'Ait Garret d'elkseur de la willaya de Bejaia (échantillon A).

-Les gousses matures de couleur marron sont récoltées en mois juillet 2020 dans la région d'Ait smail de la willaya de Bejaia (échantillon B).

-La poudre industrielle (échantillon C).

Les fruits ont été essuyés à l'aide d'une compresse stérile. Puit laisser séchés à l'ombre pendant plusieurs jours (figure 06).

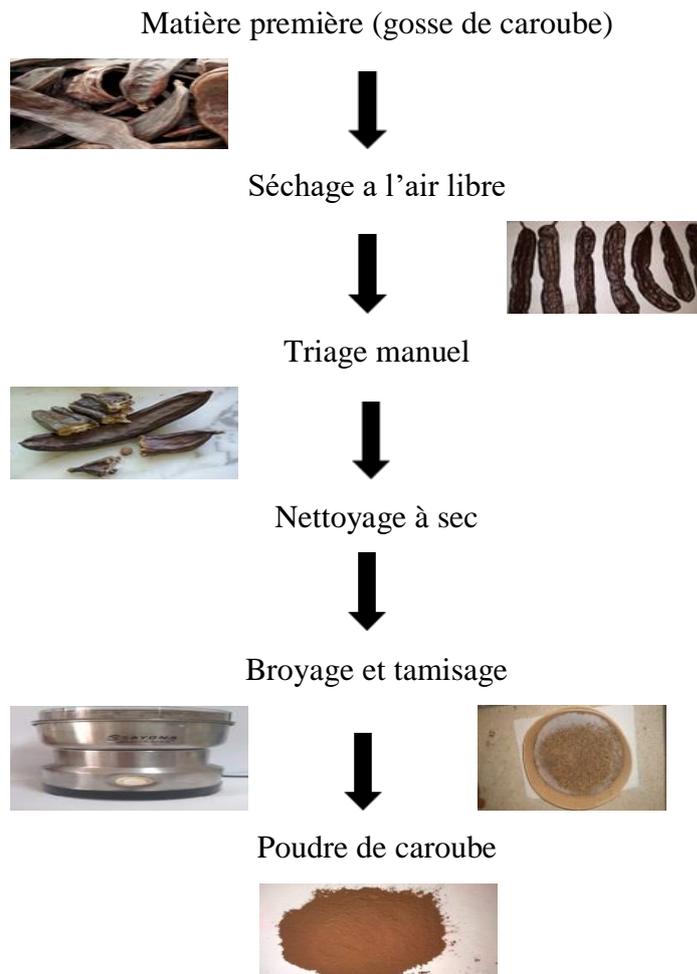


**Figure 06 :** A) Gousses immature B) Gousses mature, C) Poudre industrielle (Photographie des différents échantillons).

## III. Traitement des échantillons

Les échantillons sont triés manuellement afin d'éliminer les résidus indésirables, les gousses du caroubier sont concassées et dénoyautées, et séchées à l'air libre.

Les échantillons sont ensuite broyés à l'aide d'un broyeur électrique et tamisés à l'aide d'un tamis électrique afin d'obtenir une poudre très fine.



**Figure 07 :** Diagramme de préparation de la poudre de caroube.

#### IV. Formulation du biscuit

Dans cette partie on a utilisé trois variétés de poudre de la caroube pour l'enrichissement des biscuits.

##### ➤ Ingrédients

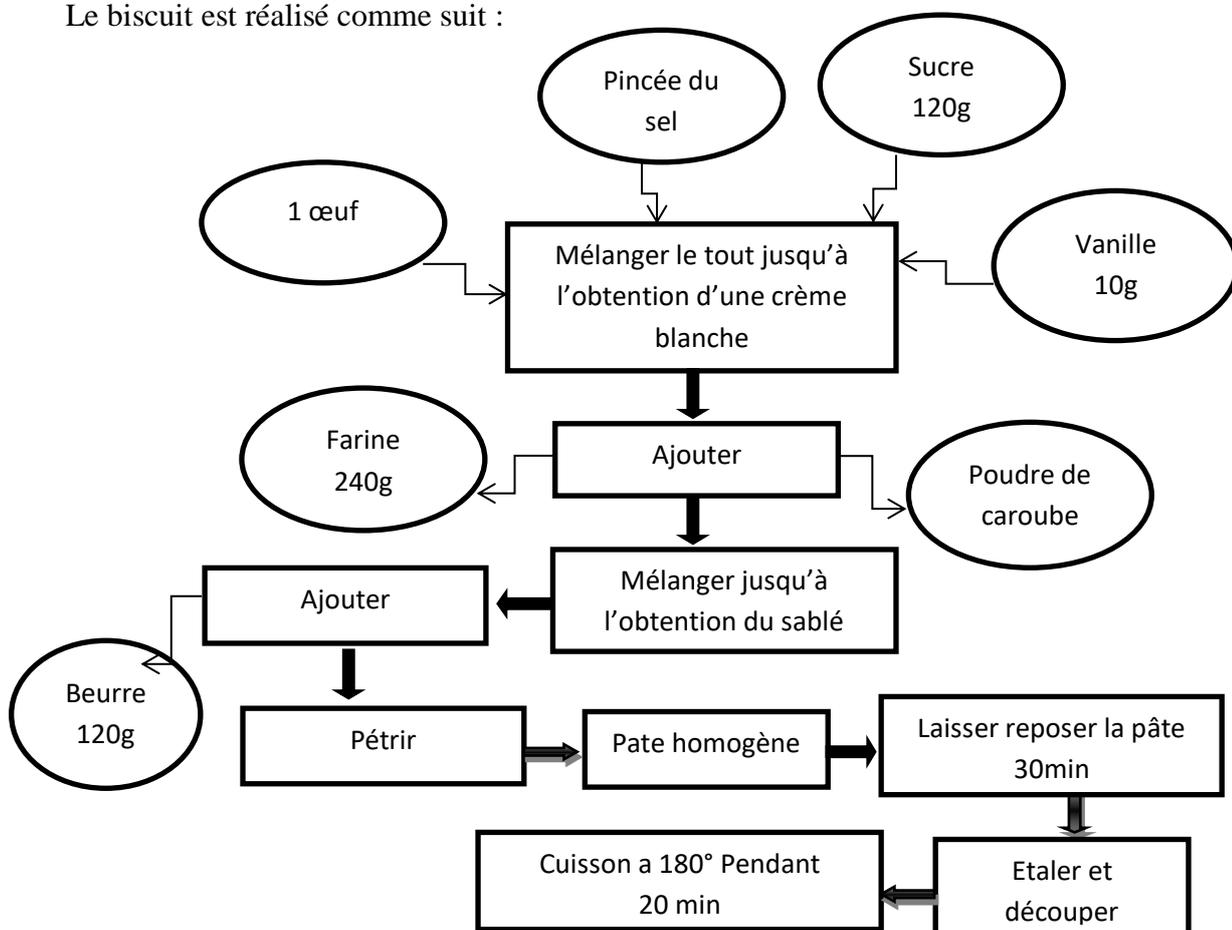
Nous avons opté pour la formulation de 4 types de biscuits, avec l'ajout de la même quantité de chaque poudre (gousses de caroube immature, mature, et poudre industrielle), ainsi que l'utilisation des ingrédients connues pour la préparation des biscuits (Tableau II).

**Tableau II :** Ingrédients des 4 types de biscuits.

Ingrédients	Type du biscuit			
	Claire (Témoin)	Marron foncé	Vert	Marron claire
Sucre	120g	120g	120g	120g
Farine	290g	250g	250g	250g
Œuf	1	1	1	1
Margarine	125g	125g	125g	125g
Vanille	10g	10g	10g	10g
Sel	Une pincée	Une pincée	Une pincée	Une pincée
La poudre de la caroube	0g	40g	40g	40g

### ➤ Préparation de biscuit

Le biscuit est réalisé comme suit :



**Figure 8 :** Diagramme de fabrication du biscuit.

### V. Analyses physico-chimiques

#### ❖ Pour les poudres d'enrichissement et les biscuits

##### V.1. Détermination d'humidité

###### ➤ Principe

La détermination de la teneur en eau est effectuée selon la méthode 44-19.01 de L'AACC (2000b., 2012). On procède à une dessiccation de l'échantillon à analyser dans une étuve à la température de  $50 \pm 2^\circ\text{C}$  jusqu'à l'obtention d'une masse pratiquement constante. Pour éviter toute reprise d'humidité, il convient d'utiliser un dessiccateur (Saadoudi, 2019).

La teneur en eau est la différence entre le poids de l'échantillon avant et après la dessiccation lorsque leur poids soit constant.

###### ➤ Protocole

On met 5g de chaque échantillon dans une capsule préalablement séchée et tarée, porter la capsule à l'étuve régler a  $103^\circ\text{C}$  pendant 2h, puis on laisse refroidir les capsules avant de les peser dans un dessiccateur et on évalue la quantité d'eau évaporée.

###### ➤ Expression des résultats

La teneur en eau est calculée selon la formule suivante :

$$H (\%) = \frac{M1-M2}{P} \times 100$$

Où :

**H (%)** : humidité.

**M1 (g)** : masse de la capsule + l'échantillon après séchage.

**M2 (g)** : masse de capsule vide.

**P (g)** : masse de la prise d'essai.

La teneur en matière sèche (MS) est calculée selon la relation suivante :

$$MS (\%) = 100 - H (\%)$$

##### V.2. Préparation des extraits

###### ➤ Protocole d'extraction

10 g des différents échantillons broyés et 50 ml du méthanol à 80% ont été placés sous agitation mécanique pendant 1h à température ambiante. Après filtration (filtrat 1), on

recupère le résidu et on ajoute avec 50 ml de méthanol à 80 % et on le laisse agiter pendant 30 min à température ambiante dans les mêmes conditions.

Chaque étape d'extraction est refaite trois fois avec renouvellement du solvant.

A la fin de l'extraction, on regroupe les trois filtrats et on ajuste à 100 ml avec du l'eau distillée.

### V. 3. Dosage des polyphénols totaux

#### ➤ Principe

Le réactif de folin-ciocalteu est constitué par un mélange d'acide phosphotungstique ( $H_3PW_{12}E_{40}$ ) et d'acide phosphomolybdique ( $H_3PMO_{12}O_{40}$ ). La méthode de folin-ciocalteu est basée sur l'oxydation des cycles phénoliques, couplée à la réduction de l'acide phosphomolybdique (**Castellucci, 2010**).

Le réactif de folin-ciocalteu voit ces propriétés colorimétriques modifiées lorsqu'il est complexé à certaines molécules, il réagit avec la fonction OH des phénols, cette réaction se traduit par le développement d'une coloration bleu foncée, permettant de déterminer la concentration des polyphénols en se référant à une courbe d'étalonnage à partir des concentrations connues (**khatabi et al., 2011**).

#### ➤ Protocole

200  $\mu$ l d'extrait, ajouter 1ml de folin ciocalteu et 800  $\mu$ l de carbonate à 7,5 % de solution, une lecture à 760 nm est faite après une incubation pendant 2h à l'obscurité (**Boizot et Charpentier ., 2006**).

Les concentrations des polyphénols sont déduites à partir des gammes d'étalonnages exprimées en mg/ml (**Annexe I**).

### V.4. Dosage des flavonoïdes

#### ➤ Principe

Les flavonoïdes possèdent un groupement hydroxyle (OH) libre, en position 5 qui est susceptible de donner avec le groupement CO, un complexe coloré avec le chlorure d'aluminium ( $ALCL_3$ ). Les flavonoïdes forment des complexes jaunâtres par chélation des métaux (fer et aluminium) (**Chang et al ., 2002**). L' $ALCL_3$  forme un complexe très stable

avec le groupement hydroxydes OH des phénols, ce complexe jaune absorbe la lumière visible à une longueur d'onde de 430 nm (**Ribereau-Gayon, 1968**).

### ➤ **Protocole**

2ml d'extrait, ajouté à 1ml de chlorure d'aluminium (2%), mesurer l'absorbance à 430 nm après 10 min d'incubation à l'obscurité (**fadlinizal et al, 2010**).

La teneur en flavonoïdes est exprimée en mg équivalent quercétine par g MS, et déterminée en se référant à la courbe d'étalonnage (**Annexe I**).

## **V. 5. Dosage des Flavonols**

### ➤ **Principe**

La méthode du trichlorure d'aluminium  $ALCL_3$  (**kosalec et al., 2004**) est utilisée pour quantifier les flavonols dans les extrait des différents échantillons.

### ➤ **Protocole**

La teneur des flavonols des extraits a été déterminer par la méthodes décrite par (**Adedapo et al., 2008**).

Un mélange de 0,3ml d'extrait, 0,3 ml de chlorure d'aluminium (2%) et 45ml d'acétate de sodium (50g /l), l'absorbance est mesurée à 440 nm après une incubation a l'obscurité pendant 40 min.

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

## **V.6. Dosage des tannins**

### ➤ **Principe**

La méthode de dosage des tannins est celle proposée par Ribéreau-Gayon (1966) adaptée au matériel végétal. Elle utilise la propriété des tannins à se transformer en anthocyanes par chauffage en milieu acide.

### ➤ **Protocole**

Un mélange de 100 µl d'échantillon dilué et 500 µl d'eau distillée dont :

600 µl du mélange est placé en tube à hémolyse, ajouter 600 µl d'HCL 12N, la densité optique est lue à 550 nm.

600 µl du mélange est placé en tube à vis, ajouter 600 µl d'HCL 12N, après une incubation 30 min à 100°C, on fait un refroidissement rapide (eau+ glace), puis ajouter 100 µl d'éthanol à 95 %, la mesure de la densité optique est faite à 550 nm.

### V.7. Teneur en Protéines

#### ➤ Principe

La teneur en protéines totale a été réalisée par la méthode du biuret. Le principe du dosage se repose sur le fait qu'en milieu alcalin, les composés contenant au moins deux groupements amides voisins forment avec les ions cuivriques  $\text{Cu}^{2+}$  un complexe bleu violet qui est dosé par spectrophotométrie à 540 nm (Gornall et al., 1949).

#### V.7.1.Extraction des protéines

Peser 1 g de chaque échantillon, puis ajouter 10 ml du tampon phosphate à 10 mM /L (PH=7), le mélange est ensuite mis dans l'eau glacée à 4°C et incubé pendant 20 min, puis la récupération du filtrat contenant les protéines.

#### V.7.2 Dosage des protéines

##### ➤ Protocole

1ml d'extrait de chaque échantillon, ajouter 4ml de Gornall, après une incubation de 30 min à l'obscurité, l'absorbance est lue à 540 nm.

On a fait référence par rapport à une courbe d'étalonnage dont on a utilisé du sérum d'albumine bovine (BSA) (Annexe I).

### V. 8. Évaluation de l'activité antioxydante par le test ABTS

#### ➤ Principe

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

La décroissance de l'absorbance causée par l'antioxydant reflète la capacité de capture du radical libre. La réaction entre les antioxydants et ABTS<sup>°+</sup> est estimée selon la réaction suivante :



Pourcentage d'inhibition est calculé selon l'équation suivante (Re et al., 1999).

$$\text{Activité anti radicalaire (\%)} = (\text{A0}-\text{A1})/\text{A0} \times 100$$

**A0**: Absorbance du control.

**A1** : Absorbance de l'échantillon.

### ➤ **Protocole**

La solution du radical ABTS est obtenue par le mélange de réactif ABTS à 7 mM avec (245 mM) de persulfate de potassium. Après 16 heures d'incubation la solution ABTS<sup>°+</sup> a été diluée avec l'éthanol, afin d'obtenir une absorbance de  $0,7 \pm 0,02$  à 734 nm **Froehliche et al., (2009)**. Un volume de 500 µl d'extrait est additionné à 500 µl de la solution d'ABTS<sup>°+</sup>. L'absorbance est mesurée à 734 nm après 2,5 min d'incubation à l'obscurité.

### ❖ **Pour les biscuits**

## **VI. Teneur en matière grasse**

### ➤ **Principe**

Les lipides sont solubles à chaud ou à froid dans les solvants organiques tels que l'éther de pétrole, l'hexane, l'acétone, l'éthanol, etc. La détermination des matières grasses est faite selon la méthode d'extraction par le SOXHLET en utilisant l'hexane comme solvant. A la fin de l'extraction, on peut admettre que toute la matière grasse est transférée dans le solvant.

### ➤ **protocole**

1g d'échantillon, ajouté à 20 ml HCL (14 ml HCL + 6 ml d'eau distillé), le mélange est chauffé pendant 1h après ébullition, le mélange est filtré et lavé à l'eau distillé, le filtre est

séché suit au SOXHLET et ensuite mis dans une cartouche qui est placé dans le siphon de SOXHLET qu'on l'ayant recouvert avec du coton. Peser le ballon qui servira à recouvrir le solvant et y introduire 125 ml d'éthanol dans le ballon en le branchant à un robinet, puis on branche la prise du chauffe ballon en réglant la température à 60°C, effectuer 4 à 6 siphonages.

