

Université Abdelhamid Ibn  
Badis-Mostaganem  
Faculté des Sciences de la  
Nature et de la Vie



جامعة عبد الحميد بن باديس  
مستغانم  
كلية علوم الطبيعة و الحياة

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

## MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

**BOUHREM Ilyes**

Pour l'obtention du diplôme de

**MASTER EN AGRONOMIE**

**Spécialité : Biotechnologie Alimentaire**

THÈME

Le caroubier : Valorisation et utilisation industrielle

Soutenu publiquement le **11 Juillet 2019**

DEVANT LE JURY

Président	<b>BENMILOUD DJAMEL</b>	<b>MCB</b>	<b>Mostaganem</b>
Encadreur	<b>BENABDELMOUMENE DJILALI</b>	<b>MCA</b>	<b>Mostaganem</b>
Examineurs	<b>BENBOUZIANE BOUASRIA</b>	<b>MCA</b>	<b>Mostaganem</b>

*Thème réalisé aux Laboratoires SNV de Mostaganem*

# *Remerciement*

# Remerciement

Nous devons ce remerciement à mon encadreur M. BENABDELMOUMENE (enseignant-chercheur à l'université de Mostaganem) qui nous a accompagnés le long de notre recherche et il servait de boussole directrice pour atteindre notre objectif.

Également un remerciement pour M. BOUZOUINA (enseignant-chercheur à l'université de Mostaganem) pour sa généreuse collaboration qui servait de facilitatrice du chemin de l'investigation et sans oublier les techniciens du laboratoire de l'université de Mostaganem.

Pareil remerciement à notre estimé membre de jury M. BENBOUZIANE (enseignant-chercheur à l'université de Mostaganem) et M. BENMILOUD (enseignant-chercheur à l'université de Mostaganem) pour leurs acceptations à notre thèse de fin d'étude Master.

# *Table des matières*

**Remerciement**

ملخص

**Résumé**

**Abstract**

**Liste des tableaux**

**Liste des figures**

**Liste des abréviations**

**Introduction générale**

**Partie Bibliographique**

**CHAPITRE I : Caroubier**

1 Terminologie et taxonomie .....	1
1.1 Terminologie commune .....	1
1.2 Description botanique du caroubier .....	1
2. Origine et distribution géographique .....	2
2.1 Origine du caroubier .....	2
2.2 Distribution géographique.....	2
2.3 Production mondiale .....	3
3. Écologie du caroubier .....	4
4. Composition chimique de la poudre de caroube .....	5
4.1 Composition chimique brute et valeur calorique.....	5
4.2 Teneur en minéraux .....	5
4.3 Teneur en Vitamines .....	6
4.4 Teneurs en composés phénoliques .....	7
5. Processus de la farine de la caroube et utilisation .....	7

**CHAPITRE II : Epaisissants et gélifiants d'origine glucidique**

1. Origine et structure chimique .....	12
1.2 Extraits de graines : Galactomannanes .....	13
1.3 Extraits de sous-produits végétaux : Pectines .....	14
2. Propriétés et mécanismes .....	16
2.1 Comportement en milieu aqueux.....	16
a) Solubilité des hydrocolloïdes .....	16
b) Conformation des macromolécules en solution aqueuse.....	16

2.2 Propriétés épaississantes .....	18
2.3 Propriétés gélifiantes.....	18
a) Phénomènes généraux .....	18
b) Mécanismes de gélification .....	20
2.4 Synergies entre polysides.....	20
2.5 Interactions avec les protéines.....	20

### **CHAPITRE III : Valorisation des sous-produits agricoles**

1. Disponibilités en sous-produits agro-industriels .....	22
1.1 Sous-produits du coton .....	22
1.2 Tourteau de soja .....	23
1.3 Tourteau d'arachide .....	23
1.4 Sons des céréales locales.....	24
1.5 Mélasse .....	26
4. Disponibilité au niveau domestique .....	26
4.1 Graines de coton.....	26
4.2 Tourteaux .....	27
4.3 Sons.....	28
4.4 Mélasse .....	28
6. Contraintes à l'utilisation des sous-produits agro-industriels .....	28
6.1 Contraintes techniques .....	28
6.2 Contraintes économiques .....	30

### **Partie Expérimentale**

#### **CHAPITRE IV : Matériels et méthodes**

1. Objectifs.....	31
2. Préparation des échantillons (matérielle biologique végétale).....	31
3. Plan de travail.....	32
4. Méthodes d'analyse utilisées.....	32
4.1 Détermination de la matière sèche .....	32
4.2 Détermination quantitative des métabolites primaires .....	33
4.2.1 Détermination de la teneur en matière minérale .....	33
4.2.2 Dosage des protéines .....	34

4.2.3 Détermination de la teneur en matière grasse .....	35
4.2.4 Détermination de la teneur en eau .....	36
4.3 Détermination quantitative des métabolites secondaires.....	37
4.3.1 Dosage des Phénols totaux.....	37
4.4 Détermination de l'indice de peroxydation.....	38
4.5 Analyses rhéologiques de la farine traitée à différentes doses.....	39
4.5.1 Analyse alvéographique .....	39
4.6 Analyse statistique .....	42

## **CHAPITRE V : Résultats et discussion**

1. Caractérisation des métabolites primaires et secondaires du caroubier.....	43
1.1 Matière sèche et teneurs en eau .....	43
1.2 Lipides.....	44
1.3 Matière minérale.....	44
1.4 Protéine brute .....	44
1.5 Phénols totaux .....	45
2. Estimation de l'indice de fraîcheur de la viande ovine hachée (Gigot).....	46
3. Étude rhéologique et caractéristique de la farine enrichie avec la poudre de caroube .....	48

## **Conclusion**

## **Références bibliographiques**

ملخص

### ملخص

تم إجراء هذا البحث من أجل تقييم الخروب من خلال منظورين مختلفين ، الأول هو اكتساب معرفة حول السلوك الريولوجي لطحين القمح المخصب بكميات مختلفة من طحين الخروب ( 5 % ، 10 % و 15 %). ، الثاني عن طريق قياس وتحليل قوة مضادات الأكسدة لطحين الخروب على لحم ساق الغنم بتركيزات مختلفة ( 5 % ، 10 % و 15 %). ثبت من خلال هذه الدراسة أن طحين الخروب له قوة فعالة مضادة للأكسدة بتركيز 15%. في المقابل ، لا يؤثر استبدال طحين القمح بتركيز 1% من طحين الخروب على السلوك الطحيني. فبلعكس اظهر تحسن في عملي (P/L) و (W) .

**الكلمات المفتاحية :** الخروب ، طحين القمح ، اللحوم ، السلوك الطحيني ، مضادات الأكسدة

# *Résumé*

### Résumé

Cette investigation a été réalisée afin de valoriser la caroube selon deux perspectives différentes, la première consiste à connaître le comportement rhéologique de la farine de blé enrichie en différentes quantités (5%, 10% et 15%) de poudre de caroube. La deuxième consiste à mesurer et à analyser le pouvoir antioxydant de la poudre de caroube sur une viande de mouton (Gigot) à différentes concentrations (5%, 10% et 15%). Cette étude a confirmé que la poudre de caroube possède un pouvoir antioxydant efficace avec une concentration de 15%. En revanche, la substitution de la farine de blé par une concentration de 1% de poudre de caroube n'affecte pas le comportement rhéologique de la farine. En effet, il optimise les paramètres (P / L) et la force Boulanger.

**Mots clés :** Caroube, Farine de blé, Viande, Rhéologique, Antioxydant

# *Abstract*

### **Abstract**

this investigation was performed in order to valorize the carob by two different points of view, the first one is by gaining knowledge on the rheological behavior of wheat flour enriched with different amounts of carob flour (5%,10% and 15%).the second one, is by measuring and analyzing the antioxidant power of carob powder over a sheep meat(Gigot) with different concentrations (5%,10% and 15%). It was approved through this study that the carob powder has an effective antioxidant power with a concentration of 15%. in the other hand the substitution of wheat flour with a concentration of 1% of carob powder doesn't affect the rheological behaviors of the flour. Indeed, it optimize the (P/L) and work flour parameters (W).

**Key words:** Carob, Wheat Flour, Meat, Rheological, Antioxidant

# *Liste des tableaux*

## *Listes des tableaux*

---

<b>Tableau 01</b> : Valeurs moyennes de la composition chimique brute et de la valeur calorique de la poudre de caroube .....	05
<b>Tableau 02</b> : Valeurs moyennes de la teneur en minéraux de la poudre de caroube (mg/kg)...	06
<b>Tableau 03</b> : Valeurs moyennes de la teneur en vitamines de la poudre de caroube .....	07
<b>Tableau 04</b> : Teneur en composés phénoliques de la poudre de caroube (ppm) .....	08
<b>Tableau 05</b> : Proportion d'usage de la gomme de caroube.....	10
<b>Tableau 06</b> : Principaux types d'agents épaississants et gélifiants de nature glucidique .....	12
<b>Tableau 07</b> : Principaux types de conformations adoptées par les hydrocolloïdes.....	17
<b>Tableau 08</b> : Production de graines de coton et de tourteaux de coton (milliers de tonnes).....	23
<b>Tableau 09</b> : Evolution des exportations totales de graines de coton par pays UEMOA.....	25
<b>Tableau 10</b> : Evolution de la production de mélasse dans l'espace UEMOA (tonne).....	26
<b>Tableau 11</b> : Evolution des quantités de tourteaux d'arachide par pays (tonne).....	27
<b>Tableau 12</b> : Evolution des quantités de tourteaux de soja disponibles (tonne).....	27
<b>Tableau 13</b> : Evolution des quantités de tourteaux de coton disponible (tonne).....	28
<b>Tableau 14</b> : Composition chimique en métabolite primaire de la caroube.....	43
<b>Tableau 15</b> : Teneurs en MDA des viandes ovines hachées (Gigot).....	46
<b>Tableau 16</b> : Caractéristiques de la farine Témoin et celles enrichies en poudre de caroube..	48
<b>Tableau 17</b> : Caractéristiques rhéologiques de la farine témoin et celles enrichies.....	49

# *Liste des Figures*

<b>Figure 01</b> : Distribution des aires de cultures du caroubier dans le bassin méditerranéen .....	03
<b>Figure 02</b> : Production mondiale de la caroube en 2017 .....	04
<b>Figure 03</b> : Diagramme de la production de la farine de caroube. ....	10
<b>Figure 04</b> : Structure chimique des galactomannanes .....	14
<b>Figure 05</b> : Structure chimique idéalisée des pectines .....	15
<b>Figure 06</b> : schéma de gélification des $\iota$ -carraghénanes.....	19
<b>Figure 07</b> : schéma de gélification par jonctions ponctuelles et par zones de jonction .....	19
<b>Figure 08</b> : Répartition des sons totaux par pays.....	25
<b>Figure 09</b> : Indice TBA dans la viande ovine hachée (Gigot).....	46
<b>Figure 10</b> : Caractéristiques de la farine Témoin et la farine enrichie en poudre de caroube ..	49
<b>Figure 11</b> : La force boulangère de la farine témoin et celles enrichies.....	50
<b>Figure 12</b> : Le rapport P/L de la farine témoin et celles enrichies.....	50

# *Liste des abréviations*

## *Liste des abréviations*

---

**DE** : Degré d'estérification

**HM** : Pectines hautement méthylées

**LM** : Pectines faiblement méthylées

**DA** : Degré d'amidation

**UEMOA** : Union Economique et Monétaire de l'Afrique de L'Ouest.

**Rpm**: Round per minute.

**TPC** : Composées phénoliques totaux.

**TBA** : L'acide Thio barbiturique

**MDA** : Malonaldéhyde

**TCA** : Acide trichloracétique

**VP** : Valeur de peroxydation

**TBARS** : (Thiobarbituric Acide Réactive Substances)

**FAO** : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'Agriculture.

**WACIP**: West African Common Industrial Policy.

**UEMOA/ONUDI** : Union économique et monétaire ouest-africaine.

**UBT** : Unité bovine tropical

# *Introduction générale*

La caroube est l'une des cultures fruitières les plus importées des pays méditerranéens. Leurs productions et consommations ont considérablement augmenté ces dernières années. Elles sont largement utilisées dans la fabrication des jus cuits « pekmez » et de boissons en poudre. L'utilisation du fruit entier dans la consommation humaine est limitée, cependant, en raison du niveau élevé de tanins qui en résulte l'astringence (**Bate-Smith, 1973 ; Karkacier et Artık, 1995**).

La pulpe est le constituant principal de la gousse de caroube (90%), mais actuellement seules les graines (10%) sont utilisées industriellement pour l'extraction de la gomme de caroube. La pulpe de caroube est reconnue comme une bonne source d'ingrédients bioactifs, tels que des composés phénoliques, dont certains présentent des activités antioxydantes (**Makris et Kefalas 2004 ; Bernardo-Gil et al. 2011 ; Sebai et al. 2013**) et des propriétés thérapeutiques telles que néphroprotectrice (**Ahmed., 2010**) et antiprolifératives (**Corsi et al. 2002**).

La caroube en possédant des propriétés technologiques cruciales pourra résoudre plusieurs dilemmes liés à des contraintes économiques et technologiques dans le secteur agro-alimentaire. C'est à partir de ceci que l'objectif majeur du présent travail est tissé sur la valorisation de la caroube pour rendre ce dernier une ressource noble pour l'industrie alimentaire.

La vision de l'étude a été projetée à travers deux perspectives différentes, l'une des deux s'est inspirée de la proportion et la composition en protéine importante de la caroube. On a pensé à cet effet que ces protéines dotées de propriétés technologiques similaires à celle du gluten (protéine caractérisant le blé tendre) pourra substituer la farine du blé tendre pour entier ou avec des proportions non affectives à la force boulangère. Donc minimiser les charges économiques d'un produit de large consommation (blé tendre) et débarrassant le problème de l'intolérance au gluten. Cependant il est à noter que l'Algérie est l'un des plus grands importateurs du blé tendre avec une importation équivalente à plus de 8 millions de tonnes succédant l'Indonésie et l'Égypte (**FAOSTAT 2017**), il se trouve alors en dépendance affective à l'économie du pays. Par symétrie Selon les statistiques fournies par l'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAO), La production de caroube en Algérie est passée de 3952 tonnes en 2000 à 4043 en 2017.

La deuxième perspective, C'est de mettre en œuvre l'activité antioxydante des phénols de la caroube comme un antioxydant naturel pour la conservation d'un produit de noble consommation tel que la viande ovine ; un produit qui est considérée comme une source importante sur le plan nutritionnel du fait de sa teneur en protéines (**Rémond** et *al.*, 2014), en vitamines (**Ducheneet** et *al.*, 2016), et sa teneur en lipides raisonnable (**Geay** et *al.*, 2002).

Par ailleurs, l'industrie carnique emploie des antioxydants synthétiques pour prolonger la durée de conservation des viandes à titre d'exemple les hydroxy-anisole butylé (BHA), butylé l'hydroxytoluène (BHT) et le gallate de propyle (PG). Avec la submersion des effets nocifs de ces derniers sur la santé du consommateur, la demande d'emploi des antioxydants naturels augmentent (**Lorenzo** et *al.*, 2018).

# *Partie Bibliographique*

# *Chapitre I : Caroubier*

## 1 Terminologie et taxonomie

### 1.1 Terminologie commune

L'étymologie scientifique du caroubier, *Ceratonia siliqua* vient du mot grec "Keras", qui signifie petite corne tandis que le nom d'espèce "Siliqua" désigne en latin une siliqua ou gousse, on se désignant à la dureté et la forme de la gousse. L'espèce *Ceratonia siliqua* dans différents pays et langues tire son nom à partir du nom arabe *Al kharroub* ou *kharroub*, comme le cas de *lалgarrobo* ou *garrofero* en espagnol (Albanell., 1990). L'utilisation des graines entières du caroubier comme unité de poids dans le commerce de substances et matériels précieux a été attribuée aux Arabes. C'est pourquoi "elkilate" en espagnol ou « carat » en français vient du nom arabe (*al-karat* ou *qirat*) donné à la graine, à la raison de sa relativité avec la constance du poids (Albanell., 1990).

### 1.2 Description botanique du caroubier

Le caroubier est un arbre ou arbuste, que sa hauteur peut y aller de 7 à 20 m et une circonférence à la base du tronc de 2 à 3 m. doté d'une écorce lisse et grise lorsque la plante est jeune et brune, rugueuse à l'âge de maturité et un bois très dur de couleur rougeâtre, son âge moyen est de 200 ans (Rejeb *et al.*, 1991 ; Ait Chitt *et al.*, 2007). la longueur de ses feuilles peut aller de 10 à 20 cm, persistantes, coriaces, alternes et caractérisées par un pétiole sillonné. Elles sont composées de 4 à 10 folioles, de couleur vert luisant sur la face dorsale et vert pâle sur la face ventrale (Rejeb *et al.*, 1991 ; Batlle *et al.*, 1997 ; Ait Chitt *et al.*, 2007). Ses feuilles tombent tous les deux ans, au mois de juillet. Cet arbre dispose d'un réseau racinaire pivotant, qui peut atteindre 18 m de profondeur (Aafi., 1996 ; Gharnit., 2003). Les fleurs sont verdâtres, d'une longueur de 6 à 16 mm, spiralée et réunie en un grand nombre formant des grappes droites et axillaires, plus courtes que les feuilles à l'aisselle desquelles elles se sont développées (Batlle *et al.*, 1997). « Caroube » ou « Carouge » est le nom du fruit, c'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 comporte trois parties : l'épicarpe, le mésocarpe et les graines, des cloisons pulpeuses transversales qui la sépare à l'intérieur renfermant de 4 à 16 graines dont la longueur et la largeur sont respectivement de 8 à 10 mm et de 7 à 8 mm au début sa couleur est verte, puis elle devient brun foncé à maturité (Rejeb, 1995 ; Batlle *et al.*, 1997 ; Ait Chitt *et al.*, 2007).

## 2. Origine et distribution géographique

### 2.1 Origine du caroubier

Il existe plusieurs hypothèses éminentes d'un désaccord entre différents auteurs sur l'origine du caroubier. **Vavilov, N.I.** (1951), situe l'origine du caroubier dans la région est de la méditerranée (Turquie, Syrie et Palestine), alors que d'autres études archéobotaniques basées sur des restes carbonisés de bois et de fruits ont révélé la présence du caroubier dans la méditerranée orientale au néolithique (4000 ans av. J.-C.), période initiale de la domestication des espèces ligneuses (**Estrada et al.**, 2006). Cependant, son origine peut être située dans la région Sud de l'Arabie du fait qu'elle a un caractère thermophile et ainsi sa présence sur les hauts plateaux du Yémen (**Liphschitz.**, 1987). La découverte de la nouvelle espèce de caroubier *Ceratonia oreothauma* Hillc., Lewis and Verde., est considérée comme une espèce archaïque que *Ceratonia siliqua* et survivant dans les montagnes de l'Arabie (Oman) et de la Somalie (**Hillcoat et al.**, 1980) confirme la dernière hypothèse.

D'un autre point de vue, **Zohary** (1973) considère le caroubier comme une relique procédant de la flore Indo-Malaisienne dont sont aussi issus les groupes *Olea*, *Laurus*, *Myrtus*, et *Chamaerops*.

Selon les caractéristiques physiologiques propres à l'espèce, il paraît que cette dernière hypothèse d'origine tropicale de la caroube en se justifiant de l'existence d'une période de floraison tardive (juillet-octobre) des arbres et des arbustes méditerranés, ainsi par la présence inhabituelle des enzymes photosynthétiques de type « C4 » ((caractéristique des plantes de climat chaud) durant les premières étapes de son développement qui s'inhibe à l'âge adulte. (**Catarino et Bento-Pereira.**, 1976)

De plus, l'hypothèse s'appuie sur la longévité des feuilles qui est quasiment le double que chez la majorité des espèces méditerranéennes les plus communes (**Catarino.**, 1993).

