

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة محمد الصديق بن يحيى - جيجل -

Université Mohammed Seddik Ben Yahia -Jijel-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Microbiologie Appliquée
et Sciences Alimentaires



كلية علوم الطبيعة و الحياة
قسم الميكروبيولوجيا التطبيقية
و العلوم الغذائية

Mémoire de fin d'études

En vue de l'obtention du diplôme: **Master Académique en Biologie**

Option : Contrôle de Qualité des Produits Alimentaires

Thème

**Impact de deux procédés de transformation sur la qualité du
caroubier de la wilaya de Jijel**

Membres de Jury :

Président : Dr DAIRI S.

Examineur : Mr LAIB E.

Encadrant: M^{lle} AYAD R.

Présenté par :

BESSIBES Selma

BOUDJERDA Sarra

Année Universitaire: 2016-2017

Numéro d'ordre (bibliothèque) :

Remerciements

Avant tout nous adressons nos remerciements à ALLAH, le tout puissant pour la volonté, la santé et la patience qu'il nous a donné durant toutes ces longues années d'études et pour la réalisation de ce travail que nous espérons être utile.

Nous tenons à exprimer nos plus sincères remerciements et notre profonde gratitude à notre encadreur M^{lle} AYAD Rima pour ses conseils, orientation, encouragement et importance qu'elle nous a donné tout au long de ce travail.

Nous remercions également le président Dr. Dairi et l'examineur Mr. Laib pour avoir accepté de juger ce travail.

Nos remerciements s'adressent également à tous les enseignants de département de microbiologie appliquée et sciences alimentaires.

Nous tenons à remercier vivement nos chers parents pour leurs aides, nous espérons qu'ils trouvent en ce travail la récompense de leurs sacrifices continus.



Dédicace

Je dédie ce travail :

*A ma très chère mère «Leila» qui m'a toujours
offre son amour et son
affection*

*A mon père «Mohamed» qui a sacrifié beaucoup
pour moi ;*

A mon encadreur, M^{lle} Ayad Rima ;

*A mes frères «Walid, Amar, Abdelillah» et mes
sœurs «Nedjla, Manel , Khawla , Marwa » et
toute la famille Bessibes , Boubakir et ma chère
cousine Somia.*

A tous mes enseignants ;

A mes très chers amis et collègues,

Je dit « Mille Merci ».

Selma



Dédicace

Je dédie ce travail :

*A ma très chère mère « Zohra » qui m'a toujours
offert son amour et son affection*

*A mon père « Messaoud » pour son soutien et
sacrifice;*

A mon encadreur, M^{lle} AYAD RIMA;

*A mes frères « Mohammed, Bilel, Souleymane » et
mes sœurs « Louiza, Houda » et toute la
famille, Boudjerda et Lahlili.*

*Mes chères amies « Noura, Sebrina,
Houda »*

A tous mes enseignants;

*A mes très chers amis et collègues et à tous qui
me connaît de près ou de loin*

*A mes collègues de la promotion, je dit « Mille
Merci ».*

SARA

	Page
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Introduction	01
Synthèse bibliographique	
Chapitre I : Caroubier	
1-Présentation du caroubier.....	03
1-1-Etymologie	03
1-2- Taxonomie	03
1-3-Biologie.....	04
1-4-Ecologie.....	04
2-1- Origine du caroubier.....	05
2-2- Distribution géographique du caroubier.....	05
2-3-Aire de production du caroubier dans le monde.....	05
2-4-Aire de production en Algérie	06
3- Morphologie et description des principales parties de l'arbre.....	06
3-1-Racines.....	06
3-2-Tronc	07
3-3- Branches.....	07
3-4-Feuilles.....	08
3-5-Fleurs.....	08
3-6-Fruit.....	09
3-7-Graines.....	09
4-Intérêt et utilisation de caroubier.....	10
Chapitre II : Composition chimique de la caroube	
1-Métabolites primaires.....	12
1-1-Sucres.....	12

Sommaire

1-2- Protéines et lipides.....	13
1-3-Cendres	13
1-4-Minéraux.....	13
1-5-Fibres.....	14
2-Métabolites secondaires.....	14
2-1- Principales classes des composés phénoliques	15
2-1-1- Acides phénoliques simples.....	15
2-1-1-1-Acides hydroxycinnamiques	15
2-1-1-2-Acides hydroxybenzoïque	15
2-1-2-Flavonoïdes.....	15
2-1-2-1- Tanins hydrolysables.....	17
2-1-2-2- Tannins condensés.....	17
2-2- Polyphénols de la caroube.....	18
2-3- Caractéristiques des polyphénols du caroubier.....	18
2-4- Activité antioxydante des polyphénols.....	19

Matériel et méthodes

1-Origine des gousses et obtention des poudres de caroube.....	20
2-Caractérisation morphologique des gousses.....	21
3-Caractérisation physicochimique des poudres de la caroube.....	21
3-1-Détermination du pH et d'acidité titrable	21
3-2-Détermination de l'humidité.....	22
3-3-Détermination de la matière sèche.....	22
3-4-Détermination de la teneur en cendres.....	22
3-5-Détermination de la teneur en protéines (Méthode de Kjeldahl).....	23
3-6- Détermination de la teneur en sucres totaux.....	24
3-7- Détermination de la teneur en éléments minéraux par spectroscopie d'absorption atomique (SAA).....	24
4-Dosage des composés phénoliques.....	25
5-Evaluation de l'activité antioxydante des extraits.....	26

Résultats et Discussion

1-Caractérisation morphologique des gousses de caroube.....	27
2-Caractérisation physicochimique des poudres de la caroube.....	28

Sommaire

2-1-Détermination du pH et d'acidité titrable.....	28
2-2- Détermination du taux d'humidité.....	30
2-3- Détermination de la teneur en matière sèche.....	31
2-4-Détermination de la teneur en cendres.....	32
2-5-Détermination de la teneur en protéines	34
2-6-Détermination de la teneur en sucres totaux.....	35
2-7-Détermination de la teneur en éléments minéraux par spectroscopie d'absorption atomique (SAA).....	36
3-Dosage des composés poly phénolique.....	37
3-1-Dosage des polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu.....	37
3-2-Dosage des flavonoïdes et flavonols.....	38
4-Évaluation de l'activité antioxydante.....	40
4-1- Test au DPPH.....	40
4-2-Capacité antioxydant totale par la méthode de phosphomolybdate.....	42
Conclusion générale et perspectives.....	44
Références bibliographiques.....	46
Annexes	

Liste des abréviations

AOAC: Association of Official Analytical Chemists

DO: Densité optique

DPPH : 2,2-Diphényl-1-picrylhydrazyl

Eq AG : Equivalant d'acide gallique

Eq Q: Equivalent de quercétine

Eq AA: Equivalent d'acide ascorbique

FAO: Food and agriculture organization of the United Nations: Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.

N : Normalité

ppm : partie par million

V : Volume

Liste des figures

N° et titre de la figure	Page
Figure 01: Structure de base des flavonoïdes	15
Figure 02 : Des exemples des structures chimiques des flavonols	16
Figure 03: Structure chimique d'un tannin hydrolysable et d'un tannin condensé	17
Figure 04: (A) gousses de caroube d'EL-MILIA, (B) gousses de TEXENNA, (C) gousses de DJIMLA, (D), poudre bouillie, (E) poudre congelée (F) poudre fraîche	20
Figure 05 : Caractérisation morphologique des gousses de caroube	27
Figure 06 : Résultats du pH et d'acidité titrable des différents échantillons	29
Figure 07 : Taux d'humidité des échantillons exprimé en %	30
Figure 08: Teneurs de la matière sèche des échantillons étudiés	32
Figure 09 : Teneurs en cendres des différents échantillons	33
Figure 10 : Teneurs en protéines des différents échantillons	34
Figure 11: Teneurs en sucres totaux des différents échantillons	35
Figure 12 : Concentrations en polyphénols totaux des différents échantillons	37
Figure 13: Concentrations en flavonoïdes et flavonols des différents échantillons	39
Figure 14: Activité antioxydante par le test au DPPH des extraits de poudres étudiées	41
Figure 15 : Capacité antioxydante totale par la méthode au phosphomolybdate des extraits de poudres étudiées (annexe 2)	42
Figure 16. Courbe d'étalonnage de glucose (annexe 2)	
Figure 17. Courbe d'étalonnage d'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux (annexe 2)	
Figure 18. Courbe d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonoïdes (annexe 2)	
Figure 19. Courbe d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonols (annexe 2)	
Figure 20. Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique (capacité antioxydante totale) (annexe 2)	
Figure 21. Courbe de référence expérimentale de l'absorbance en fonction de la quantité (ppm) de Cuivre (annexe 2)	
Figure 22. Courbe de référence expérimentale de l'absorbance en fonction de la quantité (ppm) de Zinc (annexe 2)	
Figure 23. Courbe de référence expérimentale de l'absorbance en fonction de la quantité (ppm) de Cadmium (annexe 2)	
Figure 24. Courbe de référence expérimentale de l'absorbance en fonction de la quantité (ppm) de Plomb (annexe 2)	

Liste des tableaux

N° et titre du tableau	Page
Tableau 01 : Classification botanique du caroubier.	04
Tableau 02 : Concentrations de Cadmium, Plomb, Zinc et Cuivre des poudres étudiées.	36
Tableau 03 : Caractérisation morphologique des gousses de caroube (annexe 1).	
Tableau 04 : Résultats du pH et d'acidité titrable (annexe 1).	
Tableau 05 : Résultats des teneurs en matière sèche, humidité et cendres (annexe 1).	
Tableau 06 : Teneurs en protéines et en sucres totaux des poudres étudiées (annexe 1).	
Tableau 07 : Résultats de la détermination des concentrations en composés phénoliques (annexe 1).	
Tableaux 08 : Résultats de l'évaluation de l'activité antioxydante (annexe 1).	

Le caroubier présente un intérêt de plus en plus grandissant en raison non seulement de sa rusticité, de son indifférence vis-à-vis de la nature du sol, de son bois de qualité, de sa valeur ornementale et paysagère, mais surtout pour ses graines qui font l'objet de transactions commerciales dont la valeur dépasse de loin celle de la production ligneuse (**Biner et al., 2007**).

Par ailleurs, ses gousses, plus riches en sucre que la canne à sucre et la betterave sucrière, sont utilisées en industrie agro-alimentaire et pharmacologique, notamment comme anti-diarrhéique, leur richesse en fibres leur confère des vertus hypocholestérolémiantes et hypoglycémiantes; les composés phénoliques qu'elles contiennent sont à l'origine de leur propriété antioxydante (**Hariri et al., 2009**).

De nos jours, Il existe un intérêt croissant vis-à-vis de la biologie des radicaux libres. Ce n'est pas seulement dû à leur rôle dans des phénomènes aigus tels que le traumatisme ou l'ischémie, mais aussi à leur implication dans de nombreuses pathologies chroniques associées au vieillissement tels que le cancer, les maladies cardiovasculaires et inflammatoires et la dégénérescence du système immunitaire (**Guinebert et al., 2005**).

Le caroubier pourrait constituer des plantations de choix dans les programmes de reboisement pour garantir un développement durable des zones rurales et pour contribuer à la protection des sols et à la lutte contre la désertification. Toutefois, il est nécessaire d'intensifier les recherches et de développer les filières de production et d'industrialisation des différents produits de cette plante. Sa valorisation sur tous les plans: médicinal, agroalimentaire et industriel, jouera sans doute un rôle majeur dans l'amélioration de son exploitation, ainsi que dans la réévaluation des procédés de son implantation (**Benmahioul et al., 2011**).

Ces dernières années, la recherche sur l'espèce *Ceratonia siliqua* s'est multipliée. Le nombre des études dans les pays arabes, visant une compréhension approfondie des vertus divers de cet arbre s'est considérablement développé surtout au Maroc.

En Algérie, le caroubier reste encore très négligé et n'a pas encore eu la place qu'il mérite. Malheureusement, les études existant sur cette essence restent timides malgré celles effectuées par **Gaouar (2011)** sur la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes, celles de **Boublenza (2012)** sur l'étude de la multiplication du caroubier, celle de **Mahdad (2013)** visant à étudier la situation et les perspectives d'amélioration du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans le Nord-

ouest de l'Algérie, celle de **Benkhaldi (2013)** sur la détermination de l'activité antioxydante des polyphénols du caroubier de la région de Tlemcen, celle de **Benyahia (2014)** qui a mis en évidence l'activité antimicrobienne des extraits phénoliques de la pulpe de la caroube par interaction prébiotique-pathogènes, celle de **Benkhada et Bensaleh (2016)** qui ont évalué et comparé l'activité antioxydante des espèces: *Ruta montana* L. et *Ceratonia siliqua* L.

Ce présent travail a pour objectif de mettre en évidence l'effet de deux procédés de transformation (congélation et ébullition) sur les caractéristiques physicochimiques, la composition en composés phénoliques et le taux de l'activité antioxydante de trois échantillons du caroubier de la région de Jijel.

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

1. Présentation du caroubier

1.1. Etymologie

Le nom scientifique du caroubier, *Ceratonia siliqua* L. dérive du grec Keras (=corne) et du latin siliqua désignant une silique ou gousse et faisant allusion à la dureté et à la forme du fruit (**Battle et Tous, 1997**). Dans certains cas, le caroubier prend une terminologie commune selon la croyance que Saint Jean-Baptiste s'alimenta du fruit de cet arbre durant son séjour dans le désert, lequel a donné origine à la dénomination « pain de Saint Jean-Baptiste » (**Albanell, 1990**). Par ailleurs, il existe plusieurs noms communs à savoir: figuier d'Égypte, fève de Pythagore (en français), *haroub* en hébreu, *kharroub* en arabe, *tislighwa* en tamazight, *algarrobo* en espagnol, *carroubo* en italien, *caroubier* en français, carob tree en anglais, etc. (**Battle et Tous, 1997**).

1.2. Taxonomie

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), appartenant à la grande famille des légumineuses, de l'ordre des *Rosales*, classe de *Magnoliopsida* (tableau 1) (**Youcif et al., 2000 ; Biner et al., 2007**). Les légumineuses sont des flores importantes des forêts tropicales, subtropicales et des végétations tempérées à travers le monde (**Battle et Tous, 1997**). C'est l'une des plus grandes familles de plantes à fleurs qui inclut 650 genres et plus de 18 000 espèces (**Polhill et al., 1981**). Le caroubier est généralement placé dans la tribu des *Cassieae*, sous famille des *Cesalpinoïdae*. C'est l'unique parmi les césalpinées vivant à l'état subspontané au sud de l'Europe (**Gharnit, 2003**).

Le caroubier n'est pas l'unique espèce qui représente le genre *Ceratonia*. En effet, une seconde espèce a été découverte par **Hillcoat et al. (1980)**, à laquelle ont donné le nom scientifique de *Ceratonia oreothauma* Hillcoat, Lewis et Verdc. Selon ses origines, cette espèce se subdivise en deux sous-espèces différentes : la sous-espèce *oreothauma* native de l'Arabie (Oman) et la sous-espèce *somalensis* originaire du nord de la Somalie (**Battle et Tous, 1997**).

Tableau 01 : Classification botanique du caroubier (Lewis et al., 2005).

Règne	<i>Plantae</i> -- plantes
Sous-règne	<i>Trecheobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i> --angiospermes, phanérogames
Classe	<i>Magnoliopsida</i> --dicotylédones
Sous-classe	<i>Rosidae</i>
Ordre	<i>Fabales</i>
Famille	<i>Fabaceae</i>
Sous-famille	<i>Caesalpinioideae</i>
Genre	<i>Ceratonia</i>
Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i>

1.3. Biologie

Le caroubier est un arbre ou arbuste sclérophylle, sempervirent, qui peut atteindre 7 à 20 m de hauteur. Il a une écorce lisse et grise lorsque la plante est jeune ; et brune et rugueuse à l'âge adulte. Son bois de couleur rougeâtre est très dur (Ait Chitt et al., 2007). Il possède une cime très étalée et un tronc dont la base peut atteindre 2 à 3 mètres de circonférence. Sa longévité est importante, dépassant souvent les 200 ans (Rejeb et al., 1991). Ses feuilles, de 10 à 20 cm de longueur, sont persistantes, composées (4 à 10 folioles glabres), vertes, luisantes sur la face dorsale, plus claires et mates sur la face ventrale, à folioles ovales entières, légèrement échancrées au sommet et paripennées (Rejeb, 1995).

1.4. Ecologie

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 (Zouhair, 1996 ; Sbay et Abrouch, 2006).

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).