### ➤ Expression des résultats

Le taux de la matière grasse est calculé par la formule suivante :

$$\text{MG \%} = (\text{P1} - \text{P2})/\text{ME} \times 100$$

**P1** : Poids du ballon après évaporation.

**P2** : Poids du ballon vide.

**ME** : Masse de la prise d'essai.

**MG** : Taux de la matière grasse.

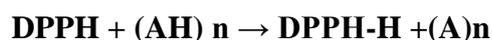
### ❖ Pour les poudres d'enrichissement

## VII. Activité antioxydante

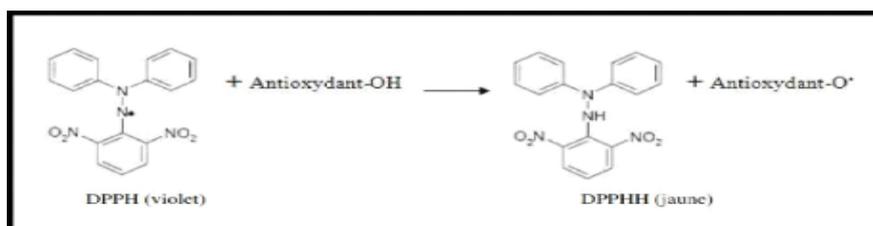
### VII.1. Pouvoir anti-radicalaire (DPPH)

#### ➤ Principe

Le Diphényle picryl-hydrazyle (DPPH) est un radical libre stable, violet en solution et présentant une absorbance caractéristique à 517 nm. Cette couleur disparaît rapidement lorsque le DPPH est réduit en diphényle picryl-hydrazine par un composé à propriété anti radicalaire, entraînant ainsi une décoloration (l'intensité de la coloration est inversement proportionnelle à la capacité des antioxydants présents dans le milieu à donner des protons) (Sanchez-Moreno, 2002). On peut résumer la réaction sous la forme de l'équation suivante :



La réaction se fait de la réaction suivante :



**Figure 9** : Réaction d'un antioxydant avec le radical DPPH (Molyneux, 2004).

### ➤ Protocole

Cette activité a été testée selon la méthode décrite par **Hemalatha (2010)**.

500  $\mu$ l des solutions d'extrait ont été ajoutés à 500  $\mu$ l de DPPH, une lecture de l'absorbance à 517 nm est faite après 1h 30 min d'incubation.

Le pourcentage d'inhibition est donné selon la formule suivant : (**Harris et al .,2009**).

$$\frac{[(\text{Abs contrôle}-\text{Abs échantillon})/\text{Abs contrôle}] \times 100}{}$$

**A0**: Absorbance du control.

**A1** : Absorbance de l'échantillon.

## VII.2.Pouvoir réducteur

### ➤ Principe

Le pouvoir réducteur du fer ( $\text{Fe}^{3+}$ ) dans les extrais est déterminé selon la méthode décrite par **OYAIZ (1986) (Bougandoura, 2013)**. La méthode de réduction du fer est basée sur la réduction de fer ferrique en sel de fer par les antioxydants qui donnent la couleur bleu (**OU et al ., 2001**).

### ➤ Protocole

Un mélange de 1ml d'extrait, 2,5 ml de tampon phosphate (0,2 M à PH 6,6) et 2,5 de ferricyanure de potassium (1%) est incubé à 50°C pendant 20 min, 2,5ml de TCA (10%) sont ajoutés au mélange addition de 1 ml de l'eau distillée et de 0,2 ml de chlorure ferrique à (0,1%), mesurer l'absorbance à 700 nm contre un blanc sans extrait. (**Gulcin et al ., 2002**). Les résultats sont exprimés en milligramme équivalent acide gallique par 1g de matière sèche à partir d'une droite d'étalonnage (**Annexe I**).

### VIII. Analyse statistique

Toutes les données représentent la moyenne des trois essais. Pour la comparaison des résultats, l'analyse de la variance, ANOVA (STATISTICA 5.5) est utilisée et le degré de signification des données est pris à la probabilité  $P < 0,05$ .

### IX. Analyse sensorielle

Une analyse sensorielle est effectuée sur les quatre types des biscuits à partir des différentes poudres de la caroube. En appliquant une évaluation sensorielle par des jurys experts en testant plusieurs descripteurs des produits obtenus à l'instar la couleur, le gout, la texture, l'odeur et la consistance (figure10).



**Figure 10** : Salle de dégustation.

A cet effet un questionnaire a été préparé pour les sujets experts pour une évaluation sensorielle(**AnnexeII**).

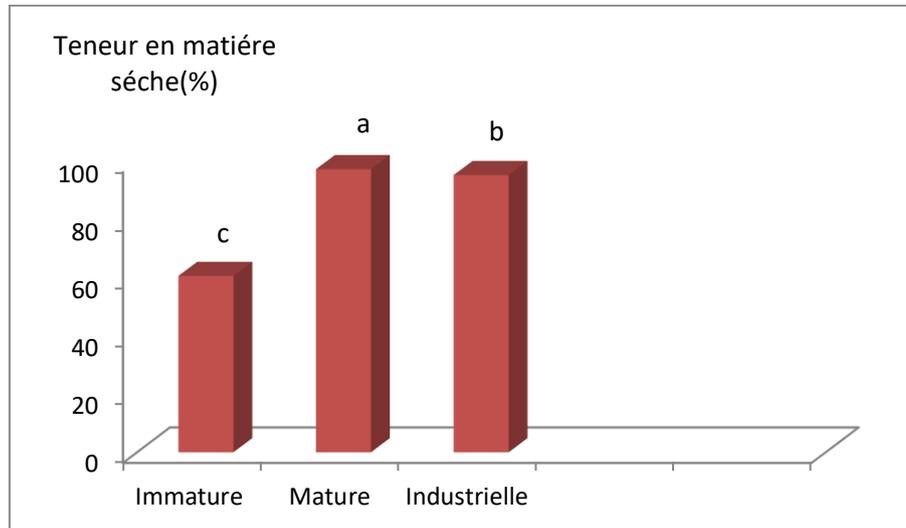
Résultats  
et  
discussion

### I. Résultats des analyses physico-chimiques

#### ❖ Pour les poudres d'enrichissement

##### 1.1. Teneur en matière sèche :

Les résultats des teneurs en matière sèche des différentes poudres de la caroube sont illustrés sur la figure suivante :



**Figure 11** : Teneur en matière sèche de la caroube.

*Les échantillons portant des lettres différentes sont différents significativement au seuil ( $p < 0.05$ ). Les résultats sont classés par ordre croissants,  $c < b < a$ .*

L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 a révélé une différence significative entre les différents échantillons. Le taux de la matière sèche des gousses de la caroube des trois échantillons est différent (figure 11). On enregistre la même teneur pour la poudre mature et industrielle (97,36% ; 95,34 % respectivement), celle de la poudre immature est inférieure qui est de 60,6%.

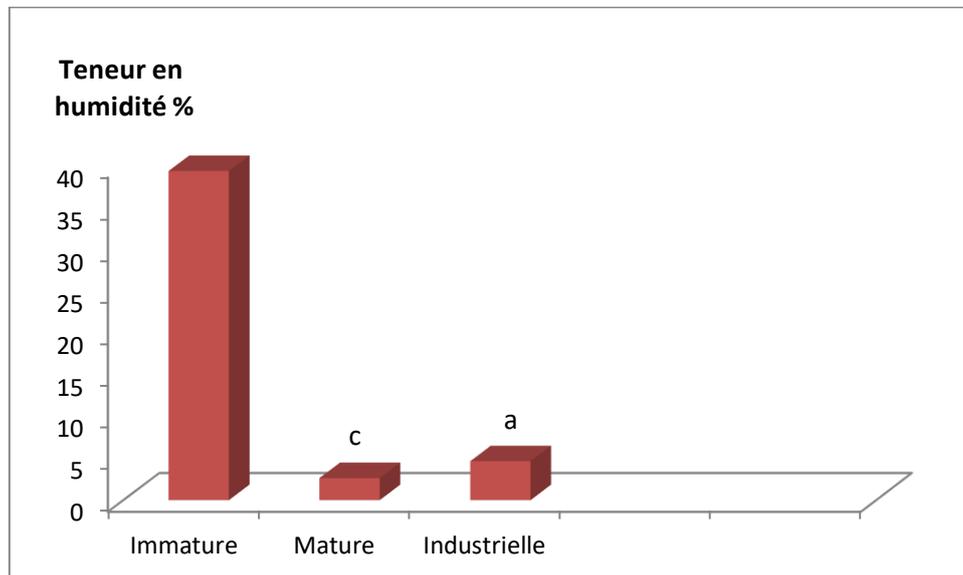
Ces résultats se concordent avec ceux de **Gaouar (2011)** qui a trouvé un taux de matière sèche très importante dans la pulpe de caroubier de Jijel et qu'il a été estimé entre 88.68% et 90.40%.

Cette différence peut être due aux conditions environnementales (pluie et humidité), aux cultivars de caroubier mais beaucoup plus à la durée de maturation (nos gousses vertes sont immatures et autres gousses sont mures), au moment de la récolte et à la durée de

stockage (stockage dans des boîtes bien fermées avant le début des manipulations) (Albanell et al., 1991; Avallone et al., 1997).

### 1.2. Teneur en humidité

Le test d'humidité permet de connaître la teneur en eau du fruit étudié. Les résultats obtenus sont rapportés sur la figure suivante :



**Figure 12** : Teneur en humidité des différentes poudres de l'espèce *Ceratonia siliqua* L.

Les échantillons portant des lettres différentes sont différents significativement au seuil ( $p < 0.05$ ). Les résultats sont classés par ordre croissant,  $c < a < b$ .

L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 a révélé une différence significative entre les échantillons. Les résultats obtenus montrent que le taux d'humidité des trois échantillons est très varié avec un taux important enregistré pour la poudre de la gousse de la caroube immature (39,4%) suivi par la poudre industrielle (4,66%) et enfin une teneur faible enregistrée pour la gousse mature qui de 2,64% (Figure 12).

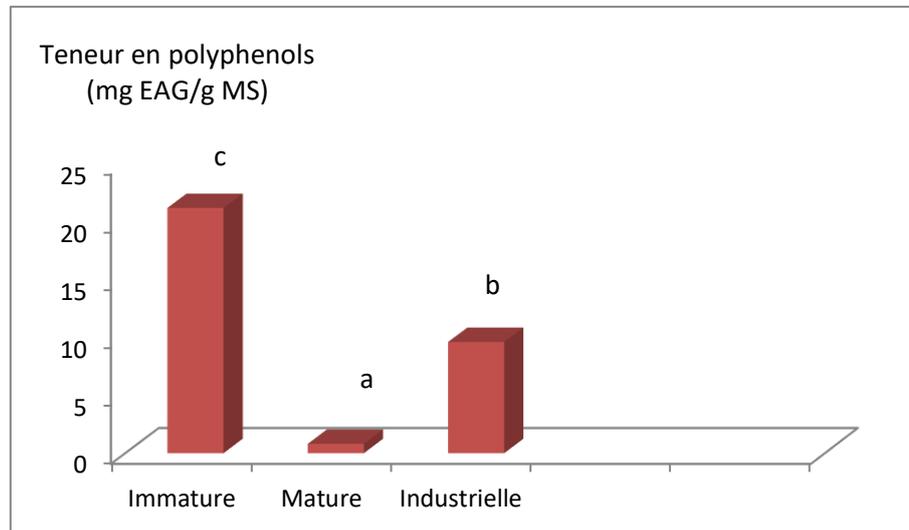
**Yousif et Alghzawi (2000)** ont rapporté que le taux d'humidité est de 11,07% et se rapproche de celui des travaux réalisés par **Hussein et al. (2011)** qui est de 10,1%, ces résultats sont supérieurs à ceux de la poudre mature et de la poudre industrielle.

L'eau est une source de dégradation des antioxydants (**Riberceau-Gayon, 1968**), et sur laquelle une activité enzymatique peu rapidement entrainer des changements irréversibles

après la récolte et par conséquent une polymérisation ou décomposition. Cet inconvénient peut être éliminé par un séchage rapide qui réduit le temps d'exposition des composés sensibles à l'action enzymatique, ainsi l'élimination d'eau tout en préservant la composition chimique de la cellule (Tomas-Babera et Espin., 2001).

### 1. 3. Teneur en polyphénols

Les teneurs en poly phénols obtenues sont illustrées sur la figure suivante:



**Figure 13 :** Teneur en polyphénols des différents échantillons de la caroube.

*Les échantillons portant des lettres différentes sont différents significativement au seuil ( $p < 0.05$ ). Les résultats sont classés par ordre croissants,  $a < b < c$ .*

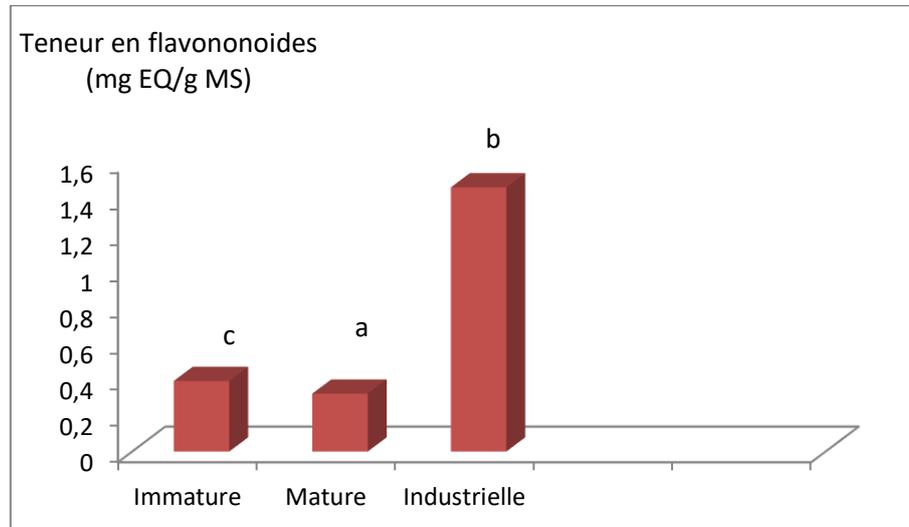
L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 a révélé une différence significative entre les différents échantillons. Le dosage des composés phénoliques des trois échantillons de la gousse de la caroube (immature, matures et la poudre industrielle) a révélé les valeurs de 21, 18 ; 9,59 et 0,8 mg EAG/g MS respectivement (figure 13). On remarque ainsi que la poudre verte contient la teneur la plus importante en polyphénols que les deux autres (mature et industrielle).

En rappelant que les travaux de **Youssef et al.,(2013)** déduits que la poudre de caroube est assez riche en différentes classes de composés phénoliques, 11 composants parmi on cite l'acide chlorogénique et l'acide caféique qui sont des antioxydants qui inhibent la formation de composés N-nitrosés mutagènes et cancérigènes in vitro (**Han et al 2007**).

De plus, certains acides phénoliques contribuent à la lutte contre divers types de cancer, notamment le cancer du sein, du poumon et de l'estomac. (Kumazawa et al 2002).

### 1.4. Teneur en flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes obtenue est illustrée sur la figure suivante :



**Figure 14 :** Teneur en flavonoïdes des différents échantillons de la caroube.

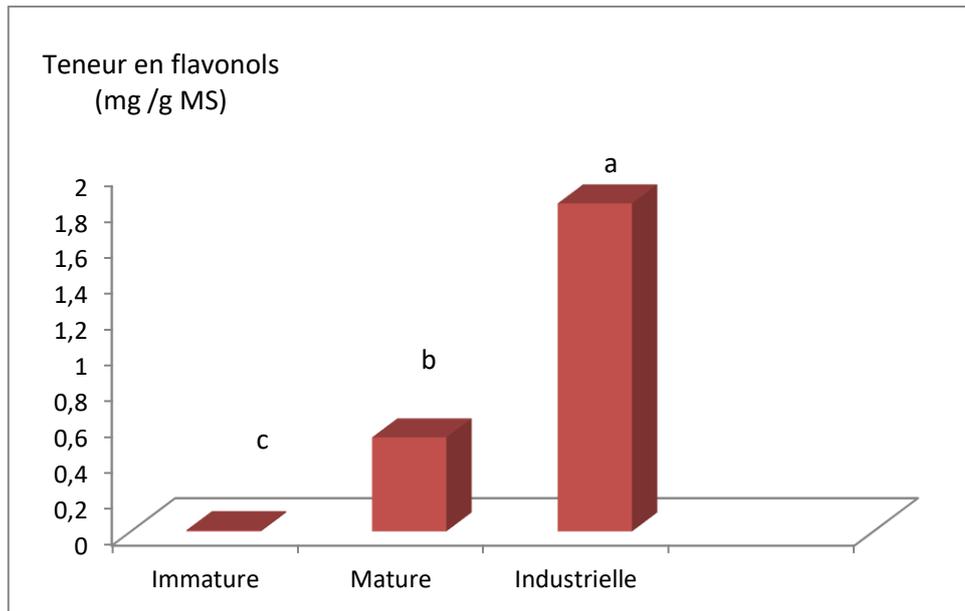
Les échantillons portant des lettres différentes sont différents significativement au seuil ( $p < 0.05$ ). Les résultats sont classés par ordre croissants,  $a < c < b$ .