### 2.2 Distribution géographique

Selon **Hillcoat et al.** (1980), le caroubier s'étend dans la nature, en Turquie, Chypre, Syrie, Liban, Palestine, le sud de la Jordanie, Égypte, Arabie, Tunisie et Libye avant d'atteindre la méditerranée occidentale. Il a été disséminé par les Grecs en Grèce et en Italie, par les Arabes le long de la Côte-Nord de l'Afrique et au Sud et à l'est de l'Espagne, ce qui par la suite a permis sa distribution dans le sud du Portugal et dans le sud-est de la France. Il fut aussi introduit avec succès par les Espagnols et les Anglais dans d'autres pays à climat entre autres

méditerranéen notamment, aux États-Unis (Arizona, Sud de la Californie), au Mexique, en Australie et en Afrique du Sud (**Estrada et al.**, 2006).

En général, la distribution des espèces arboricoles telles que *C. siliqua* est limitée par le stress lié au froid (**Mitrakos.**, 1981) ; c'est le cas notamment de *C. oreothauma* (**Hillcoat et al.**, 1980). Le caroubier est considéré comme une essence dominante et caractéristique des zones inférieures (0-500 m, atteint rarement les 900 m d'altitude) du maquis méditerranéen à feuilles persistantes (**Zohary et Orshan.**, 1959 ; **Folch i Guillén.**, 1981).

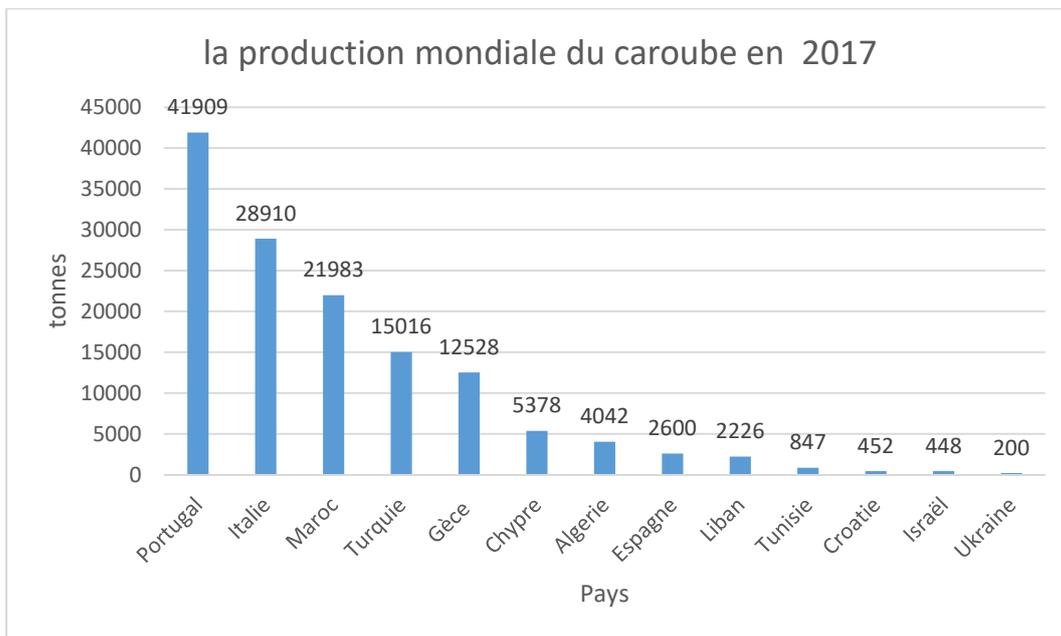
**Melgarejo et Salazar**, (2003) considèrent sans aucun doute que la Méditerranée est le centre de diversité du caroubier et que même si cette zone n'est pas le centre d'origine, le plus important aux yeux d'un améliorateur reste bel et bien que c'est dans le bassin méditerranéen qu'existe une plus grande diversité de l'espèce et pour autant c'est l'aire dans laquelle il est fort possible de trouver de nouveaux matériels génétiques avec une plus grande probabilité de réussite.



**Figure 01** : Distribution des aires de cultures du caroubier dans le bassin méditerranéen (**Albanell.**, 1990)

### 2.3 Production mondiale

Selon le **FAOSTAT (2019)**, la production mondiale totale de la caroube est estimée à 136 539 tonnes. la plus grande production, 41 909 tonnes, est celle du Portugal, contre une production de l'Algérie estimée à 4042 tonnes. (**Figure 02**)



**Figure 02 :** Production mondiale de la caroubier en 2017 (FAOSTAT 2019)

La production mondiale de caroubier a connu une chute dramatique de 650 000 t en 1945 à 310 000 t en 1997 (Orphanos et Papaconstantinou 1969). La grande perte a été enregistrée en Espagne où la production a chuté de 400.000t en 1930 et à 150 000 t en 1990 (MAPA, 1994).

### 3. Écologie du caroubier

Le caroubier, dont l'aire de répartition s'étend dans les secteurs des plateaux et en moyennes montagnes jusqu'à 1700 m d'altitude, est indifférent à la nature du substrat, il tolère les sols pauvres, sableux, limoneux lourds, rocaillieux et calcaires, schisteux, gréseux et des pH de 6,2 jusqu'à 8,6, mais il craint les sols acides et très humides (Baum, 1989 ; Sbay et Abrouch, 2006 ; Zouhair, 1996). Le caroubier est une espèce typique de la flore méditerranéenne, bien définie dans l'étage humide, subhumide et semi-aride. La sécheresse cyclique a révélé que le caroubier résiste mieux au manque d'eau que le chêne vert, le thuya et l'oléastre qui lui sont associés. C'est une essence, très plastique, héliophile, thermophile, très résistante à la sécheresse (200 mm/an). Il joue un rôle important dans la protection des sols contre la dégradation et l'érosion et dans la lutte contre la désertification (Zouhair., 1996).

#### 4. Composition chimique de la poudre de caroube

##### 4.1 Composition chimique brute et valeur calorique

La poudre de caroube avait été considérée comme un complément alimentaire dans diverses cultures et elle était consommée pour sa comestibilité et sa délicatesse. La poudre de caroube se situe entre les meilleurs légumes et la source de protéines animale (Dakia, P. A., 2007).

**Tableau 01** : Valeurs moyennes de la composition chimique brute et de la valeur calorique de la poudre de caroube (M. Kamal E. Youssef et al., 2013)

Composition chimique et valeurs calorique	%
Humidité	5,29
Protéine	6,34
Cendre	3,16
Fibre brute	7,30
Glucides	75,92
Gras brute	1,99
Valeur calorifique Kcal. /100 g.	346,95

\* Moyenne de trois répétitions.

\*\* Calculé sur la base du poids sec.

(a) Protéines =% Azote  $\times$  6,25 (b) Glucides : calculés par différence.

(c) Calories : calculées sous forme de K cal/100 g de matière sèche.

##### 4.2 Teneur en minéraux

Les données des valeurs moyennes de la teneur en minéraux dans la poudre de caroube sont présentées dans le **Tableau 02**

**Tableau 02** : Valeurs moyennes de la teneur en minéraux de la poudre de caroube (mg/kg) (M. Kamal E. Youssef et al., 2013)

Minéral	mg/kg
Mn	10,24
Zn	24,71
Fe	381,80
Cu	4,84
Se	9,79
Ca	2123

Na	505,97
K	8637,64
P	2255,21
S	17 577,80

Calculé sur la base du poids sec

Les données révèlent que la poudre de caroube est considérée comme une source riche en Fe, Ca, Na, K, P et S. Les oligo-éléments Cu, Zn et s'agissent en tant que cofacteurs d'enzymes antioxydants pour protéger le corps contre les radicaux libres de l'oxygène produit lors du stress oxydatif. (Barakat, H. A., 2009).

#### 4.3 Teneur en Vitamines

Les données présentées dans le **Tableau 03** représentent les valeurs moyennes de la teneur en vitamines de la poudre de caroube. Les données ont révélé que la poudre de caroube est une bonne source de vitamines E, D, C, niacine, B6 et d'acide folique. Pendant ce temps, la poudre de caroube contenait moins de vitamines A, B2 et B12.

**Tableau 03** : Valeurs moyennes de la teneur en vitamines de la poudre de caroube (M. Kamal E. Youssef et al., 2013)

Vitamines	Unités
<b>Vitamine liposoluble</b>	<b>µg/100 g</b>
A	1 407
E	5 377
D	4,9
<b>Vitamine hydrosoluble</b>	<b>mg/100 g</b>
C	830,08
B2	0,38
Niacin	185.68
B6	23,80
Acide folique	41,97
B12	1,30

#### 4.4 Teneurs en composés phénoliques

La teneur en composés phénoliques de la poudre de caroube est présentée dans le **Tableau 04**. Les données révèlent que les composés phénoliques de la poudre de caroube consistent en 11 composés. Pyrogallol, catéchol, chlorogénique et protocatéchi que ont enregistré les valeurs les plus élevées, tandis que la coumarine, le cinnamique, l'acide férulique, l'acide gallique et le vanillique ont enregistré les valeurs les plus faibles des composés phénoliques.

L'acide chlorogénique et l'acide caféique sont tous deux des antioxydants qui inhibent la formation de composés N-nitrosés mutagènes et cancérigènes in vitro (**Han, X. Z et al., 2007**). En outre, certains acides phénoliques (acide caféique, acide férulique, acide gallique et acide protocatéchi que ) contribuent à la lutte contre divers types de cancer, notamment les cancers du sein, du poumon et de l'estomac. (**Kumazawa, S et al 2002**).

**Tableau 04** : Teneur en composés phénoliques de la poudre de caroube (ppm) (**M. Kamal E. Youssef et al., 2013**)

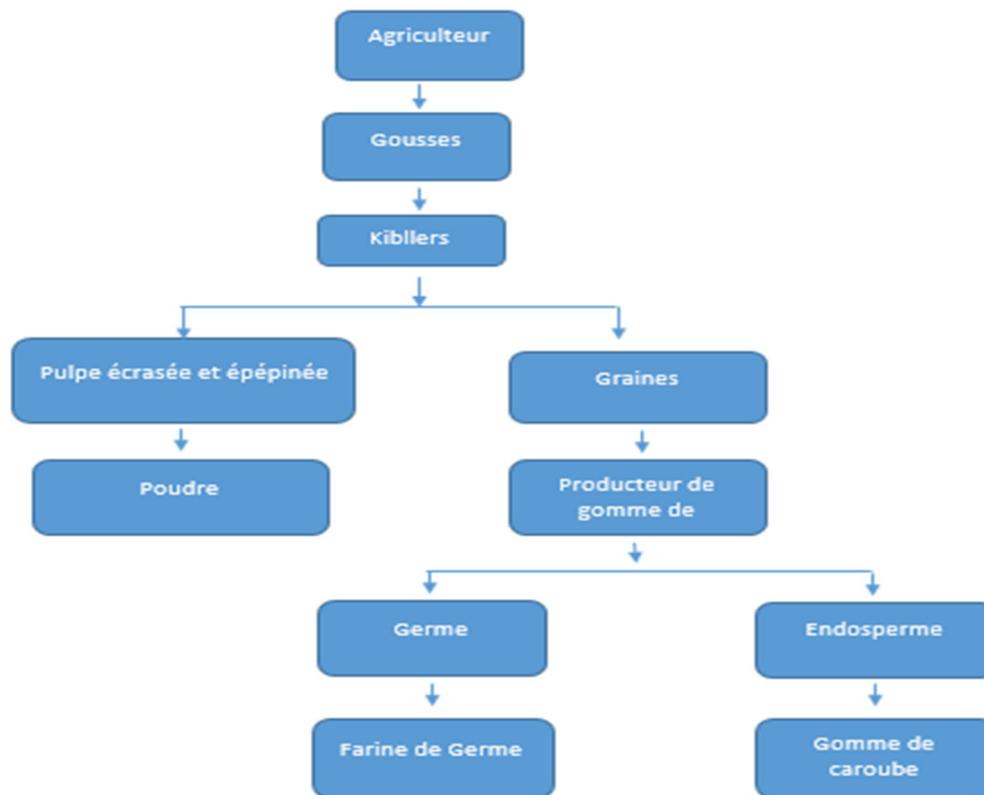
Composés phénoliques	ppm
Acide gallique	10,21
Pyrogallol	4970,18
Protocatéchine	79,47
Chlorogénique	101,09
Catéchine	27,97
Catéchol	164,67
Cannelle	7,78
Caféine	48,23
Vanillique	13,92
Férulique	10,17
Coumarine	4,49

#### 5. Processus de la farine de la caroube et utilisation

À leur arrivée dans une installation de transformation, les gousses de caroube présentent généralement une humidité comprise entre 10 % et 20 %. Étant donné que les gousses doivent être traitées à 8 % d'humidité, les fruits de caroube sont stockés dans des abris à environnement contrôlé jusqu'à ce qu'ils atteignent le taux d'humidité souhaité (**Battle et Tous 1997**). La première étape du traitement consiste à écraser ou à broyer les cosses. Cela libère les graines des gousses, où elles peuvent être séparées et ensuite traitées séparément. Les gousses sont

broyées pour l'alimentation humaine et animale. Les aliments pour animaux sont obtenus en broyant les croquettes en différentes particules, en fonction du type d'aliment souhaité. Les croquettes de mouture destinées à la consommation humaine sont d'abord torréfiées et broyées en une poudre fine portant le nom commercial de poudre de caroube (**Battle et Tous 1997**). Les sucres sont également extraits sous forme de mélasse, comme mentionné précédemment (**Battle et Touse., 1997 ; Wang et al., 2001**). Les graines sont généralement expédiées vers une installation de traitement séparée pour extraire les galactomones de l'endosperme (**Battle et Tous 1997**).

La première étape de l'extraction de la gomme de caroube consiste à éliminer l'épaisse couche de tégument entourant l'endosperme et le germe. C'est un processus difficile qui peut être complété de deux manières différentes. Dans les deux méthodes, l'objectif final est une couche de tégument plus friable, facile à enlever. La première de ces méthodes est la carbonisation du tégument par trempage dans de l'acide sulfurique et la seconde par torréfaction à sec (**Battle et Tous 1997**). Une fois que l'enveloppe de la graine est retirée, elle est moulue en une poudre fine. Elle est généralement vendue à l'industrie du cuir où elle est utilisée comme agent de tannage en raison de sa teneur élevée en tanin (**Battle et Tous, 1997**). Afin de séparer le germe de l'endosperme, la graine entière, à l'exception du tégument, est broyée afin que l'endosperme reste à grande échelle comme des morceaux et que le germe soit transformé en une poudre fine (**Battle et Tous 1997**) (**Figure 3**). Ceci peut être réalisé grâce aux différences de friabilité des deux fractions. Le germe est beaucoup plus fragile et sa taille diminue facilement par rapport à l'endosperme (**Battle et Tous 1997**). Après la séparation, le germe est utilisé pour la supplémentation en protéines dans les denrées alimentaires et les aliments pour animaux (**Battle et Tous, 1997 ; Dakia et al., 2007**). L'endosperme passe par une autre étape de la mouture pour produire une poudre fine vendue sous le nom commercial de gomme de caroube ou caroube (**Battle et Tous 1997 ; Hoefler 2004**).



**Figure 03** : Diagramme de la production de la farine de caroube. Modifié de **Batlle et Tous** (1997).

## 5.2 Utilisation dans le domaine agroalimentaire

Les gousses de caroube sont utilisées depuis longtemps comme matière première production d'additifs alimentaires (**Biner et al., 2007**) (**Tableau 05**). En raison de sa douceur et sa saveur semblable au chocolat, ainsi que son bas prix, les gousses moulues en farine sont largement utilisées en Méditerranée substituant du cacao dans les confiseries, les biscuits et les produits transformés production de boissons (**Ayaz et al., 2009** ; **Biner et al., 2007** ; **Durazzo et al., 2014** ; **Kumazawa et al., 2002**). De plus, l'avantage d'utiliser de la poudre de caroube comme substituant du cacao c'est qu'il ne contient ni caféine ni théobromine (**Bengoechea et al., 2008**). C'est un épaississant, stabilisant et aromatisant naturel, qui est couramment ajouté à une grande variété de produits, par exemple, crèmes glacées, des bonbons et des soupes (**Biner, et al 2007** ; **Durazzo et al., 2014**).

**Tableau 05** : Proportion d'usage de la gomme de caroube (**Kawamura.**, 2008)

Catégories d'aliment	Usage maximal (%)
Produits de boulangerie et mélanges à pâtisserie	0,15
Boissons sans alcool et bases de boisson	0,25
Les fromages	0,8
Gélatine, puddings et fourrages	0,75
Jams and jellies	0.75
Autres aliments	0,50

La farine de caroube est traditionnellement utilisée comme additif protéique dans les aliments pour animaux et les aliments destinés à la consommation humaine en raison de sa teneur en acides aminés bien équilibrée (**Feillet et Rolland** 1998 ; **Wang et al.**, 2001). La farine de germe de caroube a été identifiée comme possédant des propriétés similaires au gluten dans un brevet de 1935. Lorsqu'il était utilisé dans un système de pain levé à la levure contenant environ 30 % de farine de germe de caroube et environ 70 % farine sans gluten, un pain présentant des qualités similaires à celles d'un pain de seigle européen (**Bienenstock et al.**, 1935). Depuis lors, peu de travaux ont été menés pour caractériser ses propriétés fonctionnelles par rapport au blé. Jusqu'à la découverte de la maladie cœliaque, très peu de données ont été publiées sur les propriétés fonctionnelles des protéines de germe de caroube par rapport à celles du blé. Avant la découverte de la maladie cœliaque, les pains composites à haute teneur en protéines et en germe de caroube de blé destinés aux diabétiques étaient étudiés. Ces pains étaient de moins bonne qualité que les pains de blé purs, mais ont été considérés comme acceptables (**Plaut et al.**, 1953). De nombreuses publications ont indiqué que la protéine de germe de caroube présente un potentiel important dans les aliments sans gluten en raison de sa nature viscoélastique et de son acceptation sans danger pour les patients souffrant de maladie cœliaque. (Brevet de 1935).

*Chapitre II : épaississants  
et gélifiants d'origine  
glucidique*

### 1. Origine et structure chimique

Les épaississants et gélifiants alimentaires, parfois appelés gommes hydrosolubles ou hydrocolloïdes, sont des macromolécules qui se dissolvent ou se dispersent aisément dans l'eau pour aboutir à une augmentation très grande de la viscosité et, quelquefois, sous l'action d'agents physiques (température) et/ou chimiques (présence d'ions, cosoluté, etc.), à un effet gélifiant. (Alloncle M et al., 1991)

Il s'agit essentiellement de polysides, d'origine végétale ou microbienne (**Tableau 6**). Il est à noter que certaines protéines d'origine animale (gélatine, protéines du lactosérum, caséines et caséinates) sont assez fréquemment classées dans la catégorie des hydrocolloïdes mais ne sont pas pour autant des additifs.

Ce chapitre se limitera à la description des principaux agents épaississants et gélifiants répertoriés comme additifs.

Il faut également souligner que les propriétés épaississantes et/ou gélifiantes des polysides apparaissent à très faible concentration dans l'eau, souvent bien inférieure à 1 %, à l'exception toutefois de quelques-uns d'entre eux : amidons (2 à 5 %), gomme arabique (> 20 %). En dehors de leur pouvoir épaississant et/ou gélifiant, ces macromolécules glucidiques peuvent également être employées pour des propriétés très diverses. La stabilisation des suspensions et émulsions, pouvoir de rétention d'eau, pouvoir liant, formation de complexes avec les protéines, etc. (Alloncle M et al., 1989).