2. Origine et répartition géographique

2.1. Origine du caroubier

Le centre d'origine du caroubier demeure obscur puisqu'il existe plusieurs hypothèses émanant d'un désaccord entre différents auteurs. **Vavilov (1951)** situe l'origine du caroubier dans la région Est de la méditerranée (Turquie, Syrie et Palestine), tandis-que des études archéobotaniques menées à partir des restes carbonisés de bois et de fruits ont démontré que le caroubier était présent dans la méditerranée orientale au néolithique (4000 ans av. J.-C.), période initiale de la domestication des espèces ligneuses (**Estrada et al., 2006**). Cependant, le caractère thermophile de cette espèce et sa présence sur les hauts plateaux du Yémen a permis de penser que son origine peut être située dans la région Sud de l'Arabie (**Liphschitz, 1987**).

La découverte de la nouvelle espèce de caroubier *Ceratonia oreothauma* Hillc., Lewis et Verde., considérée comme une espèce plus ancienne que *Ceratonia siliqua* et survivant dans les montagnes de l'Arabie (Oman) et de la Somalie (**Hillcoat et al., 1980**) semble appuyer la dernière hypothèse.

2.2. Distribution géographique

Melgarejo et Salazar (2003) considèrent sans aucun doute que la Méditerranée est le centre de diversité du caroubier, c'est l'aire dans laquelle il est fort possible de trouver de nouveaux matériels génétiques avec une plus grande probabilité de réussite. On le retrouve principalement en Espagne, en Italie, en Grèce, au Portugal et au Maroc (**Biner et al., 2007 ; Dakia et al., 2008**).

Il fut aussi introduit avec succès par les espagnols et les anglais dans autres pays à climat entre autres méditerranéen notamment, au États-Unis (Arizona, Sud de la Californie), au Mexique, en Australie et en Afrique du Sud (**Estrada et al., 2006**).

2.3. Aire de production du caroubier dans le monde

En termes de surface cultivée, la culture du caroubier représente un peu plus de 100 000 ha (102 939 ha en 2008) à travers le monde. L'Espagne, le Maroc et le Portugal possèdent les surfaces cultivées les plus importantes, de l'ordre de 60 000, 12 000 et 10 000 ha respectivement. L'Algérie occupe le huitième rang avec une production de 4000 t, soit 1,95% de la production mondiale. On estime à plus de 15 000 t la production mondiale annuelle de gomme de caroube (**Dakia et al., 2008**).

2.4. Aire de production en Algérie

La superficie cultivée totale du caroubier en Algérie a fortement baissé, passant de 11000 ha en 1961 à 1000 ha en 2011 (**FAOSTAT, 2011**). En 2009, cette superficie était de 927 ha dont 645 ha, soit 69,58 % de la superficie totale se trouvent dans la wilaya de Bejaia. La production nationale de la caroube est estimée à 33841 Qx et se concentre principalement dans la wilaya de Bejaia avec une production de 18.417 Qx, ce qui représente 54,42 % de la production nationale, suivie par la wilaya de Blida (23,79%) et Tipaza (16,55%). La superficie cultivée du caroubier dans le Nord-ouest de l'Algérie (comprenant la wilaya de Tlemcen et Mascara) ne représente que 6 ha, soit 0,65 % de la superficie nationale, tandis que la production de la caroube est de seulement 0,39 %. La production, quant à elle, est passée de 3952 tonnes en 2000 à 3136 en 2012. Cette régression est essentiellement due aux feux de forêt et l'abandon de cette culture dans les montagnes.

3. Morphologie et description des principales parties de l'arbre

Le caroubier dont le nombre de chromosome est de $2n = 24$, est un arbre au feuillage abondant, persistant et très dense. Il peut atteindre dans des conditions propices une hauteur de 7 à 10 m, voire 15 à 20 m et enregistrer une circonférence au niveau de la base du tronc de 2 à 3 m. C'est un arbre xérophile avec une longévité considérable (jusqu'à 200 ans). Il présente de puissantes racines qui pénètrent dans le sol à une profondeur de 18 mètres ou plus. Sa croissance est très lente, en particulier au début de son existence. Il peut émettre des rejets de souche avec vigueur et se caractérise par des branches solides et robustes (**Ait Chitt et al., 2007**).

3.1. Racines

La racine du caroubier est très ramifiée en surface, avec des formations épaisses dans sa partie supérieure qui en se séparant du tronc vont prendre une direction oblique par géotropisme positif. Ces formations caractérisent la majeure partie du système racinaire du caroubier et forment un socle considérable même s'il est moins marqué que celui formé chez l'olivier (**Ait Chitt et al., 2007**).

Les racines se caractérisent par une croissance lente mais avec un développement important au niveau des extrémités, de sorte que le volume des racines dépasse rapidement le double ou le triple de celui de l'houpplier, ce qui permet de classer cette espèce parmi celles qui présentent un système racinaire très étendu et spécialement distribué en surface (**Melgarejo et Salazar, 2003**).

La racine principale est ramifiée en plusieurs racines latérales ou secondaires de grande longueur et avec une tendance à être superficielles, en particulier sur les sols compacts ou peu

profonds. Les racines latérales très ramifiées et avec de nombreux poils absorbants sont capables de s'étendre sur une longueur de 30 à 40 m et peuvent atteindre un développement quatre fois supérieur à celui des rameaux (**Albanell, 1990**).

3.2. Tronc

Le tronc du caroubier est épais, robuste avec de clairs canaux de circulation de la sève associés aux racines les plus épaisses, ce qui leur donne un aspect tortueux, particulièrement marqué chez certaines variétés (**Melgarejo et Salazar, 2003**).

L'écorce est rugueuse à la base de couleur grise à rougeâtre (**Melgarejo et Salazar, 2003**), brune-grisâtre (**Albanell, 1990**) et brune selon **Battle et Tous (1997)**, tandis que l'écorce est lisse sur la partie supérieure du tronc et à la base des branches.

Le tronc chez les arbres épais et vieux est tortueux et sinusoïdal, le diamètre moyen est de 50 centimètres en fonction de l'âge de l'arbre (**Albanell, 1990**), sa circonférence à sa base est comprise entre 2 et 3 mètres (**Ait Chitt et al., 2007**).

3.3. Branches

Selon leur âge, les branches présentent les différentes caractéristiques suivantes (**Albanell, 1990**) :

Les branches principales d'âge avancé sont généralement épaisses, tortueuses et avec une tendance à l'horizontalité due à leur poids et aux tailles de formation. Leur rôle principal est celui de servir comme élément support à d'autres branches, même si elles peuvent occasionnellement être productives.

Les branches secondaires sont de taille moyenne avec une tendance à être plus au moins érigées selon leur âge en particulier dans la partie supérieure de la couronne. Elles constituent les principales branches de production.

Les jeunes branches ou rameaux, de taille plus petite, sont situées dans la partie externe de la couronne ou zone de croissance. Elles sont flexibles et ont une écorce lisse recouverte de lenticelles qui permettent les échanges gazeux avec l'atmosphère. Elles présentent généralement et selon les variétés des tons jaune-verdâtres ou rougeâtres dans la zone de bourgeonnement.

3.4. Feuilles

Les feuilles persistantes, de longueur de 10 à 20 cm, se caractérisent par un pétiole sillonné sur la face interne et un rachis portant de 8 à 15 folioles, opposées, de 3 à 7 cm. Elles sont coriaces, entières, ovales à elliptiques, paripennées, légèrement échancrées au sommet avec une couleur vert sombre brillante à la face supérieure et vert pâle à la face inférieure (**Ait Chitt et al., 2007**).

Occasionnellement chez les arbres cultivés et plus fréquemment chez les caroubiers sauvages, le nombre de folioles peut être impair chez quelques feuilles (**Albanell, 1990**).

Le caroubier ne perd pas ses feuilles en automne sauf en juillet chaque deux ans, lesquelles sont renouvelées au printemps de la même année, en avril et mai (**Ait Chitt et al., 2007**).

3.5. Fleurs

Le caroubier est un arbre polygame-trioïque ; cette dénomination fut donnée par **Linné (1758)**. D'un point de vue sexuel, *C. siliqua* est caractérisée par l'existence de quatre types d'individus. Ainsi, il est possible de rencontrer des arbres à pieds :

- Mâles avec des fleurs caractérisées par des étamines à filaments longs et avec un pistil non développé. Ces pieds utilisés comme pollinisateurs sont habituellement nommés en espagnol "borrers" ou "judíos" (**Albanell, 1990**) ou aussi "bordes" (**Melgarejo et Salazar, 2003**) ;
- Femelles avec un pistil bien développé et des étamines rudimentaires ; ils sont les plus abondants ;
- Hermaphrodites à fleurs avec étamines et pistils bien développés
- Polygames avec des fleurs femelles, mâles et hermaphrodites ; ils sont rares.

Initialement, les fleurs du caroubier sont bisexuelles ; il y a suppression d'un axe durant le développement et le fonctionnement des cellules pour aboutir à des fleurs mâles ou femelles (**Tucker, 1990a ; Ait Chitt et al., 2007**).

Les fleurs naissent à partir de quelques bourgeons floraux; volumineuses et caractéristiques du caroubier. Ces fleurs se produisent sur du vieux bois ou sur des branches de plus de 3 à 5 ans. Les inflorescences apparaissent entre juillet et décembre (**Batlle et Tous, 1997**).

Les fleurs du caroubier sont nombreuses et petites, de 6 à 12 mm de long ; elles sont regroupées en grappes latérales, généralement érigées ou ascendantes, brièvement pétiolées,

disposées le long d'un axe ou rachis d'une couleur vert-jaunâtre ou rougeâtre de 4 à 10 cm de longueur sur lequel sont insérées entre 10 à 30 fleurs, voire plus. Elles ne présentant pas de corolle et sont par conséquent visuellement peu attractives (**Melgarejo et Salazar, 2003**).

3.6. Fruit

Le fruit du caroubier est classifié habituellement selon sa faible teneur en eau au moment de sa collecte comme un fruit sec et cela malgré son aspect pulpeux (**Albanell, 1990**).

La caroube est un fruit indéhiscent d'une grande taille de 10 à 30 cm de long et de 2 à 3,5 cm de large. Il est vert puis brun et au moment de la maturité d'un ton brun foncé, rouge ou noir selon les variétés mais toujours très brillant. Il est sinueux autour des bordures, aplati, droit ou courbé et présente un tissu pulpeux sucré et rafraichissant (**Battle et Tous, 1997**).

La gousse est divisée à l'intérieur par des cloisons pulpeuses et contient de 5 à 16 graines, soit 10 à 20 % du poids de la gousse en fonction de la variété, des conditions environnementales, l'efficacité de la pollinisation et de la conduite technique (**Melgarejo et Salazar, 2003 ; Ait Chitt et al., 2007**).

Le fruit du caroubier croît très lentement à ses débuts durant l'automne. Sa croissance s'accélère au printemps et croît d'une manière visible jusqu'au début de l'été où il atteint sa taille maximale. La maturité est atteinte à partir du début septembre. Entre la nouaison et la maturité, peut s'écouler une période de 11 mois (**Melgarejo et Salazar, 2003**).

Du fruit, on peut distinguer trois parties :

- Épicarpe ou peau, de nature fibreuse et coloré;
- Mésocarpe ou pulpe, de nature charnue, riche en sucres. Il représente environ 70 à 95% du fruit entier ;
- Endocarpe, de nature fibreuse ; il recouvre l'intérieur du fruit en le divisant en segments ou loges carpellaires où se situent les graines (dites, garrofines en Espagnol) (**Caja, 1985**).

3.7. Graines

Les graines du caroubier sont petites et aplaties, d'une forme presque ovale, avec un pôle basal tronqué et écrasé en zone apicale. Son tégument est normalement lisse, dur, de couleur brun rougeâtre et brillant (**Albanell, 1990**). Elles présentent des dimensions de 8 à 10 mm de long sur 6 à 8 mm de largeur avec 3 à 5 mm d'épaisseur. Les graines sont très dures et présentent une grande résistance.

Les graines constituent environ 10 % de la masse de la gousse de caroube (**Petit et al., 1995; Bouzouita et al., 2007**). Leur nombre varie généralement entre 10 et 15. Les graines de caroube ont longtemps été employées comme unité de mesure des diamants et des pierres précieuses, un carat correspondant à la masse d'une graine de caroube, soit environ 200 mg (**Dakia, 2003**).

Les graines de caroube sont constituées de trois éléments: les téguments, la radicule et l'endosperme. Les téguments sont une enveloppe résistante de couleur brune (**Dakia et al., 2007; Dakia et al., 2008**). Cette coque représente 30 à 35 % du poids sec de la graine (**Neukom, 1988**). Au centre de la graine se trouve une radicule (ou embryon). Elle représente entre 23 à 25 % du poids sec de la graine. L'endosperme se trouve entre les téguments et la radicule. Il représente 42 à 46 % du poids de la graine (**Melgarejo et Salazar, 2003**).

4. Intérêt et utilisation du caroubier

Le caroubier est un arbre d'importance écologique, industrielle et ornementale indiscutable. En terme de produits, l'arbre et toutes ses composantes sont utiles et particulièrement le fruit. Il est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers les plus performants puisque toutes ses parties (feuilles, fleurs, fruits, bois, écorces et racines) sont utiles et ont des valeurs dans plusieurs domaines (**Aafi, 1996 ; Mhirit et Et-Tobi, 2002**).

Il est utilisé pour le reboisement et la reforestation des zones affectées par l'érosion et la désertification (**Rejeb et al., 1991; Biner et al., 2007**). Il est également utilisé comme plante ornementale en bordure des routes et dans les jardins (**Battle et Tous, 1997**).

Le bois du caroubier appelé « carouge » est dur à grain fin; il est utilisé pour la fabrication d'ustensiles et la production de combustible (**Battle et Tous, 1997**).

L'écorce de l'arbre est utilisée en tannerie, particulièrement dans l'achèvement et l'émaillage des peaux (**Battle, 1997**).

Des études récentes ont montré que d'autres parties de l'arbre tel que la feuille (**Whiteley et Klurfeld, 2000 ; Tahiri et al., 2009**), et l'écorce (**Katim et al., 2010**), sont également riches en composés phénoliques. Il est prouvé actuellement que ces composés offrent des possibilités chimio-préventives intéressantes contre certains cancers, en particulier ceux gastro-intestinaux (**Corsia et al., 2002 ; Peters et al., 2003 ; El Hajaji et al., 2011**).

Deux principaux produits sont tirés de la caroube. La gomme, extraite de l'endosperme de la graine, est fort recherchée dans l'industrie agroalimentaire notamment pour ses propriétés texturantes

(**Avallone et al., 1997**) ainsi que dans le secteur pharmaceutique (**Prajapati et al., 2013**), cinématographiques, textiles et cosmétiques. Etant le dérivé le plus recherché de la caroube, la gomme possède des caractéristiques très intéressantes en tant que multi-additif (**Sbay, 2008**).

La farine, obtenue en séchant, torréfiant et mouvant les gousses après les avoir débarrassées de leurs graines, est très riche en protéines (50%), en glucides (27%). Elle est principalement utilisée dans les aliments pour les enfants (**Lizardo et al., 2002**) et dans l'alimentation diététique humaine (**Dakia et al., 2007**) ou comme ingrédient potentiel dans les aliments dérivés des céréales pour les personnes cœliaques (**Feillet et Roulland, 1998**). Elle est également employée pour la production industrielle de bioéthanol et d'acide citrique (**Makris et Kefalas, 2004 ; Sánches et al., 2010**) mais surtout en agroalimentaire comme antioxydant grâce à sa composition riche en polyphénols. En effet, la caroube contient 2 à 20% de composés phénoliques (**Owen et al., 2003 ; Makris et Kefalas, 2004**), 24 différentes structures principales ont déjà été identifiées et leur teneur déterminées par **Owen et al.(2003)**.

La pulpe et les graines sont les deux principaux constituants de la gousse du caroubier et représentent respectivement 90% et 10% de son poids total.

Selon les travaux d'**Avallone et al. (1997)** et **Bengoechea et al. (2008)**, la gousse de caroube est riche en hydrates de carbone et en fibres, elle contient une faible quantité de protéines et des teneurs négligeables en lipides ; quant à la teneur de la caroube en minéraux elle est appréciable.

La composition chimique de la graine a été évaluée par **Bouzouita et al. (2007)**, qui a démontré que la graine était pauvre en minéraux en fibres et en protéines, par contre elle contient une quantité appréciable de lipides.

La composition chimique de la pulpe varie en fonction des cultivars, de l'origine géographique, du temps de la récolte et des facteurs environnementaux (**Owen et al., 2003** **Biner et al., 2007**). Ainsi, **Thomson (1971)** a trouvé dans 40 cultivars un taux de sucres de 37 à 62%, des protéines brutes de 2,2 à 6,6%, des fibres brutes de 4,2 à 9,6% et une teneur en cendres de 1.5 à 2.4%. Alors que d'autres auteurs ont rapporté un contenu riche en polyphénols (16-20% essentiellement des tanins) et en fibres alimentaires (jusqu'à 39,8%) (**Marakis, 1996** ; **Avalone, 1997**; **Yousif et Alghzawi, 2000** ; **Owen et al., 2003**; **Santos et al., 2005** ; **Bengoechea et al., 2008** ; **Youssef et al., 2009**).