L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification ( $p < 0.05$ ), a révélé une différence significative entre les échantillons. Les trois échantillons ont présenté des teneurs en flavonoïdes significativement proches (0,32 mg EQ /g MS pour la poudre mature et 0,39 mg EQ /g MS pour la poudre immature), avec une légère augmentation enregistrée pour la poudre industrielle avec une valeur de 1,46 mg EQ /g MS.

Ces résultats rejoignent ceux d'Ayaz et al.,(2007) qui ont trouvé des teneurs entre 0,41 et 0,48 mg EQ/g MS de flavonoïdes, et aussi ceux d'Owen et al. (2003) ainsi qu'Ortega et al., (2011) ont obtenu un taux plus élevé en flavonoïdes : 1,03 mg EQ/g MS et 3,33 mg EQ/g MS respectivement.

### I.5 .Dosage des flavonols

Les teneurs en flavonols obtenues sont illustrées sur la figure suivante:



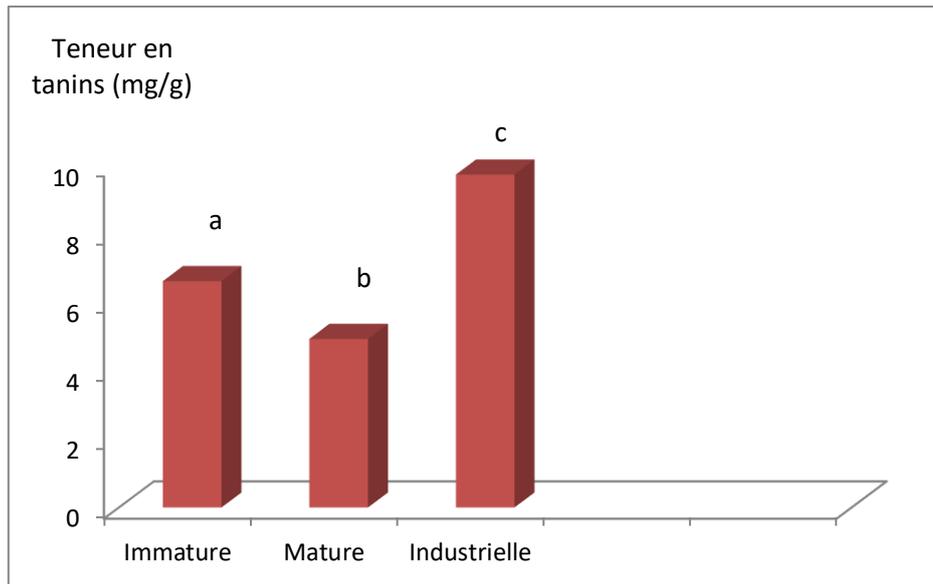
**Figure 15 :** Teneur en flavonols des différents échantillons de la caroube.

*Les échantillons portant des lettres différentes sont différents significativement au seuil ( $p < 0.05$ ). Les résultats sont classés par ordre croissant,  $c < b < a$ .*

L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 a révélé une différence significative entre les échantillons. La teneur la plus élevée est enregistrée pour la poudre industrielle avec une valeur de 1,82 mg EQ /g MS, suivi par celle de la poudre des gousses matures puis immatures avec des valeurs de 0,52 mg EQ /g MS et 0,007 mg EQ /g MS respectivement.

### **I. 6 .Dosage des tanins**

Les teneurs en tanins obtenues sont illustrées dans la figure suivante :



**Figure 16 :** Teneur en tanins des différents échantillons de la caroube.

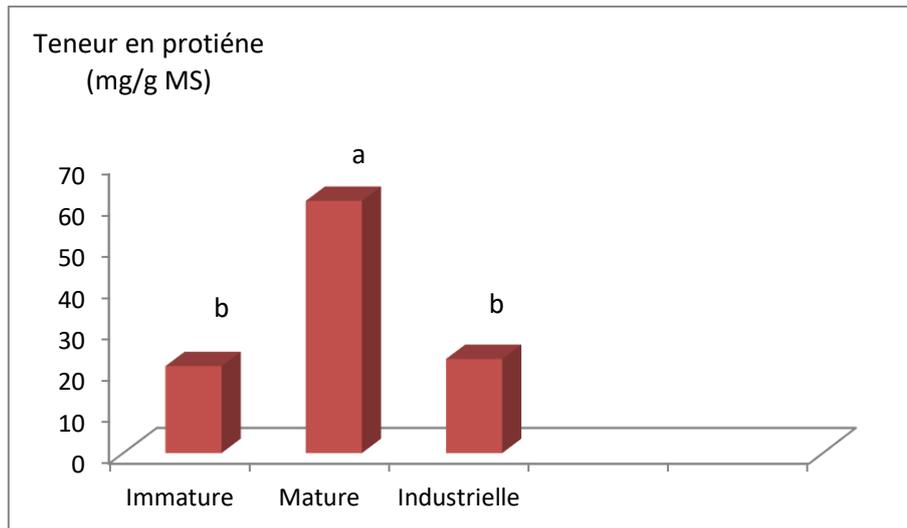
*Les échantillons portant des lettres différentes sont différents significativement au seuil ( $p < 0.05$ ). Les résultats sont classés par ordre croissants,  $b < a < c$ .*

L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 a révélé une différence significative entre les échantillons. Les données illustrées par la figure 16 montrent que les trois échantillons obtenus de poudre de la caroube sont riches en tanins. On remarque une valeur un peu élevée enregistrée pour la poudre industrielle qui est de 9,37 mg/g MS, suivie par les deux autres échantillons (6,63 mg/g MS pour la caroube immature et 4,95 mg/g MS pour la caroube mature).

Les travaux de **Zulim Botega et al., (2009)** mettent en évidence un effet bénéfique des tanins condensés de la caroube qui est d'être utilisé comme additif dans l'huile de tournesol afin de prolonger la durée de conservation de l'huile de friture et diminuer la toxicité potentielle de l'huile chauffée, ce qui confère aux tanins condensés de la caroube la propriété d'être bénéfiques sur le plan santé comme sur le plan économique.

### **I. 7 .Dosage des protéines**

Les teneurs en protéines obtenues sont illustrées sur la figure e suivante :



**Figure 17 :** Teneur en protéines des différents échantillons de poudre de la caroube.

*Les échantillons portant des lettres différentes sont différents significativement au seuil ( $p < 0.05$ ). Les résultats sont classés par ordre croissant,  $b < a$ .*

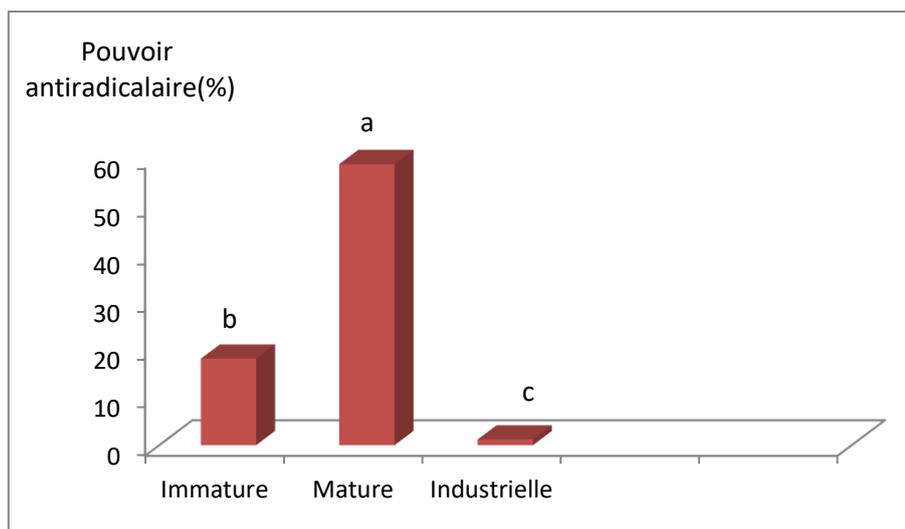
L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 a révélé une différence significative entre les échantillons. L'évaluation de la teneur en protéines des trois échantillons a montré que les échantillons (poudre de la gousse de la caroube immature et la poudre industrielle) ont des taux de protéines qui sont de 20,99 mg/g MS et de 22,74 mg/g MS respectivement, tandis que l'échantillon (poudre de la gousse mature) a une teneur élevée qui est de 60,99 mg/g MS.

**Ayaz et al., (2009)** affirment que la composition en acides aminés de la caroube est acceptable et bien équilibrée sauf la lysine, en les comparant avec le taux standard de protéines déclaré par l'OMS (Organisation mondiale de la santé).

## II. Etude de l'activité antioxydante

### II.1. Activité antiradicalaire au DPPH

Les résultats du pouvoir anti radicalaire contre radical DPPH des différents échantillons de la caroube exprimés en pourcentage sont illustrés sur la figure qui suit :



**Figure 18 :** Pourcentage de l'activité antioxydante par le test au DPPH des trois échantillons.

*Les échantillons portant des lettres différentes sont différents significativement au seuil ( $p < 0.05$ ). Les résultats sont classés par ordre croissants,  $c < b < a$ .*

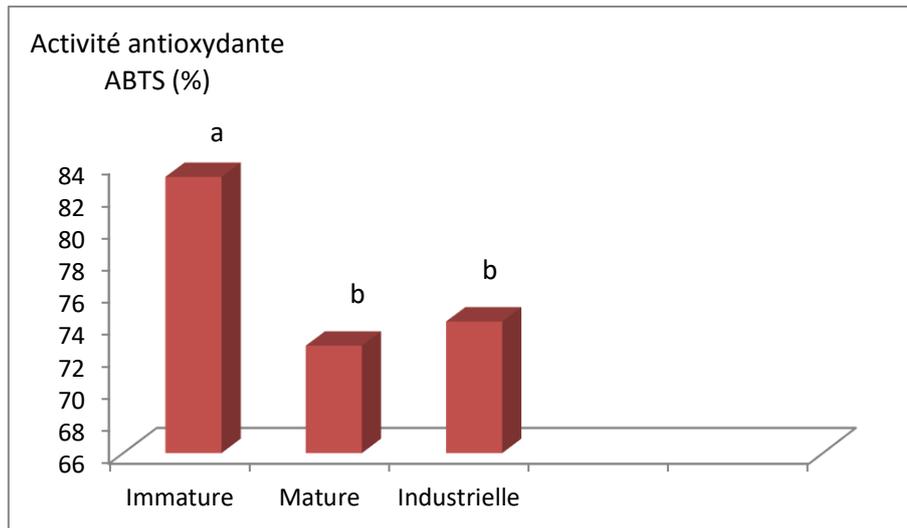
L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 a révélé une différence significative entre les échantillons. Les pourcentages de l'activité antioxydante des trois échantillons analysés ont révélé une activité antioxydante importante pour l'échantillon de poudre de la gousse mature avec un pourcentage de 58,66% (figure 18), suivi par celui de poudre de la gousse immature puis de la poudre industrielle avec des pourcentages de 18,11% et 1,18% respectivement. Ces résultats sont proches de ceux trouvés par **El Hajaji et al. (2010)**, qui ont enregistré des valeurs allant de 1.17 à 61.17 %.

Selon **Makris et Kefalas (2004)**, cette activité antioxydante importante des extraits phénoliques des échantillons analysés est due à leur forte teneur en polyphénols totaux et en flavonoïdes particulièrement les pranthocyanidines.

Plusieurs facteurs influent sur le potentiel antioxydant et la cinétique de réduction, notamment les conditions de la réaction (temps, rapport Antioxydant/DPPH, type de solvants, pH) et le profil phénolique en particulier (**Popovici et al. 2010**).

### II.2. Réduction du radical-cation ABTS

Les résultats du pouvoir anti radicalaire à l'égard du radical ABTS des différents échantillons de la caroube sont exprimés en pourcentage et illustrés sur la figure qui suit :



**Figure 19:** Pourcentage de l'activité antiradicalaire par le test ABTS des trois échantillons.

*Les échantillons portant des lettres différentes sont différent significativement au seuil ( $p < 0.05$ ). Les résultats sont classés par ordre croissants,  $b < a$ .*

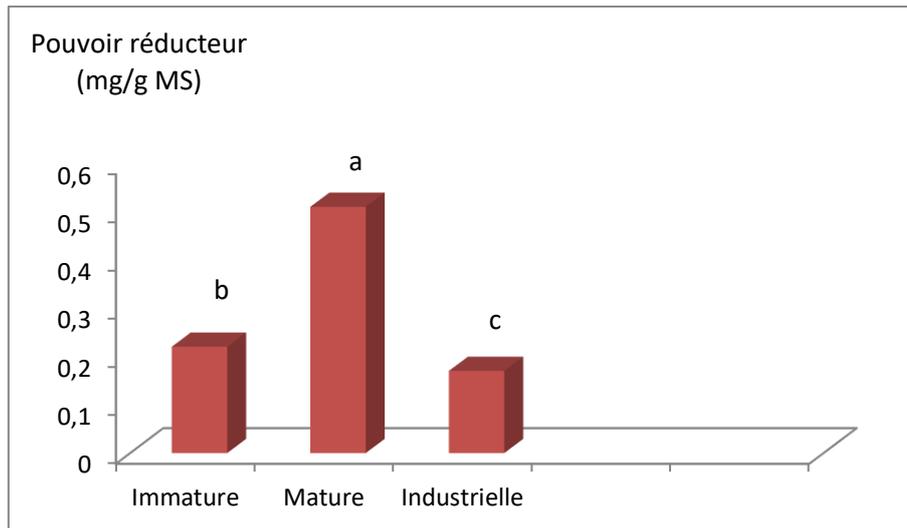
L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 a révélé une différence significative entre les échantillons. Les résultats obtenus ont montrés une activité antioxydante importante pour les trois types de poudre de la caroube (figure 19). On remarque une valeur élevée enregistrée pour la poudre de la caroube immature qui est de 83,18%, suivie de poudre de la caroube mature et de la poudre industrielle qui est de 72,67% et de 74,17% respectivement.

D'après une étude réalisée par **Dudonné et al., (2009)** sur l'activité anti radicalaire de la gousse du caroubier vis-à-vis du radical cation ABTS, ont obtenu un pourcentage d'inhibition de l'ordre de 9,75% en suivant la cinétique de réduction du radical durant 10 min avec une teneur en polyphénols totaux de 23,58 mg EAG/g du poids sec.

Plusieurs facteurs peuvent influencer l'activité antioxydante tels que le matériel végétal (fruit entier, uniquement la pelure, variété), les conditions d'environnement, le mode de conservation des substrats d'extraction, aussi que de nombreux paramètres liés au solvant et à la méthode d'extraction (température, durée et nombre de répétitions d'extraction, etc.) (**Levizou et al., 2004 ; Pinelo et al., 2005**).

### II.3. Pouvoir réducteur

Les teneurs du pouvoir réducteur obtenues sont illustrées sur la figure e suivante :



**Figure 20 :** Teneur du pouvoir réducteur des différents échantillons.

*Les échantillons portant des lettres différentes sont différent significativement au seuil ( $p < 0.05$ ).*

Les résultats sont classé par ordre croissants,  $c < b < a$ . Les trois échantillons étudiés présentent un faible pouvoir réducteur, ces valeurs sont par ordre croissant, commençant par la poudre de la caroube industrielle qui est de 0,17 mg/g MS, suivi par la poudre de la caroube immature avec de 0,22 mg/g MS, et enfin la poudre mature qui a marqué une valeur 0,51 mg/g MS.

Le pouvoir réducteur est la capacité qu'a un extrait à donner un électron et à réduire le fer. De nombreux auteurs considèrent la capacité réductrice d'un composé comme indicateur significatif de son pouvoir antioxydant (**Tepe et al., 2005**).

L'activité antioxydante des composés phénoliques est principalement due à leurs propriétés redox, qui peuvent avoir un rôle efficace dans l'absorption et la neutralisation des radicaux libres (**Osawa., 1994**).

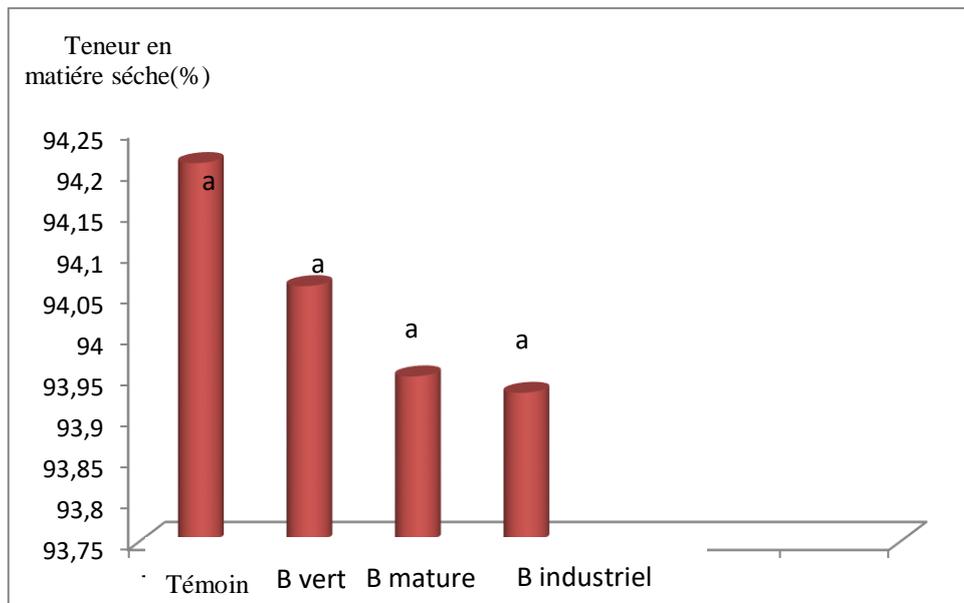
### ❖ Pour les biscuits

Les biscuits sont un moyen idéal pour transporter de nombreux ingrédients bénéfiques sur le plan nutritionnel (**Siro et al., 2008; Ansari et Kumar, 2012**). La qualité des biscuits est influencée par plusieurs facteurs tels que la nature des ingrédients utilisés et les traitements effectués au cours de procédé de préparation (**Sudha et al., 2007; Devi et Khatkar, 2016**).