**Tableau 6** : Principaux types d'agents épaississants et gélifiants de nature glucidique (Jean-Louis Doublier et al., 2002)

Origine	Type
Exsudats de plantes	Gomme arabique Gomme adragante Gomme karaya
Extraits d'algues	Agar-agar carraghénanes alginates
Extraits de graines	Gomme guar Caroube Gomme de tara ou gomme de graine
Extraits de céréales ou de tubercules	Amidons

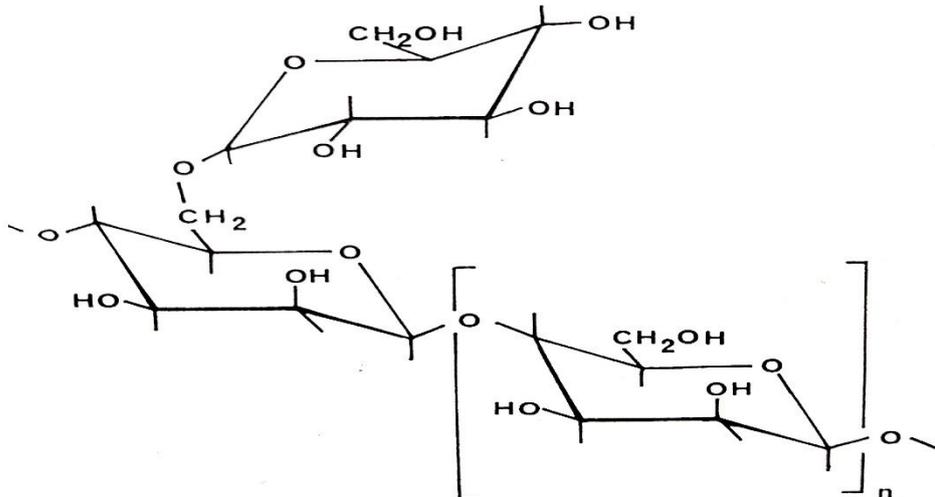
	Amidons modifiés
Extraits de sous-produits végétaux	Pectines
Micro-organismes	Gomme de xanthane Gomme de gellane
Dérivés de cellulose	Méthylcellulose Carboxyméthylcellulose méthyléthylcellulose hydroxypropylecellulose hydroxyméthylpropylecellulose Cellulose microcristalline

### 1.2 Extraits de graines : Galactomannanes

Il s'agit principalement de la caroube et de la gomme guar et en bien moins grande importance de la gomme tara qui sont extraites de l'albumen de graines de légumineuses. La caroube est obtenue à partir des graines du caroubier (*Ceratonia Siliqua*), La gomme guar provient des graines du guar (*Cyamopsis tetragonolobus*) qui est produit surtout en Inde et au Pakistan (plus de 70 % de la production totale) et de façon plus limitée au Texas. (Alloncle M et al., 1991)

La gomme tara est obtenue à partir des graines d'un arbre (*Caesalpinia Spinosa*) qui se trouve essentiellement dans la Sierra Sud-Américaine, et plus particulièrement au Pérou. Cet arbre y est exploité avant tout pour la production de tanin à partir de la gousse. La gomme de tara contenue dans les graines n'est donc qu'un co-produit de cette extraction. (Cairns et al., 1986)

Ces gommages sont formées par un enchaînement linéaire d'unités  $\beta$ -D mannose liées en (1-4) avec des branchements constitués d'une seule unité  $\alpha$ -D galactose liée en (1-6) (Figure 4). La caroube comporte en moyenne une unité galactose pour quatre mannoses alors que ce rapport est de 1 à 2 pour la gomme guar et d'environ 1 à 3 pour la gomme tara.



Motif monomère galactomannanes

Guar:  $n=1$

Caroube :  $n=3$

**Figure 4** : Structure chimique des galactomannanes (Jean-Louis Doublier et al., 2002)

**Courtois et Le Dizet** (1970) ont établi que le galactose est réparti irrégulièrement le long de la chaîne mannane définissant ainsi des zones « lisses », des zones « touffues » et des zones intermédiaires. Cette irrégularité de structure permet de rendre compte des différences de propriétés entre ces trois galactomannanes, notamment au niveau de la solubilité et des synergies avec d'autres polysaccharides.

Le procédé de fabrication de ces gommes est extrêmement simple puisqu'il se réduit à des traitements mécaniques (séparation des enveloppes, dégermage, mouture) pour aboutir à des farines contenant plus de 95 % de galactomannanes qui sont commercialisées telles quelles. Certains fabricants produisent également des gommes de grande pureté obtenues après solubilisation, précipitation et séchage. On trouve, par ailleurs, dans le commerce des gammes de farines de guar aux pouvoirs épaississants très variables. (**Christianson DD.**,1983)

### 1.3 Extraits de sous-produits végétaux : Pectines

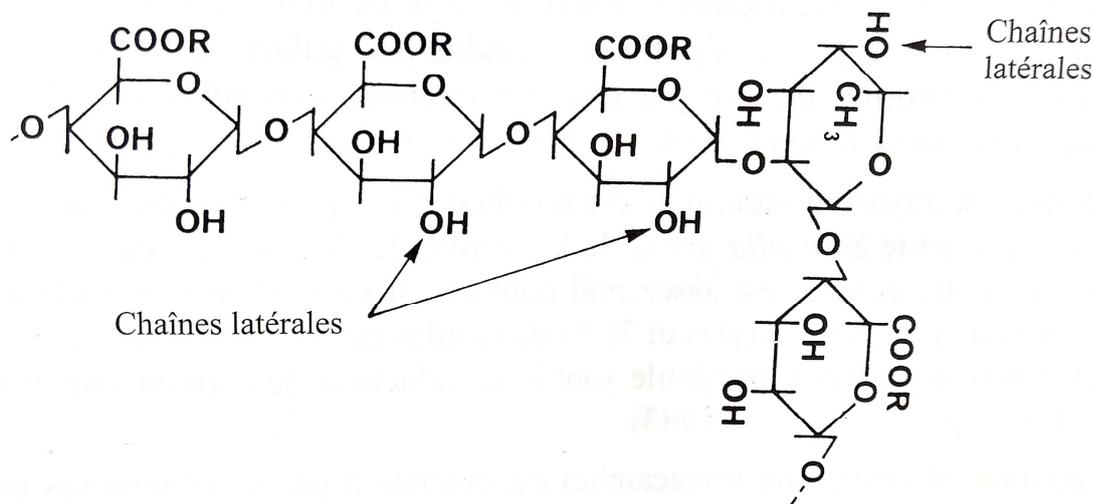
Les substances pectiques sont un mélange complexe de polyosides extraits de la paroi cellulaire des plantes. Les sous-produits de l'industrie des jus de fruits, marc de pomme et écorces des agrumes, constituent l'essentiel des sources industrielles de pectine. Le constituant majeur du squelette pectique est un acide galacturonique lié en (1-4). Quelques groupements rhamnose viennent interrompre cette chaîne linéaire sur laquelle s'attachent aussi des chaînes latérales de

sucres neutres pour former ce que l'on appelle les « zones hérissées ». Les zones homogalacturoniques qui représentent environ 80 à 90 % de la pectine peuvent être partiellement estérifiées. Un schéma de structure idéalisée est donné en **figure 5**. Le degré d'estérification (DE), c'est-à-dire le nombre de fonctions carboxyles estérifiées par du méthanol pour 100 motifs galacturoniques, est le paramètre qui gouverne les propriétés gélifiantes ; il permet de distinguer 2 grandes types :

- les pectines hautement méthylées (HM) :  $DE > 50 \%$  ;
- les pectines faiblement méthylées (LM) :  $25 < DE < 45 \%$ .

Les pectines LM peuvent également comporter un certain nombre de groupements amidés à la place des groupes méthoxyle. Le degré d'amidation (DA) doit être inférieur à 25 % pour les usages alimentaires de ces pectines. (Courtois.,1979)

L'extraction des pectines repose sur leur solubilisation en milieu acide à chaud. Après purification et concentration elles sont précipitées avec de l'alcool, séchées puis broyées. Les pectines ainsi obtenues sont des pectines HM. Les pectines LM sont généralement obtenues par déstérification contrôlée en milieu acide ; en milieu ammoniacal, cette déstérification conduit à la production des pectines amidées. (Courtois.,1979)



**Figure 5** : Structure chimique idéalisée des pectines (d'après Voragen et al.,1995)

## 2. Propriétés et mécanismes

Les propriétés particulières des épaississants et gélifiants sont directement liées aux interactions privilégiées de ces macromolécules avec l'eau (Courtois.,1970). De nombreuses études ont été réalisées sur ce sujet, dont nous allons essayer de rendre brièvement compte.

### 2.1 Comportement en milieu aqueux

#### a) Solubilité des hydrocolloïdes

La solubilité dans l'eau des macromolécules comportant de nombreux groupements hydroxyle dépend essentiellement de leur structure chimique. On peut distinguer les molécules neutres linéaires, les molécules ramifiées neutres et les molécules chargées négativement (polyélectrolytes). Les caractéristiques de solubilité s'expliquent par la compétition des interactions soluté/eau et soluté/soluté.

Les molécules linéaires neutres comportant surtout des liaisons (1-4) telles la cellulose et l'amylose sont très difficiles à dissoudre. Ceci s'explique par les très fortes interactions entre macromolécules. Les dextrans font exception, qui sont des chaînes linéaires de glucose, mais où la flexibilité de la liaison (1-6) les rend entièrement solubles dans l'eau. Les galactomannanes sont, en revanche, des macromolécules linéaires, liées en (1-4), mais possédant de nombreuses ramifications : leur solubilité est partielle dans l'eau froide. Plus les groupements sont nombreux, plus la solubilité est élevée. Le guar est ainsi fortement soluble dans l'eau froide, alors que la caroube n'est soluble que dans l'eau chaude.

La solubilité des polyélectrolytes dépend de leur état ionique. La forme saline est entièrement solubilisée, cependant que la forme acide sera pratiquement insoluble. (Cuvelier G.,1988)

#### b) Conformation des macromolécules en solution aqueuse

L'essentiel des propriétés épaississantes et gélifiantes repose sur le comportement des macromolécules en phase aqueuse. La conformation et le comportement hydrodynamique constituent les paramètres les plus importants.(Dea ICM.,1979)

On distingue trois types de conformation :

- La conformation en pelote, correspondant à une distribution statistique dans l'espace de la chaîne macromoléculaire.
- La conformation rigide étendue qui est une conformation en pelote intéressant des macromolécules pour des chaînes peu flexibles.
- La conformation en hélice, qui suppose des liaisons intramoléculaires suffisamment stables pour garantir la rigidité de l'édifice.

En pratique, presque toutes les molécules peuvent adopter une conformation en pelote, sous certaines conditions :

**Tableau 7** : Principaux types de conformations adoptées par les hydrocolloïdes (Jean-Louis Doublier et al., 2002)

Conformation	Hydrocolloïdes	Conditions
Pelote	Galactomannanes (Guar et caroube)	
	Xanthane	Température élevée, faible teneur en sel
	$\lambda$ -carraghénanes $\iota$ et $\kappa$ carraghénanes Agar-agar	Température élevée
	Pactine HM	
Hélice	$\iota$ et $\kappa$ carraghénanes Agar-agar Xanthane	Basse température
Rigide et étendue	Alginates Pectine LM Pectine HM	Présence de calcium Présence de calcium pH < 3+ saccharose

Une caractérisation globale de ces macromolécules peut être réalisée aisément par l'étude de leur viscosité en milieu dilué, permettant l'évaluation de leur viscosité intrinsèque  $[\eta]$ . Ce paramètre varie généralement en fonction de la masse moléculaire moyenne selon des lois du type Mark-Houwink :

$$[\eta] = K M^{\text{moy}.a}$$

Où K et a dépendent du système polymère-solvant considéré et Mmoy. Désigne la masse moléculaire moyenne du polymère étudié. Il est à noter que cette détermination est impossible pour les polyélectrolytes. Il faut recourir à des forces ioniques élevées pour déterminer ce paramètre.

## 2.2 Propriétés épaississantes

Tous les hydrocolloïdes présentent la propriété d'augmenter considérablement la viscosité du milieu pour des concentrations faibles, souvent inférieures à 1 %. Ce pouvoir épaississant est variable d'une molécule à l'autre : il est très élevé pour les carraghénanes, la gomme xanthane, les galactomannanes et les dérivés de la cellulose, beaucoup plus faible pour les pectines, la gomme arabique et les amidons.

Le pouvoir épaississant semble bien pouvoir, en fait, être déterminé par l'étude de la viscosité en milieu dilué. (Dea ICM., 1986)

## 2.3 Propriétés gélifiantes

### a) Phénomènes généraux

Un gel est une structure qui n'a pas de définition propre. Il existe très peu de différence entre un gel et une solution très fortement épaissie. Il semble bien que ce soit un état intermédiaire entre l'état solide et l'état liquide. (Dea ICM., 1975)

Une approche satisfaisante est de le décrire comme un réseau macromoléculaire tridimensionnel solide retenant entre ses mailles la phase liquide. Ceci suppose implicitement que le gel est une structure "ordonnée", par opposition à une solution, par essence désordonnée.

Plusieurs étapes dans la formation du gel peuvent être distinguées :

- L'état "sol" où le polymère forme une solution ; les macromolécules ne sont pas organisées les unes par rapport aux autres.
- L'état "gel" apparaissant quand suffisamment de chaînes se sont associées pour former un réseau ou un gel d'abord élastique.
- L'avancement de la gélification se traduit par une rigidification du gel ; avec, en étape ultime, le phénomène de synérèse : le gel se contracte et exsude une partie de la phase liquide.

L'état "gel" ne peut donc pas être défini comme un équilibre puisqu'il évolue au cours du temps. L'instabilité en résultant, ainsi que la réversibilité de la plupart des gels permettent de penser que les chaînes sont liées entre elles par des forces relativement faibles, autorisant des évolutions. La gélification ne repose donc pas sur l'édification de liaisons covalentes ou ioniques entre deux chaînes, sous peine de quoi, elle serait inmanquablement irréversible. Elle ne peut pas non plus être le seul fait de liaisons très faibles (coordination ou hydrogène), car

l'équilibre serait atteint presque immédiatement, ces liaisons se formant et se déformant très rapidement. (Doublie JL.,1994)

On peut penser que le meilleur modèle de gélification existant est le modèle par formation de zones de jonction, associant à des liaisons non covalentes, donc de faible énergie, de multiples autres liaisons assurant la cohésion du système. Ceci suppose donc une grande régularité stéréochimique du polymère, permettant un rapprochement optimal des chaînes. La structure uniforme (homopolymère) permet donc, a priori, d'obtenir des gels très rigides, voire cassants. Au contraire, l'introduction d'irrégularités structurales tendra à rendre le gel plus élastique. Le modèle de gélification des carraghénanes, déjà exposé dans les figures qui suivent (Figure 6 et 7).

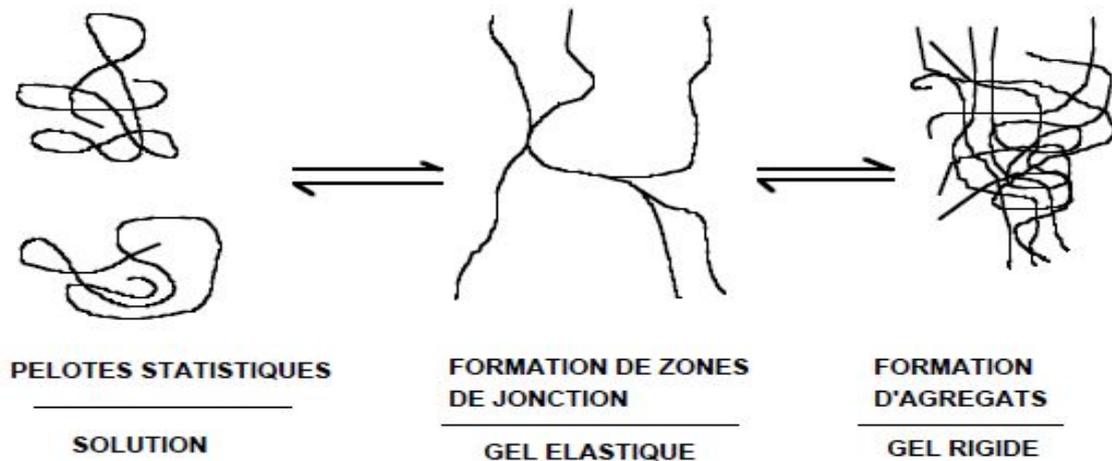


Figure 6 : schéma de gélification des ̑-carraghénanes (modèle de Rees.,1969)

L'état gel est donc un compromis entre les associations polymère-polymère et les interactions polymère-solvant.

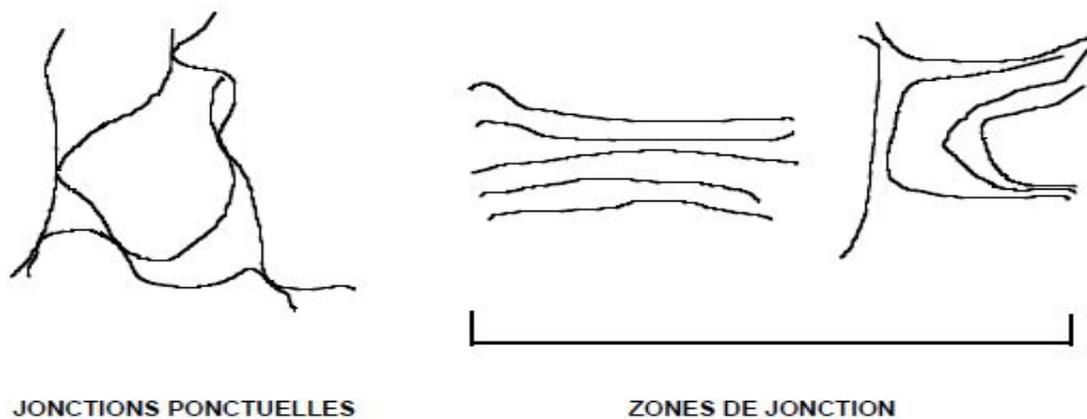


Figure 7 : schéma de gélification par jonctions ponctuelles et par zones de jonction (Jean-Louis Doublie et al 2002)

### b) Mécanismes de gélification

L'étude physico-chimique des polymères à l'état solide (diffraction X), ou à l'état liquide a permis de mettre en évidence deux modes de gélification bien distincts :

- La gélification par l'intermédiaire de doubles hélices ( $\iota$  et  $\kappa$  carraghénanes, agarose)
- La gélification par entassement de chaînes (Alginates, pectines HM et LM)

La gélification par doubles hélices va consister en l'ordonnement des molécules du polymère selon deux hélices imbriquées. Les différences entre l'iota- et le kappa - carraghénanes résident surtout, pour le premier, dans la répulsion exercée entre les groupements sulfate qui exclut presque totalement la formation d'agrégats, ce qui n'est pas le cas du second qui se trouve donc largement plus exposé à la synérèse.

La gélification par tassement de chaîne peut assez bien être décrite par le modèle de la boîte à œufs. L'ion calcium y joue un rôle-clé, puisque c'est autour de lui que va se dessiner la "boîte à œufs" modèle de configuration retenu. Il joue donc en quelque sorte le rôle de ciment entre les deux chaînes concernées. Les pectines LM recourent au même mécanisme, avec participation, donc, des ions  $\text{Ca}^{2+}$ , cependant que les pectines HM, elles, donnent lieu au même phénomène en milieu acide. (Doublie.,2006)

### 2.4 Synergies entre polyosides

Un mélange de deux macromolécules (gélifiantes ou non) peut, parfois, présenter des phénomènes de synergie conduisant à des changements de comportement rhéologique, voire à des gélifications, alors que chacun des deux polymères est incapable de gélifier seul.