1. Métabolites primaires

1.1. Sucres

Les gousses de caroube sont caractérisées par une teneur élevée en sucres (environ 500 g/kg), plus élevée que celle présente dans la betterave ou dans la canne (environ 200g/kg) (**Petit et Pinilla, 1995**). Il est bien connu que le saccharose est le sucre le plus abondant dans la gousse de caroube (**Gubbuk et al., 2010**), suivi par le glucose et le fructose. et les teneurs des autres sucres (xylose, maltose) sont plus faibles et la cellulose et l'hémicellulose représentent 18%. Cependant, ces proportions varient selon les auteurs (**Karkacier et Artik, 1995**; **Kumazawa et al., 2002** ; **Biner, 2007**). Ces différences au sein de la littérature sont attribuées à de nombreux facteurs tels l'origine géographique, les conditions climatiques, la diversité entre les variétés, la récolte et le stockage, et les facteurs technologiques tels que l'extraction et les méthodes d'analyse (**Owen et al., 2003**; **Papagiannopoulos et al., 2004**).

1.2. Protéines et lipides

La farine de gousse de caroube broyée contient à peu près 4,45% de protéines. L'acide aspartique + asparagine, l'alanine, l'acide glutamique + glutamine, la leucine et la valine; ensemble, représentent 57% de la teneur en acides aminés total des gousses (**Ayaz et al., 2009**). L'embryon ou la farine de germe est riche en protéines (52% avec une teneur élevée en lysine et arginine) et en carbohydrates (27%). La teneur en protéines de la farine de germe de caroube obtenue à partir des graines est plus élevée que celle observée pour les autres haricots comme la féverole, pois et le soja. **Maza et al. (1989)** ont trouvé des valeurs de 48,4% pour la teneur en protéines du germe de caroube (lipides éliminés).

La caroubine, protéine insoluble dans l'eau, isolée à partir d'embryons de caroube, est un mélange composé d'un grand nombre de protéines polymérisées de taille différente (**Wang et al., 2001, Bengoechea et al., 2008**).

Certains auteurs, **Wang (2001)** et **Smith (2010)**, indiquent que ce système de protéine possède les mêmes propriétés rhéologiques que le gluten, mais la caroubine a une structure plus ordonnée, avec des changements mineurs dans la structure secondaire lorsqu'elle est hydratée. Il est bien connu que les protéines de germe de caroube ont une composition bien équilibrée en acides aminés (**Bengoechea et al., 2008**). Ces protéines pourraient être utilisées comme ingrédients sains dans les aliments nutraceutiques et peut constituer une nouvelle source de nourriture pour les différents secteurs de population.

1.3. Cendres

Selon plusieurs auteurs (**Bravo et al., 1994; Yousif et Alghzawi, 2000; Iipumbu et al., 2008 ; Youssef et al., 2009**), la teneur en cendres présentes dans la poudre de caroube variait entre 2% et 6% selon le type de caroube.

1.4. Minéraux

D'après **Petit et Pinilla (1995)** et **Ozcan et al. (2007)**, la gousse est une bonne source de potassium (802 mg/100g), de calcium (440.05 mg/100g), de sodium (10.1 mg/100g). De même, les oligo-éléments sont présents à des quantités importantes : fer (2.34 mg/100g), magnésium (66.9 mg/100g), manganèse (0.56 mg/100g), zinc (0.70 mg/100g), cuivre (0.62 mg/100g), et phosphore (31.58 mg/100g).

1.5. Fibres

Les fibres sont des substances résiduelles, constituées des polysaccharides non amidonnés et se trouvant dans la paroi (cellulose, hémicellulose, pectine et lignine) et dans le cytoplasme des cellules (gomme, par exemple gomme arabique, gomme de guar et gomme de caroube, agar-agar, alginate et carraghénanes, etc.).

Les fibres de caroube contiennent une quantité remarquable de tanins condensés et d'autres polyphénols (Owen et al., 2003). La fibre de caroube est un des fibres alimentaires ayant la plus forte teneur en polyphénols (Papagiannopoulos, 2004). Certains chercheurs ont rapporté la quantité de fibres comme étant les fibres alimentaires totales (Bravo et al., 1994; Iipumbu, 2008) tandis que d'autres l'ont qualifié des hémicelluloses, des cellulose ou simplement des fibres brutes (FAO, 1991). En outre, d'autres auteurs ont divisé la teneur en fibres de poudre de caroube en fibres solubles et en fibres insolubles (Bravo et al., 1994) ou en fibres détergentes (Albanell et al., 1991). Par conséquent, la différence dans la quantité de fibres rapportés dans la poudre de caroube est très probablement dû aux différentes méthodes appliquées pour calculer les différentes fractions de fibres (Iipumbu, 2008). Chez l'homme, la consommation de fibres de caroube a démontré un pouvoir antioxydant élevé (Kumazawa et al., 2002) et un abaissement du taux de cholestérol et des triglycérides sériques (Zunft, 2003).

2. Métabolites secondaires

Les polyphénols sont des métabolites secondaires qui n'exercent pas de fonctions directes au niveau des activités fondamentales de l'organisme végétal, comme la croissance ou la production. (Yusuf, 2006).

Ces composés ont tous en commun la présence d'un ou de plusieurs cycles benzéniques portant une ou plusieurs fonctions hydroxyles. La structure des composés phénoliques naturels varie depuis les molécules simples (acides phénoliques simples) vers les molécules les plus hautement polymérisées (tanins condensés). Avec plus de 8000 structures phénoliques identifiées (Urquiaga et Leighton, 2000).

Les composés phénoliques permettent aux plantes de résister aux diverses agressions vis-à-vis des organismes pathogènes. Ils participent de manière très efficace à la tolérance des végétaux à des stress variés, donc ces composés jouent un rôle essentiel dans l'équilibre et l'adaptation de la plante au sein de son milieu naturel. D'un point de vue thérapeutique, ces molécules constituent la base des principes actifs que l'on trouve dans les plantes médicinales (Macheix et al., 2005).

2.1. Principales classes des composés phénoliques

2.1.1. Acides phénoliques simples

2.1.1.1. Acides hydroxycinnamiques

Dérivent de l'acide cinnamique et ont une structure générale de base de type (C6-C3). Existents souvent sous forme combinée avec des molécules organiques. Les degrés d'hydroxylation et de méthylation du cycle benzénique, conduisent à une réactivité chimique importante de ces molécules (Cheynier- Manchado et Sarni, 2006).

2.1.1.2. Acides hydroxybenzoïques

Sont des dérivés de l'acide benzoïque et ont une structure générale de base de type (C6-C1). Ces molécules existent souvent sous forme d'esters ou de glycosides (Cheynier-Manchado et Sarni, 2006).

2.1.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes constituent un groupe de plus de 6000 composés naturels qui sont quasiment universels chez les plantes vasculaires. Ils constituent des pigments responsables des colorations jaune, orange, et rouge de différents organes végétaux (Ghedira, 2005). Tous les flavonoïdes possèdent la même structure de base (C6-C3-C6), ils contiennent quinze atomes de carbone dans leur structure de base: deux cycles aromatiques A et B à six atomes de carbone (figure 01) liés avec une unité de trois atomes de carbone qui peut ou non être une partie d'un troisième cycle C (Kakde et al., 2008).

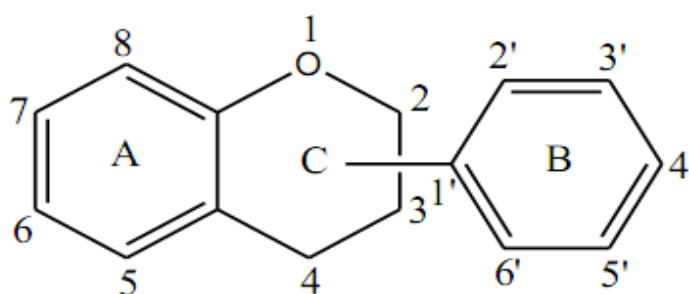


Figure 01: Structure de base des flavonoïdes (Marfak, 2003 ; Milane, 2004).

Plus de 4000 flavonoïdes ont été identifiés dans les plantes, et la liste ne cesse de croître (Di Benedetto, 2007). Les principales classes des flavonoïdes sont: les flavonols les flavones, les

flavanones, les flavan-3-ols, les isoflavones et les anthocyanes (**Sadasivam et Thayumanavan, 2003**), ils varient dans leurs caractéristiques structurales par la diversité fonctionnelle autour de l'oxygénation de l'hétérocycle.

- **Flavonols**

Les flavonols sont caractérisés par la présence d'une double liaison en position 2-3 et d'un groupement hydroxyle en C3 (figure 02). Ils sont les flavonoïdes les plus répandus dans le règne végétal, ils sont essentiellement représentés par la quercétine, le kaempférol et la myricétine. Les flavonols qui s'accumulent dans les tissus végétaux sont presque toujours sous la forme conjugués glycosylés (**Fraga, 2009**).

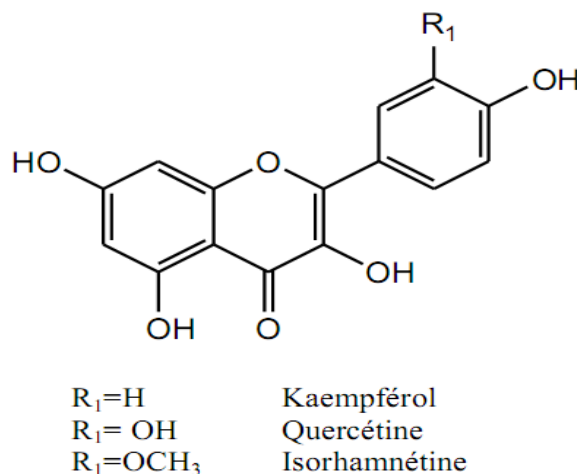


Figure 02 : Des exemples des structures chimiques des flavonols (**Marfak, 2003 ; Milane, 2004**).

2.1.3. Tannins

Les tannins sont des composés phénoliques très abondants chez les angiospermes, les gymnospermes (tannins condensés) et les dicotylédones (tannins hydrolysables). Ces composés ont la capacité de se combiner et de précipiter les protéines. Ces combinaisons varient d'une protéine à une autre selon les degrés d'affinités (**Harborne, 1997**).

Le terme tannin vient de la source de tannins utilisée pour le tannage des peaux d'animaux en cuir. Dans ce processus, les molécules de tannins se lient aux protéines par des liaisons résistantes aux attaques fongiques et bactériennes. Le poids moléculaire des tannins varie entre 500 et 2000 KDa (3000 pour les structures les plus complexes) (**Hagerman et Butler, 1981**).

Selon la structure, on a deux types de tannins : les tannins hydrolysables et les tannins condensés, dits aussi : proanthocyanidines.

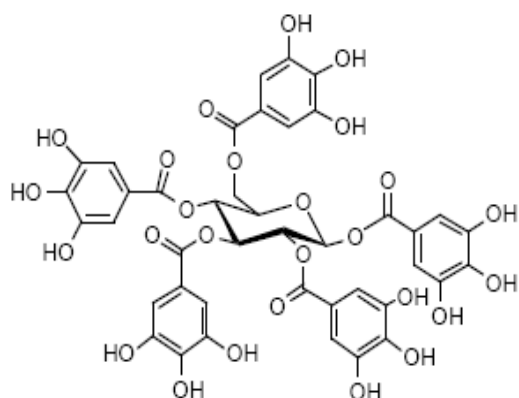
2.1.3.1. Tannins hydrolysables

Sont formés par liaison de plusieurs acides galliques à un carbohydrate (généralement le glucose) (figure 03). On parle de gallotannins. Aussi des unités galloyles peuvent être ajoutées par liaisons esters, généralement en position C3 de l'acide gallique. Et les unités d'acide gallique voisines s'accouplent en formant les esters d'acide hexahydroxydiphénique, dits: ellagitannins. Ces deux groupes, les gallotannins et les ellagitannins sont appelés tannins hydrolysables (**Seigler, 1998**).

2.1.3.2. Tannins condensés

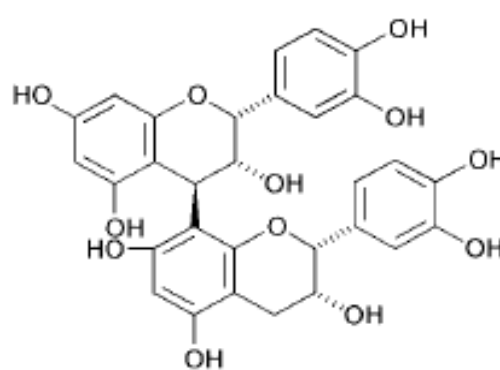
Ce sont des proanthocyanidines, composés phénoliques hétérogènes: dimères, oligomères ou polymères du flavanes, flavan-3-ols, 5-flavanols, 5-deoxy-3-flavanols et flavan-3,4-diols (**Cheyrier-Manchado et Sarni, 2006**).

Les deux groupes majeurs des proanthocyanidines sont les procyanidines et les prodelfphinidines. Les monomères constitutifs des procyanidines sont la catéchine et l'épicatéchine qui peuvent être substituées par l'acide gallique ou des sucres, généralement en position 3 ou plus rarement en position 7. Ces monomères de prodelfphinidines sont la gallocatéchine et l'épigallocatéchine, mais on distingue également des monomères de quercétine et de myricétine (**Andersen et Markham, 2006**).



Exemple de tannins hydrolysables

(Penta-O-galloyl- β -D-glucose)



Exemple de tannins condensés

(Procyanidin B2)

Figure 03: Structure chimique d'un tannin hydrolysable et d'un tannin condensé (**Kumbasli et Peronny, 2005**)

2.2. Polyphénols de la caroube

Les polyphénols se trouvent dans les gousses de caroube sous forme de granules bruns clair, de taille entre 100µm et 500 µm. Ces granules se trouvent dans la fraction fibreuse de la pulpe de caroube et peuvent être extraits par des solvants polaires, à haute température (**Würsch et al., 1984**). La section d'une gousse de caroube examinée au microscope électronique montre la présence de larges cellules parenchymateuses remplies de granules de tannin ressemblant à des pièces d'ambre en microscopie optique (**Würsch et al., 1984**).

2.3. Caractéristiques des polyphénols de la caroube

Peu d'études ont été consacrées à l'analyse des polyphénols de la caroube. Les teneurs et la composition en polyphénols diffèrent d'un auteur à un autre. Les fluctuations obtenues doivent être dues à différents facteurs comme la variété de la caroube, le pays producteur, la partie analysée (pulpe, fibre, partie soluble ou partie résiduelle insoluble), les méthodes utilisées pour l'extraction des polyphénols ou leur détermination (**Marakis, 1996**). Les variétés sauvages sont plus riches en tannins que les variétés cultivées (**Marakis et al., 1993**).

Une gousse de caroube contient, en moyenne, 19 mg de polyphénols totaux par g de matière fraîche, 2.75 mg/g de tannins condensés et 0.95 mg/g de tannins hydrolysables. A noter que des concentrations beaucoup plus élevées (40.8 mg/g de polyphénols totaux, 16.2 mg/g de tannins condensés et 2.98 mg/g de tannins hydrolysables) sont détectées dans le germe alors que ces composés se trouvent à l'état de traces dans la graine (**Avallone et al., 1997**).

La teneur en tannins condensés des gousses de caroube se situe entre 16% et 20% de la masse sèche (**Würsch et al., 1984 ; Saura-Calixto , 1988**) rapporte aussi une teneur en polyphénols de 19.2% (17.9% de tannins condensés et 1.3% de tannins solubles dans l'eau). 94% de ces polyphénols font partie des résidus de fibre de la caroube.

Les polyphénols de la caroube ont une masse moléculaire très élevée rarement rencontrée chez d'autres plantes (**Würsch et al., 1984**). Près de 50% des tannins sont de masse moléculaire comprise entre 3200 et 3600 Dalton (**Tamir et al., 1971**), l'autre moitié se rencontre sous forme de granules de plus haute masse moléculaire avoisinant 32 000 Da (**Würsch et al., 1984**).

Les principaux polyphénols décrits dans les gousses de caroube sont insolubles, hautement polymérisés, appartenant aux tannins condensés contenant un noyau flavane (**Würsch et al., 1984**). Le degré de polymérisation des flavanols, estimé par **Kumazawa et al. (2002)** est de 31.1% et les flavanols constituent 23% des polyphénols totaux.

2.4. Activité antioxydante

Les radicaux libres sont des composés caractérisés par une structure électronique contenant un ou plusieurs électrons non appariés « dite électron célibataire », et c'est cette structure déséquilibrée qui leur confère une grande réactivité sur les constituants organiques en agissant comme étant des intermédiaires dans les réactions métaboliques d'oxydation des structures cellulaires de nature enzymatique ou non, ils sont produits naturellement dans l'organisme (**Lyly et Pelli, 2003**).