L'objectif de ce travail était de caractériser le biscuit préparé à base de différentes poudres de la caroube et évaluer ces propriétés physicochimiques.

### II.1. Teneur en matière sèche

Les teneurs en matière sèche obtenues sont illustrées sur la figure suivante :



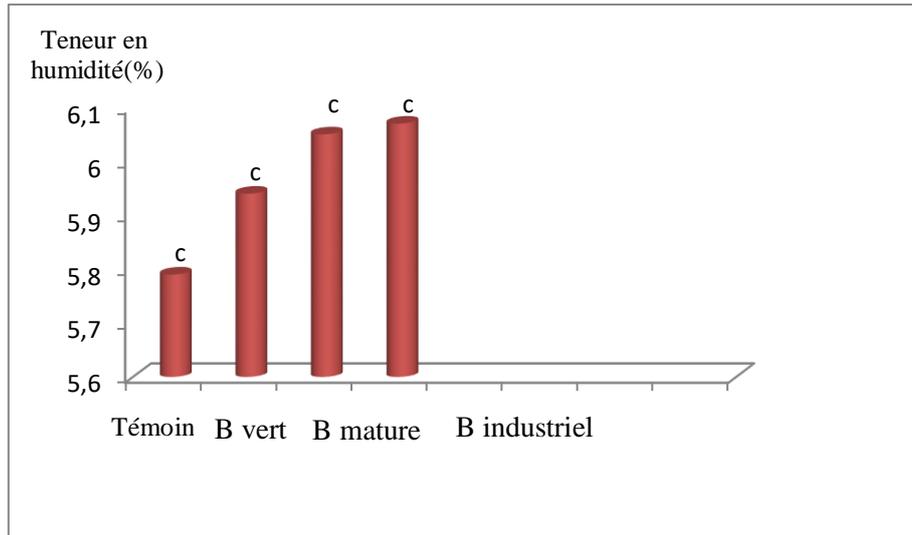
**Figure 21:** Teneur en matière sèche des différents échantillons de biscuit.

*Les échantillons portant des lettres différentes sont différent significativement au seuil ( $p < 0.05$ ).*

La figure 21 montre que le biscuit témoin présentait le rapport de propagation le plus élevé (94,21%) en comparaison aux biscuits enrichis (94,06% pour le biscuit préparé à base de la poudre immature ; 93,95% par rapport au biscuit fait à partir de la caroube mature et 93,93% pour le biscuit préparé à base de la poudre industrielle). Quoique l'analyse statique ANOVA a révélée aucune différence significative au seuil ( $p < 0.05$ ) pour les échantillons étudiés, ce qui signifie que ces différences sont négligeables.

### II.2. Teneur en humidité :

Les teneurs en humidité obtenus sont illustrées sur la figure suivante :



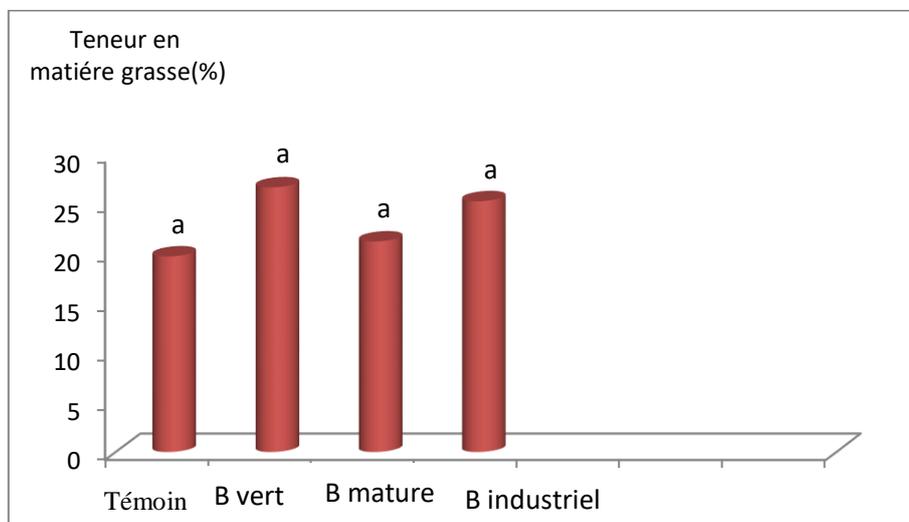
**Figure 22:** Teneur en humidité des différents échantillons de biscuit.

*Les échantillons portant des lettres différentes sont différent significativement au seuil ( $p < 0.05$ ).*

La teneur en humidité du biscuit témoins est inférieure à celle des biscuits enrichis qui est de 5,79 % (figure 22), l'étude comparative entre les trois types des biscuits enrichis montre que les teneurs en humidité sont très rapprochées avec un ordre croissant (biscuit à base de la poudre industrielle, puis celui à base de la caroube mature et enfin le biscuit enrichi avec la poudre de la gousse verte, avec des proportions (6,07 ; 6,05 et 5,94%) respectivement. L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 n'a révélé aucune différence significative entre les différents échantillons.

### II.3. Teneur en matière grasse :

Les teneurs en matière grasse obtenus sont illustrées sur la figure suivante :



**Figure 23 :** Teneur en matière grasse des différents échantillons de biscuit.

Les échantillons portant des lettres différentes sont différent significativement au seuil ( $p < 0.05$ ).

La teneur en matière grasse est déterminée par la méthode de Soxhlet, notant ainsi que de multiples paramètres influent sur le taux de matière grasse comme la granulométrie, l'humidité, la nature du solvant et la méthode d'extraction utilisée.

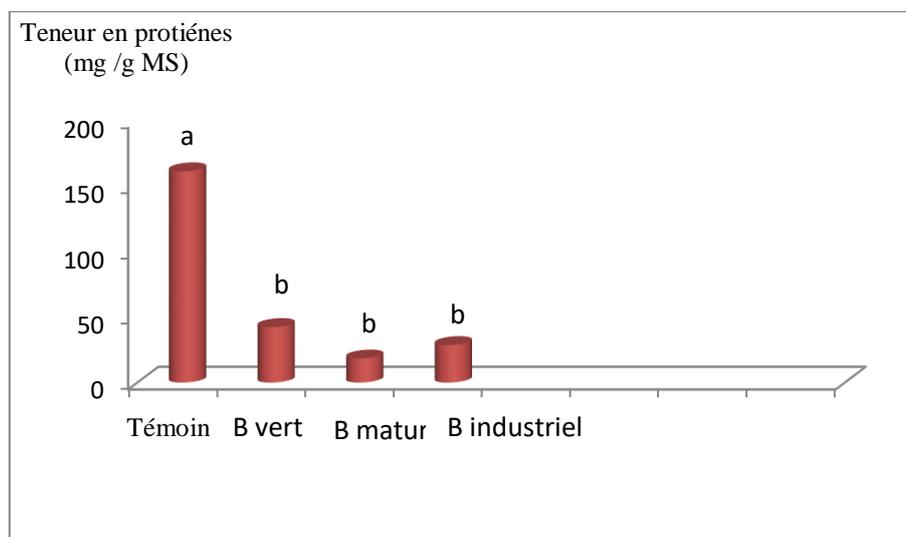
D'après les résultats obtenus (figure 23), on enregistre une teneur en matière grasse élevée pour les trois types du biscuit enrichi en comparant avec le témoin. Le biscuit préparé à base de poudre de la caroube verte a une teneur en matière grasse élevée suivie par celui à base de la poudre industrielle et enfin le biscuit enrichi avec la poudre de la gousse mature de la caroube avec des proportions proches. L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 n'a révélé aucune différence significative entre les différents échantillons.

Selon la norme utilisée dans la recette d'un biscuit bimo enrichi avec la poudre de la caroube dans une industrie, le taux de la matière grasse du biscuit témoin et les biscuits à base de la poudre de la caroube sont dans les normes recommandées (Max=27%) :

- Biscuit témoin : 19,74%.
- Biscuit enrichi avec la poudre de la caroube immature : 26,7%.
- Biscuit enrichi avec la poudre de la caroube mature : 21,25%.
- Biscuit enrichi avec la poudre de la caroube industrielle : 25,3%.

#### II.4. Teneur en protéines :

Les teneurs en protéines obtenues sont illustrées sur la figure suivante :



**Figure 24 :** Teneur en protéines des différents échantillons de biscuit.

Les échantillons portant des lettres différentes sont différent significativement au seuil ( $p < 0.05$ ). Les résultats sont classé par ordre croissants,  $b < a$ .

Les protéines représentent un nutriment important pour le fonctionnement, la structure et l'entretien de l'organisme. Les biscuits offrent un bon véhicule de suppléments précieuses pour l'amélioration nutritionnelle (Zucco et al., 2011).

L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 a révélé une différence significative entre les différents échantillons. La teneur en protéine du biscuit témoin est plus élevée que de celle des biscuits enrichis qui est de 161,86 mg/g (figure 24). Après une étude comparative entre les différents types du biscuit enrichi, on observe que la concentration en protéine du biscuit enrichi avec la poudre de la caroube verte est de 42,62 mg /g MS, et celui enrichi avec la poudre industrielle a marqué une valeur de 28,79 mg /g MS, et l'échantillon enrichi avec la poudre des gousses de la caroube mature a 18,5 mg /g MS de concentration en protéine.

La différence entre les teneurs de protéines obtenues, peut être expliquée par la capacité des polyphénols à interagir avec les protéines, ce qui a comme conséquence la diminution de la teneur en protéines pour les échantillons enrichis.

Les polyphénols ont une large gamme d'effets biochimiques, et parmi ces effets figure une propriété importante, qui a fait l'objet de plusieurs études ; interaction des polyphénols avec les protéines. Les polyphénols ont une affinité significative pour les protéines et pour les peptides. Cependant la plupart de ces recherches sont basées sur l'étude des interactions entre les tannins et les protéines (Richart et al., 2006).

### II.2 .5. Dosage des polyphénols:

Les concentrations en polyphénols obtenus sont illustrées sur la figure qui suit :

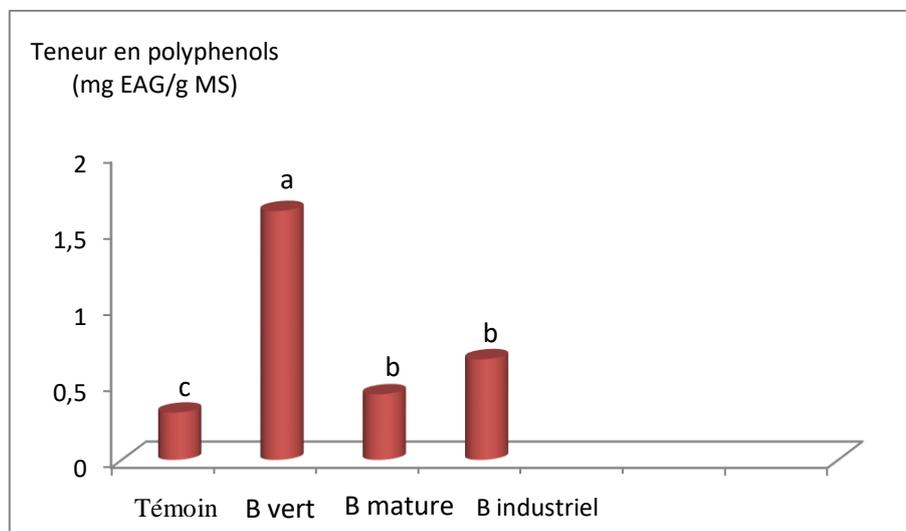


Figure 25 : Concentration en poly phénols des différents échantillons étudiés.

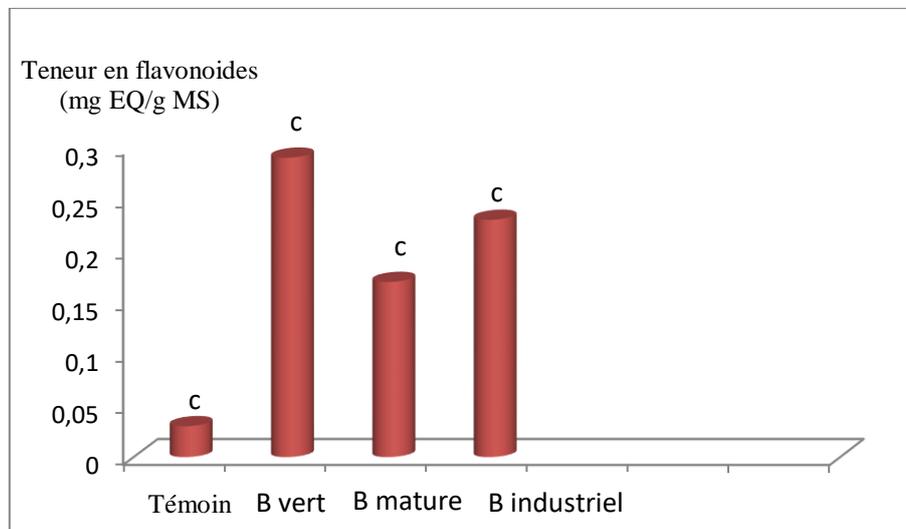
Les échantillons portant des lettres différentes sont significativement différents au seuil ( $p < 0.05$ ). Les résultats sont classés par ordre croissants,  $c < b < a$ .

L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 a révélé une différence significative entre les différents échantillons. La teneur en polyphénols des biscuits enrichis est plus élevée en comparant avec le témoin (figure 25), les concentrations en polyphénols enregistrées pour les biscuits enrichis (B Vert, B Mature et B Industriel) sont inférieures (1,63 ; 0,43 et 0,66 mg EAG/g MS respectivement) à la concentration en poudre de la caroube qui est de 21,18 mg EAG/g MS enregistré pour la poudre de la caroube verte, de 0,8 mg EAG/g MS pour la gousse mure et de 9,59 mg EAG/g MS pour la poudre industrielle .

Les traitements effectués (thermiques) entraînent une diminution significative du contenu phénolique des différents types du biscuit enrichi.

### II.6. Dosage des flavonoïdes

Les concentrations en flavonoïde obtenus sont illustrées sur la figure qui suit :



**Figure 26 :** Concentration en flavonoïdes des différents échantillons étudiés.

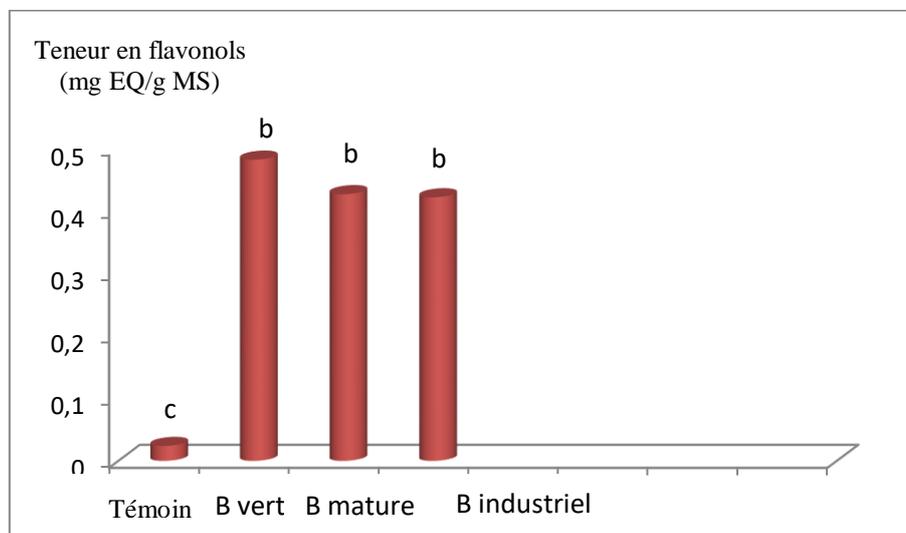
Les échantillons portant des lettres différentes sont différents significativement au seuil ( $p < 0.05$ ).

L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 n'a révélé aucune différence significative entre les différents échantillons. La teneur en flavonoïdes du biscuit témoin est inférieure à celle des biscuits enrichis (figure 26). Une étude comparative avec les trois échantillons de poudre de la caroube nous montre que la teneur en flavonoïdes des biscuits enrichis sont inférieures à celle de la matière première : 0,29 mg EQ/g MS pour le biscuit enrichi avec poudre de la caroube verte, 0,17 mg EQ/g MS pour le biscuit enrichi avec poudre de la gousse mure et de 0,23 mg EQ/g MS enregistrée pour la poudre industrielle.