- Les carraghénanes et les galactomannanes présentent ce phénomène, mis à profit industriellement. La gomme xanthane, en présence de caroube est susceptible de former un gel très élastique, alors que ni l'un ni l'autre ne sont capables de gélifier seuls. De même, les alginates et les pectines HM peuvent donner des gels en présence de saccharose à 30- 40 %. Leur composition peut être très variable selon la composition de l'alginate en acide guluronique. Les textures vont ainsi du gel très moelleux, pour de faibles teneurs jusqu'à des gels très rigides pour des teneurs élevées. Notons que ces gels sont thermoréversibles. (Doublie.,2006)

### 2.5 Interactions avec les protéines

L'existence d'interactions entre les protéines et certains polyosides est mise à profit dans de nombreux secteurs de l'industrie agro-alimentaire. L'exemple le plus classique en est l'interaction carraghénanes - protéines dans les desserts lactés gélifiés. Les interactions ioniques sont même susceptibles d'induire des précipitations sélectives de protéines pour certaines

valeurs du pH. L'existence de liaisons covalentes doit même être envisagée, telles que le phénomène rencontré lors de la formation de gels mixtes pectine - gélatine (jelly...).

**(Doublier.,1992)**

# *Chapitre III : Valorisation des sous-produits agricoles*

## 1. Disponibilités en sous-produits agro-industriels

### 1.1 Sous-produits du coton

Les graines de coton sont les plus utilisées, mais il est observé que les disponibilités sont de plus en plus faibles. On note une chute importante de la production de ce sous-produit en rapport direct avec celle du coton en Afrique de l'Ouest. Cette chute est intervenue depuis 2004 pour devenir importante en 2007 et elle semble se poursuivre. Les disponibilités globales en graines de coton s'élèvent à plus de 2 millions de tonnes pour la sous-région en 2005 pour n'atteindre que 1.134 tonnes en 2009. Entre 75 et 83 pour cent des quantités annuelles sont produites au Burkina Faso, Mali et Bénin, leaders de la production cotonnière dans la sous-région et suivis par la Côte d'Ivoire. Les tourteaux sont les résidus solides obtenus après extraction de l'huile des graines ou des fruits oléagineux (riches en corps gras et dont on peut tirer de l'huile). Ce sont les coproduits de la trituration, c'est-à-dire l'industrie de fabrication de l'huile. La disponibilité en tourteaux suit globalement la même évolution que celle des graines de coton. Les mêmes pays viennent en tête avec cette fois une nette domination du Burkina Faso qui détient entre 37 et 50 pour cent de la disponibilité selon les années (**Tableau 08**).

Cependant, il faut considérer ces chiffres avec prudence dans l'absolu. En effet, il y a des unités d'égrenage traditionnelles de même que des unités de trituration des graines du même type dont les productions ne sont pas maîtrisées. Par ailleurs, les rendements en huile donc en tourteaux sont très variables. Alors que dans les usines modernes ils sont de 16 à 20 pour cent, ils ne sont que de 8 à 10 pour cent dans les huileries traditionnelles. Enfin, dans certaines huileries traditionnelles, le mode d'extraction est loin d'être performant, mais il peut être fait sans que la coque soit séparée de la graine.(**FAO**, 2014)

**Tableau 08** : Production de graines de coton et de tourteaux de coton (milliers de tonnes) (FAO, 2014)

Pays	2005		2006		2007		2008		2009	
	G	T	G	T	G	T	G	T	G	T
Bénin	341	190	250	124	268,6 2	148	244,56	135	229	126
Burkina	712,7	370	759,9	373	377,3 6	190	720,67	315	483,86	270
Cote d'Iv.	321,28	145	267,8	100	278	75	135	65	125	63,02
Guinée- B.	5,32	–	5,12	–	5,5	–	5,84	–	4,5	–
Mali*	534,14	240,3	432,5	194, 2	247,58	111,41	202,69	91,2	236	106,2
Niger*	10,4	4,68	10,7	4,81	12	5,4	14,66	6,6	5	2,25
Sénégal	45,025	–	52,02	–	45,138	–	38,81	–	2,2	–
Togo*	65,36	29,41	39,9	17,9 9	48,8	21,96	32,5	14,62	29,02	13,06
Total	2035,2	979,3 9	1817,9 4	814	637,01 8	551,77	1394,73	627,42	630,72	580,53

NB : G= graine de coton ; T =tourteaux de coton ; \*les données n'étant pas disponibles pour les tourteaux pour ces pays le coefficient de 45 pour cent correspondant à une moyenne en rendement tourteaux a été appliqué aux graines.

### 1.2 Tourteau de soja

Le soja est une culture récente et bien qu'encore marginale, elle prend de plus en plus d'importance en Afrique de l'Ouest. Il semble que dans la plupart des pays producteurs de coton les paysans s'orientent vers cette production qui les rend plus indépendants dans leurs transactions commerciales, contrairement à celle du coton. Comme on peut l'observer au Burkina et au Bénin notamment, les productions ont brutalement augmenté, comme une réponse (ou une conséquence) à la chute du coton. (FAO, 2014)

### 1.3 Tourteau d'arachide

Une brusque reprise de la production arachidière au Sénégal a permis de produire près de 2 500 000 tonnes de tourteau d'arachide en 2009. Cependant cette augmentation est pratiquement le

seul fait de ce pays au sein de l'UEMOA. Il n'est pas surprenant de constater que le Niger, autrefois le plus grand producteur de cette culture, ne produise qu'à peine 250000 tonnes contre plus d'un million de tonnes au Sénégal. En effet, au Niger la production d'huile se fait de façon essentiellement artisanale, à un moindre degré de façon semi-moderne, de telle sorte que le sous-produit est essentiellement commercialisé sous forme de pâte d'arachide destinée à la consommation humaine. On observe la même situation au Mali et au Burkina Faso. Il y a donc peu de tradition de fourniture de ces sous-produits aux animaux dans ces pays, même si ça et là on observe quelques particuliers qui la suivent toujours. (FAO, 2014)

#### 1.4 Sons des céréales locales

Les productions de sons des céréales locales sont très difficiles à obtenir en raison du rôle important que jouent des unités artisanales dans leur transformation et dont le nombre et la capacité sont autant difficiles à maîtriser. De plus, il n'a pas été possible d'obtenir ces informations au niveau des rizeries et des meuneries. Par conséquent, l'estimation de la quantité de ces sons a été faite à partir de facteurs de conversion des quantités de grains fournies (Kossila, 1988) il n'est pas surprenant que le sorgho et le mil fournissent les plus grosses quantités de sons : entre 1 300 000 et 1 800 000 tonnes pour le premier et entre 1 500 000 et 1 800 000 tonnes pour le second, avec des évolutions qui suivent évidemment celles de la production des grains. Il reste entendu que la classification par pays reste la même que pour les grains et que les pays sahéliens restent les plus grands producteurs de sons de ces céréales (Figure 8). Concernant la production de son de blé, face aux difficultés d'obtenir des chiffres fiables et complets et puisque la presque totalité du blé transformé provient de l'importation (la production sous régionale étant très négligeable), son estimation a été faite à partir des quantités de blé importées auxquelles un coefficient de 0,35 pour cent a été affecté sur la base de la littérature. Les résultats de cette estimation figurent au Tableau 9. On y observe que le Sénégal et la Côte d'Ivoire produisent entre 75 et 80 pour cent du son de blé de la sous-région et que cette production a une tendance à l'augmentation ces dernières années. Le Burkina Faso et le Niger sont les plus faibles producteurs. Les disponibilités par UBT varient de 5 à 7 kg/UBT/par an selon l'importance de la production dans les pays. (FAO, 2014)

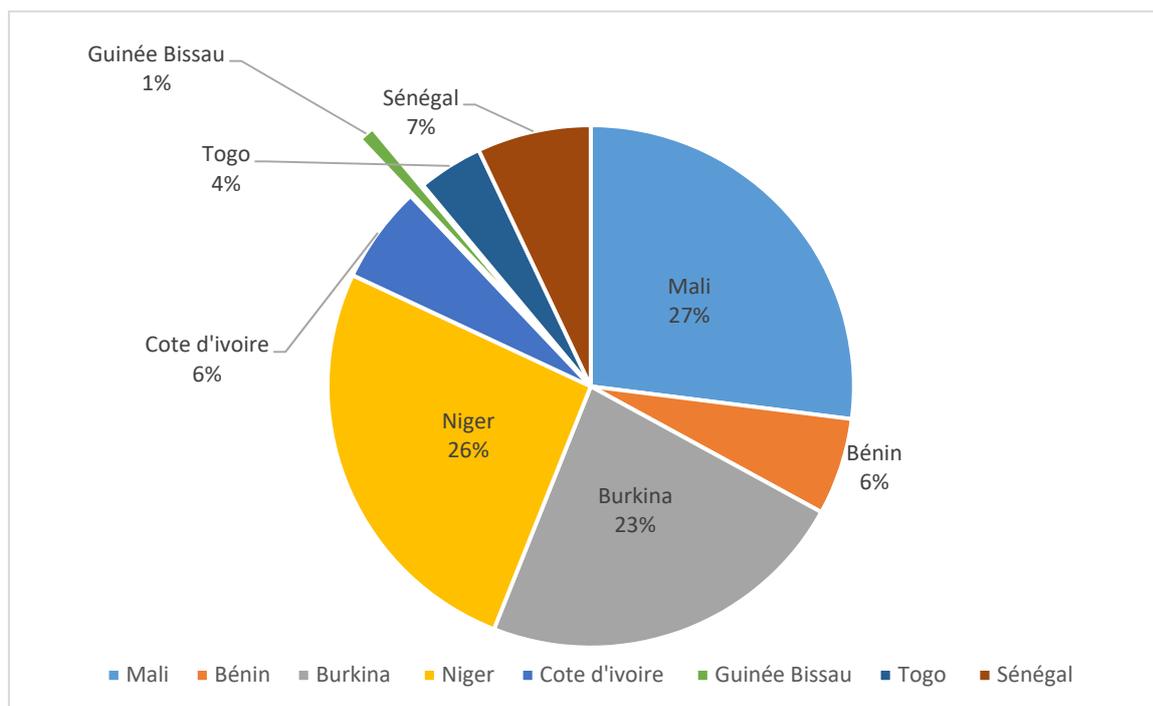


Figure 08 : Répartition des sons totaux par pays (FAO, 2014)

Tableau 09 : Evolution des exportations totales de graines de coton par pays UEMOA(FAO,2014)

Pays	2005		2006		2007		2008		2009	
	T	%	T	%	T	%	T	%	T	%
<b>Bénin</b>	69 032	100	21 224	100	1 310	4,5	299,75	4,5	7 389,65	100
<b>Burkina</b>	24 490	41,9	38 378	11,7	200	--	273,21	--	1 212,90	3,339
				2	511,60					
<b>Cote d'Iv.</b>	154 252	100	157 168	99	104 214	100	136 549	100	24 517,26	100
<b>Guinée-B.</b>	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
<b>Mali*</b>	65 703	63	55 791	35,9	1 690	39	--	39,0 7	--	--
<b>Niger*</b>	0,9	100	433,14	100	--	--	326,86	--	175,82	100
<b>Sénégal</b>	--	--	32 233	99,9	4,5	--	--	--	3,55	70,46
<b>Togo*</b>	97 200	100	446	100	--	--	56,1	--	182,02	--
<b>Total</b>	562 058	70,3 6	629 764	40,2 8	306 420	34,2 2	137 205,40	34,2 2	26 091,55	94,8

**N.B:** T=tonne ; %=Part des exportations extracommunautaires dans les exportations totales

### 1.5 Mélasse

La production de mélasse a été estimée à partir de celle de la canne à sucre, sachant que lors de la transformation la première représente 3 pour cent de la seconde. L'espace UEMOA produit environ 100 000 tonnes de mélasse par an et cette production a tendance à stagner (**Tableau 10**). La Côte d'Ivoire produit environ 45 pour cent de la mélasse d'Afrique de l'Ouest et le Sénégal le quart. Le Mali et le Burkina Faso se partagent à peu près également l'autre quart. Les disponibilités par UBT sont insignifiantes : de l'ordre de 0,5 kg/UBT par an dans les pays faiblement producteurs à 25-30 kg/an/UBT dans les pays comme la Côte d'Ivoire et le Sénégal. (FAO, 2014)

**Tableau 10** : Evolution de la production de mélasse dans l'espace UEMOA (tonne) (FAO, 2014)

Pays	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Bénin</b>	1.929,84	1.132,98	1.211,25	1.227,6	1.227,6
<b>Burkina Faso</b>	13.500	13.500	13.650	13.650	13.650
<b>Côte d'Ivoire</b>	43.688,4	43.440,3	49.089,9	48.900	48.900
<b>Guinée-Bissau</b>	165	165	165	180	180
<b>Mali</b>	10.329,36	9.585,87	10.225,35	10.800	11.310
<b>Niger</b>	6.600	7.200	7.200	5.632,56	6.355,92
<b>Sénégal</b>	24.870	24.885	25.080	25.080	25.080
<b>Togo</b>	0	0	0	0	0
<b>Total</b>	101.082,6	99.909,15	106.651,5	105.470,16	106.703,52

## 4. Disponibilité au niveau domestique

### 4.1 Graines de coton

Les quantités disponibles au plan national ont été obtenues en déduisant des productions nationales les exportations totales par pays.

Les quantités disponibles comme on peut le constater sont importantes par rapport aux exportations (**Tableau 08**). Cependant, il n'a pas été possible de déterminer si toutes ces quantités étaient destinées à l'alimentation du cheptel. En effet, ces quantités peuvent inclure aussi les semences, mais également les graines triturées pour l'obtention du tourteau. (FAO, 2014)

#### 4.2 Tourteaux

Pour l'ensemble des tourteaux ainsi que cela a déjà été observé, les disponibilités nationales sont relativement importantes par rapport aux exportations. Au vu de ces chiffres (**Tableaux 11, 12 et 13**), il est surprenant d'observer des coûts élevés de ces sous-produits au plan national, sous le prétexte d'exportations massives. (FAO, 2014)

Si les exportations sont une réalité, il faut dire aussi que les quantités disponibles sont probablement insuffisantes face à un élevage en pleine croissance dans la sous-région. Cela la zone, en plus des éleveurs, il existe des usines de fabrications d'aliments du bétail qui utilisent ces sous-produits. (FAO, 2014)

**Tableau 11** : Evolution des quantités de tourteaux d'arachide par pays (tonne).(FAO, 2014)

Pays	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Bénin</b>	140329	99382	114460	11562	121000
<b>Burkina Faso</b>	220 525	215447	244 922	346 292	330624
<b>Côte d'Ivoire</b>	67239	69239	69 256	49885	44 000
<b>Guinée-Bissau</b>	20 458	22 000	24 709	29 651	31 793
<b>Mali</b>	279503	265549	324187	325000	334 698
<b>Niger</b>	137902	152 600	147 676	304969	253 497
<b>Sénégal</b>	696219	411602	301319,4	723723	1017698
<b>Togo</b>	33448	39285	35950	40221,6	34750
<b>Ventes locales</b>	1595623	1275104	1262479	1831304	2168060

**Tableau 12** : Evolution des quantités de tourteaux de soja disponibles (tonne).(FAO, 2014)

Pays	2005	2006	2007	2008	2009
<b>Bénin</b>	4 660	1 880,00	7 547,00	30 827,00	55 651,00
<b>Burkina Faso</b>	6 500	5 860,00	5 850,00	29 209,00	15 686,00
<b>Cote d'Iv.</b>	300,00	632,00	705,00	580,00	182,00
<b>Mali*</b>	2 124	2 004,00	5 188,00	4 000,00	2 625,00
<b>Total</b>	13 583	10 376	19 290,00	64 616,00	74 145,00

**Tableau 13** : Evolution des quantités de tourteaux de coton disponible (tonne).(FAO, 2014)

<b>Pays</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
<b>Bénin</b>	140 916,3	67 610,16	104 379,8	106 378,7	108 511,6
<b>Burkina Faso</b>	368 800	359 288,2	175 226	314 675	258 138,6
<b>Côte d'Ivoire</b>	141 969,5	99 706,78	72 803	55 871,36	57 251
<b>Guinée-Bissau</b>	5 326	5 122	5 500	5 848	4 509
<b>Mali</b>	527 343,4	43 164,6	246 908,8	198 362,1	233 911
<b>Niger</b>	10 140,75	10 700	11 970	14 418,8	5 000
<b>Sénégal</b>	37 435,94	46 806,75	41 500,71	31 486,13	19 407,39
<b>Togo</b>	45 827,36	25 973,54	36 765,6	19 485,27	17 714,15
<b>Ventes locales</b>	1 277 759	1 046 856	695 053,9	746 525,4	704 442,7

### 4.3 Sons

En ce qui concerne les sons, seul le son de blé et le son de maïs, celui-ci en quantités très marginales, font l'objet de commerce régional. Le son de blé est essentiellement produit par le Sénégal et la Côte d'Ivoire. (FAO, 2014)

### 4.4 Mélasse

La mélasse fait très peu l'objet de commerce même au plan national. En effet, elle est le plus souvent utilisée comme source d'énergie par les usines ou comme « bitume » sur les routes empruntées par les camions de ces usines. (FAO, 2014)

## 6. Contraintes à l'utilisation des sous-produits agro-industriels

### 6.1 Contraintes techniques

Pour les sous-produits du coton, la principale contrainte technique avec la graine de coton est le gossypol. Ce pigment polyphénolique est présent dans l'amande et le tégument de la graine. En fonction des variétés la teneur en gossypol de la graine peut atteindre de 4 500 à 10 000 ppm. Le gossypol se trouve libre dans la graine et cette forme libre est nocive pour la plupart des espèces animales, et particulièrement chez les monogastriques et les préruminants chez lesquels les seuils de tolérance sont fixés entre 50 et 100 ppm pour les pondeuses et les porcs. (FAO, 2014)

On a longtemps pensé que les ruminants toléraient le gossypol en raison des possibilités ruminales qu'ils ont de fixer cette substance sur des protéines solubles lui conférant ainsi une

innocuité. Mais il existe une possibilité de saturation de cette forme de détoxification, notamment si les protéines solubles ne sont pas en teneurs suffisantes et, des symptômes ont été observés chez des laitières aux États-Unis lorsque la distribution des graines de coton est trop fréquente. Il est recommandé de ne pas dépasser 30 pour cent de graines de coton dans la ration. (FAO, 2014)

Pour le tourteau, le chauffage entraîne souvent une liaison du gossypol aux acides aminés, par la réaction dite de Maillard qui, si elle rend inoffensif le gossypol, rend indisponible des acides aminés indispensables pour leur absorption au niveau de l'organisme animal. Les contraintes liées au problème du gossypol ont amené la recherche à mettre au point des variétés « glandless » sans gossypol. (FAO, 2014)

Outre le problème du gossypol, les tourteaux de coton en particulier peuvent être contaminés selon les modes de conservation, par des toxines, notamment des mycotoxines dont les plus courants sont les aflatoxines produites par *Aspergillus flavus*. Les plus dangereuses parmi les mycotoxines figurent l'Ochratoxine, la Palutine, la Citrinine, le Tricothécène et la Zéaralone même si elles sont moins fréquentes. (FAO, 2014)

Cependant, les tourteaux du Burkina Faso par exemple n'ont pas les teneurs nocives en ces différentes mycotoxines (Marichatou., 2011).

Ce qui n'est pas étonnant, car le temps de conservation de l'aliment est si court que les moisissures n'ont pas le temps de s'y développer.

L'origine tellurique de la graine d'arachide prédispose plus facilement et plus fréquemment la contamination de cet aliment par les aflatoxines. La teneur maximale autorisée dans cet aliment est de 20 microgrammes par kg. (FAO, 2014)

Un des principaux problèmes avec les sons est leur relative faible teneur en Azote, même si selon les procédés certaines protéines peuvent s'y retrouver notamment dans celui du blé et du riz. Un autre problème est le risque de moisissure et donc de contamination fongique au cours de leur conservation. Enfin leur forme poudreuse est une source de gaspillage par les animaux et c'est pourquoi ils sont souvent mis sous forme de granulés, pour la volaille en particulier. (FAO, 2014)

## 6.2 Contraintes économiques

Les disponibilités des produits les plus importants dans la sous-région ont été calculées à partir des productions totales sans tenir compte des disponibilités après les exportations.