Les antioxydants sont des substances capables de neutraliser ou de réduire les dommages causés par les radicaux libres dans l'organisme et permettent de maintenir au niveau de la cellule des concentrations non cytotoxiques de ROS. Notre organisme réagit donc de façon constante à cette production permanente de radicaux libres et on distingue au niveau des cellules deux lignes de défense inégalement puissantes pour détoxifier la cellule (**Favier, 2003**).

L'intérêt métabolique des antioxydants alimentaires fait à l'heure actuelle l'objet d'un grand nombre de travaux, et parmi ces antioxydants les plus puissants, les flavonoïdes qui préviennent efficacement la peroxydation lipidique puisqu'ils peuvent réagir avec la plupart des radicaux libres susceptibles d'arracher un hydrogène sur le groupement CH_2 situé entre les deux doubles liaisons des acides gras polyinsaturés pour former des espèces radicalaires intermédiaires peu réactives. De plus, ils pourraient agir en chélatant les métaux de transition tels que le cuivre et le fer. Les flavonoïdes et en particulier la quercétine sont susceptibles de réagir avec la plupart des espèces réactives oxygénées. En effet, leur activité anti-radicalaire est due à:

- la structure ortho-diphénolique du cycle B, qui est essentielle à l'activité des flavonoïdes possédant un hétérocycle saturé.
- la double liaison 2-3 conjuguée avec la fonction 4-oxo-, qui est responsable de la délocalisation d'électrons stabilisant le radical aroxy.
- les hydroxyles en positions 3 et 5 qui permettent une activité anti-radicalaire maximale.

Une autre propriété antioxydante des polyphénols est leur caractère puissant d'inhibition de l'oxydation des LDL (*Low Density Lipoprotein*) (**Milane, 2004**).

Ce travail est réalisé au niveau du laboratoire pédagogique de contrôle de qualité à l'université de Jijel pendant deux mois dont le but principal est de mettre en évidence l'effet de deux procédés de transformation sur la qualité du caroubier de la wilaya de Jijel.

1. Origine des gousses et obtention des poudres de caroube

Les gousses matures de caroube sont récoltées de trois régions de la wilaya de Jijel, El Milia, Djimla et Texenna. Cette récolte est effectuée durant le mois de mars 2017.

Au niveau du laboratoire, ces gousses sont traitées de la manière suivante :

On a pris 6 gousses de chaque échantillon d'une manière aléatoire, dont trois gousses ont subi une congélation à -18°C durant 24 heures et trois autres une cuisson dans l'eau bouillante pendant 60 minutes.

Trois gousses fraîches sont utilisées comme témoin.

Avant leur utilisation, les gousses congelées sont portées à température ambiante pendant quelques heures, jusqu'à décongélation et les gousses bouillies sont essorées de l'excès de l'eau avec du papier absorbant. Ensuite elles sont débarrassées de leurs graines et broyées à l'aide d'un broyeur (Retsch, GRINDOMIX GM 200). Les poudres obtenues sont tamisées contre un tamis CISA 450 μm . Ces poudres fines (figure 04) seront utilisées pour toutes les expériences.



Figure 04: (A) gousses de caroube d'EL-MILIA, (B) gousses de TEXENNA, (C) gousses de DJIMLA, (D), poudre bouillie, (E) poudre congelée (F) poudre fraîche.

2. Caractérisation morphologique des gousses

Chaque échantillon élémentaire contient 5 gousses. Trois paramètres différents ont été mesurés : la longueur, la largeur et l'épaisseur de chaque gousse à l'aide d'un pied à coulisse.

Le poids moyen de gousses est également déterminé.

3. Caractérisation physicochimique des poudres de la caroube

3.1. Détermination du pH

La détermination du pH est faite à l'aide d'un pH-mètre (HANNA HI2210) préalablement étalonné par deux solutions tampon 4 et 7.

La mesure s'effectue en introduisant l'électrode dans une solution contenant 1g de poudre dans 10ml d'eau distillée (AOAC, 1995).

3.2. Détermination de l'acidité titrable (AOAC 920.92, 2005)

25g de poudre sont placés dans une fiole conique avec 50 ml d'eau distillée chaude récemment bouillie et refroidie, puis mélangés jusqu'à l'obtention d'un liquide homogène. Un réfrigérant à reflux est adapté à la fiole conique, le contenu est ensuite chauffé au bain-marie pendant 30 min.

Après refroidissement le contenu est transvasé quantitativement de la fiole conique dans une fiole jaugée de 250 ml puis complété jusqu'au trait de jauge avec de l'eau distillée récemment bouillie et refroidie.

Après filtration, on prélève à la pipette 25 ml et le versé dans un bécher ; quelques gouttes de phénolphaléine sont ajoutés tout en agitant, la titration est effectuée par une solution d'hydroxyde de sodium 0.1 N jusqu'à l'obtention d'une couleur rose persistante pendant 30 secondes.

L'acidité est déterminée par la formule suivante :

$$A \% = \frac{(250 \cdot V_1 \cdot 100)}{(m \cdot V \cdot 10)} \cdot 0,06 = 150 \frac{V_1}{m \cdot V}$$

Avec :

m : Masse de la prise d'essai (g),

V : Volume du filtrat pris pour le titrage (ml),

V₁ : Volume de la solution d'hydroxyde de sodium à 0.1 N utilisé (ml),

0,06 : Facteur de conversion de l'acidité titrable en équivalent d'acide acétique.

3.3. Détermination de l'humidité (AOAC, 2000)

La teneur en eau représente « la quantité d'eau perdue par une substance lorsqu'on l'amène en équilibre varié avec une pression de vapeur d'eau nulle (HR=0%) dans des conditions telles que des réactions perturbatrices éventuelles soient évitées.

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

$$\text{Teneur en eau (\%)} = (P - P_1) / M \cdot 100$$

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.

3.4. Détermination de la matière sèche (AOAC, 1990)

La matière sèche est définie comme étant le résidu d'un aliment restant après l'élimination de l'eau, dans des conditions expérimentales données la somme de la teneur en eau et en matière sèche représente la totalité de l'aliment.

2 à 2,5 g de chaque échantillon broyé est pesé dans une capsule préalablement tarée. Cette dernière est ensuite mise à l'étuve à 105 °C jusqu'à l'obtention d'une masse constante. Le pourcentage de matière sèche est déterminé par la relation:

$$\%MS = M_{\text{sec}} / M_i \times 100$$

M_i = masse de l'échantillon initial (g),

M_{sec} = masse de l'échantillon sec (g) après passage dans l'étuve à 105 °C.

3.5. Détermination de la teneur en cendres (AOAC, 2000)

L'expression « cendres totales » est un terme se rapportant à la partie inorganique d'un échantillon alimentaire.

La minéralisation par voie sèche ou calcination consiste à brûler l'échantillon dans un four à moufle et recueillir le résidu minéral.

Des creusets d'incinération vides sont pesés. Environ 5g de poudre sont ajoutés et la masse de l'ensemble est notée. Les échantillons sont alors soumis à une température de 550°C dans un four à moufle pendant 6h. Après refroidissement dans un dessiccateur, les creusets contenant les cendres sont pesées à nouveau.

La teneur en cendres des échantillons est calculée suivant la formule suivante :

$$C (\%) = \frac{M_1 - M_2}{M_1 - M_0} \times 100$$

Avec :

C(%) : teneur en cendres,

M₀ : masse en g du creuset vide,

M₁ : masse en g du creuset et les échantillons avant incinération,

M₂ : masse en g du creuset avec les cendres (après incinération).

3.6. Détermination de la teneur en protéines (Méthode de Kjeldahl) (AOAC, 2000)

1 g de poudre et une pincée de catalyseur (sulfate de cuivre et de potassium) est introduit dans un matras de minéralisation, 15 ml d'acide sulfurique pur sont ajoutés. Un chauffage progressif a été appliqué: d'abord une attaque à froid pendant 15 mn jusqu'à l'apparition de vapeur blanche d'anhydride sulfurique, puis le chauffage est rendu plus énergique, attaque à chaud pendant 4 à 5 heures. La solution limpide obtenue, est ensuite refroidie et complétée à 100 ml avec de l'eau distillée. La distillation est réalisée dans un distillateur semi-automatique (VELP) où l'ajout de 20 ml de lessive de soude à 35 % dans le matras et 25 % d'acide borique dans une fiole de 250 ml est réalisé. Le dégagement d'ammoniac est récupéré dans une solution d'acide borique contenant l'indicateur coloré ; le réactif de TACHIRO (mélange de bleu de méthylène et rouge de méthyle).

L'excès d'ammoniac est alors dosé par l'acide sulfurique 0.05 N dans un titre automatique.

La teneur en azote total est déterminée par la formule suivante :

$$\% \text{ Azote Total} = \frac{V}{V'} \times (N - N') \times 0.5 + 1.4 / P.$$

Avec :

V : Volume de la solution minéralisée (ml),

V' : Volume de la solution de soude ajoutée (ml),

N : Quantité d'acide sulfurique lue après titrage (ml) avec l'acide sulfurique de normalité 0,05 N,

N' : Volume de l'acide sulfurique dépensé dans le titrage du témoin (ml),

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

La teneur en protéines est calculée en multipliant le taux d'azote total N (%) par le coefficient 6,25.

3.7. Détermination de la teneur en sucres totaux

Le dosage des sucres totaux est effectué par la méthode de phénol / acide sulfurique (**Dubois et al., 1956**). Cette dernière nécessite une hydrolyse acide qui permet la rupture de toutes les liaisons glucidiques dans le polyside.

Le principe du dosage se base sur la condensation des produits de déshydratation des oses avec un chromogène qui est le phénol. A ce moment-là, il se forme des chromophores de couleur jaune-orange, leur apparition est suivie en mesurant l'augmentation de la densité optique à 485nm.

La teneur des sucres est exprimée en mg/L (convertie en grammes /100g MS) de α D (+) Glucose à partir d'une courbe d'étalonnage (annexe 2).

0,125g d'échantillon est additionné à 5 ml d'acide sulfurique (H_2SO_4) 0,5 M, puis l'ensemble est placé dans une étuve réglée à 105°C pendant 3 heures. La solution obtenue est transversée dans une fiole de 500ml tout en ajustant le volume par de l'eau distillée jusqu'à 500ml ; après filtration, trois dilutions au 1/3 ont été réalisées;

Dans des tubes, 1ml de chaque dilution est ajouté à 1ml de phénol à 5 % et 5ml d'acide sulfurique H_2SO_4 à 98 %, ces tubes sont maintenus dans l'étuve pendant 5 minutes à 105°C, puis laissés dans l'obscurité pendant 30 minutes; enfin, à l'aide d'un spectrophotomètre (SPECORD 50), la densité optique est lue à une longueur d'onde de 485 nm.

3.8. Détermination de la teneur en éléments minéraux par spectroscopie d'absorption atomique (NF V 05-113, 1972)

Les cendres obtenues sont dissoutes dans un tube contenant 10 ml d'eau distillée et 1 ml d'acide chlorhydrique; la solution obtenue est chauffée pendant quelques minutes au bain-marie bouillant jusqu'à dissolution complète des cendres, puis versée dans une fiole jaugée de 100 ml où le volume est complété à 100 ml avec de l'eau distillée.

A partir de cette solution nous avons effectué le dosage des éléments minéraux suivant : Le plomb, le cadmium, le zinc, le cuivre, par spectrophotométrie d'absorption atomique avec flamme.

4. Dosage des composés phénoliques

4.1. Préparation de l'extrait méthanolique

La préparation de l'extrait hydro-alcoolique a été effectuée par macération de 5g de poudre dans un mélange méthanol/eau (80:20 V/V), sous agitation douce pendant une nuit à température ambiante. L'extrait méthanolique est récupéré après filtration du mélange à l'aide d'un papier filtre, le

méthanol est éliminé du filtrat par évaporation sous pression réduite à l'aide d'un évaporateur rotatif (BUCHI R-300) à une température de 48°C. Permettant ainsi d'obtenir un extrait caractérisé par une couleur brune foncée, qui est considéré comme étant l'extrait brut sec (Peixoto et al., 2011).

4.2. Dosage des polyphénols totaux par le réactif de Folin-Ciocalteu

Le dosage des phénols totaux a été déterminé selon la méthode de Wong et al. (2006) avec le réactif de Folin-Ciocalteu.

A chaque 200 µl d'extrait, 1 ml de solution de Folin Ciocalteu est ajouté, suivi par l'addition de 0,8 ml d'une solution de carbonate de sodium (7.5%). après 30 minutes d'incubation à la température ambiante et à l'abri de la lumière, l'absorbance est lue à 765 nm (Kähkönen et al., 1999).

La concentration des polyphénols totaux est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage, établie avec le standard étalon, l'acide gallique (15.6-250 µg/ml) et exprimée en microgrammes d'équivalents d'acide gallique par milligramme d'extrait (µg Eq AG/mg) (annexe 2).

4.3. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes dans les extraits a été déterminée par la spectrophotométrie en utilisant la méthode de chlorure d'aluminium (Zhou et al., 2005).

Une solution méthanolique d'AlCl₃ (1 ml) a été ajoutée à 1 ml de chaque extrait. Après 1 h d'incubation à une température ambiante, l'absorbance a été mesurée à 420 nm (Wu et al., 2011).

La concentration des flavonoïdes est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage, établie avec le standard étalon, quercétine (0.7-50 µg/ml) et exprimée en microgrammes d'équivalents de quercétine par milligramme d'extrait (µg Eq Q/mg) (annexe 2).

4.4. Dosage des flavonols

Un mélange de 2ml d'une solution méthanolique à 2% de trichlorure d'aluminium, 2ml d'extrait méthanolique et 3ml d'acétate de sodium (75g/L) est incubé à 20°C pendant 2h et 30min. Après cette durée d'incubation l'absorbance du mélange est mesurée à 440 nm contre un blanc du méthanol (Akinmoladun et al., 2007).

La concentration des flavonols est calculée à partir de l'équation de régression de la gamme d'étalonnage, établie avec le standard étalon, quercétine (1.5-50 µg/ml) et exprimée en microgrammes d'équivalents de quercétine par milligramme d'extrait (µg Eq Q/mg) (annexe 2).

5. Evaluation de l'activité antioxydante des extraits

5.1. Test au DPPH

L'activité antioxydante de chaque extrait a été mesurée en utilisant le radical DPPH. 250 µl de diverses concentrations des extraits aqueux et hydro-alcoolique ont été ajoutés à 1 ml de solution méthanolique de 0,004% de DPPH. Le mélange a été agité vigoureusement et laissé reposer à une température ambiante dans l'obscurité pendant 30 minutes ; l'absorbance a été mesurée à 517 nm. Parallèlement, un contrôle négatif est préparé en mélangeant 1000 µl de méthanol avec 1000µl de la solution méthanolique de DPPH (Miliauskas et al., 2004).

Le contrôle positif est représenté par une solution d'un antioxydant standard; l'acide ascorbique dont l'absorbance a été mesurée dans les mêmes conditions que les échantillons et pour chaque concentration, le test est répété trois fois. L'activité anti-radicalaire est estimée selon l'équation ci-dessous :

$$\% \text{ d'activité anti-radicalaire} = [(\text{Abs contrôle} - \text{Abs échantillon}) / \text{Abs contrôle}] \times 100.$$

5.2. Capacité antioxydante totale par la méthode de phosphomolybdate

Cette méthode est basée sur la réduction de Mo (VI) en Mo (V) en présence des composés antioxydants et donc la formation d'un complexe vert de phosphate/Mo (V) à un pH acide (Sahu et Laloo, 2011).

0,3 ml de chaque extrait méthanolique a été mélangé avec 3 ml de la solution du réactif (0,6 M d'acide sulfurique, 28 mM de phosphate de sodium et 4 mM de molybdate d'ammonium).