Ceci peut être expliqué par l'effet de la température de cuisson élevée du biscuit qui a dégradé les flavonoïdes. Les quantités obtenues sont exprimés en mg d'équivalent Quercétine (EQ)/g de matière sèche (MS).

### II .7.Dosage des flavonols :

Les concentrations en flavonols obtenus sont illustrées sur la figure qui suit :



**Figure 27 :** Concentration en flavonols des différents échantillons de biscuit.

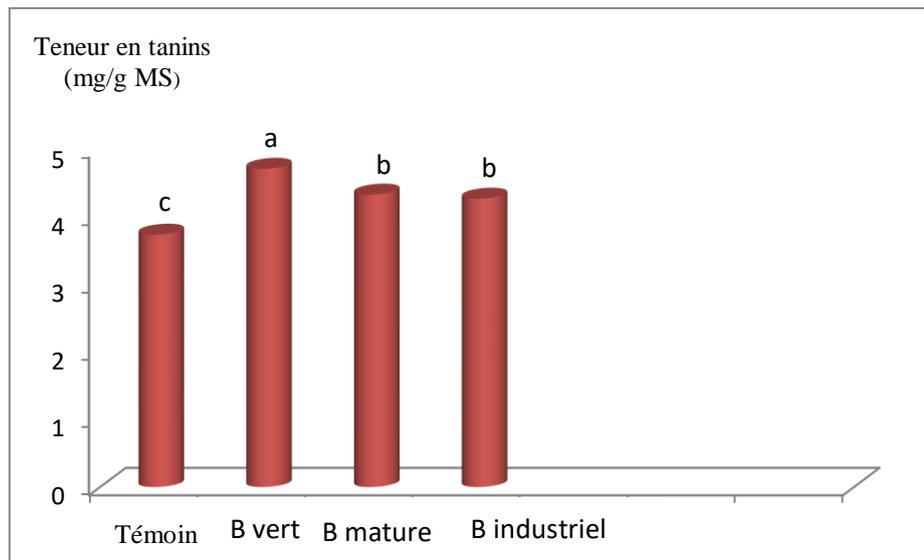
*Les échantillons portant des lettres différentes sont différents significativement au seuil ( $p < 0.05$ ). Les résultats sont classés par ordre croissants,  $c < b$ .*

L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 a révélé une différence significative entre les différents échantillons. La teneur en flavonols des biscuits enrichis est plus élevée par rapport au biscuit témoin (figure 27). L'analyse statistique a révélée que la teneur en flavonols présente des différences significatives entre les différents échantillons de biscuits étudiés. La valeur la plus importante est obtenue pour le biscuit enrichi par la poudre verte (0,48 mg EQ /g MS) suivi par le biscuit enrichi par la poudre mature (0,43 mg EQ /g MS) et la valeur la plus faible est représentée par le biscuit enrichi par la poudre industrielle (0,42 mg EQ /g MS).

Après une étude comparative entre les différents types de poudre de la caroube et du biscuit enrichi, on observe que la concentration en flavonols de poudre de la gousse mature (0,52 mg EQ/g MS) est supérieure à celle du biscuit enrichi (0,42 mg EQ/g MS), et une augmentation remarquable était enregistrée pour les deux biscuits enrichis avec poudre de la gousse verte (0,48mg EQ/g MS) et la poudre industrielle (0,42 mg EQ/g MS).

### II.8. Dosage des tanins :

Les concentrations en tanins obtenus sont illustrées sur la figure qui suit :



**Figure 28 :** Concentration en tanins des différents échantillons de biscuit.

Les échantillons portant des lettres différentes sont différents significativement au seuil ( $p < 0.05$ ). Les résultats sont classés par ordre croissant,  $c < b < a$ .

L'analyse de la variance ANOVA au seuil de signification 0,05 a révélé une différence significative entre les différents échantillons. La concentration en tanins du biscuit témoin est inférieure à celle enregistrée pour les trois types de biscuit enrichi (figure 28). Une étude comparative montre que les teneurs en tanins sont très rapprochées avec un ordre croissant (biscuit préparé avec la poudre industrielle qui est de 4,27 mg /g MS, puis celui à base de la caroube mature qui est de 4,33 mg /g MS et enfin le biscuit enrichi avec la poudre de la gousse verte qui est de 4,71 mg /g MS).

### III. Analyse sensorielle

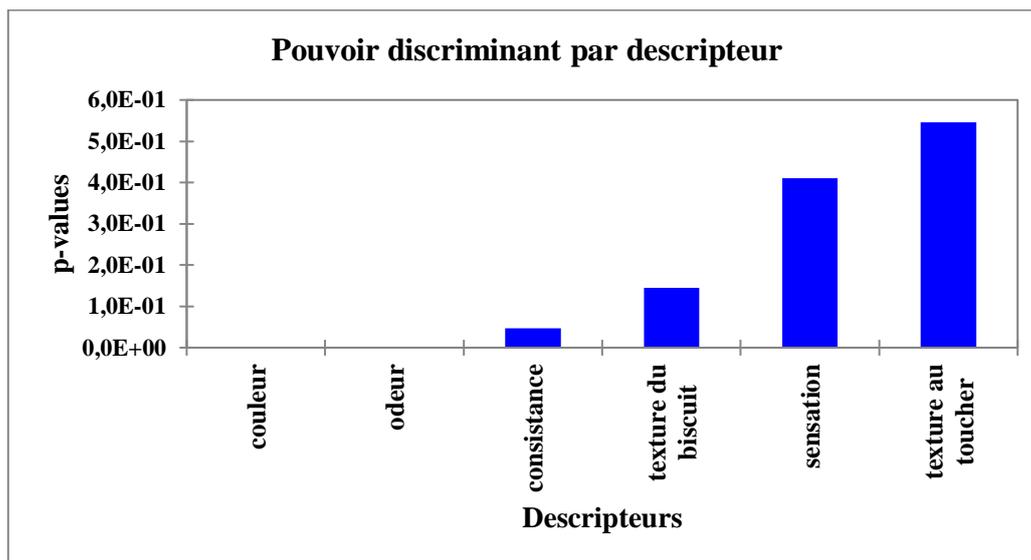
Après avoir réalisé la dégustation sensorielle, et avoir saisi sur le logiciel les données des jurys experts, la procédure de génération d'un plan d'expérience a été lancée.

### III.1. Caractérisation des produits

Selon **Husson et al. (2009)**, ce test permet de caractériser rapidement les produits selon les normes suivant la préférence du jury expert. Il s'agit donc d'identifier les descripteurs distinctifs, le meilleur produit et déterminer les caractéristiques importantes de ce dernier, dans le cadre de l'analyse sensorielle.

### III.2. Pouvoir discriminant par descripteur

Ce teste montre les descripteurs ordonnés avec les descripteurs discriminants les plus forts et les plus faibles. La figure 29 ci-dessous montre la capacité de distinction des descripteurs du panel d'experts.



**Figure 29** : Pouvoir discriminant par le descripteur.

La figure 29 présente les descripteurs du plus discriminants au moins discriminants sur les 4 échantillons de biscuits. Il permet de visualiser que : la couleur, odeur sont les descripteurs les plus discriminants, les p-valeur associées montrent toutes un effet significatif du descripteur.

Cela prouve que les experts ont constaté des divergences de ces descripteurs pour les 04 échantillons préparés selon des différentes poudres de la caroube, ce qui signifie la réussite du procédé de la fabrication adopté.

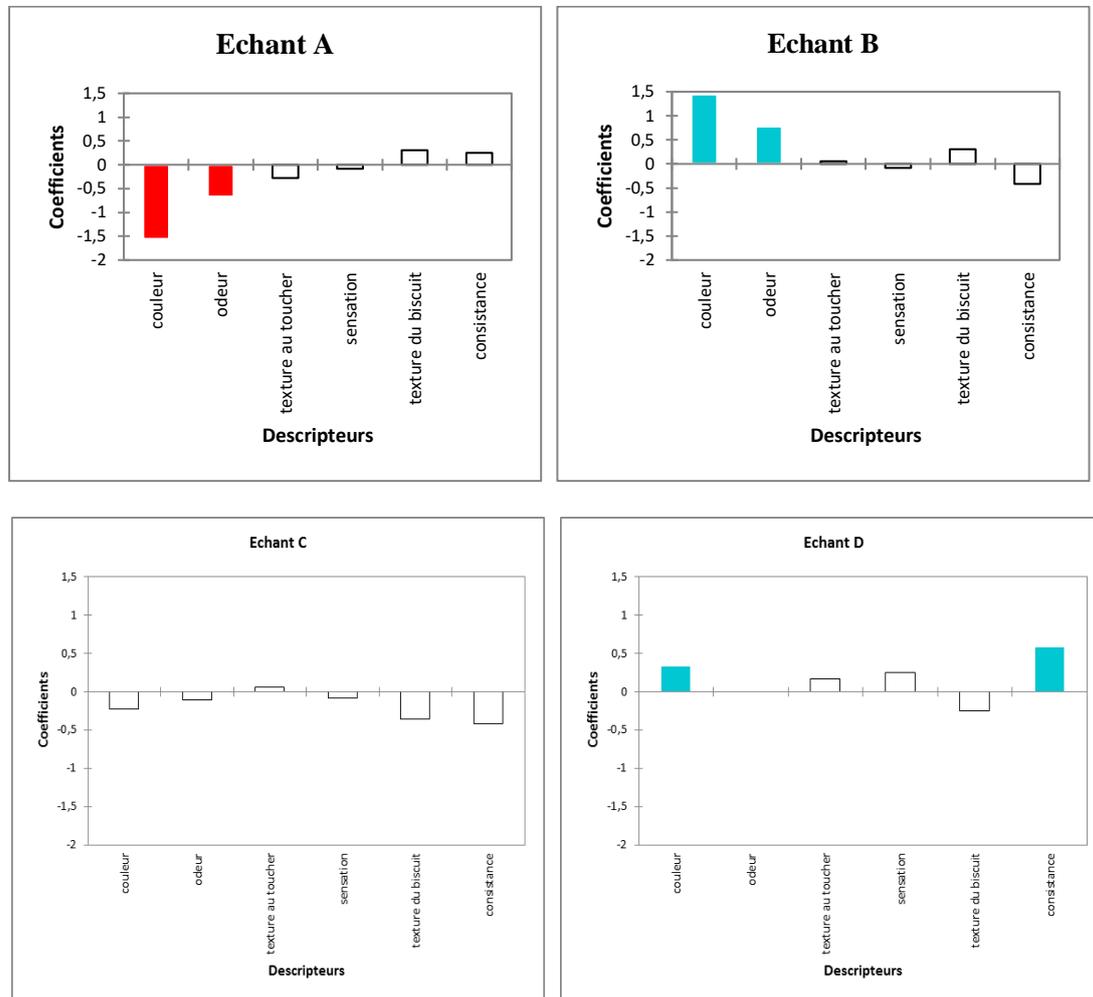
Les descripteurs, texture au toucher, sensation, n'ont pas été discriminants, ce qui explique que les experts n'ont pas pu déceler les différences entre les 4 échantillons.

Les descripteurs consistance et texture du biscuit, sont les moins discriminants. Cela prouve que les experts ont constaté de faibles divergences de ces descripteurs pour les 04 échantillons du biscuit.

## III.3.Coefficient des modèles

Dans ce test, les résultats obtenus pour chaque combinaison descripteur-produit, le coefficient, la moyenne estimée, la p-value ainsi qu'un intervalle de confiance sur le coefficient sont affichés.

Les résultats des coefficients du modèle sont présentés sur la figure 30 :



**Figure 30:** Coefficients des modèles des quatre échantillons des biscuits.

Les graphes présentés sur la figure 30 permettent de définir l'appréciation ou non appréciation des descripteurs des 04 échantillons du biscuit À, B, C et D par les jurys experts. Les résultats sont notés comme suit :

- Bleu** : les coefficients dont les caractéristiques sont significativement positifs.
- Rouge** : les coefficients dont les caractéristiques sont significativement négatifs.
- Blanc** : les coefficients dont les caractéristiques ne sont pas significatifs.

- **L'échantillon A** : les caractéristiques : odeur et couleur sont en rouge tandis que la texture au toucher, sensation, texture du biscuit et la consistance, sont en blanc.

Cela montre que le biscuit A est caractérisée par une odeur et couleur très faible.

- **L'échantillon B** : les caractères texture au toucher, sensation, texture du biscuit et sensation sont en blanc, ce qui implique que le biscuit B est caractérisés par une odeur et couleur fortement intense.
- **L'échantillon C** : les caractères odeur, couleur, texture au toucher, sensation et texture du biscuit sont en blanc ce qui signifie que le biscuit C n'est pas caractérisée.
- **L'échantillon D** : les caractères texture au toucher, sensation, texture du biscuit sont en blanc, tandis que l'odeur et consistance sont en bleu ce qui démontre que l'échantillon D caractérisés par l'odeur et consistance qui sont fortement intense.

### III.4. Moyennes ajustées par produits

Ce test a pour objectif de définir les moyennes ajustées calculées à partir du modèle pour chaque combinaison descripteur-produit :

Tableau III permet de faire ressortir les moyennes quand les différents échantillons sont croisés. Les résultats des moyennes ajustées par produit sont représentés comme suit :

- Les cellules en bleu sont les moyennes qui sont significativement plus grandes que la moyenne globale.
- Les cellules en rouge sont les moyennes qui sont significativement plus petites que la moyenne globale.
- Les cellules en blanc sont les moyennes qui ne sont pas significatives.

**Tableau III** : Moyenne ajustée par produits pour les jurys experts.

	couleur	texture au toucher	odeur	sensation	consistance	texture du biscuit
Echant B	4,889	2,111	3,778	3,333	3,444	4,222
Echant D	3,778	2,222	3,000	3,667	4,444	3,667
Echant C	3,222	2,111	2,889	3,333	3,444	3,556
Echant A	1,889	1,778	2,333	3,333	4,111	4,222

Cela implique que :

- Le biscuit A : est caractérisés par une couleur et odeur faible.
- Le biscuit B : est caractérisés par une couleur et odeur fortement intense.
- Le biscuit C : n'a aucune caractérisation.
- Le biscuit D : est caractérisés par une couleur et consistance fortement intense.

### **III.5.Préférence MAPPING (cartographie des préférences) :**

Cette méthode permet de relier les préférences exprimées par les consommateurs aux caractéristiques physico-chimiques, sensorielles ou économiques des produits.

Cette approche est essentielle car ce n'est que sur cette base que les équipes marketing pourront adapter les produits aux goûts des consommateurs.

La préférence MAPPING permet de visualiser sur une même représentation graphique (en deux ou trois dimensions) d'une part des objets, et d'autre part des indications montrant le niveau de préférence des consommateurs en certains points de l'espace de représentation.

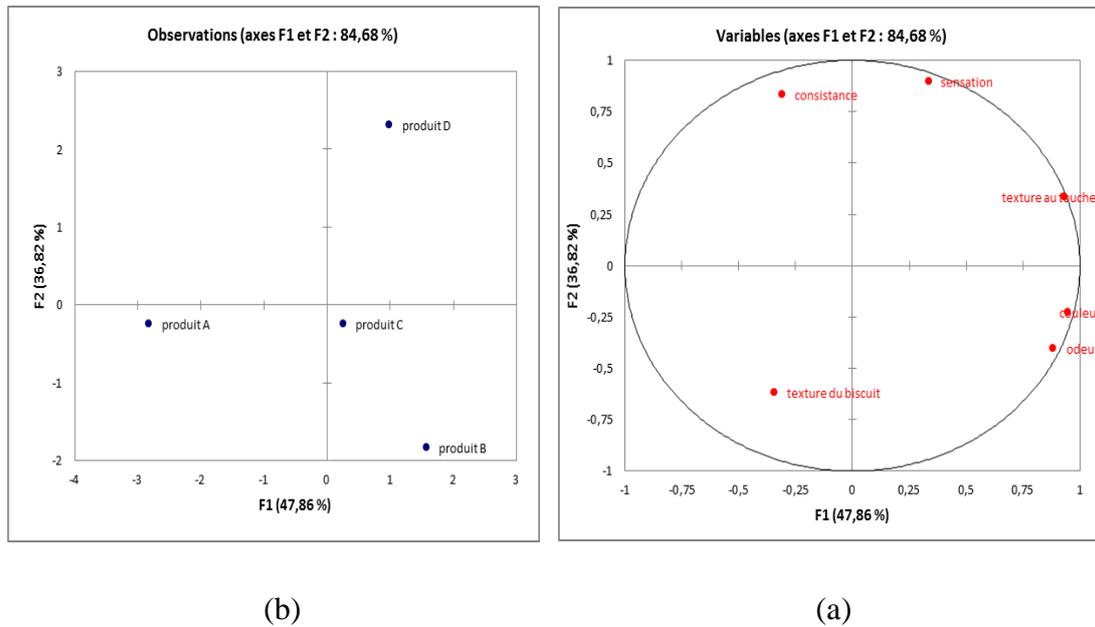
Afin de pouvoir effectuer une cartographie de préférence externe, on n'a eu besoin de deux types de données :

- Les notes d'acceptabilité attribuées par les consommateurs pour chaque échantillon pour réaliser une Classification Ascendante Hiérarchique (CAH).
- Les notes moyennes données par les experts pour chaque attribut étudiant pour effectuer une Analyse en Composante Principale (ACP).