Il s'agit donc du « potentiellement disponible ».

On s'aperçoit bien qu'appliquées aux bovins, ces disponibilités sont relativement faibles dans l'ensemble. Or, ce ne sont pas les seules espèces auxquelles ces sous-produits sont destinés. Il y a donc un choix de distribution à envisager selon : le type d'élevage, la zone d'élevage ; les autres disponibilités en d'autres aliments, les marchés. Il apparaît plus simple d'envisager la distribution de ces sous-produits dans les zones proches des zones de consommation des produits animaux, dans les élevages intensifs, sur les espèces et les races les plus performantes. On s'aperçoit également qu'outre la variabilité interannuelle, il y a une grande variabilité des quantités disponibles qui tient d'une part aux capacités de production de la matière première par pays, mais aussi à l'importance du cheptel. Ainsi, peut-on noter que, bien que n'étant pas un pays producteur d'arachide, les disponibilités en tourteau d'arachide du Togo sont plus importantes que celles du Niger ou du Burkina Faso. En effet, les effectifs du cheptel togolais sont parmi les plus faibles. (FAO, 2014)

En ce qui concerne les graines de coton, les pays producteurs comme le Burkina Faso sont aussi des pays d'élevage. Ce qui n'est pas le cas pour le Bénin dont le cheptel est plus réduit et qui a donc de plus grandes disponibilités. (FAO, 2014)

Les prix constituent aussi des contraintes à l'utilisation de ces aliments. Pour le producteur moyen, les sous-produits agro-industriels sont hors de prix. Ce qui explique que dans la plupart des pays sahéliens notamment, l'État intervient dans le cadre de financements extérieurs, le plus souvent et procède à des distributions largement subventionnées aux éleveurs particulièrement en saison sèche et pendant les années de faible pluviométrie. (FAO, 2014)

L'étude des prix a aussi montré de grandes variations selon les pays et selon les années.

La seule explication est la loi de l'offre et de la demande en ce qui concerne le coton (Baffes, 2010 ; WACIP, 2010). D'ailleurs jusqu'au début des années 80, avant l'installation des usines de trituration de la graine de coton, celle-ci était ou brûlée ou abandonnée aux alentours de l'usine. C'est à partir de cette période que les usines se sont rendu compte des possibilités de valorisation des sous-produits issus de l'égrenage et de la trituration. (FAO, 2014)

Si dans les différents pays il existe des mécanismes, plus ou moins efficaces, plus ou moins réalistes, de fixation des prix du coton graine et de la graine destinée aux tritrateurs, ces mécanismes n'existent guère pour la graine destinée à l'élevage ainsi que pour le tourteau. D'ailleurs dans un même pays, dans une même région, le prix de vente local du tourteau varie d'un tritrateur à l'autre. Ainsi au Burkina Faso, sur une vingtaine de tritrateurs enquêtés par Baffes (2010), le prix de la graine de coton en 2009 a varié de 75 000 FCFA à 92 000 FCFA/tonne et, celui du tourteau de 60 000 FCFA à 111 000 FCFA/tonne. (FAO, 2014)

Cependant selon **Baffes** (2010), si jusqu'en 2006-2007, le prix de la tonne de graine de coton ne couvrait que 4 à 6 pour cent des coûts d'égrenage, cette contribution est désormais de 16 à 20 pour cent, d'où une explication plausible des augmentations du prix des sous-produits du coton. (FAO, 2014)

Outre ces questions liées à la fixation du prix de la graine de coton, il faut évoquer le problème de transport qui pénalise un pays enclavé non producteur comme le Niger.

Enfin, pour un pays producteur comme le Bénin, il est certainement plus facile d'exporter ses sous-produits par bateau et en vrac, sans conditionnement particulier et en plus grandes quantités que de les acheminer vers le Niger. (FAO, 2014)

Les contraintes juridiques existent également. En effet, les textes juridiques relatifs au secteur de l'élevage en Afrique de l'Ouest sont essentiellement les lois cadres sur le secteur. Ces lois portent essentiellement sur le foncier, la gestion des parcours (qui concernent donc indirectement, mais certainement les résidus agricoles), l'administration ainsi que la commercialisation des produits animaux. (FAO, 2014)

Il existe également des textes spécifiquement consacrés aux médicaments vétérinaires notamment en ce qui concerne leur introduction dans l'espace **UEMOA** et leur commercialisation. (FAO, 2014)

En revanche il n'y a aucun texte juridique qui régleme, la commercialisation et l'utilisation des aliments destinés au bétail, mis à part les arrêtés ministériels qui régulièrement interdisent l'exportation de certains sous-produits agro-industriels, sauf au Niger où les conditions de création d'entreprises de fabrication d'aliments et la fabrication de ces aliments font l'objet d'un article dans la loi cadre. (FAO, 2014)

Il reste bien évidemment entendu que, comme dans tous les secteurs, les textes datant de la colonisation et non modifiés sont supposés être en vigueur même si les aliments du bétail sont très peu pris en compte. (FAO, 2014)

# *Partie Expérimentale*

# *Chapitre IV: Matériels et méthodes*

## 1. Objectifs

L'intérêt de l'incorporation des polyphénols dans l'industrie alimentaire est en plein essor, comme c'est mentionné dans le premier chapitre, il était notamment prouvé que ces molécules bioactives jouaient un rôle important dans la prévention contre des maladies dégénératives telles que le cancer, les maladies cardiovasculaires ou l'ostéoporose. De plus leurs propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires aident à retarder les signes de vieillissement (les rides, la diminution de l'élasticité et la fermeté de la peau, etc.).

La caroube étant un produit moins répandu dans la culture de l'industrie agro-alimentaire du bassin méditerranéen et dont la course économique entre les pays méditerranéens pour rendre de ce produit une ressource noble, il s'avère que la valorisation de ce produit est un plus pour l'économie.

L'Algérie faisant partie de ces pays et producteur de la caroube pourra mener cette course en permettant à la recherche scientifique de lancer sa vision vers la promotion de caroube comme une ressource pour l'industrie alimentaire qui pourra diminuer les dépenses d'autres produits de large consommation et/ou substituer certains additifs alimentaires synthétiques. A partir de cela, la curiosité scientifique nous a inciter à poser nos deux hypothèses de recherche Indépendantes de la manière suivante : comme première hypothèse est-elle la caroube en possession d'une aptitude technologique adéquate ou équivalente pareille a un substituant de la farine du blé tendre ? Autrement dit les protéines que comporte la caroube posséderont-elles les mêmes aptitudes mécaniques, rhéologiques et fonctionnelles que celle du Gluten (la protéine qui caractérise les propriétés boulangères du blé tendre) ? et la deuxième hypothèse : peut-on mettre en œuvre son pouvoir antioxydant dans la conservation de la viande rouge ?

## 2. Préparation des échantillons

Les échantillons de caroube sont en gousses mures collectés de la wilaya de Guelma, en mois de Juillet 2018, après elles sont passées au broyage en entier puis conservées à l'abri de la lumière dans des sachets pour des analyses et des préparations ultérieures. Quant à la viande ovine (Gigot) collecté de la boucherie du marché couvert (Mostaganem) et puis hachée dans un hachoir électrodomestique.

### 3. Plan de travail

En premier lieu, on vise à mesurer l'aptitude nutritionnelle et technologique à la transformation industrielle et/ou artisanale de la caroube, cette mesure est réalisée par dosage des métabolites primaires et secondaires.

En second lieu, la poudre issue du broyage entier de la caroube est mélangée avec la farine de blé tendre à des proportions de 5%, 10% et 15%.

En dernier lieu, des concentrations de 5% 10% et 15% de la poudre de la caroube sont appliquées sur une viande hachée du gigot afin de mesurer l'indice de fraîcheur progressivement dans des intervalles de temps de 1h, 2h et 4h.

### 4. Méthodes d'analyse utilisées

#### 4.1 Détermination de la matière sèche : (Audigie et al. 1982)

##### a) Principe :

On procède à une dessiccation de l'échantillon à analyser dans une étuve aux températures de 100°C à 105°C, sous la pression atmosphérique jusqu'à l'obtention d'une masse pratiquement constante. Pour éviter toute reprise d'humidité, il convient d'opérer dans des vases de tare, placés dans un dessiccateur.

##### b) Mode opératoire :

- ✓ Introduire dans chaque vase de tare 1 g de l'échantillon frais : c'est le poids P1 ;
- ✓ Placer les dans une étuve réglée à 105 c° pendant trois heures ;
- ✓ Peser les vases de tare et répéter l'opération avec une heure d'intervalle entre chaque pesée jusqu'au poids constant ou à une différence de 1mg entre deux pesées successives

##### c) Expression des résultats :

La teneur en eau (%) du matériel végétal est donnée par la formule suivante :

$$\text{Teneur en eau (\%)} = (P - P1) / M \cdot 100$$

P : masse en g de la prise d'essai avant séchage.

P1 : masse en g de la prise d'essai après séchage. M : masse du matériel biologique.

A partir de la teneur en eau, on détermine le taux de matière sèche qui est donné par la formule suivante :

$$\text{Taux de matière sèche (\%)} = 100 - \text{teneur en eau (\%)}$$

## 4.2 Détermination quantitative des métabolites primaires

### 4.2.1 Détermination de la teneur en matière minérale : (Audigie et Dupont., 1982)

#### a) Principe :

Le principe consiste en une incinération du matériel biologique au four à moufle, dans un creuset en porcelaine, à une température de 900°C.

L'opération ne sera terminée que lorsque la couleur des résidus deviendra blanche grisâtre, qui se transformera en une couleur blanche après refroidissement.

#### b) Mode opératoire :

- ✓ On procède d'abord à une pré- incinération des creusets en porcelaine à 300°C pendant 15 minutes ;
- ✓ Après refroidissement dans un dessiccateur, ils sont pesés (poids A) ;
- ✓ On met 2g de l'échantillon broyé dans les creusets et on les introduit dans un four à moufle à 900°C jusqu'à ce que le contenu des creusets prenne une couleur blanc grisâtre qui blanchit après refroidissement dans un dessiccateur ;
- ✓ Enfin, on pèse les creusets avec les cendres (c'est le poids B).

#### c) Expression des résultats :

Les résultats sont exprimés selon la formule suivante :

$$Tc (\%) = \frac{B - A}{m} \times 100$$

Dont :

Tc : teneur en cendres (%).

A : poids du creuset vide (g).

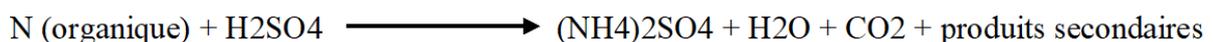
B : poids du creuset + échantillon après l'incinération.

m : masse de l'échantillon (g).

### 4.2.2 Dosage des protéines (Kjeldahl., 1883)

Le dosage de l'azote total a été basé sur la méthode de type micro-Kjeldahl utilisant un catalyseur au Sélénium. Selon le procédé suivant : la minéralisation ; première étape du dosage, consiste à dénaturer les protéines. Les liaisons peptidiques cassées, vont libérer les acides aminés, transforme l'azote organique en azote minéral. Tous cela se fait à chaud en présence de 0.5g de matière sèche et 2g de catalyseur CuSO<sub>4</sub> (Sulfate de cuivre), K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Sulfate de Potassium) et Se (Sélénium) additionnés à 20ml d'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) pur. Puis les laisser en contact pendant une demi-heure. Le mélange a été porté à 350 °C dans un bloc de digestion, après 30 à 60 mn le mélange vire du noir vers le vert clair.

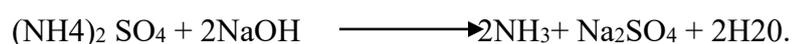
L'ébullition de la matière végétale en présence de l'acide sulfurique (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) concentré va entraîner une oxydation de la matière organique et une transformation de l'azote protéique en sulfate d'ammonium, selon la réaction suivante :



L'acide sulfurique sert également à piéger l'ammoniac gazeux sous forme de sulfate d'ammonium, par action de la base avec l'acide. Après refroidissement de la solution, le mélange a été ajusté à 100ml.

La deuxième étape nommée « distillation » consiste à mélanger 20ml de l'échantillon et 20ml de soude (NaOH 30 à 33%) dans un ballon. L'addition de NaOH va entraîner une libération de l'ammoniac sous forme de sel (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

L'ammoniac est ensuite entraîné par la vapeur d'eau. Le distillat est récupéré dans un bécher de 50ml contenant 20ml d'acide borique. Le volume doit être compris entre 30 et 40ml. L'ammoniac réagissant avec l'acide borique pour former des sels de « borates d'ammonium ». Lorsqu'on ajoute du NaOH, l'ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup> (ammonium) est converti en NH<sub>3</sub> (gaz ammoniac) ; étant volatile. Le NH<sub>3</sub> récupéré après distillation dans un milieu acide (H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>) va reprendre la forme d'ion NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

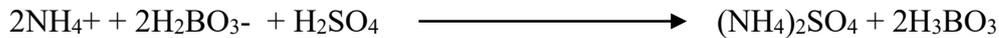


La dernière étape consiste à faire « la titration » de l'ammoniac, qui est capturé par l'acide borique formant ainsi un complexe d'ammonium borate selon la réaction suivante :



Ammoniac + Acide borique  $\longrightarrow$  Complexe d'ammonium borate + Acide borique

La titration acido-base se fait par l'utilisation de l'acide sulfurique dilué N/20, et le complexe ammonium borate. La couleur de la solution obtenue vire du vert à la couleur initiale d'acide borique.



Complexe d'ammonium borate + acide sulfurique  $\longrightarrow$  sulfate d'ammonium + Acide borique

Afin d'éliminer l'azote provenant des réactifs, un blanc a été réalisé dans les mêmes conditions sans l'ajout d'échantillon.

A travers l'ammoniac présent dans la solution, on peut calculer la quantité d'azote initialement contenue dans l'échantillon.

La teneur d'azote est donnée par la loi suivante :

$$\text{N}\% = v * 7 \cdot 10^{-4} * (V/V_0) * 100/P.$$

Où :

- v** : volume H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (N/20).
- 7.10<sup>-4</sup>** : volume H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (N/20) (pour 1 ml de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).
- V** : volume de L'échantillon (=100ml).
- V<sub>0</sub>** : volume de la prise d'essai (=20ml).
- P** : poids de l'échantillon.

#### 4.2.3 Détermination de la teneur en matière grasse : (ISO 659, 1998)

##### a) Principe :

L'extraction par solvant organique (Hexane), spécifique pour la détermination du taux de la matière grasse est réalisée avec un appareil de type Soxhlet.

A la fin de l'extraction, on peut admettre que toute la matière grasse est transférée dans le solvant.

**b) Mode opératoire :**

Effectué selon la méthode **ISO 659, 1998**.

**c) Expression des résultats :**

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

$$\text{MG (\%)} = \frac{\text{P1} - \text{P2}}{\text{M E}} \times 100$$

Dont :

P2 : poids du ballon vide.

P1 : poids du ballon après évaporation.

ME : masse de la prise d'essai.

MG : taux de la matière grasse.

100 : pour exprimer le pourcentage.

**4.2.4 Détermination de la teneur en eau (AFNOR ,1982)**

La teneur en eau du noyau est déterminée par la méthode « NF T 60-305, Juin (1976) » normalisée, décrite par AFNOR (1982) et qui consiste en un étuvage de l'échantillon à raison d'un gramme à  $105 \pm 05^\circ\text{C}$ .

Les capsules vides sont séchées à l'étuve pendant 20 min à  $105 \pm 05^\circ\text{C}$  ; avec une précision de 0,001g, un gramme d'échantillon est pesé dans chaque capsule avant d'être placé à l'étuvage à  $105 \pm 05^\circ\text{C}$  durant 16 heures. Les capsules sont retirées de l'étuve puis placées dans le dessiccateur ; elles sont pesées après refroidissement. L'opération est répétée jusqu'à l'obtention d'un poids constant (en réduisant la durée du séchage à 30 min).

La teneur en eau est déterminée selon la formule suivante

$$H\% = [(M_1 - M_2) / P \times 100]$$

Où :

H% : Humidité.

M<sub>1</sub> : Masse de l'ensemble (capsule + matière fraîche avant étuvage).

M<sub>2</sub> : Masse de l'ensemble après étuvage.

P : Masse de la prise d'essai.

La matière sèche est obtenue selon la formule suivante :

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

### 4.3 Détermination quantitative des métabolites secondaires

#### 4.3.1 Dosage des Phénols totaux

##### a) Extractions sélectives :

La caroube étant riche en sucres simples, avant de procéder à l'extraction ; on laisse les gousses de caroube, écrasées et séchées préalablement, macérer pendant 12 heures dans de l'eau froide (3 °C). Ce procédé, répété 2 fois, permet d'éliminer les oses présents ; c'est une méthode employée par **Kumazawa et al.** (2002) ; on procède par la suite aux extractions sélectives.

##### b) Extraction des phénols totaux :

Une prise d'essai de 0.25 g du matériel végétal est macérée dans 100 ml du mélange acétone/eau (70 % v/v) pendant 90 minutes, à température ambiante. Adapté de (**Yassine Benchikh et al.** 2014).

##### c) Dosage par la méthode de Folin Ciocalteu :

Les composées phénoliques totales (TPC) des extraits ont été évaluées par la méthode de Folin-Ciocalteu (**Singleton et Rossi**, 1965).

En bref, 100 µL de chaque extrait ont été ajoutés à 500 µl réactif Folin-Ciocalteu et 6 ml d'eau distillée. Deux millilitres de Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> à 15% a été ajouté et le mélange a été de nouveau agité pendant 30 s. Enfin, la solution a été rajustée à 10 ml en ajoutant de l'eau distillée. Au bout de

2 h, l'absorbance à 750 nm a été mesurée. Le contenu phénolique a été calculé à partir de la courbe d'étalonnage de l'acide gallique (de 25 à 1000 mg / ml).

Les absorptions ont été mesurées en 2 répétitions pour chaque extrait et les résultats ont été exprimés en mg / 100 g d'amande Ms.

#### 4.4 Détermination de l'indice de peroxydation (Indice de TBARS (Genot, 1996))

##### a) Principe :

Les produits secondaires de l'oxydation des lipides les plus couramment dosés sont les aldéhydes. L'acide thiobarbiturique (TBA) réagit avec le malonaldéhyde (MDA) pour former un complexe de couleur rose et/ou jaune possédant un maximum d'absorption à une longueur d'onde de 532 nm. Il réagit également avec d'autres aldéhydes résultants de l'oxydation des AGPI (l'acide gras polyinsaturé) à longue chaîne. La concentration des substances réactives au TBA (sr- TBA), exprimée en équivalent MDA est évaluée par la lecture de l'absorbance au spectrophotomètre visible des sr-TBA extraite des échantillons par l'acide trichloracétique (TCA).

##### b) Mode opératoire :

Un échantillon de viande de 2g est placé dans un tube de 25ml contenant 16ml d'acide trichloracétique (TCA) à 5% (p/v) et éventuellement rajouté 100µl d'acide ascorbique (Vitamine C). Le mélange est homogénéisé 3 fois pendant 15 secondes à l'aide d'un votrex à une vitesse d'environ 3000 rpm. Le mélange obtenu est filtré. Puis de ce filtrat 2 ml sont additionnés à 2ml d'acide thiobarbiturique (TBA). Les tubes fermés sont plongés dans un bain-marie à 70°C pendant 30 minutes et placés dans un bain d'eau froide. la lecture de l'absorbance du mélange réactionnel se fait à l'aide de spectrophotomètre à 532nm. Les résultats sont exprimés en mg équivalent MDA (malonaldéhyde)/kg. La coloration reste stable pendant 1 heure.