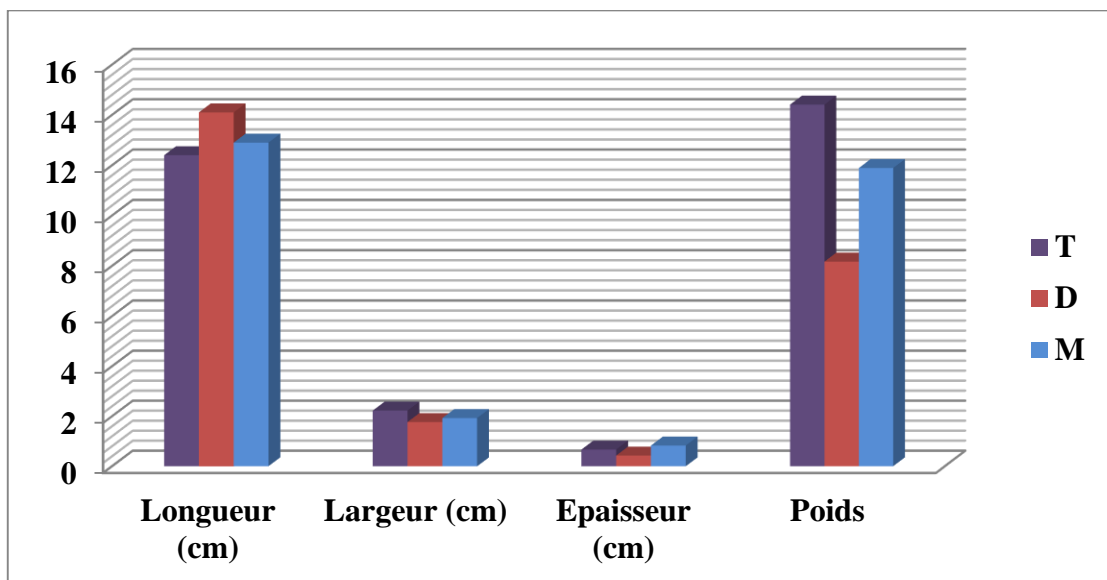
Les tubes contenant la solution de réaction ont été incubés à 95 °C pendant 90 minutes. Ensuite, l'absorbance de la solution a été mesurée à 695 nm en utilisant le spectrophotomètre contre le blanc (méthanol + réactif) (Mašković, 2012).

La capacité antioxydante totale a été exprimée en microgrammes d'équivalent d'acide ascorbique par milligramme d'extrait (annexe 2).

1. Caractérisation morphologique des gousses de caroube

Selon les variétés, les gousses de caroube diffèrent morphologiquement dans leur taille, leur forme, leur qualité, leur couleur et dans leur rendement en graines. Ces variations peuvent être attribuées au génotype de la plante, l'origine géographique, les conditions climatiques et les méthodes de récolte et de stockage (Batlle et Tous, 1997 ; Owen et al., 2003 ; Biner et al, 2007; Naghmouchi et al., 2009; Sidina et al., 2009).

Les caractéristiques morphologiques : longueur, largeur, épaisseur et poids, de 5 gousses de chaque échantillon de caroube ont été déterminées. Les résultats obtenus sont illustrés dans la figure ci-dessous.



T : Texenna ; D : Djimla ; M : El Milia

Figure 05 : Caractérisation morphologique des gousses de caroube.

La taille des gousses, définie par la valeur moyenne de sa longueur a donné lieu à la classification des gousses récoltées en deux catégories: taille légèrement longue ($14 < L \leq 15$ cm), et taille légèrement courte avec ($10 \leq L < 14$). Cette catégorisation de taille a été faite en référence aux travaux de Tutin et al. (1993), de Tous et al. (1996) et de Batlle et Tous (1997) qui ont rapporté que la taille moyenne des gousses peut aller de 10 à 30 cm.

Dans le cas de nos échantillons, la taille légèrement longue (14.1 ± 2.76 cm) (annexe 1: tableau 03) caractérise les gousses de Djimla et celle légèrement courte caractérise les gousses d'El Milia et Texenna avec des moyennes de 12.40 ± 0.36 cm et 12.90 ± 1.49 cm, respectivement.

La largeur des gousses du caroubier a une indication d'ordre agronomique importante. Elle est indépendante de la taille de gousse et peut renseigner non seulement sur son état comprimé ou élargi, mais aussi sur le volume des graines et de pulpe.

Les échantillons de Texenna sont distingués par des gousses assez larges avec une moyenne de 2.23 ± 0.25 cm par rapport aux deux autres échantillons qui ont enregistré des valeurs de 1.93 ± 0.11 cm et 1.77 ± 0.06 cm pour la région d'El Milia et de Djimla, respectivement. Ces résultats sont conformes aux limites de la littérature allant de 1.5 à 2.5 cm selon **Tutin et al. (1993)** et de 1.5 à 3.5 cm selon **Batlle et tous (1997)**.

L'épaisseur des gousses est également très variable d'un échantillon à un autre et constitue un critère de distinction entre les gousses comprimées et volumineuses. Elle peut atteindre 1 cm notamment chez les gousses charnues (**Batlle et Tous, 1997**).

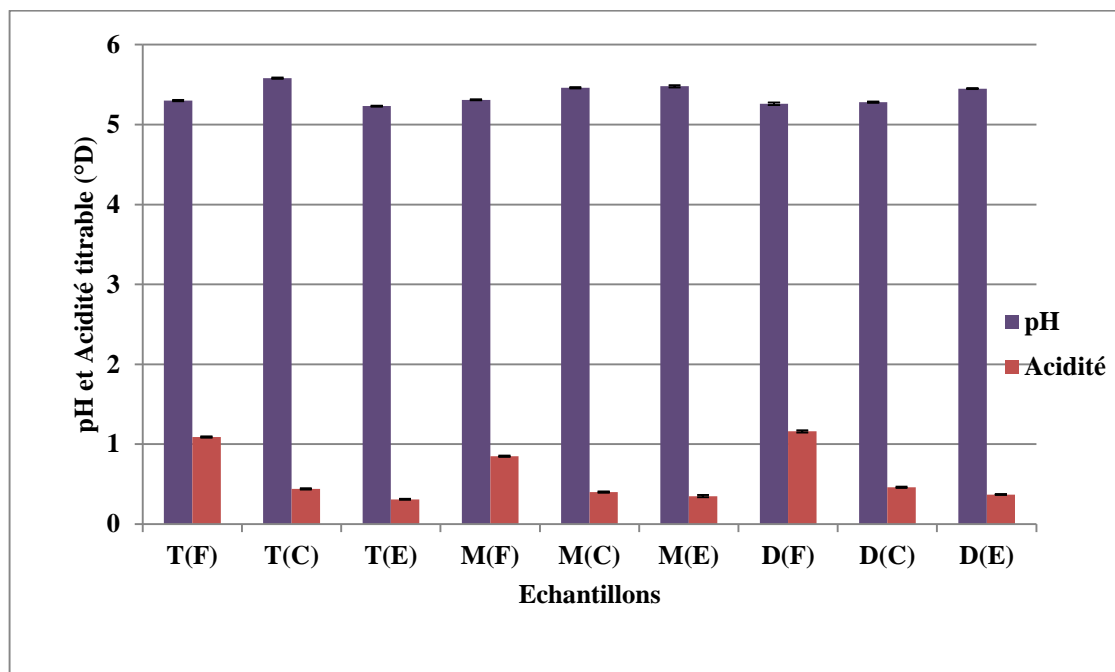
Cette variable nous a permis de distinguer les échantillons caractérisés par des gousses charnues et volumineuses où l'épaisseur est supérieure à 0.61 cm, à savoir celles d'El-Milia avec une valeur de 0.83 ± 0.15 cm et celles de Texenna avec une moyenne de 0.67 ± 0.21 cm. Les gousses de la région de Djimla sont aplaties ou comprimées avec une épaisseur de 0.43 ± 0.05 cm (valeur comprise entre 0.33 et 0.49 cm).

Les variables mesurées précédemment, longueur, largeur et épaisseur, influencent beaucoup le poids total de la gousse et la quantité de son pulpe. En effet, nous avons observé qu'en général, les échantillons ayant un poids important de fruit et de pulpe sont celles qui ont des gousses assez longues, larges et épaisses. La valeur la plus élevée est enregistrée avec l'échantillon de Texenna (14.41 ± 1.45 cm) suivi par celui d'El-Milia puis celui de Djimla, avec des valeurs de 11.89 ± 0.79 cm et 8.17 ± 0.73 cm, respectivement.

2. Caractérisation physicochimique des poudres de la caroube

2.1. Détermination du pH et d'acidité titrable

Les résultats de la détermination du pH et d'acidité titrable sont résumés dans la figure suivante.



(F) : frais, (C) : Congelé, (E) : Ebullition

Figure 06 : Résultats du pH et d'acidité titrable des différents échantillons.

À partir de ces résultats on trouve que nos échantillons ont un pH acide se situant en général entre 5.26 et 5.58 ± 0.02 (annexe 01: tableau 04). Il faut signaler que les valeurs de pH des trois échantillons à leurs différents états ; frais, congelé et bouilli, sont très proches. Ces résultats sont en accord avec ceux de **Yousif et Alghzawi (2000)**, de **Pérez de los Ríos (2010)** et de **Baston (2016)**, qui ont signalé des valeurs allant de 4.34 ± 0.01 à 5.96 ± 0.02 .

La valeur supérieure est enregistrée pour les échantillons portés à ébullition, avec des moyennes de 5.58 ± 0.02 , 5.48 ± 0.01 , 5.45 ± 0.02 pour les poudres de Texenna, d'El-Milia et de Djimla, successivement ; suivi par les échantillons congelés avec des valeurs de 5.46 ± 0.01 , 5.41 ± 0.02 , 5.40 ± 0.02 pour les poudres d'El-Milia, de Texenna et de Djimla, respectivement. Les poudres des gousses fraîches ont donné les valeurs les plus basses, avec une augmentation légère observée pour l'échantillon d'El Milia.

Les poudres des gousses fraîches des trois régions étudiées, ont donné le taux d'acidité le plus élevé, avec une augmentation enregistrée beaucoup plus pour la poudre de Djimla avec une valeur de $1.16 \pm 0.014^\circ\text{D}$. Cette valeur est appréciable par rapport à celle rapportée par **Baston (2016)** qui a trouvé une moyenne de $36.04 \pm 1.91^\circ\text{D}$.

La différence du taux d'acidité est principalement liée à la composition en acides organiques et varie également selon les cultivars (**Albanell et al., 1991**; **Avallone et al., 1997**; **Iipumbu, 2008**).

Elle peut aussi être attribuée aux phénomènes de fermentation installés lors du stockage, étant donné que les gousses de caroube sont riches en sucres ce qui implique des réactions productrices d'acides organiques.

Les poudres de gousses portées à ébullition ont donné le taux d'acidité le plus faible, avec la plus faible valeur pour l'échantillon de Texenna. Le traitement thermique semble réduire l'acidité de 50 à 79%, ce qui est dû à l'effet stérilisant de l'eau bouillante ainsi qu'à l'hydrosolubilité et la précipitation de sels minéraux et d'oligo-éléments qui jouent un rôle primordial dans la cinétique de certaines réactions enzymatiques, ce qui bloque par conséquent les réactions de fermentations.

Selon **Sahoré et Nemlin (2012)**, l'abaissement de la température permet de réduire considérablement la cinétique de certaines réactions biochimiques, en l'occurrence les réactions enzymatiques et l'effet de l'activité de l'eau par la cristallisation ce qui explique la réduction du titre d'acidité pour les échantillons congelés.

Il faut noter que l'acidité des poudres obtenues par broyage des gousses de la région de Djimla, pour les trois états étudiés, est élevée par rapport aux deux autres échantillons analysés.

2.2. Détermination du taux d'humidité

Les résultats d'humidité des échantillons étudiés sont illustrés dans la figure ci-dessous.

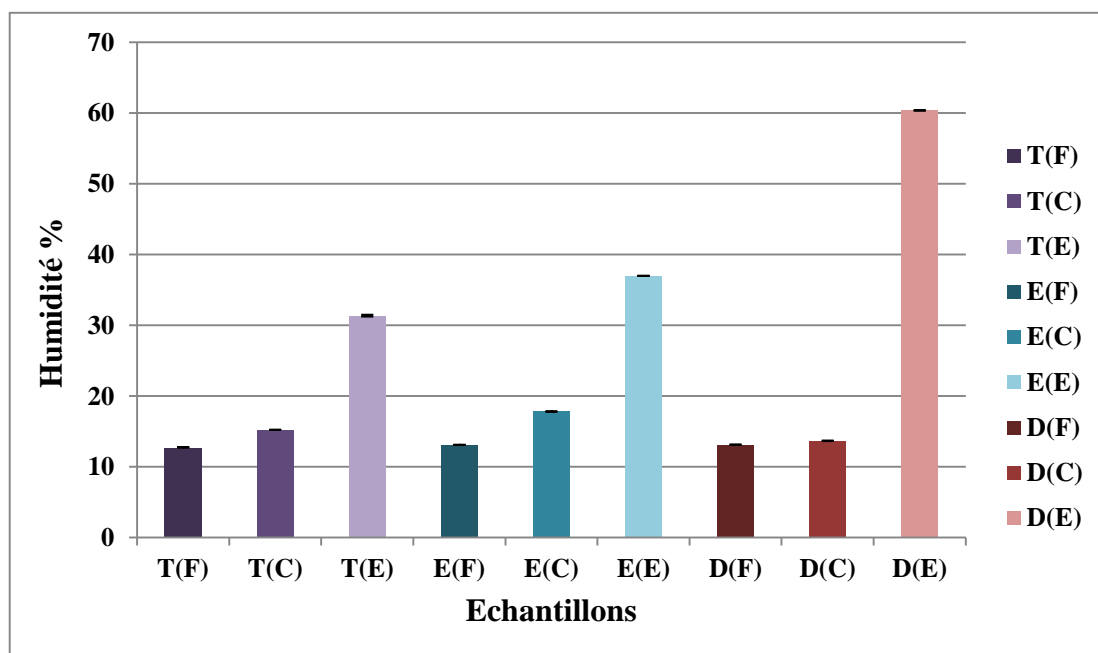


Figure 07 : Taux d'humidité des échantillons exprimé en %.

Les résultats obtenus montrent que le taux d'humidité des échantillons portés à ébullition est très élevé avec un taux important enregistré pour l'échantillon de la région de Djimla avec une valeur de $60.37 \pm 0.0002\%$ (annexe 1 : tableau 5), suivi par celui d'El Milia et enfin celui de Texenna, avec des taux moyens de $36.99 \pm 0.0002\%$ et de 15.23 ± 0.0004 , respectivement.

Les taux les plus faibles sont enregistrés pour les échantillons frais avec des moyennes très proches se situant entre 12.73 ± 0.0003 et $13.13 \pm 0.0003\%$. Ces résultats sont proches de ceux de **Khelifa et al. (2013)**, qui ont trouvé une valeur moyenne de $10.2 \pm 0.13\%$ et largement supérieurs à ceux de **Youssef et al. (2013)**, qui ont déterminé une valeur inférieure, de 5.3% .

Les poudres de gousses congelées des trois échantillons ont présenté des augmentations relativement faibles en taux d'humidité. Ces augmentations pourraient être expliquées par une nouvelle absorption d'eau par les gousses puisqu'elles étaient précocement récoltées, en mois de mars au lieu de juillet (**Nagoudi, 2014**).

Les taux d'humidité élevés dans le cas des échantillons portés à ébullition peuvent s'expliquer par le fait que nos échantillons se chargent de vapeurs d'eau de l'atmosphère, exprimée par l'humidité relative à la température considérée. Les variations des pourcentages d'humidité pour les trois échantillons de gousses peuvent être dues à la quantité maximum de vapeur d'eau que peut absorber l'échantillon à la température considérée.

Selon **Baston (2016)**, La variation de l'humidité dans la poudre de caroube est causée principalement par la méthode de préparation et le stockage.

2.3. Détermination de la teneur en matière sèche

L'appréciation de la matière sèche repose sur la détermination de la teneur en eau des échantillons à analyser (**Gaouar, 2011**).

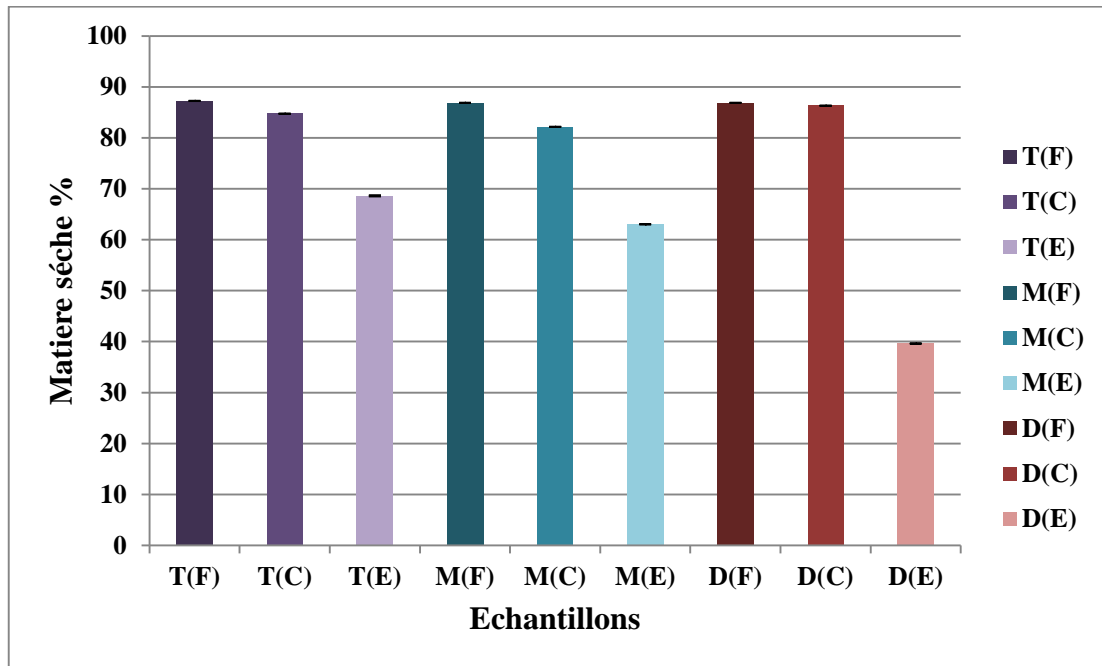


Figure 08: Teneurs de la matière sèche des échantillons étudiés.