### **III.6.Analyse en composante principale (ACP).**

L'ACP est l'une des méthodes d'analyse des données multi variées les plus utilisées. Dès lors que l'on dispose d'un tableau de données quantitatives (continue ou discrètes) dans lequel n observations (individus, produit...) sont décrites par p variables (descripteurs, attributs, mesures...). (jolliffe., 2002).

Le cadre ci-dessous présente les corrélations entre les variables et les facteurs par l'ACP.



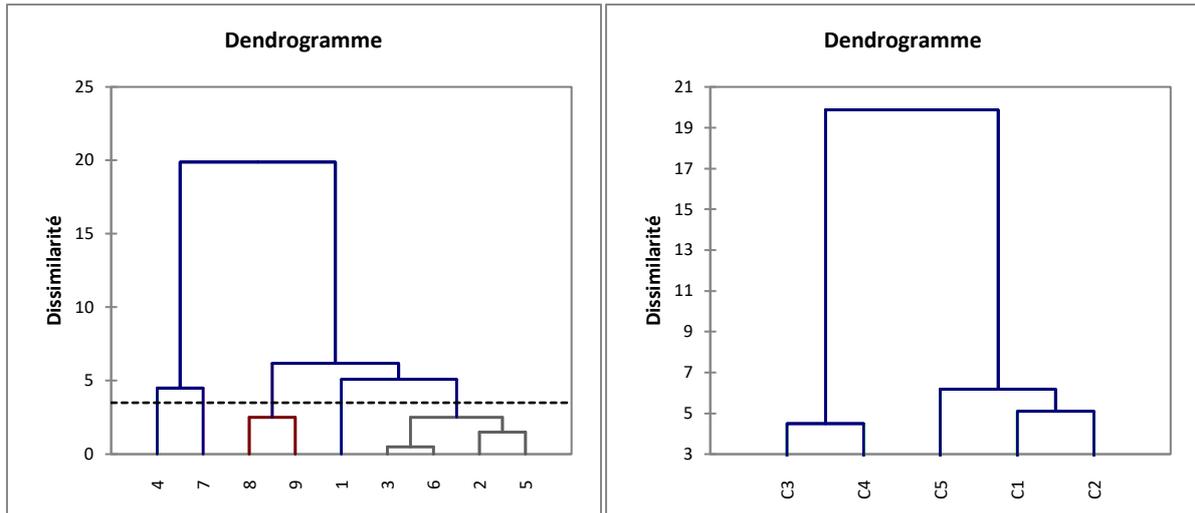
**Figure 31** : corrélation entre les variables (a) et les facteurs (b).

La figure 31 montre que les descripteurs ne sont pas tous présentés dans le cercle et que le niveau de variabilité est de 84,68%. Cela permet de constater que les quatre échantillons des biscuits ne sont pas perçus par les experts.

### III.7. Classification ascendante Hiérarchique (CAH)

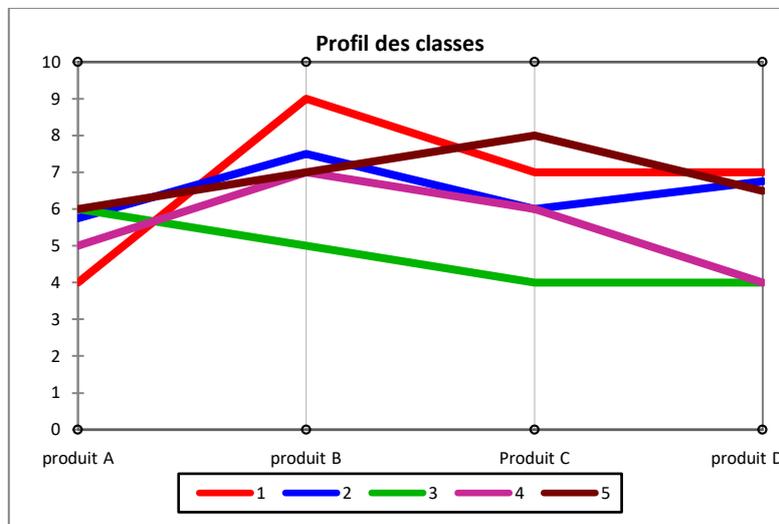
Le CAH est une méthode de classification. Les résultats permettent de visualiser le regroupement progressif des données produisant un arbre binaire de classification (dendrogramme), dont la racine correspond à la classe regroupant l'ensemble des individus (Everitt et al .200).

Les dendrogrammes suivants permettent de représenter les différentes classes créées par les consommateurs naïfs.



**Figure 32:** Dendrogramme des consommateurs naïfs (a), les différentes classes de consommateurs naïfs (b).

Le graphe suivant (figure 33) permet de représenter le profil des différentes classes créées :



**Figure 33 :** Profil des différentes classes créées.

La figure 32 et 33 permet de visualiser et de comparer graphiquement les moyennes des quatre classes générées par la CAH.

Une fois que les étapes précédentes sont effectuées, le PREFMAP peut être réalisé.

### III.8.Synthèse de Mapping des préférences

Les classifications des objets par ordre croissant de la préférence est résumé dans le tableau suivant :

**Tableau IV** : Objets classés par ordre croissant de préférence.

C1	C2	C3	C4	C4
produit A	produit A	produit D	produit D	produit A
produit D	produit D	produit B	produit A	produit D
Produit C				
produit B	produit B	produit A	produit B	produit B

Tableau IV : correspond à la classification des objets par ordre croissant de la préférence des échantillons pour chaque juge. La dernière correspond aux objets les plus préférés des juges.

- Le produit plus préféré selon la classe 1 est le produit B.
- Le produit le plus préféré selon la classe 2 est le produit B.
- Le produit le plus préféré selon la classe 3 est le produit A.
- Le produit le plus préféré selon la classe 4 est le produit B.
- Le produit le plus préféré selon la classe 5 est le produit B.

Le pourcentage de satisfaction des juges pour chaque objet est résumé dans le tableau suivant :

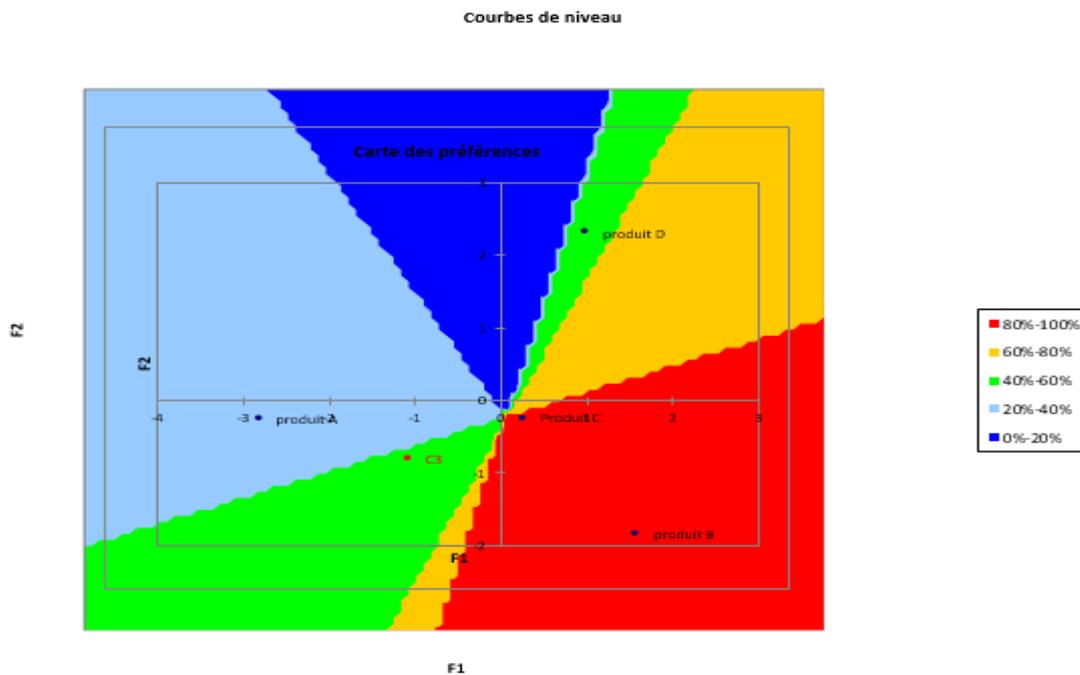
**Tableau V**: pourcentage de juges satisfait pour chaque biscuit.

Objets	%
Produit A	20%
Produit B	80%
Produit C	80%
Produit D	40%

Le tableau montre que le biscuit B et C possèdent le même pourcentage de satisfaction le plus élevé de 80%, alors que le biscuit A et D ont des pourcentages un peu faible que B et C (20, 40%).

Cela montre que les juges n'apprécient pas au même niveau les 4 biscuits avec les différentes poudres de la caroube.

La figure suivante définit la courbe des niveaux et la carte de préférence :



**Figure 34** : profil des différentes classes créés.

Le graphique des courbes de niveau permet de visualiser le pourcentage de groupes donnant une préférence supérieure à la moyenne en un point donné de la carte des préférences.

D'après les résultats obtenus, il apparaît que les biscuits les plus appréciés sont B et C avec un même pourcentage de 60% à 80%, le biscuit D est moyennement appréciés avec un pourcentage de 40% à 60%, alors que le biscuit A est le moins appréciés avec un pourcentage de 0% à 20%, cela dû aux différents critères appréciés pour chaque biscuit.

- Le biscuit A : est caractérisés par une couleur et odeur faible.
- Le biscuit B : est caractérisés par une couleur et odeur fortement intense.
- Le biscuit C : n'a aucune caractérisation.
- Le biscuit D : est caractérisés par une couleur et consistance fortement intense.

# Conclusion

L'étude réalisée a pour objectif primordial de faire de valoriser la caroube. Notre étude nous a permis de mettre en évidence une incorporation des trois types de poudre de la caroube (à partir de la gousse mature, immature et aussi la poudre industrielle) dans l'élaboration d'un biscuit enrichi en touchant plusieurs volets :

Le premier volet comprend : une étude comparative des paramètres physicochimiques des différents types de la poudre de la caroube .Les résultats obtenus indiquent que la poudre immature est plus riche en eau, en polyphenols avec des taux de 39,4% ; 21,18 mg EAG/g MS respectivement, alors que la poudre mature a une teneur la plus importante en matière sèche, et en protéine avec des valeurs de 97,36% ;60,99mg/g MS, respectivement. Les teneurs les plus accrues en flavonoïdes, flavonols et en tanins ont été observées dans la poudre industrielle avec 1,46 mg EQ/g MS ; 1,82 mg EQ/g MS et 9,37mg/g MS respectivement.

Selon les résultats obtenus du test de l'effet scavenger du radical DPPH, les échantillons testés jouissent d'un potentiel anti radicalaire de l'ordre de 18,11% pour les gousses immatures et 58,66% pour les gousses matures, donc les deux types de *Ceratonia siliqua* donnent une activité antioxydante importante.

L'activité antioxydante des différents échantillons a été évaluée également par leur capacité à inhiber le radical ABTS<sup>+</sup> au cour du temps. Le pourcentage d'inhibition le plus haut a été observé au niveau de la poudre immature (83,18%), et des proportions proches pour les deux autres échantillons (la poudre mature est de 72,67% et la poudre industrielle est de 74,17%).

Les résultats du pouvoir réducteur du fer ferrique des poudres étudiées ont montrés que les échantillons testés présentent une faible activité réductrice avec l'ordre croissant suivant : poudre industrielle (0,17 mg /g MS) < immature (0,22 mg /g MS) < mature (0,51mg /g MS).

Le deuxième volet de cette étude a été consacré pour l'analyse sensorielle : d'après les résultats sensoriels réalisés et les statistiques, on peut dire que le biscuit élaboré est préféré presque à 67% avec attributs sensoriels différents d'un échantillon à un autre.

D'après les résultats obtenus, il ressort que le biscuit le plus apprécié est B et C avec un même pourcentage (80%), alors que le moins apprécié est le biscuit A avec un pourcentage de 20%. Cela est dû aux différents critères appréciés pour chaque biscuit.

En perspectives de cette étude, il serait souhaitable de :

- ✓ Réaliser une recette à 100% farine de caroube qui sera une bonne solution visant à satisfaire toute la population parmi laquelle les personnes atteintes de maladie cœliaque.
- ✓ Remplacer la totalité de sucre utilisé dans la fabrication du biscuit par le sucre bio de la caroube.
- ✓ Faire une étude économique sur le coût de ces produits élaborés par l'incorporation de la farine de caroube.
- ✓ L'industrialisation des biscuits à base de la caroube.

Un tel fruit avec des potentiels et des aptitudes à la transformation alimentaire industrielle devrait avoir sa place dans le secteur agroalimentaire et c'est ce qui a attiré l'intérêt de plusieurs chercheurs.

## Références bibliographiques

### A

- **AACC, 2000b.** Official Methods of Analysis. 10ème édition. American Association of Cereal Chemistry. États-Unis, St. Paul., Minnesota.
- **AACC, 2012.** Official Methods of Analysis. 11ème édition. American Association of Cereal Chemistry. États-Unis, St. Paul., Minnesota.
- **Adedapo Adeolu,A.,Jimoh Florence, O., Afolayan Anthony, J., Masika PatrickJ., (2008).** Antioxidant activities and phenolic contents of the methanol extracts of the stems of *Acokanthera oppositifolia* and *Adenia gummifera*. *Complementary and alternative medicine* (8):54.
- **Ait Chitt, M.,Lazrak, A. (2007).** Production des plantes sélectionnées et greffées du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture, N°1533, IAV Rabat, pp. 1-4.
- **Albanell, E. (1990).** « Caracterización morfológica, composición química y valor nutritivo de distintas variedades de garrofa (*Ceratonia siliqua* L.) cultivadas en España ». Tesis doctoral. Barcelona. España. PP : 209.
- **Andersen, PM., Nilsson, P., Keränen, ML.,Forsgren, L., Hägglund, J., Karlsborg, M.,Marklund, SL (1997).** Hétérogénéité phénotypique chez les patients atteints d'une maladie du motoneurone avec des mutations CuZn-superoxydedismutase en Scandinavie. *Cerveau : un journal de neurologie*, 120 (10), 1723-1737.
- **Ansari,M.M., Kumar, S.(2012).** Fortification of Food and Beverages with Phytonutrients. *Food and Public Health*, 2(6) : 241253.DOI : 10.5923/j.fph.20120206.09.
- **Avallone, R., Plessi, M., Baraldi, M., Monzani A.(1997).**« Determination of chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua*) : protein, fat, carbohydrates, and tannins ». *J. Food Comp. Anal.*, 10 (2) .PP: 166-172.
- **Ayaz, FA., Torun, H., Ayaz S., Correia P.J, AlaizM., Sanz C., Gruz J., Strnad M. (2007).**Determination of Chemical Composition of Anatolian Carob Pod (*Ceratonia Siliqua* L.): Sugars, Amino and Organic Acids, Minerals and Phenolic Compounds, *Journal of food quality*, vol. 30, N o 6, pp. 1040-1055.

- **Ayaz F.A., Torun, H., Glew R.H., Bak Z.D., Chuang L.T., Presley J.M., Andrews R.(2009).** Nutrient Content of Carob Pod (*Ceratoniasiliqua L.*) Flour Prepared Commercially and Domestically, *Plant Foods Hum Nutr.* 64: 286–292.

## B

- **Battle, I., Tous, J. (1997).** Carob tree *CeratoniasiliquaL.*, Promoting theconservation and use of underutilized and neglected crops. 17, *Gatersleben: Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Rome: International Plant Genetic Resources Institute*, pp. 92.
- **Berrougui, H. (2007).** Le caroubier (*Ceratoniasiliqua L.*), une richesse nationale aux vertus médicinales. *Maghreb Canada Express* 5, 20.
- **Biner, B., Gubbuk,H., Karhan,M., Aksu,M. et Pekmezci,M. (2007).** Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratoniasiliqua L.*) inTurkey, *Food Chemistry N°100*.
- **Boizot, N., & Charpentier, J. P., (2006).** Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Cahier des Techniques de l'INRA*, 79-82.
- **Bougandoura, N., Bebdimerad, N. (2013).** Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha ssp. Nepeta (L.) Briq.* *Nature & Technologie*, 9, 14-15.
- **Brunet. (2008).** Analyse des mécanismes d'action antiparasitaire de plantes riches en substances polyphénoliques sur les nématodes du tube digestif des ruminants (Doctoral dissertation, Université de Toulouse, Université Toulouse III-Paul Sabatier).
- **Bruneton, J. (1999).** Pharmacognosie phytochimie plantes médicinales. Édition Technique et Documentations. PP : 227-445.