On procède aux mêmes étapes de travail pour les amandes douces et les amandes amères incorporées avec la viande à différentes concentrations préalablement citées.

##### c) Expression des résultats :

Les résultats dégagés au cours de ces expériences sont obtenus par la formule suivante :

$$\text{mg équivalent MDA/ kg} = (0,72 / 1,56) \times (A532 \text{ cor X v solvant} \times Vf) / PE$$

Avec :

**A532 cor** : l'absorbance.

**V solvant** : volume de solution de dilution TCA en ml.

**PE** : prise d'essai en gramme.

**Vf** : volume du filtrat prélevé.

**0,72 / 1,56** : correspond à la prise en compte du coefficient d'extinction moléculaire du complexe TBA-MDA à la valeur de :  $1,56 \cdot 10^{-5} \text{ M}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$  (**Buedge et al.**, 1978) et au poids moléculaire du MDA d'une valeur de 72g. mol.

## 4.5 Analyses rhéologiques de la farine traitée à différentes doses

### 4.5.1 Analyse alvéographique (ISO 5530)

#### a) Principe :

Le principe de cette analyse est la préparation d'une pâte à teneur en eau constante, à partir d'une farine de blé et d'eau salée, dans les conditions spécifiées. C'est la formation d'éprouvettes de pâte d'épaisseur déterminée.

Il s'agit d'une extension biaxiale, par gonflement sous forme de bulle, des éprouvettes de pâte laminées. Enfin, c'est l'enregistrement graphique des variations de pression à l'intérieur de la bulle en fonction du temps et l'appréciation des caractéristiques de la pâte d'après la forme et la surface des alvéogrammes obtenus.

#### b) Réactifs :

Sauf indication différente, utiliser uniquement des réactifs de qualité analytique Connue, et de l'eau distillée ou déminéralisée ou d'une pureté équivalente.

- Solution de chlorure de sodium, obtenue en dissolvant 25+ou- 0.2 g de chlorure de sodium dans de l'eau distillée, puis en complétant à 1 000 ml, la température de cette solution ne doit pas dépasser 20+ou- 2°C,
- Huile végétale raffinée, faiblement insaturée et ayant un indice d'acide inférieur à 0,4(déterminé selon l'ISO 660), telle que l'huile d'arachide ou l'huile d'olive. En alternative, l'huile de paraffine fluide (dite « huile de vaseline »), ayant un indice d'acide inférieur ou égal à 0,05 et de viscosité la plus faible possible (n'excédant pas 60mPa.s) à 20°C peut être utilisée,
- Dégraissant à froid, capable de nettoyer des surfaces grasses à température ambiante et d'éliminer la poussière et les autres souillures avec une haute sécurité.

**c) Appareillage :**

- Ensemble alvéographique complet :
  - Pétrin, régulé avec précision en température, pour la préparation de l'échantillon de la pâte,
  - Manomètre hydraulique ou Alvéolink, pour l'enregistrement de la courbe de pression,
  - Alvéographe, régulé avec précision en température, pour la déformation biaxiale de l'échantillon. L'Alvéographe comporte deux chambres de repos, chacune comprenant cinq plaques pour disposer les éprouvettes de pâte avant déformation,
  - Burette à robinet, de 160 ml de capacité, graduée directement en pourcentage de la teneur en eau, avec une précision de 0,1%,
- Balance, capable de peser à 0,5 g près,
- Chronomètre,
- Jeu d'abaques planimétriques,
- Système d'enregistrement, pour enregistrer les conditions d'environnement de l'essai,
- Fiole jaugée, de 1 000 ml de capacité.

**d) Mode opératoire :**

- Vérifications préliminaires : S'assurer de la propreté de l'appareil, s'assurer, que le registre de fermeture est fermé pour éviter les pertes de farine ou les fuites d'eau, etc.
- Détermination de la teneur en eau de la farine, vérification de la température de farine et détermination de la quantité de solution de chlorure de sodium à utiliser pour préparer la pâte,
- Pétrissage :
  - On verse dans le pétrin 250 g de farine. Après avoir fixé le couvercle. On met en route le moteur et le chronomètre, puis on verse par le trou de couvercle la quantité d'eau déjà calculée à partir de la teneur en eau de la farine. Ensuite, on laisse la pâte se former durant minute. Après cette période, on arrête le moteur et on réincorpore la farine avec une spatule, on effectue cette opération durant 1 minute,
  - On laisse le pétrissage se poursuivre durant 6 minutes puis on arrête le pétrissage et on fait l'extraction de la pâte,
  - On verse quelques gouttes de l'huile de paraffine pour faciliter l'extraction. Et quand la pâte atteint le niveau des encoches de la plaque. On la découpe et on le met dans la plaque en verre huilée,

- On fait cette opération, 5 fois pour préparer 5 pâtons puis on Lamine les pâtons à l'aide d'un rouleau d'acier huilé, que l'on fait glisser sur ses rails 12 fois de suite,
- D'un mouvement net, on découpe les pâtons avec l'emporte-pièce on place chaque pâton au-dessus de la plaque de repos destiné à le recevoir, et le placer immédiatement dans l'enceinte isotherme de température 25°C,
- Pendant que la période de repos qui dure 28 minutes après le début de pétrissage. On fait l'étalonnage de l'Alvéolink et on fait le nettoyage de pétrin,
- Quand les pâtes seront fermentées, on calibre l'éprouvette entre deux platines. Puis on relève la platine supérieur pâton et le gonflement de la bulle de la pâte se débute ainsi que l'Alvéolink enregistre les variations de Pression d'air mesurée au cours du temps lors de la formation de la bulle,
- L'Alvéolink affiche alors six courbes par essai, une pour Chacun sous échantillon de la pâte, et une courbe qui correspond à la moyenne des cinq autres.

#### f) Expression des résultats :

Les résultats sont lus directement de l'appareil : ils sont calculés à partir des cinq courbes obtenues. Toutefois, si l'une d'entre elles s'écarte notablement des quatre autres il n'en sera pas tenu compte dans l'expression des résultats.

- **Suppression maximale, P** : C'est la moyenne des ordonnées maximales. Le paramètre P est proportionnel à la valeur de la pression maximale dans la bulle, qui en relation avec la résistance à la déformation de la pâte. La valeur du paramètre P est égale au produit de la moyenne des ordonnées maximales (en millimètres) par un facteur k égal à 1,1. P est en généralement associé à la ténacité, il est lié au pouvoir d'hydratation de la farine,
- **Moyenne des valeurs de l'abscisse, L, aux points de rupture** : Les valeurs de L'abscisse à la rupture de chaque courbe est mesurée en millimètres sur la ligne de zéro, à partir de l'origine des courbes jusqu'au point correspondant verticalement au départ de la chute de pression, due à la rupture de la bulle. La moyenne des valeurs de l'abscisse à la rupture des courbes représente la longueur L. C'est l'extensibilité, elle peut être considérée comme la plasticité à laquelle s'ajouterait l'élasticité,
- **Indice de gonflement, G** : C'est la moyenne des valeurs de l'abscisse aux points de rupture, convertie en indice de gonflement G. Cette valeur est la racine carrée du volume d'air (en millilitres) pour développer la bulle jusqu'à sa rupture.

$$G = 2,226 \times VI$$

- **Rapport, P/L** : C'est le rapport conventionnellement appelé rapport de configuration de la courbe. Ce rapport exprime « l'équilibre » des propriétés de ténacité et d'extensibilité, Travail de déformation,
- **W** : Le travail de déformation de la pâte nécessaire au gonflement de la bulle jusqu'à sa rupture, rapporté à 1 g de pâte, représenté par le symbole W. Il est exprimé en  $10^{-4}$  j/g de pâte. C'est la force boulangère de la pâte, le travail de déformation se calcule de la façon suivante :

$$W (10^{-4} J) = 6,54 \times S$$

S est la surface de la courbe, en centimètres carrés mesurée au moyen de l'abaque

- **Indice d'élasticité, le** : Il exprime la résistance élastique de la pâte au cours de sa déformation biaxiale (**Tripette et Renaud, 1996**). C'est le rapport de  $P_{200}$  sur  $P$  exprimé en pourcentage.  $P_{200}$  est proportionnel à la pression à l'intérieur de la bulle lorsqu'on a insufflé sous l'éprouvette de pâte un volume d'air de 200 ml.  $P_{200}$  est le produit de l'ordonnée moyenne (en millimètres) de la courbe pour une abscisse moyenne  $L$  mesurée à partir de l'origine de la courbe de 40,4 mm (soit un gonflement  $G$  de 14,1). Ce rapport quantifie l'aspect plus ou moins creusé de la courbe et traduirait le caractère élastique de la pâte (**Kitissou, 1995**).

#### 4.6 Analyse statistique

Les résultats sont traités par une analyse de variance suivie d'une comparaison de moyenne par le biais du logiciel (STATBOX) sous le système d'exploitation (Windows 10) selon le test de Newman et Keuls à une probabilité de (0.05).

# *Chapitre V: Résultats et discussion*

## 1. Caractérisation des métabolites primaires et secondaires du caroubier

Les résultats de la composition chimique en métabolite primaire et secondaire de la caroube sont illustrés dans le tableau ci-dessous.

**Tableau 14** : Composition chimique en métabolites primaires et secondaires de la caroube

Composition chimique en Métabolites primaires	%
Humidité	14,76 ± 0,27
Matière minérale	2,45 ± 0,16
Matière sèche	85,23 ± 0,27
Protéine brute	8,60 ± 0,25
Lipide brut	4,48 ± 0,24
Composition chimique en métabolites secondaires	Mg/g MS
Phénols totaux (CPT)	2,60 ± 0,21

### 1.1 Matière sèche et teneurs en eau

D'après les résultats obtenus de la matière sèche et l'humidité exprimées en pourcentage dans le tableau ci-dessus (**Tableau 14**), il est probable que ce pourcentage d'humidité et de matière sèche est lié aux circonstances d'exécution de nos analyses tardives 8 mois après la récolte au fur et à mesure de la prolongation du temps qui induit une perte en termes d'humidité et une augmentation de la matière sèche. À déduire que la quantification de la matière sèche dépend de la proportion du fruit en teneurs d'eau.

Par comparaison, des résultats obtenus de la part de (**Ali K. Yousif, H.M. Alghzawi., 1999**) sont plus approximative à nos résultats. Tandis que celle de (**M. Kamal E. Youssef et al., 2013**) sont inférieures à la notre. il semble que cette différence est due aux facteurs pédo-climatiques, de variété du caroubier et les préalables de l'analyse (intervalle de temps entre la récolte et l'effectuation des analyses).

### 1.2 Lipides

Les lipides sont des substances organiques nutritionnelles caractérisés par leurs insolubilités dans l'eau et, au contraire, par leurs solubilités dans les solvants organiques non polaires. Ils constituent un apport calorique important ainsi un apport en acide gras essentiel et en vitamines liposolubles.

À tenir en compte, que le taux de la matière grasse est apprécié par de nombreux facteurs tels que la granulométrie, l'humidité, la nature du solvant et la technique d'extraction employée.

Le taux de lipide brut illustré dans le **Tableau 13** est élevé par rapport à l'analyse effectuée par (M. Kamal E. Youssef et al., 2013) qui comprenait seulement la poudre de la pulpe de la caroube, en sachant que le plus élevé pourcentage des lipides se concentre dans la graine, pour raison que cette dernière est un organe de stockage des nutriments.

### 1.3 Matière minérale

La teneur en matière cendre est un élément indicateur sur l'apport nutritionnel en minéraux que contient l'échantillon à analyser. Les résultats obtenus ci mentionné dans le **Tableau 13** s'accordent à celle de (M. Kamal E. Youssef et al., 2013), cela est due à la provenance géographique des échantillons, notamment les conditions climatiques et les caractères édaphiques des sols. À bien distinguer que selon (M.Kamal et al., 2013), le Soufre prédomine avec 17 577,80 mg/Kg suivis par le Phosphore en quantités de 2255,21 mg/Kg, le Calcium avec 22 123 mg/Kg ainsi que des éléments trace : fer, manganèse, zinc et cuivre.

### 1.4 Protéine brute

Les protéines jouent un rôle primordial dans l'alimentation à travers l'énergie quelle fournissent, la balance en acide aminé doit être en équilibre pour assurer un bon fonctionnement de l'organisme humain,

Les résultats illustrés dans le **Tableau 13** affirment une importante importation protéique, qui paraît légèrement supérieure à celle de (M. Kamal E. Youssef et al., 2013), et cela est due à que dans son analyse la graine n'été pas incluse dans la poudre, les conditions pédoclimatiques, le stade de maturation et les conditions de culture ont reflété cette légère baisse en protéine. Les recherches de (Ali K. Yousif, H.M. Alghzawi., 2002) indique que l'acide aspartique était l'acide aminé le plus abondant (4,13 mg/g poids sec) suivi par l'alanine (2,76 mg/g poids sec).

En contrepartie, la quantité de la paire cystéine-méthionine était notablement faible, la lysine (0,26 mg/g poids sec) plutôt que la paire d'acides aminés précédents était l'acide aminé le moins abondant.

(Ayaz et al., 2009) affirment que la composition en acide aminé de la caroube est acceptable et bien équilibrée sauf la lysine, en les comparant avec le taux standard de protéine déclaré par L'OMS (Organisation mondiale de la santé).

### 1.5 Phénols totaux

Nos résultats des phénols totaux illustrés dans le **Tableau 13** rejoignent celle de (**Avallone et al., 1997** et **d'Owen et al., 2003**), et ils sont moins par rapport à ceux que propose (**Glew et al., 2003** et **d'Ortega et al., 2011**). Cette différence s'interprète par la provenance géographique, la variété et le degré de maturité.

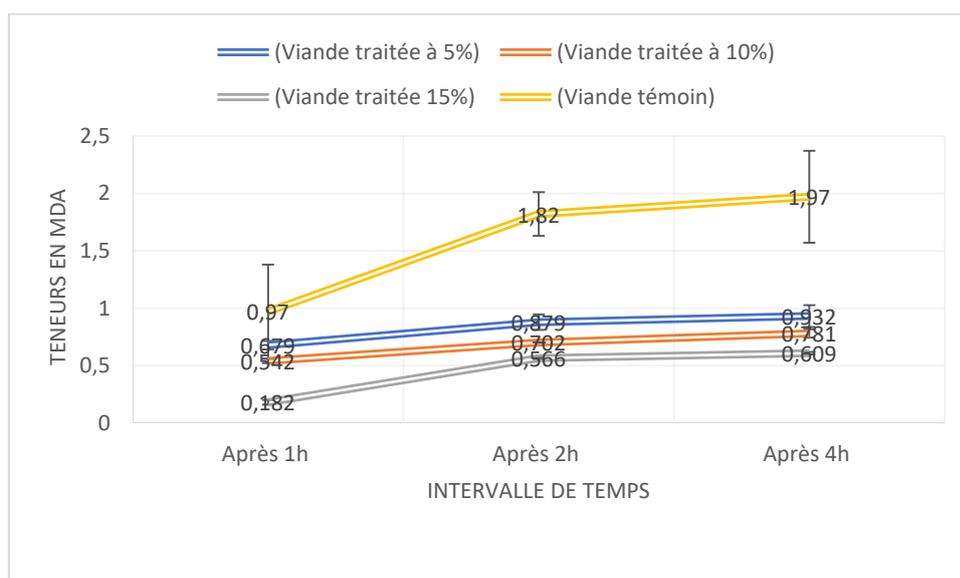
En rappelant que les analyses de (**M. Kamal E. Youssef et al., 2013**) déduites que les phénols de la caroube sont constitués de 11 composants parmi l'acide chlorogénique et l'acide caféique qui sont tous deux des antioxydants qui inhibent la formation de composés N-nitrosés mutagènes et cancérigènes in vitro (**Han et al 2007**).

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

## 2. Estimation de l'indice de fraîcheur de la viande ovine hachée (Gigot)

**Tableau 15** : Teneurs en MDA des viandes ovines hachées (Gigot).

	Après 1 Heure	Après 2 Heures	Après 4 Heures
4.(Viande Témoin)	0,97 ±0,41 <sup>a</sup>	1,82 ±0,19 <sup>a</sup>	1,97 ±0,4 <sup>a</sup>
1.(Viande traitée à 5 %)	0,679 ±0,037 <sup>de</sup>	0,879 ±0,067 <sup>b</sup>	0,932±0,095 <sup>b</sup>
2.(Viande traitée à 10 %)	0,542 ±0,019 <sup>f</sup>	0,702 ±0 <sup>d</sup>	0,781 ±0,036 <sup>c</sup>
3.(Viande traitée à 15 %)	0,182 ±0,021 <sup>g</sup>	0,566 ±0,009 <sup>f</sup>	0,609 ±0,011 <sup>ef</sup>



**Figure 9** : Indice TBA dans la viande ovine hachée (Gigot).

Les teneurs en MDA sont représentées en mg/Kg, les coordonnées des résultats sont indiquées dans le **Tableau 15** et projetées dans la **Figure 9**.

Après 1 h de l'opération de traitement on observe que les valeurs en MDA de la viande témoin sont significativement supérieures ( $p < 0.05$ ) par rapport à celle traitée à (5%) (10%) et (15%). Avec des rapports de différence entre la viande témoin et traitée (15%) estimé à 81,24 %.

Après 2 h de traitement, on constate que les valeurs en MDA de la viande témoin sont significativement supérieures ( $p < 0.05$ ) à celles traitées (5 %) (10 %) et (15 %). Avec des rapports de différence de 51,70 %, 61,43 % et 68,90 % respectivement.

Après 4 h de traitement, on distingue que les valeurs en MDA de la viande témoin sont significativement supérieures ( $p < 0.05$ ) à celles traitées à (5 %) (10 %) et (15 %). Avec des rapports de différence de 52,69 %, 60,36 % et 69,09 % respectivement.

La teneur en MDA de la viande témoin augmente significativement ( $p < 0.05$ ) entre les intervalles de temps 1H et 4H avec un rapport de différence de 50,76 %. Tandis que celui des viandes traitées à (15 %) est de 70,11 %.

Les valeurs en MDA de la viande témoin sont significativement plus élevées dans les intervalles de temps de 1h et 4h que celle de la viande traitée à (15%) dans les mêmes intervalles de temps avec un rapport de différence estimé à 27.59%.

À ce propos, il est à noter que le hachage affecte l'oxydation lipidique suite à la rupture cellulaire et à l'activation ultérieure de la lipoxygénase, ces deux derniers pouvant initier une oxydation d'acides gras polyinsaturés en acyle hydroperoxydes (**Joaquin., et al.**, 2008).

À signaler que des Résultats similaires ont été obtenus sur des poissons (*Trachurus trachurus*) dans les travaux de (**Irene Albertos et al.**, 2015). L'augmentation significative de l'oxydation de la viande témoin par rapport aux échantillons traités révèle certainement un effet inhibiteur de l'oxydation lipidique de ces derniers et ceci peut être expliqué par l'activité antioxydante des phénols de la caroube comme l'approuve (**Kumazawa et al.** 2002) dans ses travaux réalisés avec les pulpes de caroube. De plus (**Das et al.**, 2016), décrit que les antioxydants naturels des fruits et légumes peuvent concourir à la stabilité de l'oxydation de la viande ovine.

Ce qui ressort essentiellement de ces résultats c'est que la viande traitée à (15%) a un effet inhibiteur d'oxydation plus important par rapport aux autres concentrations. Cela implique une mauvaise complexation entre les radicaux libres et les composés antioxydants dans ces concentrations comme ça été démontré par (**Rice-Evans et al.**, 1996 et **Brand-Williams et al.**,

1995) ; l'activité antioxydante des composés phénoliques est en grande partie dictée par leurs structure moléculaire et concentration (**Marian Naczk et al.**, 2003) rajoute que cela complique à la fois la détermination de l'activité antioxydante des mélanges complexes de composés phénoliques extraits de plantes et de l'interprétation des données expérimentales lors de l'application de ces derniers sur la viande. .