Le taux de la matière sèche des poudres de la caroube fraîche des trois régions est très proche et plus élevé en comparaison avec les deux autres états étudiés, congelé et bouilli (figure 08). On enregistre presque la même teneur pour les échantillons de Djimla et d'El Milia, $86.88 \pm 0,0005\%$ et $86.89 \pm 0,0003\%$, successivement. Celle de Texenna est la plus élevée avec une teneur de $87.28 \pm 0,0003\%$ (annexe 01 : tableau 05). Ces résultats se concordent avec ceux de **Gaouar (2011)**, qui a trouvé un taux de matière sèche très important dans la pulpe de caroubier de Jijel se situant entre 88.68% et 90.40%.

La teneur en matière sèche se diminue légèrement pour les échantillons congelés alors qu'on enregistre une baisse importante pour les échantillons portés à ébullition, allant de 18 à 47%. Ce ci pourrait être dû au chauffage. Ces pertes de matières ont également été constatées par **Mechlouch et al. (2013)**.

2.4. Détermination de la teneur en cendres

La détermination de la teneur en matière minérale nous éclaire sur la qualité nutritionnelle de l'échantillon à analyser. En effet, la teneur en cendres des aliments doit avoir un seuil à ne pas dépasser pour la consommation humaine et animale (**Gaouar, 2011**). .

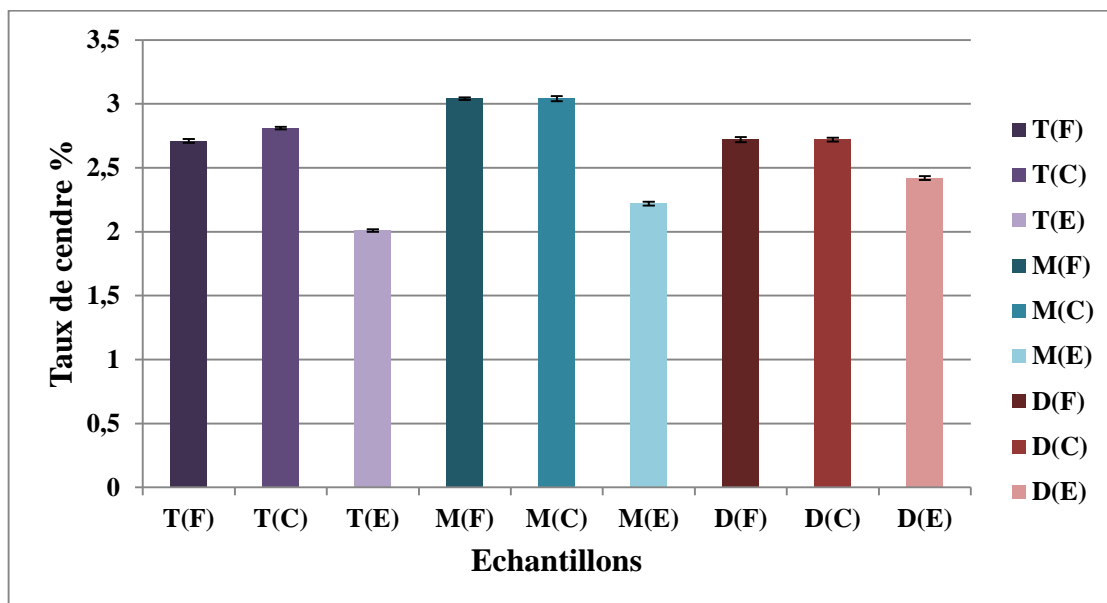


Figure 09 : Teneurs en cendres des différents échantillons.

Les teneurs en cendres des trois échantillons sont très proches avec une légère augmentation enregistrée pour l'échantillon d'El Milia avec une teneur moyenne de $3.04 \pm 0.0001\%$ (figure 09). On a enregistré la même valeur pour les échantillons de Texenna et de Djimla, avec un taux moyen de $2.72 \pm 0.0002\%$ (annexe 01: tableau 05). Ces valeurs cadrent avec l'intervalle de pourcentage des cendres trouvé par plusieurs auteurs à savoir **Sigge et al. (2011)** ; **Khelifa et al. (2013)** et **Youssef et al. (2013)**, qui est compris entre 2 à 3%. D'après **Bezzala (2005)**, cette légère variation peut être due à la provenance géographique des échantillons, notamment les conditions climatiques et les caractères édaphiques des sols.

On enregistre une légère augmentation de la teneur en cendres pour la poudre issue du broyage des gousses congelées de la région de Texenna et une même valeur pour les échantillons de Djimla et d'El Milia. Cela pourrait s'expliquer par le fait que la conservation au froid ait permis d'éviter d'importantes modifications (**Sahoré et Nemlin, 2012**).

Les taux les plus faibles sont obtenus avec les échantillons bouillis des trois régions où on a observé la valeur la plus élevée pour l'échantillon de Djimla, $2.42 \pm 0.0002\%$. Ce ci est attribué à l'hydrosolubilité des éléments minéraux. L'eau bouillante se charge donc de minéraux au fur et à mesure que le temps d'ébullition augmente, raison pour la quelle il est conseiller de ne pas trop laver certains aliments, d'éviter de les faire cuire ou de préférence d'utiliser la cuisson à la vapeur ou de les faire bouillir une très faible quantité d'eau (**Nafir-Zenati et al., 1993** ; **Métanomski, 2007**).

2.5. Détermination de la teneur en protéines

Les protéines tiennent une place importante dans notre alimentation. En effet, pour l'homme et l'animal, le besoin en protéines est d'environ 12 à 15% de la matière sèche du régime alimentaire, suivant l'espèce et l'état physiologique. Elles sont fournies essentiellement par les graines de céréales et des légumineuses. La teneur en protéines brutes est l'un des critères utilisés pour évaluer la valeur nutritive d'un aliment. La teneur en protéines dépend sans aucun doute des conditions pédoclimatiques ainsi que du stade de développement de la plante (Gaouar, 2011).

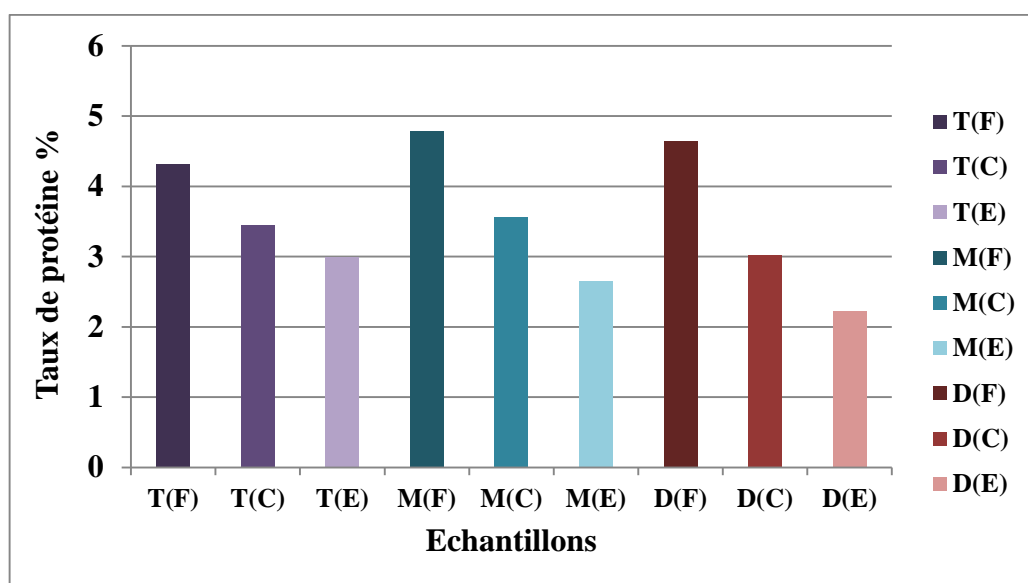


Figure 10 : Teneurs en protéines des différents échantillons.

Les pourcentages les plus élevés en protéines sont obtenus pour les échantillons de gousses fraîches avec une augmentation de teneur moyenne pour les gousses de la région d'El Milia avec une valeur de 4,79% (annexe 01 : tableau 05). Ces résultats sont en accord avec ceux de d'Albanell *et al.* (1991), de Yousif et Alghzawi (2000) et Ayaz *et al.* (2007) qui varient de 1 à 7.6% et légèrement inférieurs à ceux de Youssef *et al.* (2013), qui a trouvé une teneur de 6.34%. De nombreuses études ont démontré que la composition en acide aminés varie d'un fruit à l'autre suivant l'espèce, l'origine géographique, le stade de maturation et la méthode de culture. Beaucoup de travaux ont été réalisés afin de déterminer la composition en acides aminés de la caroube, il a été démontré que la pulpe de caroube contenait 18 acides aminés représentés en majorité par l'acide aspartique suivi de l'alanine, l'acide glutamique, la leucine, la valine et l'arginine ; la cystéine et le tryptophane sont les acides aminés qui ont montré la plus faible concentration (Ayaz *et al.*, 2007; Bengoechea *et al.*, 2008).

D'après les résultats de la figure 10, les taux les plus faibles sont trouvés pour les échantillons de gousses bouillies. Ce ci peut être du à la dénaturation et la coagulation d'une partie des protéines. Vue la richesse de la caroube en sucres une complexation des protéines avec ces composés est également probable suite à une réaction de Maillard. Il est à noter que les pertes en protéines augmentent avec le volume d'eau utilisé et la durée de la cuisson (Causeret, 1986 ; Cepo et al., 2014 ; Baston, 2016).

La congélation/décongélation à température ambiante des gousses permet un passage de transition de phase solide/liquide par changement de température ce qui provoque une dénaturation partielle des protéines liée à la formation de cristaux de glace, ce ci engendre un durcissement de la pulpe d'échantillon (Tironi et al., 2007).

2.6. Détermination de la teneur en sucres totaux

La caroube est un fruit caractérisée par sa richesse en sucres, environ 500 g/kg, teneur plus élevée que celle présente dans la betterave ou dans la canne (environ 200g/kg) (Petit et Pinilla, 1995), ce qui lui vaut sa saveur très sucrée et son utilisation comme aliment de bétail.

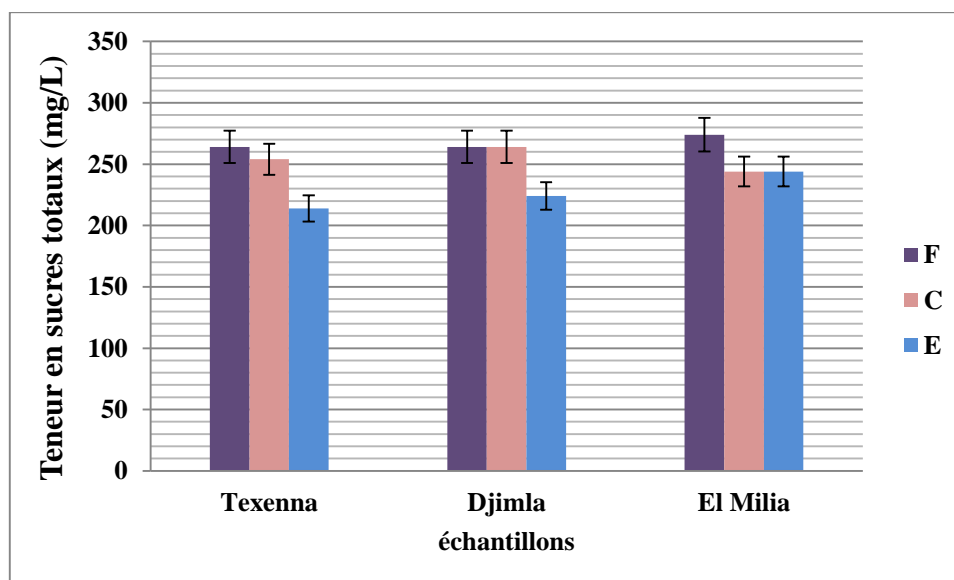


Figure 11: Teneurs en sucres totaux des différents échantillons.

Les teneurs les plus élevées en sucres totaux sont obtenues pour les échantillons de gousses fraîches avec une augmentation de teneur moyenne pour les gousses de la région d'El Milia avec une valeur de 274mg/L équivalente à 219,2g/100gMS. La plus faible moyenne est trouvée pour l'échantillon bouilli de Texenna avec une teneur de 214mg/L équivalente à 171.2g/100g MS. Ces valeurs sont supérieures à celles trouvées par El Batal et al. (2011) qui ont obtenus des valeurs entre 31.5 et 50.1 g/100 g MS. Cependant, les différences entre ces trois échantillons sont principalement

attribuées à la diversité entre les variétés, la récolte et le stockage (Owen et al., 2003; Papagiannopoulos et al., 2004).

Les valeurs les plus faibles sont enregistrées pour les échantillons bouillis.

La congélation n'a pas d'effet remarquable sur le taux des sucres.

La diminution de la quantité des sucres peut être due à la formation de nouveaux produits suite à la réaction de Maillard, qui sont issus de la réaction entre les sucres, acides aminés et protéines (Sifs et al., 2000).

2.7. Détermination de la teneur en cadmium (Cd), plomb (Pb), zinc (Zn) et cuivre (Cu) par spectroscopie d'absorption atomique (SAA)

Les résultats sont regroupés dans le tableau 02.

Tableau 02 : Concentrations de Cadmium, Plomb, Zinc et Cuivre des poudres étudiées.

Eléments Echantillons	Concentration (ppm) de Cadmium	Concentration (ppm) de Plomb	Concentration (ppm) de Zinc	Concentration (ppm) de Cuivre
Texenna				
F	0,0150	1,1665	47.88	5.210
C	0,0140	0,8697	39.76	4.510
E	0,0210	0,5490	16.63	3.100
Djimla				
F	0,0945	1,0568	70.79	5.910
C	0,0682	0,9881	54.55	4.370
E	0,0525	0,4529	02.00	2.960
El Milia				
F	0,0962	0,3843	46.88	4.080
C	0,0665	0,4666	27.42	2.530
E	0,0507	0,3843	20.52	1.830

D'après le tableau ci-dessus, la concentration de cuivre varie de 0.183 à 0.591ppm. La valeur la plus élevée est enregistrée pour Djimla (F) suivi par Texenna (F) et El Milia (F). Les valeurs les plus faibles sont obtenues avec les échantillons bouillis, exception faite pour le cadmium de l'échantillon de Texenna.

Ces résultats sont inférieurs à ceux trouvés par plusieurs auteurs à savoir **Petit et Pinilla (1995)** et **Ozcan et al. (2007)**. Il n'existe pas de travaux sur les teneurs de cadmium et plomb.

Même constatation faite pour les trois autres éléments. Cette diminution peut être due à la fragilisation de la paroi cellulaire par l'ébullition ou les cristaux de glace, ce qui entraîne une perte ou une baisse par rapport aux concentrations de l'état frais.

3. Dosage des composés polyphénoliques

3.1. Dosage des polyphénols totaux par la méthode de Folin-Ciocalteu

Le dosage des polyphénols totaux, en équivalent d'acide gallique, des extraits des poudres de caroube a été estimé par la méthode de Folin-Ciocalteu.

Les résultats obtenus sont présentés par la figure suivante.