## C

- **Chang, CC., Yang, MH., Wen, HM.,Chern, JC.(2002).** Estimation de la teneur totale en flavonoïdes de la propolis par deux méthodes colorimétriques complémentaires. *Journal d'analyse des aliments et des médicaments*, 10 (3).

- **Chaudiere, J.,Ferrari-Iliou, R. (1999).**Intracellular Antioxidants From Chemical to Biochemical Mechanisms. *Food and Chemical Toxicology*, 37, 949-962.

## D

- **Dacosta,E. (2003).** Les phytonutriments bioactifs. Yves Dacosta (Ed). Paris.
- **Damintoti,K., DH Mamoudou, S., Jacques., AS Traoré.(2005).** Activités antioxydantes et antibactériennes des polyphénols des plantes thnomédicinales du Burkina Faso. *Afr. J. Biotechnol.*, 4 : 823-828.
- **Denis, A. (2011).** Les biscuits et gâteaux: toute une diversité. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 46(2), 86-94.
- **Devi, A., Khatkar, B.S. (2016).** Physicochemical, rheological and functional properties of fats and oils in relation to cookie quality: a review. *Journal of Food Science and Technology*, 53(10): 3633-3641.
- **Diallo, A. (2005).** Etude de la phytochimie et des activités biologiques de *Syzygium*.
- **Dudonné, S., Vitrac, X., Coutière,P., Woillez,M., Mérillon, JM. (2009).** Comparative study of antioxidant properties and total phenolic content of 30 plant extracts of industrial interest using DPPH, ABTS, FRAP, SOD, and ORAC assays. *J Agric Food Chem*, 57, 1768– 1774.
- **Duraffourd, C., Lapraz, J-C., Chemli, R. (1997).** La plante médicinale de la tradition à la science. 1er congrès Intercontinental. Tunis. Ed. Granche. Paris, 222. *Guineensewilld. (MYRTACEAE)*. Thèse de Doctorat. Mal.

## E

- **El Hajaji, H., Lachkar. N., Cherrah, Y., Alaoui, K., Farah, A., Ennabili, B., El Bali, B., Lachkar, M. (2010).**Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of Three Variétales of Carob Tree Leaves from Morocco. *Rec. Nat. Prod.* 4:4 193-204.

## F

- **Fadlinizal, AGM., Prasad, KN., Weng, KK., Ismail, A. (2010).** Flavonoid, hesperidin, total phenolic contents and antioxidant activities from Citrus species. *Afr. J. Biotechnol.* 9(3): 326-330.
- **FAOSTAT. (2010).** Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics. [www.fao.org](http://www.fao.org).
- **Favier, A., (2003).** Le stress oxydant. *L'actualité chimique*, 108 (10), 863-832.
- **Favier, A. (2006).** Stress oxydant et pathologies humaines. Vol 64: 390-396, N°6.
- **Feillet, P. (2000)** .Le grains de blé, composition et utilisation. INRA. Paris. 308p.
- **Froehlicher, T., Hennebelle, T., Martin-Nizard, F., Cleenewerck, P., Hilbert, J.L., Trotin, F., Grec, S. (2009).** Phenolic profiles and antioxidative effects of hawthorn cell suspensions, fresh fruits, and medicinal dried parts. *Food Chemistry* 115: 897–903.

## G

- **Gabriela Bernardo-Gila, M., Roque, R., Roseiro, L., B., Duarte, L. C., Girio, F., Esteves P. (2011).** Supercritical extraction of carob kibbles (*Ceratonia siliqua L.*). *Journal of supercritical fluid*, 59: 36–42.
- **Gaouar, N. (2011).** Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes Thèse de Magister en Agronomie .Université de Tlemcen, Algérie. 1-95.
- **Gaté, L., Paul, J., Nguyen .Ba, G, K.D. Tew., H, Tapiero. (1999).** Oxidative stress induced in pathologies the role of antioxidants. *Biomed Pharmacother* .53, P.169-80.
- **Gornall, A. G., Bardawill, C. J., David, M. M. (1949).** Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *Journal of biological chemistry*, 177(2), 751-766.
- **Gubbuk, H., Kafkas, E., Guven, D., Gunes, E., (2010).** Physical and phytochemical profile of wild and domesticated carob (*Ceratonia siliqua L.*) genotypes. *Span. J. Agric. Res.* 8, 1129–1136.
- **Gülcin, I., (2006).** Antioxidant activity of caffeic acid (3,4-dihydroxycinnamic acid). *Toxicology* .217 : 213–220.

- **Gulcin, I., Buyukokuroglu, M. E., Oktay, M., Kufrevioglu, O. I. (2002).** On the in vitro antioxidative properties of melatonin. *Journal of Pineal Research*, 33(3), 167-171.

## H

- **Hagerman., A.E., (2002).** Tannin Chemistry ([www.users.muohio.edu/hagermae](http://www.users.muohio.edu/hagermae)). Institute of Animal Nutrition, University of Hohenheim (Germany).
- **Halliwell, B., Gutteridge, J.M.C. (2007).** *Free Radicals in Biology and Medicine*. 4th ed. Oxford university Press, pp: 20-31.
- **Halliwell, B. (1999).** Mécanismes de défense antioxydants : du début à la fin (du début). *Recherche sur les radicaux libres*, 31 (4), 261-272.
- **Halliwell, B., Whiteman, M. (2004).** Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean? *British journal of pharmacology*. 142:31-2.
- **Han, X. Z., Shen, T., Lou, H. X. (2007).** Dietary polyphenols and their biological significance. *Int. J. Mol. Sci.*, 8 : 950 – 988.
- **Harris, G.G., Brannan, R.G., (2009).** A preliminary evaluation of antioxidant compounds, reducing potential, and radical scavenging of pawpaw (*Asimina tribloba*) fruit pulp from different stages of ripeness. *LWT - Food Science and Technology*, 42: 275–279.
- **Hennebelle,T.(2006).** Investigation chimique, chimio taxonomique et pharmacologique de Lamiales productrices d'antioxydants. Université de sciences et technologiques. Thèse de doctorat de Lille 1 p304.
- **Hui, Y.H., Corke, H., De Leyn, I., Nip, W.K., Cross, N.(2006).** *Bakery Products Science and Technology*. 1ère édition. Blackwell Publishing Professional, 2121 State Avenue, Ames, Iowa 50014, USA, 575 p.
- **Hussein, A.M.S., Shedeed,N.A., Abdel-Kalek, H.H., Shams El-Din, M.H.A. (2011).** Antioxidative, Antibacterial and Antifungal Activities of Tea Infusions from Berry Leaves, Carob and Doum. *Pol. J. Food Nutr. Sci.*, Vol. 61, No. 3, pp. 201-209.
- **Husson, F., Lê,S., Pagès, J. (2009).** *SensoMineR dans Evaluation sensorielle - manuel méthodologique*. 3ème édition, Lavoisier, SSHA, pp 463-470.

## I

- **Iipumbu, L. (2008).** Analyse de la composition de cultivars de caroube (*Ceratonia siliqua*) cultivés localement et développement de produits alimentaires nutritionnels pour une gamme de secteurs de marché (Thèse de doctorat, Stellenbosch : Stellenbosch University).

## J

- **Jeyaramraja, P-R., Meenakshi, S-N., Kumar R-S., Joshi, S-D., Ramasubramanian B. (2005).** Water deficit induced oxidative damage in tea (*Camellia sinensis*) plants. *Journal of plant physiology*. 162:413-421.
- **Jolliffe, I. (2002).** Principal component analysis. *Encyclopedia of Statistics in Behavioral Science*.

## K

- **Khatabi, O., Hanine, H., Elothmani, D., Hasib, A. (2016).** Extraction et dosage des polyphénols et des pigments bêtaïne dans les fruits marocains de figue de Barbarie (*Opuntia ficus indica*). *Journal arabe de chimie*, 9, S278-S281.
- **Kijger, J. L., Kiger, J. G. (1967).** Techniques modernes de la biscuiterie, pâtisserie boulangerie industrielles et artisanales et produits de régime. Ed, Dunda. Tome 1. Paris. 696 p.
- **Korkina, L.G., Afanas'ev, I.B. (1997).** Antioxidant and chelating properties of flavonoids. *Adv. Pharmacol.* 38: 151–163.
- **Kosalec, I., Bakmaz, M., Pepeljnjak, S., Vladimir-Knez'evic', S. (2004).** Quantitative analysis of the flavonoids in raw propolis from northern Croatia. *Acta Pharm.* 54, 65–72.
- **Kumazawa, S., Taniguchi, M., Suzuki, Y., Shimura, M., Kwon, M., Nakayama, T., (2002).** Antioxidant activity of polyphenols in carob pods. *J. Agric. Food Chem.* 50: 373-377.

## L

- **Lehucher-Michel, M.P., Lesgards, J.F., Delubac, O., Stocker, P., Durand, P., Prost, M. (Madi A., 2010).** Caractérisation et comparaison du contenu polyphénolique de deux plantes.
- **Powers, S. K., Lennon, S. L. (1999).** Analysis of cellular responses to free radicals: focus on exercise and skeletal muscle. *Proceedings of the Nutrition Society*, 58(4), 1025-1033.
- **LevizouEDriliias, P., Kyparissis,A. (2004).**Exceptional photosynthetic performance of *Capparis spinosa* L. under adverse conditions of Mediterranean summer *Photosynthetica* 42:229–235.

## M

- **Mahdad Mustapha Yacine.(2012).** Situation et perspectives d'amélioration du caroubier (*Ceratonia siliqua*L.) dans le Nord-ouest de l'Algérie, université Abou Bekr Belkaid – Tlemcen.
- **Makris, D.P., Kefalas, P., (2004).** Carob Pod as a source of polyphenolic Antioxidants. *Food Technol. Biotechnol.* 42 (2):105–108.
- **Mamat, H., Hill, S.E., (2014).** Effect of fat types on the structural and textural properties of dough and semi-sweet biscuit. *Journal of Food Science and Technology*, 51(9): 1998-2005.
- **Manoharr, S.R., Rao, H.P. (2002).** Interrelationship between rheological characteristics of dough and quality of biscuits; use of elastic recovery of dough to predict biscuit quality. *Food Research International*, 35 : 807-813.
- **Mates, JM., Perez-Gomez, C., Nunez de Castro I. ; (1999).**Antioxidant enzymes and human diseases. *ClinBiochem.* Vol.32 : 595-603.
- **Mezian, S.(2011).** Influence du procédé de congélation sur les levures et les propriétés techno-fonctionnelles des pâtes sucrées (type Kougelhopf). Thèse de doctorat en Procédés Biotechnologiques et Alimentaires. École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires. Université de Nancy, 123p.

- **Milardovic, S., Kereković, I., Rumenjak, V. (2007).** Méthode bi ampérométrique par injection de flux pour la détermination de la capacité antioxydante totale des boissons alcoolisées à l'aide d'ABTS+ produit de manière bienzymatique. *Chimie alimentaire*, 105 (4), 1688-1694.
- **Miwa, K., Fujita, M.(2008).** Increased oxidative stress suggested by low serum vitamin E concentrations in patients with chronic fatigue syndrome. *Food Chemistry*.238.
- **Mohtadji-lamballais, C. (1989).** Les aliments. Editions Maloine. Paris. 203 p.
- **Mueller-Harvey, I. y A.B. Mc Allan. (1992).** Tannins. Their biochemistry and nutritional properties. *En Mueller-Harvey I. (Ed.) Advances in plant cell biochemistry and biotechnology.* Morrison, Londres. pp. 151-159.

## N

- **Nacz, M., Shahidi, F. (2004).** Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A* .1054: 95-111.
- **Nair, V-D., Panneerselvam, R., Gopi, R., (2012).** Studies on methanolic extract of Rauwolfia species from Southern Western Ghats of India-In vitro antioxidant properties, characterization of nutrients and phytochemicals. *Industrial Crops and products*.39:17-25.
- **Nancy, J. Linford, S.I. Chriner, E. Peter., S. Rabinovitch1. (2006).** Oxidative Damage and Aging: Spotlight on Mitochondria. *Cancer Res*; 66: 2497-2499.
- **Ndangui, C.B. (2015).** Production et caractérisation de farine de patate douce (*Ipomoea batatas*. Lam) : optimisation de la technologie de panification. Thèse de doctorat en Co-tutelle en Procédés et Biotechnologies Alimentaires. Université de Lorraine et Université Marien Ngouabi. 134 p.

## O

- **Ortega, N., A.Macià., M.P. Romero, J. Reguant,M.J. Motilva. (2011)**, Matrix composition effect on the digestibility of carob flour phenols by an in-vitro digestion model, *Food Chemistry* Vol. 124, N°1, pp. 65-71.
- **Osman, A. M., K. K. Y. Wong, S. J. Hill et A. Fernyhough. (2006)**. "Isolation and the characterization of the degradation products of the mediator ABTS-derived radicals formed upon reaction with polyphenols." *Biochemical and Biophysical Research Communications* 340(2): 597-603.
- **Owen ,R. W., Haubner, R., Hull, W.R., Erben, G., Spiegelhalder,B., Bartsch,H., Haber, B. (2003)**. Isolation and structure elucidation of the major individual polyphenols in carob fibre, *Food and Chemical Toxicology*. 41 (12): 1727-1738.

## P

- **Parrilla-Taylor, D.P., Zenteno-Savín, T.(2011)**. Antioxidant enzyme activities in Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) in response to environmental hypoxia and reoxygenation. *Aquac.* 318, 379–383. Paschke, K., Cumillaf, J.P., Loyola, S., Gebaue.
- **Pascual-Reguera, M.I.,OrtegaCarmona,I.,MolinaDíazA.(1997)**.Spectrophotometric determination of iron with ferrozine by flow-injection analysis. *Talanta*. 44(10): 1793-1801.
- **Pincemail,J., Lecomye, J., Collart,E., Castiaux, JP., Dfraise,JO., (2003)**. Stress oxidant, antioxidant et exercice physique. *Médecine Interne*.Vol.8:56-59.
- **Pincemail, J., Meurisse, M., Limet, R., & Defraigne, J. O. (1999)**. Espèces oxygénées activées, antioxydants et cancer. *Vaisseaux, Coeur, Poumons*, 4(4), 6-11.
- **Pinelo,M., Rubilar,M., Jerez ,M., Sineiro, J ., Nunez, MJ .(2005)**.Effect of solvent, temperature, and solvent-to-solid ratio on the total phenolic content and antiradical activity of extracts from different components of grape pomace. *J. Agric. Food Chem.*, 53: 2111-2117.
- **Poston ,L., Raijmakers, MT. (2004)**. Trophoblast oxidative stress, antioxidants and pregnancy outcome--a review. *Suppl A: S72-8*.

- **Povoci C., Saykova I., Tylkowski, B. (2010).** Evaluation de l'activité antioxydante des composés phénoliques par la réactivité avec le radical libre DPPH, *Revue de génie industriel*, (4): 1313-8871.

## Q

- **Osawa, T. (1994).** Postharvest biochemistry. Novel neutral antioxidant for utilization in food and biological systems. Japan: Japan Scientific Societies Press; 241-251.
- **Owen, R. W., Haubner, R., Hull W.R., Erben, G., Spiegelhalder, B., Bartsch, H., Haber, B. (2003).** Isolation and structure elucidation of the major individual polyphenols in carob fibre, *Food and Chemical Toxicology*. 41 (12): 1727-1738.
- **Quezel, P., Santa, S. (1962/63).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méditerranéennes. Tome 1. Edit CNRS. Paris.

## R

- **Ratnam, D-V., Ankola, D-D., Bhardwaj, V., Sahana, D-K., Ravi-kumar, M-N-V. (2006).** role of antioxidants in prophylaxis and therapy: A pharmaceutical perspective. *Journal of Controlled Release*. 113:189-207.
- **Re R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice-Evans, C. (1999).** Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radic. Biol. Med.*, 26: 1231-1237.
- **Rejeb, M.N. (1995).** Le caroubier en Tunisie: Situations et perspectives d'amélioration, in → *Quel avenir pour l'amélioration des plantes?* Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext, Paris, pp. 79-85.
- **Ribereau-Gayon, P. (1968).** Notion générale sur les composés phénoliques. in : "les composés phénoliques des végétaux". ed .Dunod. 1-40.
- **Robert. (2005).** Elastin peptides induced oxidation of LDL by phagocytic cells. *Pathologie Biologie*, 53(7), 416-423.

## S

- **Saadoudi, M., (2019).** Caractérisation biochimique, conservation et essais d'élaboration des produits alimentaires à base du fruit de *Zizyphus lotus* L. Thèse de doctorat en sciences. Université Hadj Lakhdar Batna 01 (UHB1), Algérie, 140 p.
- **Sanchez-Moreno ,C. (2002).** Methods used to evaluate the free radical scavenging activity in foods and biological systems. *Int. J. of FoodsSci.Tech.* 8:121-137.
- **Serrem, C.A.(2010).** Development of soy fortified sorghum and bread wheat biscuits, as a supplementary food to combat protein energy malnutrition in young children. These de doctorat en Sciences des Aliments. Université de Pretoria, Afrique de Sude, 193 p.
- **Sidina, M. M., El Hansali, M., Wahid, N., Ouatmane, A., Boulli, A., Haddioui, A. (2009).** Fruit and seed diversity of domesticated carob (*Ceratonia siliqua* L.) in Morocco. *Scientia Horticulturae*, 123: 110-116.
- **Simić, A., Manojlović, D., Šegan, D., Todorović, M.(2007).** Electrochemical behavior and antioxidant and prooxidant activity of natural phenolics. *Molecules.* 12(10): 2327-2340.
- **Siro, I., Kapolna, E., Kapolna, B.,Lugasi, A., (2008).** Functional food. Product development, marketing and consumer acceptance-A review. *Appetit*, 51: 456-467.
- **Souza, RF., (2004).** Propriétés antioxydantes des complexes de flavonoïdes avec des ions métalliques. *Rapport Redox*, 9 (2), 97-104.
- **Sudha, M.L., Vetrmani, R., Leelavathi, K., (2007).** Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chemistry*, 100: 1365-1370.