En outre (**Irene Albertos et al.**, 2015) confirme à travers son étude que les graines de caroube possèdent une activité antioxydante capable d'inhiber de manière significative l'oxydation des lipides (Peroxydation value (PV), hydroperoxydes, TBARS, odeur de rance), la perte d' $\alpha$ -tocophérol, la modification de la couleur, l'oxydation des protéines (Carbonyls).

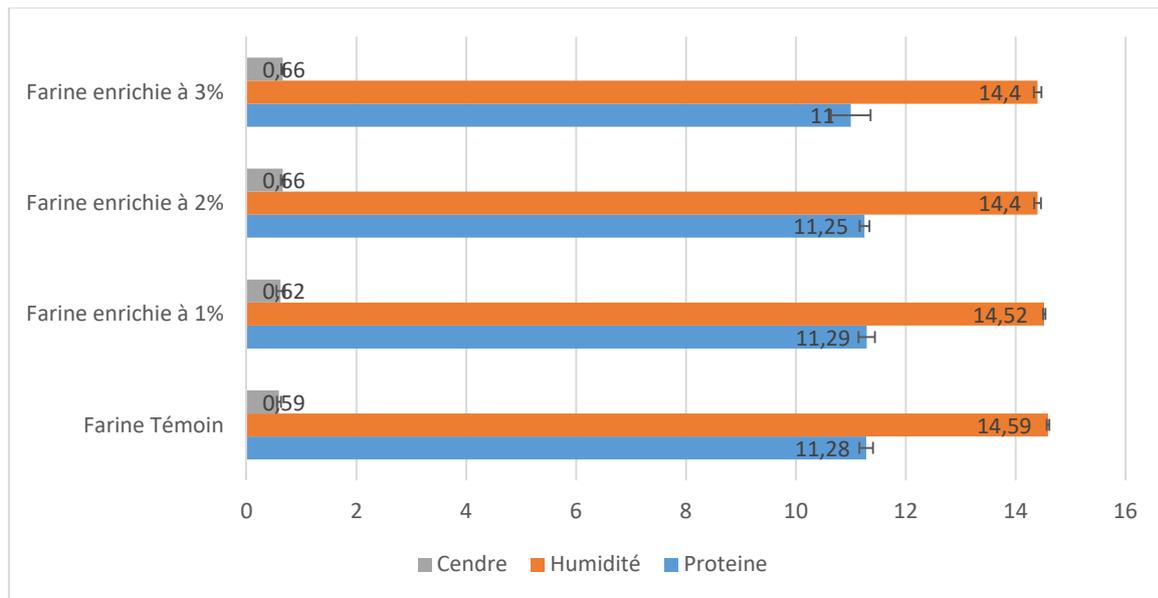
Certains chercheurs tels que (**Sara Bastida et al.**, 2009) affirment que ça serait intéressant de tester utilement telle poudre végétale sur des viandes plus complexes à titre d'exemple : des viandes avec des acides gras insaturés sains et/ou avec des nitrites. Pour déterminer les effets anti-rancidité et fonctionnels de viande avec des extraits de caroube. Cependant d'autres études sont nécessaires pour évaluer ses propriétés antimicrobiennes et ses effets bénéfiques potentiels sur la santé.

### 3. Étude rhéologique et caractéristique de la farine enrichie avec la poudre de caroube

Les résultats de la caractérisation de la farine Témoin et celles enrichies en poudre de caroube sont représentés dans le **Tableau 16** et illustrés dans la **Figure 11**.

**Tableau 16** : Caractéristiques de la farine Témoin et celles enrichies en poudre de caroube

	<b>Protéine %</b>	<b>Humidité %</b>	<b>Cendre %</b>
<b>Farine Témoin</b>	11,28 $\pm$ 0,125 <sup>a</sup>	14,59 $\pm$ 0,022 <sup>a</sup>	0,59 $\pm$ 0,036 <sup>b</sup>
<b>Farine enrichie à 1 %</b>	11,29 $\pm$ 0,149 <sup>a</sup>	14,52 $\pm$ 0,022 <sup>ab</sup>	0,62 $\pm$ 0,075 <sup>b</sup>
<b>Farine enrichie à 2 %</b>	11,25 $\pm$ 0,089 <sup>a</sup>	14,4 $\pm$ 0,062 <sup>b</sup>	0,66 $\pm$ 0,036 <sup>a</sup>
<b>Farine enrichie à 3 %</b>	11 $\pm$ 0,361 <sup>a</sup>	14,4 $\pm$ 0,069 <sup>b</sup>	0,66 $\pm$ 0,026 <sup>a</sup>



**Figure 10 :** Caractéristiques de la farine Témoin et la farine enrichie en poudre de caroube

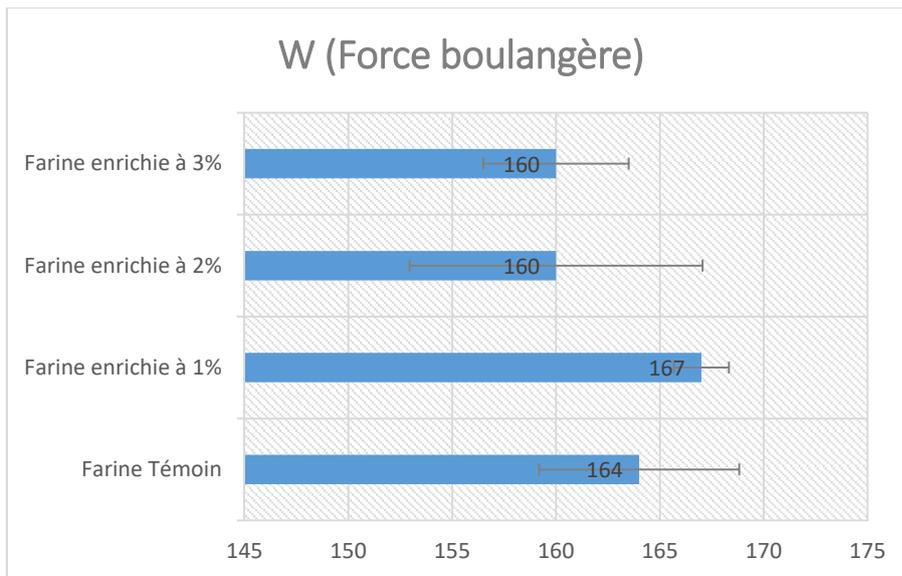
Les caractéristiques de la farine témoin et celles enrichies avec la poudre de caroube sont exprimées dans le **tableau 16** et la **Figure 10** ne montrent aucune différence significative ( $p > 0,05$ ) entre la farine témoin et celles enrichies avec la poudre de caroube en termes de protéine et cendre.

Par contre, le taux d'humidité de la farine témoin est significativement supérieur ( $p < 0,05$ ) à celle des farines enrichies, étant donné que la matière sèche que rapporte la caroube abaisse l'humidité en rappelant que le rapport entre la matière sèche et la teneur en eau est proportionnel.

Les résultats des Caractéristiques rhéologiques de la farine témoin et celles enrichies sont indiquées dans le **Tableau 17** et illustrées dans les **Figures 9 et 10**.

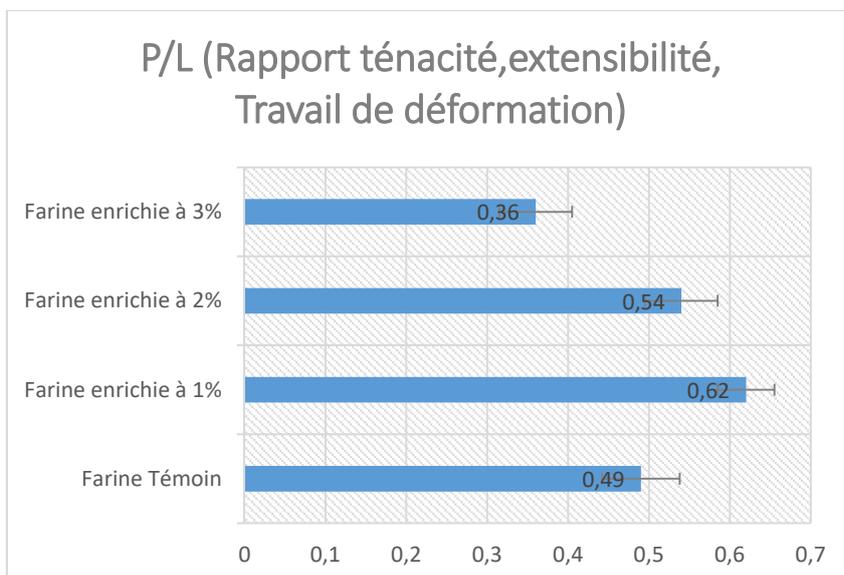
**Tableau 17 :** Caractéristiques rhéologiques de la farine témoin et celles enrichies.

	W(Force boulangère)	P/L(Rapport ténacité, extensibilité et travail de déformation)
<b>Farine Témoin</b>	164 ±4,82 <sup>a</sup>	0,49 ±0,048 <sup>b</sup>
<b>Farine enrichie à 1 %</b>	167 ±1,32 <sup>a</sup>	0,62 ±0,035 <sup>a</sup>
<b>Farine enrichie à 2 %</b>	160 ±7,05 <sup>a</sup>	0,54 ±0,045 <sup>ab</sup>
<b>Farine enrichie à 3 %</b>	160 ±3,5 <sup>a</sup>	0,36 ±0,045 <sup>c</sup>



**Figure 11 :** La force boulangère de la farine témoin et celles enrichies.

En ce qui concerne la force boulangère (W), aucune différence significative n'est signalée dans les résultats du **Tableau 17** et projetée dans la **Figure 11**, excepté que l'enrichissement de la farine de 1 % est plus élevé que celle du témoin soit un rapport de différence de 1,80 %.



**Figure 12 :** Le rapport P/L de la farine témoin et celles enrichies

À propos des résultats du rapport (P/L) mentionnés dans le **Tableau 17** et tracés dans la **Figure 12**, il est à noter que le rapport (P/L) de la farine enrichie à (1 %) est significativement plus élevé ( $P < 0.05$ ) à celui du témoin avec un rapport de différence de 20,97 %.

À conclure que l'enrichissement de la farine a (1%), (2 %) et (3 %) de poudre de caroube n'a pas d'impact sur les propriétés rhéologiques. Néanmoins, la force boulangère (W) et le rapport

P/L sont plus important dans la farine enrichie à (1 %). Cette amélioration est probablement due aux propriétés gélifiantes que rapportent les pectines et la gomme galactomannane que la caroube contient.

# *Conclusion*

L'étude réalisée avait pour objectif primordial de faire de la caroube un produit noble ; 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.

La première partie de la recherche est conçue à partir de l'effet antioxydant des phénols qui s'est réalisé à travers le traitement de la viande ovine hachée avec des proportions de poudre de caroube à (5 %, 10 % et 15 %).

Tandis que la deuxième partie, tient racine à l'idée d'acquérir des connaissances sur le comportement rhéologique de la farine de blé enrichie avec différentes quantités de poudre de caroube (5 %, 10 % et 15 %).

Par conclusion, en premier lieu, la poudre de la caroube a un effet inhibiteur d'oxydation sur la viande ovine. Cette déduction a été traduite par l'abaissement significatif de la teneur en MDA enregistré dans la viande traitée avec la poudre de caroube. En outre la concentration de 15 % avait l'effet antioxydant le plus important. Dans ce cas ; il est possible d'incorporer la poudre de caroube comme un conservateur à l'échelle industrielle des produits carnés pourvu que ça ne demande pas des technologies de purification ou d'extraction des phénols pour bénéficier de l'effet antioxydant de ces derniers. Moyennant, ça reste à amplifier la recherche sur le plan organoleptique des viandes rouges.

En second lieu, l'enrichissement de la farine de blé tendre avec une concentration de 1 % de poudre de caroube amène vers l'amélioration des paramètres rhéologiques de la farine ce qui insinue à que la substitution de la farine de blé tendre par celle de la caroube à 1 % est réalisable à l'échelle industrielle et ce qui confirme cette possibilité est l'usage entier du fruit par un simple broyage. L'inclusion de (1 %) de la farine de la caroube minimise les facturations à taux élevés des importations du blé tendre, alors même que l'industrie alimentaire prend direction vers la culture des produits de type « Gluten free » (des produits dépourvus de gluten).

Faisant rappelle que les propriétés rhéologiques de la farine s'attachent directement au taux de protéines, il serait intéressant de projeter dans le futur des investigations identifiant le stade de maturité où les protéines seront au summum. Dans le même enchainement, l'idée d'incorporer seulement les graines de caroube au lieu du fruit entier, pourvu que la graine comporte la quantité la plus importante en protéine comme le démontre la recherche de (GAOUAR Naila., 2011) sauf qu'il existe la contrainte de séparation entre la graine et la pulpe à l'échelle industrielle. Si bien qu'une autre perspective surgie à l'inclusion de la poudre du caroube dans

## *Conclusion*

---

les pâtes alimentaires vu que le caroube se gratifié d'une propriété gélifiante ainsi qu'épaississante au fait de sa composition importante en terme de fibre et de polysaccharide.

# *Référence Bibliographique*

## Références bibliographiques

---

- **Aafi A.** (1996). Note technique sur le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*). Centre Nationale de la recherche Forestiere, Rabat (Maroc), pp. 10.
- **Abi Azar R.**, (2007), Complexations des protéines laitières par les extraits de gousses vertes de caroubier. Propriétés technologiques des coagulums obtenus, Agroparistech Ecole Doctorale Abies, Thèse de doctorat.
- **AFNOR** (Association Française de Normalisation) (1985). Aliments des animaux, méthodes d'analyses françaises et communautaires. 2ème édition, 200 p.
- **Ait Chitt M., Belmir M. et Lazrak A.** (2007). Production des plantes sélectionnées et greffées du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture, N° 153, 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.
- **Albanell E., Caja G. & Plaixats J.**, (1991). Characteristics of Spanish carob pods and nutritive value of carob kibbles. *Options Méditerranéennes*. 16 : 135-136.
- **Ali K. Yousif , H.M.,Alghzawi. (2000).** Processing and characterization of carob powder. *Food Chemistry*. 69 283-287.
- **Alloncle M, Doublier J.L.**, (1991). Viscoelastic properties of maize starch/hydrocolloid pastes and gels. *Food Hydrocolloids*, 5 :455-467.
- **Alloncle M, Lefebvre J, Llamas G, Doublier JL** (1989). A rheological characterization of cereal starch-galactomannan/mixtures. *Cereal chem*, 66 : 90-93.
- **Audigie., C. L ; Dupont. G.** (1982). Principes des méthodes d'analyses biochimique ; Paris, pp. 566-567
- **Avallone R, Plessi M., Baraldi M. and Monzani A.**, (1997), Determination of Chemical Composition of Carob (*Ceratonia siliqua*): Protein, Fat, Carbohydrates, and Tannins, *Journal of food composition and analysis*, Vol.10, pp.166–172
- **Ayaz, F. A., Torun, H., Glew, R. H., Bak, Z. D., Chuang, L. T., Presley, J. M., et al.** (2009). Nutrient content of carob pod (*Ceratonia siliqua L.*) flour prepared commercially and domestically. *Plant Foods for Human Nutrition*, 64, 286-292.
- **Baffes, J.**, (2010). Marchés des sous-produits du coton : Tendances mondiales et implications pour les producteurs Africains de coton. Rapport pour la Banque mondiale. [http://www.wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2010/08/19/000158349\\_20100819151912/Rendered/PDF/WPS5355.pdf](http://www.wds.worldbank.org/external/default/WDSContentServer/WDSP/IB/2010/08/19/000158349_20100819151912/Rendered/PDF/WPS5355.pdf).

- **Bastida, S., SanchezMuniz, F. J., Olivero, R, Perez-Ollerros, L, Ruiz-Roso, B., & Jiminez-Colmenerom F., (2009).** Antioxydant activity of carob fruit extracts in cooked pork meat systems during chilled and frozen storage. *Food Chemistry*, 116(3), 748-754.
- **Battle I. (1997).** Current situation and possibilities of development of the carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) in the Mediterranean region. Unpublished FAO Report. Rome. Italy.
- **Battle I. et Tous J. (1997).** Carob tree. *Ceratonia siliqua* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17. Institute of Plant Genetic and Crops Plant Research. Gatersleben/International Plant Resources Institute. Rome. Italy 1-97.
- **Battle, I. et Tous, J. (1997).** Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops (carobtree, *Ceratonia siliqua* L.). International Plant Genetic Resources Institute (IPGRI), Rome, Italy.
- **Baum N., (1989),** Arbres et arbustes de l’Egypte ancienne, pp. 354.
- **Bengoechea, C., Romero, A., Villanueva, A., Moreno, G., Alaiz, M., Millan, F., Guerrero, A., and Puppo, M. C. (2008).** Composition and structure of carob (*Ceratonia Siliqua* L.) germ proteins. *Food chem.* 107, 675–683.
- **Bienenstock, M., Csaski, L., Pless, J., Sagi, A., and Sagi, E. (1935).** Manufacture of Mill Products for alimentary purposes and of paste foods and bake products from such milled products. U.S. patent 2,025,705.
- **Biner, B., Gubbuk, H., Karhan, M., Aksu, M., & Pekmezci, M. (2007).** Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey. *Food Chemistry*, 100, 1453-1455.
- **Brand-Williams W., Cuvelier M.F., et Berset, C., (1995).** Use of the radical method to evaluate antioxydant activity. *Food Science and Tecnology*. Pp. 28-25-30.
- **Cairns P, Miles MJ, Morris V.J., (1986).** Intermolecular bonding of xanthan gum and carob gum. *Nature*, 322 : 89-90.
- **Catarino F., (1993).** Le caroubier une plante exemplaire. *Naturopa conseil de l’Europe*. Centre Naturopa. N° 73, pp. 14-15.
- **Catarino F.M. & Bento-Pereira F., (1976).** Ecological characteristics and CO2 fixation in a xerophytic plant (*Ceratonia siliqua* L.). Vardar, Sheikh, Ozturk. Turquie.
- **Christianson D.D., (1983).** Hydrocolloid interaction with starches. In: Lineback DR, Inglett GE (Eds.). *Food Carbohydrates:399-419*, IFT Basic Symposium Series, AVI Publishing Company, Inc., Westport, Conn.