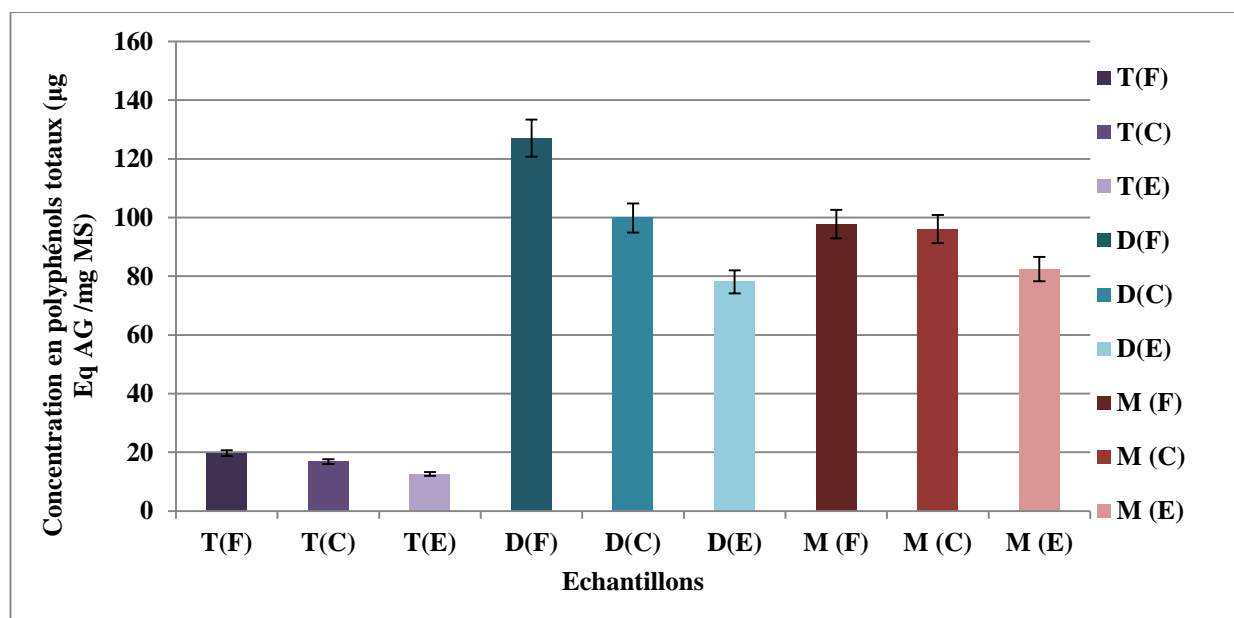


Figure 12 : Concentrations en polyphénols totaux des différents échantillons.

D'après ces résultats, les concentrations en polyphénols totaux des extraits de poudres issues de gousses fraîches sont les plus élevées par rapport aux deux autres états de chaque échantillon étudié.

Ces concentrations sont suivies par celles des gousses congelées puis celles des gousses bouillies. Le taux le plus élevé est enregistré avec l'échantillon frais de Djimla avec une concentration de $127.05 \pm 0.04 \mu\text{g EqAG /MS}$ suivi par celui de l'échantillon congelé de la même région avec un taux de $99.85 \pm 0.04 \mu\text{g EqAG /MS}$ puis celui de l'échantillon frais d'El Milia avec une valeur de $97.75 \pm 0.04 \mu\text{g EqAG /MS}$ (annexe 01 : tableau 07).

Il est à noter que les échantillons de la région de Texenna ont donné les concentrations les plus faibles.

Les résultats que nous avons obtenu sont supérieurs à ceux d'**Avallone et al. (1997)**, d'**Owen et al. (2003)**, de **Papagiannopoulos et al. (2004)** et d'**Ortega et al. (2011)** qui ont enregistré des valeurs de $1.9 \pm 0.12 \mu\text{g Eq AG/mg}$, $3,94 \mu\text{g/mg MS}$, $4,142 \mu\text{g/mg MS}$ et $6,12 \mu\text{g/mg MS}$, respectivement. En outre d'autres travaux ont montré que la caroube pouvait contenir beaucoup plus de polyphénols, jusqu'à $19.2 \pm 0.00 \mu\text{g Eq AG/mg}$ (**Glew et al., 2003**) et $13.51 \pm 0.00 \mu\text{g Eq AG/mg}$ (**Ayaz et al., 2007**).

Cette différence observée dans les différentes études peut s'expliquer par la provenance géographique, le cultivar, la variété et surtout le degré de maturité, ce qui a été prouvé par les travaux de **Abi Azar (2007)**.

Les résultats obtenus indiquent que la cuisson par immersion dans l'eau bouillante a un impact négatif sur la teneur en polyphénols totaux des gousses étudiées. Les pourcentages de diminution varient d'un échantillon à un autre. Selon **Barkat et Kadri (2011)**, ces diminutions peuvent s'expliquer par la nature et la teneur des différents composés phénoliques propres à chaque échantillon.

Cette diminution pourrait s'expliquer par la grande facilité avec laquelle les polyphénols solubles sont extraits des échantillons bouillis, suite à une forte fragilisation des parois cellulaires de tissus végétaux par la chaleur. La perte par éclatement cellulaire facilite la libération des polyphénols totaux et autres substances dans l'eau de cuisson ce qui contribuerait à la diminution des teneurs dans les échantillons bouillis.

Van der Sluis et al. (2005) ont enregistré 75% de perte moyenne selon le type de molécule, tandis que la phloridzine et l'acide chlorogénique sont plus stables (perte d'environ 15 %). Ce ci permet de dire que les échantillons d'El Milia et de Djimla sont plus riches en ces deux polyphénols que celui de Texenna.

La congélation/décongélation à température ambiante des gousses permet une fragilisation partielle des parois liée à la formation de cristaux de glace, ce ci engendre une perte en polyphénols (**Tironi et al., 2007**).

3.2. Dosage des flavonoïdes et flavonols

Les flavonoïdes comprennent les anthocyanes, les flavanols et les flavanols. Les teneurs en flavonoïdes des extraits méthanoliques des poudres de caroube étudiées sont présentées dans la figure 13.

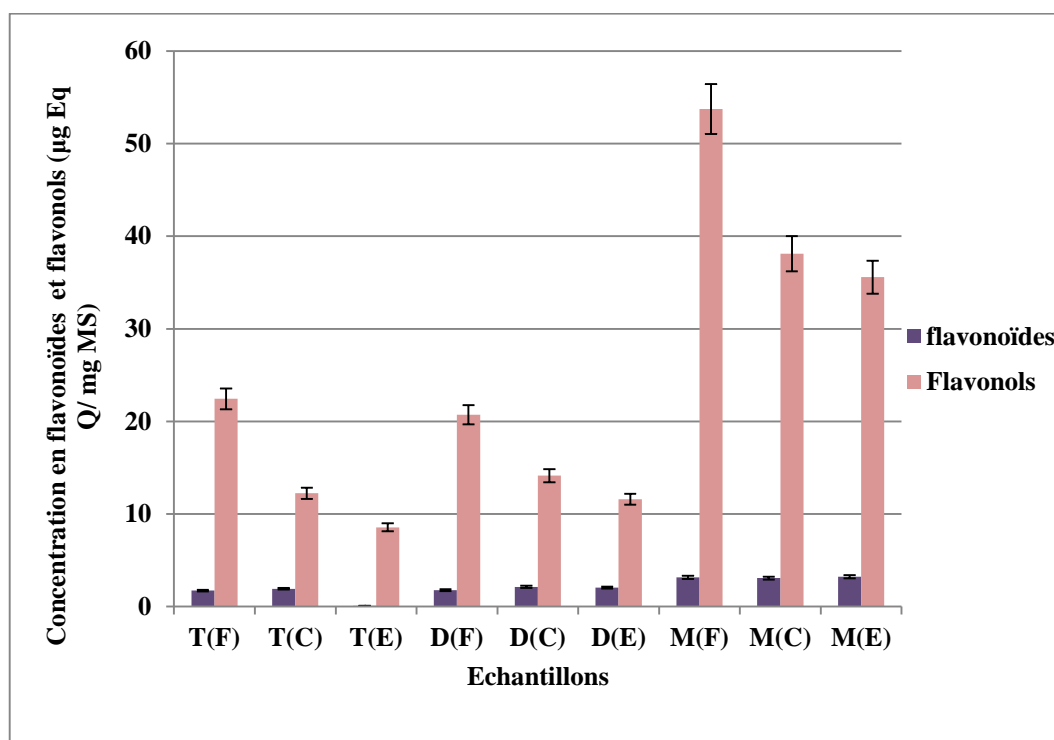


Figure 13: Concentrations en flavonoïdes et flavonols des différents échantillons.

D’après les résultats de la figure ci-dessus, le taux des flavonoïdes varie entre (0,082 µg Eq Q/mg MS et 3.23 µg Eq Q/mg MS).

Les extraits de la poudre des gousses fraîches ont donné une concentration en flavonoïdes légèrement supérieure à celles des extraits de l’état congelé avec des valeurs de 1.93 ± 0.03 et 1.74 ± 0.02 µg Eq Q/mg MS. Le taux est très bas pour les extraits de gousses bouillies.

Concernant les poudres de la région de Djimla, on remarque des valeurs très proches pour les extraits de poudres des deux états frais et congelé et une valeur légèrement inférieure pour les poudres issues de gousses portées à ébullition; ainsi qu’une diminution progressive en concentration de flavonols.

La région d’El Milia a enregistré des valeurs très proches pour les trois états étudiés, frais, congelé et bouilli avec des valeurs de 3.23 ± 0.03 , $3,16 \pm 0,02$ et $3,09 \pm 0,03$ µg Eq Q/mg MS, successivement. Les extraits de cette région ont donné les concentrations les plus élevées en flavonoïdes et flavonols.

Les teneurs les plus élevées sont obtenues pour les extraits de gousses fraîches et les plus basses pour les extraits de gousses bouillies.

Ces résultats se concordent avec ceux d'Owen *et al.*, (2003), d'Ayaz *et al.*, (2007) et d'Ortega *et al.*, (2011) qui ont trouvé des concentrations en flavonoïdes entre 0,41 et 0,48 μ g/mg MS, de 1,02 μ g/mg MS et de 3,33 μ g/mg MS, respectivement.

Il n'existe pas de travaux sur le dosage des flavonols des gousses brunes de caroubier mais d'une manière générale les gousses de caroube contiennent 448mg/kg de polyphénols y compris l'acide gallique, de tannins hydrolysable et condensés, des glycoside-flavonols, et des traces d'iso-flavonoïdes (Papagiannopoulos *et al.*, 2004).

Van der Sluis *et al.* (2005) ont montré que les plus sensibles à la température sont les flavonoïdes. Les auteurs attribuent les pertes en flavonoïdes à des mécanismes d'hydrolyse acide. Les différences enregistrées entre les trois échantillons peuvent être attribuées à la variabilité de composition en flavonoïdes, de ce fait il est fort probable que l'échantillon de Texenna contient des flavonoïdes plus sensibles à la température que ceux d'El Milia et de Djimla.

La congélation/décongélation à température ambiante des gousses permet une fragilisation partielle des parois liée à la formation de cristaux de glace, ce qui engendre une perte en flavonoïdes et flavonols (Tironi *et al.*, 2007).

4. Évaluation de l'activité antioxydante

4.1. Test au DPPH

La figure ci-dessous représente les variations du pourcentage l'inhibition du DPPH par les extraits méthanoliques des différentes poudres étudiées.

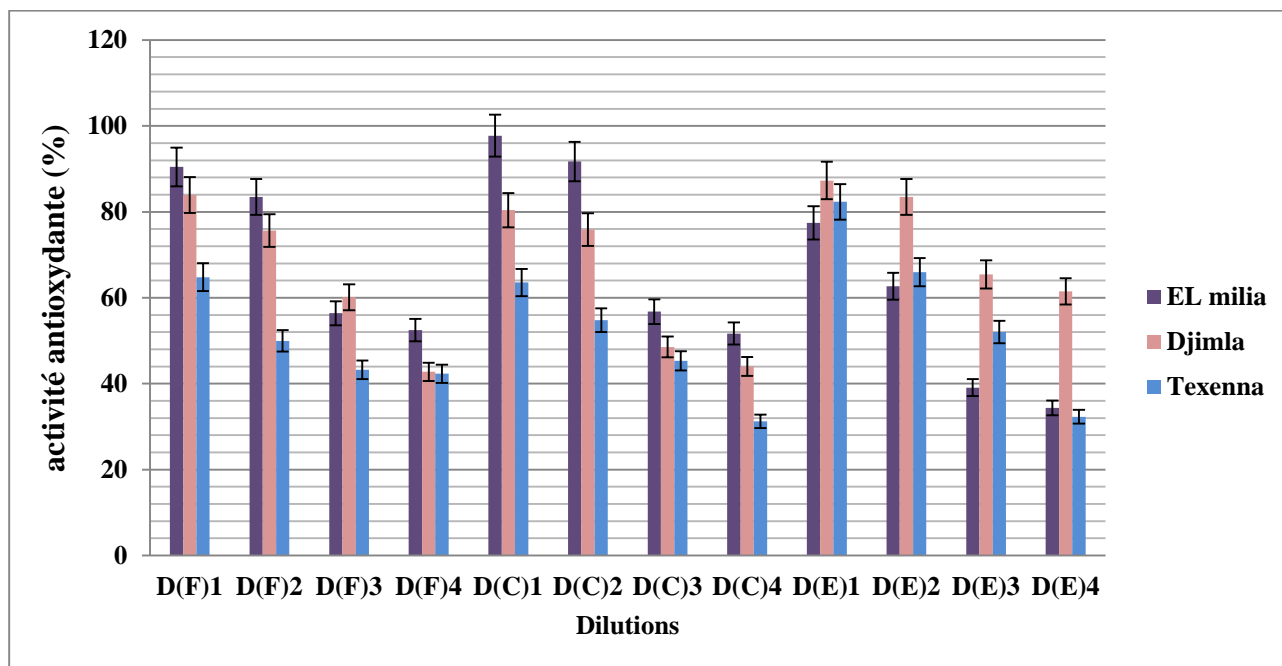


Figure 14: Activité antioxydante par le test au DPPH des extraits de poudres étudiées.

La capacité anti-radicalaire ne peut être mesurée directement, mais par contrôle de l'effet de la réactivité. Plusieurs facteurs influent sur le potentiel antioxydant et la cinétique de réduction, notamment les conditions de la réaction (temps, rapport antioxydant/DPPH, type de solvants, pH) et le profil phénolique en particulier ; le mécanisme principal d'action des composés phénoliques, est le piégeage des radicaux libres par le transfert de l'atome H sur le DPPH alors transformé en une molécule stable DPPH (Popovici *et al.*, 2010).

En effet l'inhibition de ce radical par les extraits de Texenna atteint une valeur maximale de 82.32% pour l'état bouilli, suivie de 64,79% et 63.56% pour les deux états frais et congelé successivement.

Les résultats ci-dessus montrent des pourcentages considérables de réduction du DPPH pour les échantillons de Djimla allant de 42.76% à 87.22%.

On a enregistré un pourcentage maximum pour l'échantillon porté à ébullition avec une valeur de $87.22 \pm 2.86\%$ suivie de celle des échantillons frais et congelé avec des pourcentages de $83.92 \pm 5.84\%$ et $80.38 \pm 3.19\%$, respectivement.

Les pourcentages d'activité antioxydante des poudres d'El-Milia se varient de $34.39 \pm 3.31\%$ à $97.72 \pm 4.24\%$.

La figure ci-dessus montre des pourcentages d'inhibition de radical DPPH différente, la valeur maximale est enregistrée pour l'échantillon congelé avec une valeur considérable de $97.72 \pm 4.24\%$.

Ces résultats sont supérieurs à ceux trouvés par **El Hajaji et al. (2010)**, qui ont enregistré des valeurs allant de 1.17 à 61.17 %.

La figure montre clairement une diminution progressive du pourcentage d'inhibition du DPPH proportionnelle à celle des concentrations des extraits pour toutes les poudres.

Le pourcentage maximal est obtenu avec les poudres de gousses congelées de la région d'El Milia. Il faut noter que le pourcentage maximal est enregistré pour l'état congelé (El Milia) ou l'état bouilli (Djimla et Texenna) malgré la diminution des concentrations de composés phénoliques sous l'effet de la congélation et l'ébullition. Ce ci peut être s'expliquer par le fait que l'activité antioxydante soit est conditionnée par la qualité et non pas la quantité des polyphénols, soit qu'il existe d'autres composés néoformés présentant également un pouvoir antioxydant.

4.2. Capacité antioxydante totale par la méthode de phosphomolybdate

La figure ci-dessous représente la capacité antioxydante totale par la méthode de phosphomolybdate à quatre concentrations différentes des extraits méthanoliques des poudres de caroube étudiées.