## T

- **Tang, S. Y.,Halliwell, B. (2010).** Medicinal plants and antioxidants: What do we learn from cell culture and *Caenorhabditis elegans* studies? *Biochemical and Biophysical Research Communications*, 394, p 1-5.
- **Tepe, B., M. Sokmen, A.,Akpulat, D.,Daferera, M. Polissiou, A.,Sokmen. (2005)**Antioxidative activity of the essential oils of *Thymus sipyleus* subsp. *sipyleus*

var. *sipyleus* and *Thymus sipyleus* subsp. *sipyleus* var. *roslans*. *J. Food Eng.*, 66, 447-454

- **Theriault, M., Caillet, S., Kermasha, S., Lacroix, M. (2006).** Antioxidant, antiradical and antimutagenic activities of phenolic compounds present in maple products. *Food chemistry*. 98:490-50.
- **Thompson, J. C., Mottola, H. A. (1984).** Kinetics of the complexation of iron (II) with ferrozine. *Analytical Chemistry*. 56(4): 755-757.
- **Tomas-Barberan, F A., Espin, J C. (2001).** Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *Journal of the Science of Food Agriculture*, (81) : 853-876.

## V

- **Valko, M., Rhodes, C.J., Moncol, J., Izakovic, M., Mazur, M. (2006).** Free radicals, metals and antioxidants in oxidative stress-induced cancer. *Chemico-biological interactions*. 160: 1-40.

## Y

- **Yadav, D., Thakur, N., Sunooj, K. (2012).** Effect of Partially De-Oiled Peanut Meal Flour (DPMF) on the Nutritional, Textural, Organoleptic and Physico Chemical Properties of Biscuits. *Food and Nutrition Sciences*, 3: 471-476.
- **Yousif, A.K., Alghzawi, H.M. (2000).** Processing and characterization of carob powder. *Food chemistry*, Vol. 69, N°3, pp.283-287.
- **Youssef, MKE., El-Manfaloty, MM., Ali, HM. (2013).** Évaluation de la composition chimique immédiate, de l'état nutritionnel, de la composition en acides gras et des composés phénoliques de la caroube (*Ceratonia siliqua* L.). *Alimentation et santé publique*, 3 (6), 304-308.

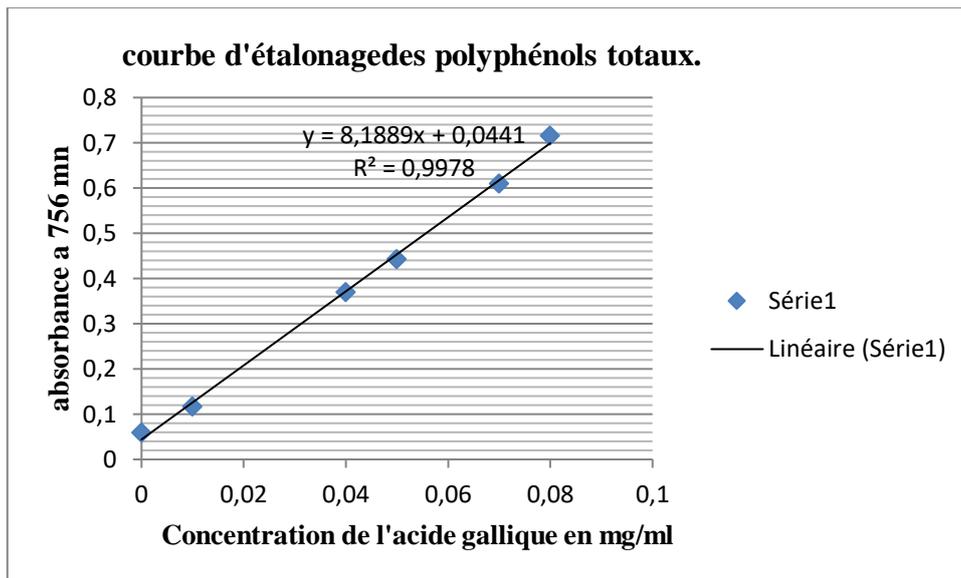
## Z

- **Zelko, IN., Marian, TJ., Folz, RJ., (2002).** Superoxide dismutase multigene family: a comparison of the CuZn-SOD (SOD1), Mn-SOD (SOD2), and EC-SOD (SOD3)

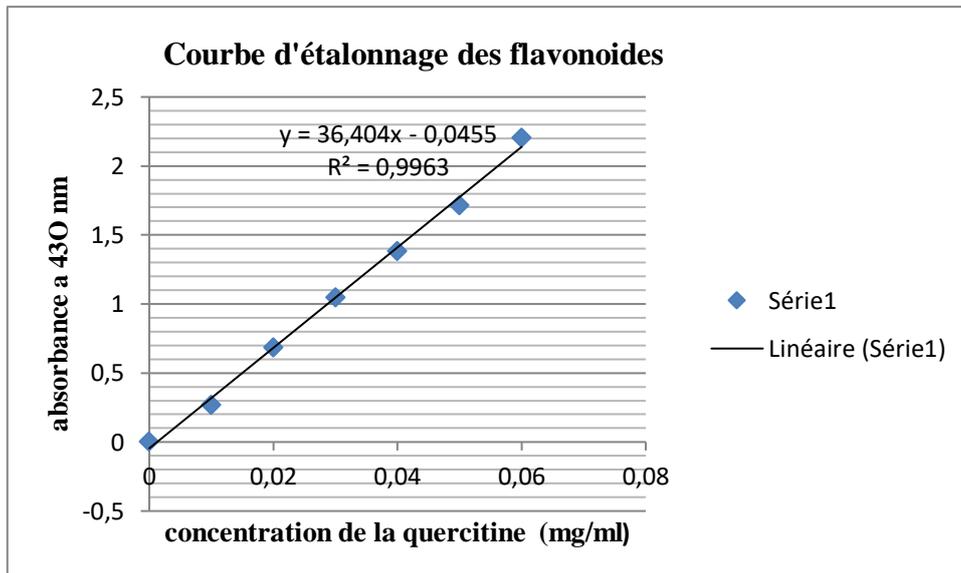
gene structures, evolution, and expression. *Free radical biology & medicine*. **33**: 337-349.

- **Zhou, W., 2014.** Bakery Products Science and Technology. 2ème édition. Wileyblackwell, 776p.
- **Zucco, F., Borsuk, Y. et Arntfield, S.D., 2011.** Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes. *LWT - Food Science and Technology*, 44: 2070-2076.
- **ZulimBotega D., S. Bastida, S. Marmesat, L. Pérez-Olleros, B. Ruiz-Roso, F. J.-Sanchez-Muniz, (2009),** Carob Fruit Polyphenols Reduce Tocopherol Loss, Triacylglycerol Polymerization and Oxidation in Heated Sunflower Oil, *J Am Oil Chem Soc* N°86, pp.419–425

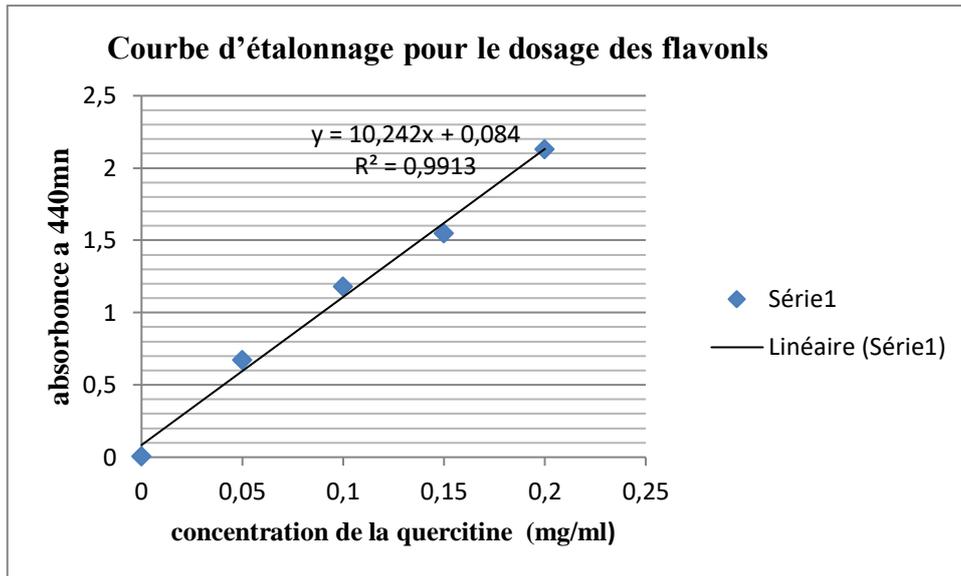
## Annexe I



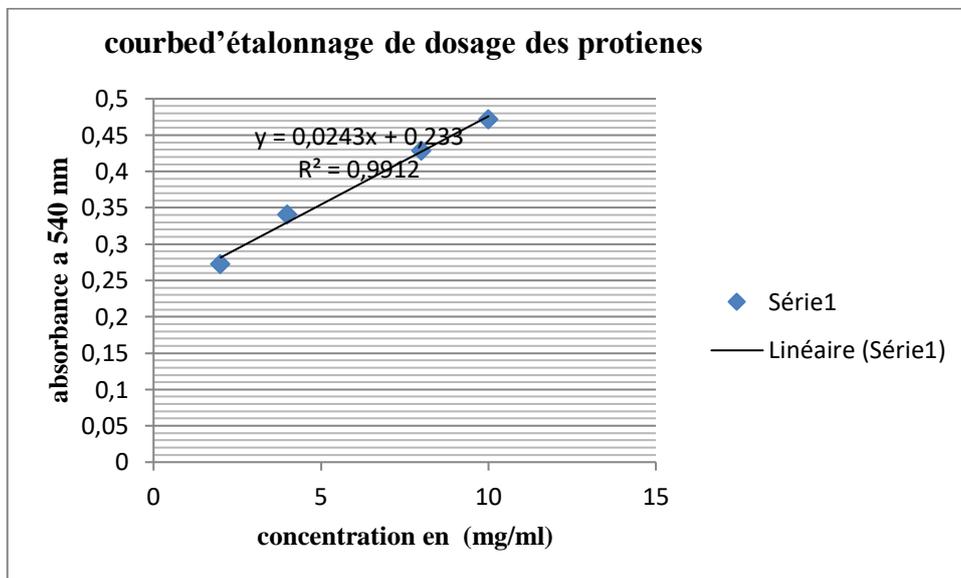
Courbe d'étalonnage pour le dosage des polyphénols totaux.



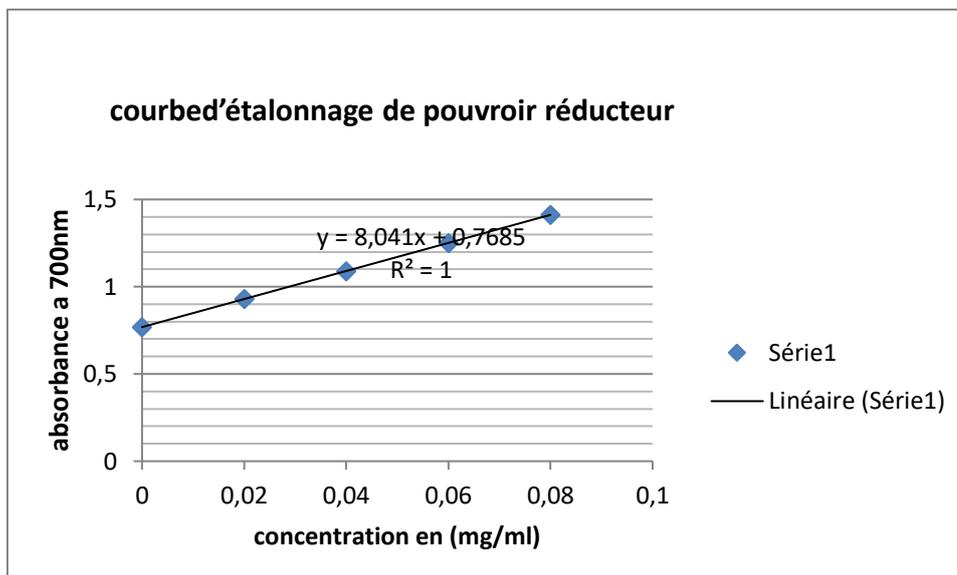
Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes.



Courbe d'étalonnage pour le dosage des flavonoïdes.



Courbe d'étalonnage du sérum d'albumine bovin (BSA) pour le dosage des protéines.



Courbe d'étalonnage pour le pouvoir réducteur.

## Annexe II

### Questionnaire pour analyse sensorielle des biscuits (panel expert)

Nom :.....

Age :.....

Profession :.....

Sexe :.....

Dans le cadre d'une analyse sensorielle des biscuits, 4 échantillons vous sont présentés codés 1, 2, 3 et 4, il vous est demandé de les examiner et de les goûter successivement (de gauche à droite), puis répondre aux questions qui suivent en attribuant une note de 1 à 5 selon l'échelle présentée.

**NB** : après la dégustation de chaque échantillon, rincer la bouche avec de l'eau.

#### 1-teste visuel

**A.** La couleur du biscuit est :

- (1) Très claire
- (2) Claire
- (3) Peu foncée
- (4) Très foncée

Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4

**B.** L'odeur du biscuit est :

- (1) Absente
- (2) Faible
- (3) Moyenne
- (4) Forte
- (5) Très forte

Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4

**C.** La texture du biscuit est :

- (1) Très dure

- (2) Dure
- (3) Moyenne (ni dure ni tendre)
- (4) Molle
- (5) Très molle

Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4

## 2- sensation en bouche :

**A.** Le gout sucré du biscuit est-il :

- (1) Absent
- (2) Faible
- (3) Moyen
- (4) Fort
- (5) Très fort

Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4

**B.** La texture du biscuit est :

- (1) Très pâteuse
- (2) Pâteuse
- (3) Peu croustillante
- (4) Croustillante
- (5) Très croustillante

Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4

**C.** La Consistance du biscuit :

- (1) Fortement légère
- (2) Légère
- (3) Peu légère
- (4) Consistante

(5) Très consistance

Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4

**3.** Attribuer à chaque échantillon une note de préférence entre 1 à 9, sachant que le numéro 1 correspond à l'échantillon le moins préféré et le numéro 9 a celui le plus préféré.

Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4

**4.** Quels sont les paramètres qui ont motivé votre préférence ?

- (1) La couleur du biscuit
- (2) le gout du biscuit
- (3) la texture du biscuit
- (4) la consistante du biscuit
- (5) la fiabilité du biscuit
- (6) autre (mentionnez)

Echantillon 1	Echantillon 2	Echantillon 3	Echantillon 4

**Résumé :**

Notre travail s'est effectué au niveau d'un laboratoire contrôle de qualité, son objectif est l'élaboration d'un biscuit à base de caroube (*Ceratonia siliqua* L) .Il a porté sur trois échantillons enrichis à base de poudre de la caroube et un témoin. Nous avons effectué des analyses physico-chimiques (les différents dosages, l'activité antioxydante) des matières premières et des analyses physico-chimiques, et un test organoleptique pour les produits finis. Les analyses physicochimiques effectuées montrent que les matières premières sont de bonne qualité. En effet, le test organoleptique réalisé a montré que nos biscuits sont appréciés par les dégustateurs surtout les deux biscuits enrichis avec la poudre mature et industrielle de la caroube .Ces résultats restent préliminaires méritent d'être suivis par d'autres travaux portant sur la caractérisation de la poudre de caroube afin de créer une formule qui répond aux exigences des consommateurs et qui intéresse économiquement l'entreprise productrice.

**Mots clés :** activité antioxydante, analyses physico-chimiques, analyses sensorielles, biscuit caroube, métabolites secondaires.

**Abstract :**

Our work was carried out at the level of a quality control laboratory; its objective is the development of a carob-based biscuit (*Ceratonia siliqua* L). It focused on three samples enriched with carob powder and a witness. We carried out physicochemical analysis of raw materials and physicochemical analysis, and an organoleptic test for finished products. The physicochemical analysis carried out shows that the raw materials are of good quality. Indeed, the organoleptic test carried out showed that our cookies are appreciated by tasters especially the two cookies enriched with mature and industrial carob powder. These results remain preliminary and deserve to be followed by other work on characterization of carob powder in order to create a formula which meets consumer requirements and which is of economic interest to the producing company.

**Keys words:** antioxidant activity, carob, cookies, secondary metabolites, sensory analysis physicochemical analysis.