- **Clark A.H.; Ross-Murphy S.B.,** (1987). Structural and mechanical properties of biopolymer gels. *Adv. Polym Sci*, 83: 57-192.
- **Cottrell I.W.; Kovacs P.,** (1980). Alginates. In: Davidson RL (Ed.), *Handbook of water-soluble gums and resins*, Ch.2, Mac Graw-Hill Book Company, New York.
- **Courtois J.E.,** (1979). Les galactomannanes des légumineuses dans l'alimentation. *Ann Nutr Aliment*, 33 : 189-198.
- **Courtois J.E., Le Dizet P.,** (1970). Recherches sur les galactomannanes. VI. Action de quelques mannanases sur divers galactomannanes. *Bull Soc Chim Biol*, 52 : 15-22.
- **Cuvelier G.,** (1988). Propriétés fonctionnelles de la gomme xanthane : propriétés rhéologiques en solution aqueuse et interactions avec la gomme de caroube. Thèse de Docteur Sciences, Université Paris XI et ENSIA-Massy.
- **Dakia, P. A., Wathelelet, B., and Paquot, M.** (2007). Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua* L.) seed germ. *Food Chemistry*, 102, 1368-1374.
- **Das, A. K., Rajkumar, P. K., Chauhan, P., Pradhan, S. R., & Biswas, S.** (2016): Antioxydant efficacy of litchi (*Litchi Chinensis* Sonn)
- **Dea I.C.M.,** (1979). Interactions of ordered polysaccharide structures. Synergism and freeze-thaw phenomena. In: Blanshard JMV, Mitchell JR (Eds.), *Polysaccharides in Food*: 229-248, Butterworth, London.
- **Dea I.C.M., Clark A.H., Mc Cleary B.V. O.,** (1986) Effect of galactose-substitution patterns on the interaction properties of galactomannans. *Carbohydr Res*, **147** : 297-294.
- **Dea I.C.M., Morrison A.,** (1975). Chemistry and interaction of seed galactomannans. *Adv in carbohydr chemistry biochem*, 31:241-312.
- **Doublier J.L. et Cuvelier G.,** (2006). Gums and hydrocolloids: Functional aspects. In: AC Eliasson (Ed.), *Carbohydrates in Food*, 233-272, CRC Taylor and Francis, Boca Raton.
- **Doublier J.L.,** (1975). Propriétés rhéologiques et caractéristiques macromoléculaires de solutions aqueuses de galactomannanes. Thèse de Docteur-Ingénieur, Université Paris VI.
- **Doublier J.L.,** (1994). Rhéologie des polyosides en milieu aqueux : solutions, gels et mélanges. *Industries Agricoles et Alimentaires*, 111 (janvier-février) : 22-28.
- **Doublier J.L., Launay B.,** (1981). Rheology of galactomannan solutions: comparative study of guar gum and locust bean gum. *J Text Stud*, **12** : 151-172.
- **Doublier JL, Launay B, Cuvelier G.** (1992). Viscoelastic properties of food gels In: Rao MA, Steffe J (Eds.), *Viscoelastic properties of foods*, 371-464, Elsevier Applied Food Science Series, Elsevier Applied Science Publishers.

- **Durazzo, A., Turfani, V., Narducci, V., Azzini, E., Maiani, G., & Carcea, M.** (2014). Nutritional characterisation and bioactive components of commercial carobs flours. *Food Chemistry*, 153, 109-113.
- **Estrada C., Vázquez M., Melis B. & Vadell J.,** (2006). Fruticultura de secano. El Algarrobo. In: Labrador. J, Porcuna. J.L & Bello. A (Cords), Manual de agricultura y ganadería ecológica. Eumedia. España, pp. 186-195.
- **FAO.** (2014). Résidus agricoles et sous-produits agro-industriels en Afrique de l'ouest : Etat des lieux et perspectives pour l'élevage. E-ISBN 978-92-5-208114-2 (PDF)
- **FAO.** Data from the FAOSTAT Statistical data base. See [www.fao.org](http://www.fao.org).
- **Feillet, P., and Roulland, T. M.** (1998). Caroubin: A gluten-like protein isolate from carob bean germ. *Cereal Chemistry*, 75, 488-492.
- **Folch i Guillen R.,** (1981). La vegetació dels Països Catalans. Ed. Ketres, Barcelona.
- **Francisco J.C.** (2009). Antioxidant activity of Carob fruit extracts in cooked pork meat systems during chilled and frozen storage. *Food Chemistry*. Elsevier. 116, 748–754.
- **Gaouar Naila.** (2011). Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes. Thèse en vue de l'obtention du diplôme de Magister en Agronomie.
- **Gharnit N., Mtili N., Ennabili A. T. and Ennabili A.** (2001). Social characterization and exploitation of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) from Mokrisset and Bab Taza (NW of Morocco). *Sci. Lett.* 3 n°2.
- **Gillberg L., Tornell B.,** (1976). Preparation of rapeseed protein isolates. Precipitation of rapeseed proteins in the presence of polyacids. *J Food Sci*, 41 : 1070-1075.
- **Han, X. Z., Shen, T. and Lou, H. X.** (2007). Dietary polyphenols and their biological significance. *Int. J. Mol. Sci.*, 8 : 950 – 988.
- **Hillcoat D., Lewis G. & Verdcourt B.,** (1980). A new species of *Ceratonia* (Leguminosae-Caesalpinioideae) from Arabia and the Somali Republic. *Kew bull.* 35: 261-271.
- **Hoefler, A. C. Hydrocolloids,** (2004). Eagan Press Handbook Series. *Eagan Press*. St. Paul, Minnesota.
- **Igoe R.S.,** (1982). Hydrocolloid interactions useful in food systems. *Food Technol*, 36 : 72-74.
- **Imeson A.P.; Ledward D.A.; Mitchell J.R.,** (1977). On the nature of the interaction between some anionic polysaccharides and proteins. *J Sci Food Agric*, 28 : 661 -668.
- **ISO** Organisation internationale de normalisation

- **Jean-Louis.,Doublier,Jean-François Thibault., Olivier Houalla.,** (2002).Agents épaississants et gélifiants de nature glucidique,Additifs et auxiliaires de fabrication dans les industries agroalimentaires 4e édition.409-443,France.Lavoisier.
- **Joaquin H. J. F., Tolasa, S., Oliveira, A. C. M., Lee, C. M., & Lee, K. H.** (2008). Effect of milk protein concentrate on lipid oxidation and formation of fishy volatiles in herring mince (*Clupea harengus*) during frozen storage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(1), 166-172.
- **Joaquin, H. J. F., Tolasa, S., Oliveira, A. C. M., 1 Lee, K. H.** (2008). Effect of milk protein concentr ate on lipid oxydation and formation of fishy volatiles in herring mince (*Clupea Harengus*) during frozen storage. *Journal of Agricultural and food Chemistry*, 56(1), 166-172.
- **Kawamura, Y.** (2008). CAROB BEAN GUM, Chemical and Technical Assessment (CTA). [www.fao.org/ag/AGN/agns/jecfa/cta/69/Carob\\_bean\\_gum\\_CTA\\_69\\_.pdf](http://www.fao.org/ag/AGN/agns/jecfa/cta/69/Carob_bean_gum_CTA_69_.pdf). Accessed April 4, 2009.
- **Kitissou P.,** (1995). Un nouveau parametre alveographique : L'indice d'elasticit en(le). Ind. Des c er ales.
- **Kossila, V.,** (1988). The availability of crop residues in developing countries in relation to livestock populations. pp. 29–39, in: *Plant Breeding and the Nutritive Value of Crop Residues* (Edited by J.D. Reed, B.S. Capper and P.J.H. Neate). Proceedings of a workshop, ILCA, Addis Ababa, Ethiopia, 710 December 1987. ILCA, Addis Ababa.
- **Kumazawa S., Taniguchi, M., Suzuki, Y., Shimura, M., Kwon, M. and Nakayama, T.** (2002). Antioxidant activity of polyphenols in carob pods. *J. Agric. Food Chem.* 50 (2). PP 373 – 377.
- **Kumazawa, S. H. K., Taniguchi, M. A. S. A. T., Suzuki, Y. A. S., Shimura, M. A. S.,Kwon, M. I. U. N. K., & Nakayama, T. S. N.** (2002). Antioxidant activity of polyphenols in carob pods. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 373-377.
- **Launay B.; Doublier J.L.; Cuvelier G.,** (1986). Flow properties of aqueous solutions and dispersions of polysaccharides. In: Mitchell JR, Ledward DA (Eds.), *Functional properties of macromolecules*, 1-77, Elsevier Applied Sci. Publishers, London.
- **Liphschitz N.,** (1987). *Ceratonia siliqua* L. in Israel: An ancient element or a newcomer?. *Israel J. Bot.* 36: 191-197.
- **M. Kamal E. Youssef, Moshera M. El-Manfaloty, Hend M. Ali,** (2013), Assessment of Proximate Chemical Composition, Nutritional Status, Fatty Acid Composition and Phenolic Compounds of Carob (*Ceratonia Siliqua* L.), *Food and Public Health* 2013, 3(6): 304-308.

- **M. Kamal E. Youssef1, Moshera M. El-Manfaloty, Hend M. Ali, (2013).** Assessment of Proximate Chemical Composition, Nutritional Status, Fatty Acid Composition and Phenolic Compounds of Carob (*Ceratonia Siliqua L.*). *Food and Public Health.* 3(6): 304-308
- **Mac Neely W.H.; Kang K.S., (1973).** Xanthan and other biosynthetic gums. In: Whistler RL (Ed.), *Industrial gums. Polysaccharides and their derivatives*, 473-498, Academic Press, New York.
- **Mac Neely W.H.; Pettit D.J., (1973).** Algin. In: Whistler RL (Ed.), *Industrial gums. Polysaccharides and their derivatives*, 49-82, Academic Press, New York.
- **MAPA.** (1994), Ministerio de Agriculture, Pesca Y Alimentación. Anuario de Estadística Agraria. Ed. Secretaría General Técnica, Madrid, Spain.
- **Marian Naczki, Ryszard A., Ryszard Z., Ronald B. P., Fereidoon S., (2003).** Antioxidant activity of crude phenolic extracts from wild blueberry leaves. *POLISH Journal of Food and Nutrition Sciences.* Vol. 12/53, SI 1, pp. 166–169.
- **Marichatou, H.** (2011). Etude sous-régionale Afrique de l’Ouest sur le tourteau de graines de coton comme aliment de bétail. Rapport de consultation pour la FAO.
- **Meer W.A., (1980).** Agar, In: Davidson RL (Ed.), *Handbook of water-soluble gums and resins*, Ch.7, Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- **Melgarejo P.; Salazar D.M., (2003).** Tratado de fructicultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. Mundi-Prensa. España, pp. 19-162.
- **Michel F., (1982).** Etude du comportement potentiométrique et viscosimétrique de pectines hautement méthylés en présence de saccharose. Thèse de Docteur-ingénieur, Université de Dijon.
- **Mitchell J.R., (1976).** Rheology of gels (review paper). *J Text Stud*, 7 : 313-339.
- **Mitchell J.R., (1980).** The rheology of gels (review paper). *J Text Stud*, 11:315-337.
- **Mitrakos K., (1981).** Temperature germination responses in three mediterranean evergreen sclerophylls. In: Margaritis N.S. & Mooney H.A., (Eds). *Components of Productivity of Mediterranean-climate Regions - Basic and Applied Aspects.* Dr. W. Junk Publishers, The Hague/Boston/London. pp. 277-279.
- **Morris E.R., (1979).** Polysaccharide structure and conformation in solutions and gels. in: Blanshard. JMV, Mitchell JR (Eds.), *Polysaccharides in Food*, 15 -32, Butterworth, London.
- **Orphanos P. I. and Papaconstantinou J. (1969),** The carob varieties of Cyprus, Tech. Bull. 5. Cyprus Agricultural Research Institute, Ministry of Agriculture and Natural Resource, Nicosia.

- **Ortega , N., Macià, A., Romero, M.-P., Reguant, J., & Motilva, M.-J,** (2011). Matrix composition effect on the digestibility of carob flour phenols by an in-vitro digestion model. *Food chemistry*, 124(1), 65-71.
- **Owen R. W., R. Haubner, W. E. Hull, G. Erben, B. Spiegelhalder, H. Bartsch and B. Haber R.** (2003), Isolation and structure elucidation of the major individual polyphenols in carob fibre, *Food and Chemical Toxicology* Vol. 41, N°12, pp. 1727-1738
- **Owen, RW., Haubner R., Hull,W.E., Erben, G., Spergelhalder, B., Bartsch, H. & Haber, B.**(2003). Isolation and structure elucidation of major individual polyphenols in carob fibre. *Food and chemical Toxicology*, 41,1727-1738.
- **Plaut, M., Zelcbuch, B., and Guggenheim, K.** (1953). Nutritive and Baking Properties of Carob Germ Flour. *Bulletin of the Research Council of Isreal*, 3, 129-131.
- **Rees D.A.,** (1972a). Polysaccharide gels. A molecular view. *Chemistry and Industry*, 16 : 630-636.
- **Rees D.A.,** (1972b). Shapely polysaccharides. *Biochem J*, 126 : 257-273.
- **Rees D.A.; Morris E.R.; Thom D.; Madden J.K.,** (1983). Shapes and interactions of carbohydrate chains. In: *Aspinall GO (Ed.), The polysaccharides*, 1 : 196-290, Academic Press, New York.
- **Rees D.A.; Welsh E.J.,** (1977). Secondary and tertiary structure of polysaccharides in solutions and gels. *Angew Chem Int Ed Engl*, 16 : 214-224.
- **Reid J.S.G.; Edwards M.E.,** (1995). Galactomannans and other cell wall storage polysaccharides in seeds. In: *Stephen AM (Ed.), Food polysaccharides and their applications*, 155-186, Marcel Dekker, New York.
- **Rejeb M.N.,** (1995). Le caroubier en Tunisie : Situations et perspectives d'amélioration. Dans : *Quel avenir pour l'amélioration des plantes ?* Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. Paris, pp 79-85.
- **Rejeb MN., Laffray D., Louguet P.** (1991). Physiologie du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) en Tunisie. In: *Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides*. Groupe d'Etude de l'Arbre, Paris, pp 417-426.
- **Rice- Evan C. A., Miller N. J., Paganga G.,** (1996). Structure-antioxydant activity relationships of flavonoids and phenolic acid. *Free Radical Bio. M.*, 1996, 20, 933-956.
- **Richardson R.K.; Morris E.R.; Ross-Murphy S.B.; Taylor L.J.; Dea I.C.M.,** (1989). Characterization of the perceived texture of thickened systems by dynamic viscosity measurements. *Food Hydrocolloids*, 3: 175-191.

- **Robinson G, Ross-Murphy SB, Morris ER**, (1982). Viscosity-Molecular weight relationships, intrinsic chain flexibility and dynamic solution properties of guar galactomannan. *Carbohydr Res*, 107 : 17-32.
- **Rutenberg MW.**, (1980). Starch and its modifications. In: Davidson RL (Ed.), *Handbook of water-soluble gums and resins*, Ch. 22, Butterworth, Mc Graw-Hill Book Company, New York.
- **Sabater A.**, (1979). Contribution a l'étude des relations entre caractéristiques macromoléculaires et propriétés rhéologiques en solution aqueuse concentrée d'un épaississant alimentaire : la gomme de Caroube. Thèse de Docteur-ingénieur, Universités Paris VII et Paris XL
- **Sanderson, G.R.**, (1981). Polysaccharides in Foods. *Food Technol*, **35** : 50-57, 83.
- Sandford PA, Baird J (1983). industrial utilization of polysaccharides. In: Aspinall GO (Ed.), *The polysaccharides*, **2** : 412-490, Academic Press, New York.
- **Sandford PA, Baird J.**, (1983). industrial utilization of polysaccharides. In: Aspinall GO (Ed.), *The polysaccharides*, **2** : 412-490, Academic Press, New York.
- **Sbay H. et M. Abourouh**, (2006). Apport des espèces à usages multiples pour le développement durable : cas du pin pignon et du caroubier, Centre de Recherche Forestière Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte Contre la Désertification, Rabat, pp.1-9.
- **Schmidt C, Sanchez C, Desobry-Banon S, Hardy J.**, (1998). Structure and techno-functional properties of protein-polysaccharide complexes: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 38 (8): 689-753.
- **Sherman P.**, (1982). Hydrocolloid solutions and gels. Sensory evaluation of some textural characteristics and their dependence on rheological properties. In: Phillips GO, Wedlock DJ, Williams PA (Eds.), *Gums and stabilizers for the food industry*.
- **Singleton et Rossi**, (1965). Singleton, V. L & Rosi ; J. A (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic- phosphotungstic acid reagents: *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144-158.
- **Stainsby G.**, (1980). Proteinaceous gelling systems and their complexes with polysaccharides. *Food Chem*, **6** : 3- 14.
- **Stelzer G.I., Klug E.D.**, (1980). Carboxymethylcellulose. in: Davidson RL (Ed.), *handbook Of water-soluble gums and resins*, Ch. 14, McGraw-Hill Book Company, New York.
- **Thibault. F, Petit. R .**,(1979). Les substances pectiques : généralités et domaine d'application dans les industries alimentaires. *Industries Alimentaires et Agricoles*, **12** : 1231-1240.

- **Thom D.; Dea I.C.M.; Morris E.R.; Powell D.A.,** (1982). Interchain associations of alginate and pectins. In: Phillips GO, Wedlock DJ, Williams PA (Eds.), Gums and stabilizers for the food industry. Interactions of hydrocolloids. Progress in Food and Nutrition Science. **6**: 97-108, Pergamon Press, London.
- **Tolstoguzov V.B.,** (1986). Functional properties of protein-polysaccharide mixtures. In: Mitchell JR, Ledward DA (Eds.), Functional properties of food macromolecules,385-415, Elsevier Applied Science Publishers, London.
- **Tolstoguzov V.B.,** (1986). Functional properties of protein-polysaccharide mixtures. In: Mitchell JR, Ledward DA (Eds.), Functional properties of food macromolecules,385-415, Elsevier Applied Science Publishers, London.
- **Tolstoguzov V.B.,** (1999). Functional properties of protein-polysaccharide mixtures. In:SE Hill, Ledward DA, Mitchell JR (Eds), Functional properties of food macromolecules (second edition), 252-277, Aspen publishers, Gaithersburg, Maryland.
- **Tolstoguzov V.B.,** (1999). Functional properties of protein-polysaccharide mixtures. In:SE Hill, Ledward DA, Mitchell JR (Eds), Functional properties of food macromolecules (second edition), 252-277, Aspen publishers, Gaithersburg, Maryland.
- **Towle C.A.,** (1973). Carrageenan. In: Whistler RL (Ed.), Industrial gums. Polysaccharides and their derivatives, 83-114, Academic Press, New York.
- **Towle C.A.; Christensen O.,** (1973). Pectin. In: Whistler RL (Ed.), Industrial gums. Polysaccharides and their derivatives, 429-464, Academic Press, New York.
- **UEMOA/ONUDI.** 2008. Programme de Restructuration et de Mise à Niveau de l'Industrie des Etats membres de l'UEMOA – (PRMN). Rapport de Synthèse Etude pour l'identification des filières agroindustrielles prioritaires dans les pays membres de l'UEMOA. Vide : <http://www.bmn.sn/IMG/pdf/prmn.pdf>.
- **Vavilov, N.I.,** 1951. The Origin, Variation, Immunity, and Breeding of cultivated plants [ translated from the Russian by K.S Chester]. The Ronald Press Co., New York.
- **Voragen A.G.J.; Pilnik W.; Thibault J.F.; Axelos M.A.V.; Renard C.M.G.C.,** (1995). Pectins. In: Stephen AM (Ed.). Food Polysaccharides,287-339, Marcel Dekker Inc., New York.
- **WACIP** (West African Common Industrial Policy). 2010. Cottonseed, oil, and cake: Co-products or by-products in the C-4 cotton sectors? Report.

## Références bibliographiques

---

- **Wang, Y., Belton, S. B., Bridon, H., Garanger, E., Wellner, N., Parker, M. L., Grant, A., Feillet, P., and Noel, T., (2001).** Physicochemical Studies of Caroubin: A gluten like Protein. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 49, 3414-3419.
- **Yassin, B. et Hayette, L., 2014.** Effects of extraction conditions on the recovery of phenolic compounds and *in vitro* antioxydant activity of carob (*Ceretonia siliqua* L.). pulp. Laboratry of Applied Biochemistry, Faculty of Natural Science and Life, University of Bejaia.
- **Youssif A.K. et Alghzawi H.M (2000),** Processing and characterization of carob powder, *Food chemistry*, Vol.69, N°3. 283-287
- **Zohary M., (1973).** Geobotanical Foundations of the Middle East, 2 vols. Stuttgart.
- **Zohary M.; Orshan G., (1959).** The maquis of *Ceratonia siliqua* in Israel. *Palest. J. Bot.* Jerusalem. 8: 385-397.
- **Zouhair O., (1996),** Le caroubier : situation actuelle et perspectives d'avenir, Document interne, Eaux et forêts, Maroc, pp 22.