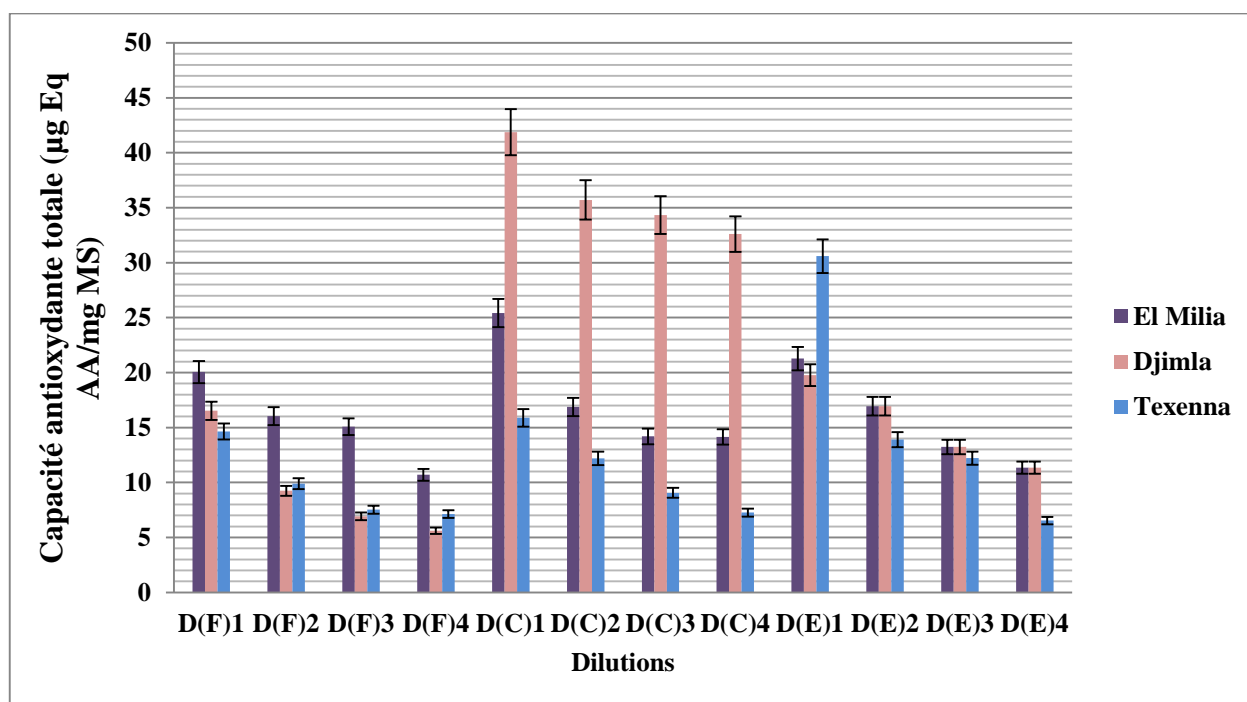


Figure 15 : Capacité antioxydante totale par la méthode au phosphomolybdate des extraits de poudres étudiées.

La figure ci-dessus montre que l'échantillon congelé de Djimla possède le pouvoir antioxydant total le plus élevé pour les quatre concentrations testées, avec des valeurs de 41.88 ± 4.8 , 35.71 ± 4.72 , 34.33 ± 0.81 , $32.6 \pm 0.00 \mu\text{g EqAA/mg MS}$, successivement. Les extraits de d'El Milia enregistrent la

capacité la plus élevée pour l'état frais alors que ceux de Texenna ont donné le pouvoir le plus élevé pour l'état bouilli avec des concentrations de 20.05 ± 0.42 et $30.60 \pm 6,83 \mu\text{g EqAA/mg MS}$, respectivement.

La figure 15 montre clairement que la capacité antioxydante totale diminue au fur et à mesure que les concentrations des extraits diminuent.

Les résultats des deux méthodes utilisées pour l'évaluation de l'activité antioxydante ont montré que la plupart des échantillons bouillis ont révélé une augmentation des taux d'activités, ce qui est peut-être dû aux molécules formées lors de la réaction de Maillard qui peuvent elles-mêmes présenter un pouvoir antioxydant (Nicoli *et al.*, 1997 ; Gorinstein *et al.*, 2008).

Pour la congélation il n'existe pas de travaux qui expliquent cette augmentation d'activité antioxydante malgré les pertes enregistrées en composés phénoliques, mais on peut supposer que les polyphénols restants ont gardé leur stabilité et ont l'activité antioxydante la plus puissante.

D'après les résultats obtenus, la méthode au DPPH semble la plus fiable.

Les radicaux libres en général et les espèces réactives de l'oxygène (ROS) en particulier, sont impliqués dans plusieurs pathologies humaines allant de l'inflammation au cancer tout en passant par les maladies cardiovasculaires, le diabète et le processus d'apoptose. Pour cela, il est très intéressant de rechercher et d'identifier des antioxydants naturels à partir de plantes.

L'activité antioxydante des composés phénoliques présents dans les plantes est principalement due à leurs propriétés redox qui leur permettent d'agir en réduisant les agents donneurs d'hydrogène et d'extinction de l'oxygène singulet. Les composés phénoliques peuvent aussi avoir des propriétés de chélation des métaux.

Parmi les plantes médicinales ayant un intérêt thérapeutique important figure le caroubier, *Ceratonia siliqua* qui appartient à la famille des *Leguminosae* (*Fabaceae*).

L'objectif de ce présent travail est de mettre en évidence l'effet de deux procédés de transformation sur les caractéristiques physicochimiques et la composition en composés phénoliques de trois échantillons du caroubier de la région de Jijel ainsi qu'une évaluation de l'activité antioxydante de ces derniers.

Les gousses provenant de la région de Texenna ont une taille importante par rapport aux deux autres. Les gousses de Djimla sont les plus minces.

Nos échantillons ont un pH acide et très proche à celui signalé par plusieurs auteurs. Les valeurs d'acidité des neuf échantillons sont proches. L'échantillon de Djimla a donné la valeur la plus élevée, $1.16 \pm 0.014^{\circ}\text{D}$.

Les résultats obtenus montrent que le taux d'humidité des échantillons portés à ébullition est très élevé avec un taux important enregistré pour l'échantillon de la région de Djimla avec une valeur de $60.37 \pm 0.0002\%$, Les taux les plus faibles sont enregistrés pour les échantillons frais avec des moyennes très proches se situant entre 12.73 ± 0.0003 et $13.13 \pm 0.0003\%$,

Les deux procédés appliqués influence négativement sur la plupart des caractéristiques physicochimiques et biochimiques analysées.

Ces échantillons sont étudiés pour la concentration en composés phénoliques ainsi que l'activité antioxydante de leurs extraits méthanoliques. Dans ce but, les polyphénols totaux, les flavonoïdes et les flavonols sont dosés ainsi que deux méthodes différentes pour l'évaluation du pouvoir antioxydant, test au DPPH et méthode au phosphomolybdate, sont utilisées.

D'après les résultats obtenus, les concentrations en composés phénoliques des extraits de poudres issues de gousses fraîches sont les plus élevées par rapport aux deux autres états de chaque échantillon étudié.

Les résultats d'évaluation de l'activité antioxydante montrent clairement une diminution progressive du pouvoir antioxydant proportionnelle à celle des concentrations des extraits pour tous les états étudiés quelle que soit la méthode appliquée.

D'après les résultats obtenus, la méthode au DPPH semble la plus fiable.

Les résultats obtenus ont montré que les deux traitements testés influence les qualités physicochimique, chimique et les taux des activités antioxydantes. Ces résultats très encourageants du caroubier de Jijel méritent d'être complétés par des études physicochimiques, phytochimiques et thérapeutiques plus approfondies.

- Aafi A. (1996).** Le caroubier: Caractères botaniques et écologiques, groupements végétaux, techniques d'élevage en pépinière, traitement et soins culturaux, utilisation et production. Centre national de la recherche forestière. Maroc. 1-7
- Abi Azar R. (2007).** Complexation des protéines laitières par les extraits de gousses vertes de caroubier. Propriétés technologiques des coagulums obtenus, Agro Paris Tech Ecole Doctorale Abies, Thèse de doctorat, Liban.1-196.
- Ait Chitt M., Belmir M., Lazrak A. (2007).** Production des plantes sélectionnées et greffées du caroubier. *Transfert de technologie en Agriculture*. Maroc. 153: 1-4.
- Akinmoladun A.C., Ibukun E.O., Dan-Ologe I.A. (2007).** Phytochemical constituents and antioxidant properties of extracts from the leaves of *Chromolaena odorata*. *Scientific research and essays*. 2(6):191-194.
- Albanell E., Caja G., Plaixats J. (1991).** Characterization of Spanish carob pod and nutritive value of carob kibbles, *Cahiers Options Méditerranéennes*. 16: 135- 136.
- Andersen Y.M., Markham K.R. (2006).** Flavonoids: chemistry, biochemistry, and applications. Ed. CRC, Taylor & Francis, Boca Raton, FL, p. 553-616.
- AOAC. (1990).** Official methods of analysis. AOAC, 15th Edition. Washington, DC.1230.
- AOAC. (1995).** Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 16th Edition. Washington, DC, USA.
- AOAC. (2000).** Official Methods of Analysis. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists, 17th Edition, Washington, DC, USA.
- AOAC. (2005).** Official method of analysis. Association of Official Analytical Chemists, 18th Edition, Washington, DC, USA.
- Avallone R., Plessi M., Baraldi M., Monzan A. (1997).** Determination of chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua*): protein, fat, carbohydrates, and tannins. *J. Food Comp. Anal.*, 10 (2): 166-172.
- Ayaz F. A., Torum H., Glew R. H., Bak Z. D., Chuang L.T., Presley J. M., Andrews R. (2009).** Nutrient Content of Carob Pod (*Ceratonia siliqua* L.) Flour Prepared Commercially and Domestically. *Plant Foods Hum Nutr* 64, 286–292.
- Barkat M., Kadri F. (2011).** Impact de deux modes de cuisson sur la teneur en polyphénols solubles de six légumes. *Revue de génie industriel*. 6 :41-45.
- Baston O. (2016).** Production and analysis of *Ceratonia siliqua* L. powders. *Annals. Food Science and Technology*. 17(1):1-5.

- Battle I., Tous J. (1997).** Carob tree (*Ceratonia siliqua* L.). Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. 17. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, 1-79.
- 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.
- Bengoechea C., Romero A., Villanueva A., Moreno G., Alaiz M., Millan F., Guerrero A., Puppo M.C. (2008).** Composition and structure of carob (*Ceratonia siliqua* L) germ proteins. *Food Chemistry*. 107: 675–683.
- Benkhada N., Bensaleh D. (2016).** Etude phytochimique et évaluation de l'activité antioxydante des espèces : *Ruta montana* L. et *Ceratonia siliqua* L. Université des Frères Mentouri Constantine, Algérie.1-97.
- Benkhaldi H. (2013).** Détermination de l'activité antioxydante des polyphénols du caroubier (*Ceratonia siliqua*) de la région de Tlemcen. Mémoire de Master. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemecen, Algérie. 1-91.
- Benmahioul B., Kaid-Harche M., Daguin F. (2011).** Le caroubier, une espèce Méditerranéenne à usages multiples. *Forêt méditerranéenne t. XXXII, n° 1*. 51-58.
- Benyahia R-H. (2014).** Etude de l'activité antimicrobienne des extraits phénoliques de la farine de la pulpe de la caroube par interaction prébiotique-pathogènes. Mémoire de Master. Université Abou Bekr Belkaid, Tlemecen, Algérie.1-87.
- Biner B., Gubbuk H., Karhan M., Aksu M. et Pekmezci M. (2007).** Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey, *Food Chemistry*. 100: 1453-1455.
- Boudour N. (1998).** Etude comparative de la composition chimique de deux variétés d'huile d'olive issues des régions de Guelma et de Tademaït. Thèse de magister. Université de Constantine, Algérie. 1-104.
- Bouzouita N., Khaldi A., Zgoulli S., Chebil L., Chekki R., Chaabouni M.M., Thonart P., (2007).** The analysis of crude and purified locust bean gum: A comparison of samples from different carob tree populations in Tunisia. *Food Chemistry*. 101: 1508-1515.
- Bravo L., Grados N., Calixto, F.S. (1994).** Composition and Potential Uses of Mesquite Pods (*Prosopis pallid* L): Comparison with Carob Pods (*Ceratonia siliqua* L.). *J. Sci Food Agric*. 65: 303-306.

- Čepo D. V., Mornar A., Nigović B., Kremer D., Radanović D., Dragojević I. V. (2014). Optimization of roasting conditions as an useful approach for increasing antioxidant activity of carob powder. *LWT-Food Science and Technology*. 58(2): 578-586.
- Dakia, P. A., Wathelet B., Paquot M. (2008). Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua* L.) seed germ. *Food Chemistry*.102: 1368-1374.
- Diamantoglou., Mitrakos K. (1981). Leaf longevity in Mediterranean evergreen sclerophylls. In Components of Productivity of Mediterranean Climate Region. Basic and Applied Aspects (N.S.Margaris and H.A. Mooney, eds), pp: 17-19. Junk Publishers, the Hague ISBN. 90: 6193-9445.
- Djeridane A., Yousfi M., Nadjemi B., Boutassouna D., Stocker P., Vidal N. (année). Document interne, Eaux et forêts, Maroc, pp 22.
- Dubois M.K.A., Gilli Y.K., Hamilton P.A. (1956), Colometrie method for determination of sugari et related substances, *Anal et chem.Jour*.28 : 350-356.
- El Batal, H., Hasib,A., Ouattmane, A., Dehbi, F., Jaouad, A., Boulli, A. (2011). Sugar composition and yield of syrup production from the pulp of Moroccan carob pods (*Ceratonia siliqua* L.). *Arabian Journal of Chemistry*. 9 (2): S955-S959.
- El Hajaji H., Lachkar N., Alaoui K., Cherrab Y., Farah A. Ennabili A., El Bali B., Lachkar M. (2011). Antioxidant activity, phytochemical screening, and total phenolic content of extracts from three genders of carob growing in Morocco. *Arab. J. of Chem*. 4: 321 – 324.
- 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.
- FAOSTAT. (2011). The Statistics division of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (www.faostat.fao.org).
- Fraga C. G. (2009). Plant phenolics and human health: Biochemistry, Nutrition, and Pharmacology. John Wiley & Sons Edition, pp 5-13.
- Gaouar N. (2012). Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes Thèse de Magister en Agronomie .Université de Tlemcen, Algérie. 1-95.
- Gharnit N., El Mtili N., Ennabili A., Sayah F. (2006). Importance socioéconomique du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans la Province de Chef Chaouen (nord-ouest du Maroc). *Rev. Tela Botanica*.4.02 (33): 41-48.
- Ghedira K. (2005). Les flavonoïdes: structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytother*. 3: 162-169.

- Gubbuk H., Kafkas E., Guven D., Gunes E. (2010).** Physical and phytochemical profile of wild and domesticated carob (*Ceratonia siliqua* L.) genotypes. *Span. J. Agric. Res.* 8: 1129–1136.
- Guinebert Durand P., Prost M., Grinand R., Bernigault R. (2005).** Mesure de la résistance aux radicaux libres. Sixièmes Journées de la Recherche Avicole 2005. 554-558.
- Hagerman A. E., Butler L. G. (1981).** The specificity of proanthocyanidin-protein interactions. *J. Biol. Chem.* 256: 4494-4497.
- Harborne J. B. (1997).** Recent advances in chemical ecology. *Nat Prod Rep.* 14: 83-98.
- Hariri A., Ouïs N., Sahnouni F et Bouhadi D. (2009).** Mise en œuvre de la fermentation de certains ferments lactiques dans des milieux à base des extraits de caroube, *Rev. microbiol. ind. san et environn.* 37-55.
- Hillcoat D., Lewis G., Verdcourt B. (1980).** A new species of *Ceratonia* (*Leguminocea-Caesalpinioideae*) from Arabia and the Somali Republic. *Kew bull.* 35: 261-271.
- Iipumbu L. (2008).** Compositional analysis of locally cultivated carob (*Ceratonia siliqua* L.) cultivars and development of nutritional food products for a range of market sectors. Stellenbosch university. South Africa. 107.
- Kähkönen MP, Hopia AI, Vuorela HJ, et al (1999)** Antioxidant Activity of Plant Extracts Containing Phenolic Compounds. *J Agric Food Chem* 47: 3954–62
- Karkacier M., Artık N. (1995).** Determination of physical properties, chemical composition and extraction conditions of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.). *Gıda.* 20 (3), 131–136.
- Khelifa M., Bahloul A., Kitane S. (2013).** Determination of Chemical Composition of Carob Pod (*Ceratonia Siliqua* L.) and its Morphological Study. *J. Mater. Environ. Sci.* 4(3): 348-353.
- Kumazawa S., Taniguchi M., Suzuki Y., Shimura M., Kwon M.S., Nakayama T. (2002).** Antioxidant activity of polyphenols in carob pods. *J Agric Food Chem.* 50:373–7.
- Lipumbu L., Sigge G.O., Britz T.J. (2008).** Compositional analysis of locally cultivated carob (*Ceratonia Siliqua*) cultivars and development of nutritional food products for a range of market sectors. South Africa: Faculty of Agri Sciences, department of Food Sciences, Stellenbosch University.
- Lizardo R., Cañellas J., MAS F., Torrallardona D., Brufau J. (2002).** L'utilisation de la farine de caroube dans les aliments de sevrage et son influence sur les performances et la santé des porcelets. Journées de la Recherche Porcine, 34, 97-101.
- Macheix J. J., Fleuriet A., Jay-Allemand C. (2005).** Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. Ed. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, p. 4-5.

- Mahdad M.-Y. (2013).** Situation et perspectives d'amélioration du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans le Nord-ouest de l'Algérie. Thèse de Magister. Université de Tlemcen, Algérie. 1-98.
- Makris D. P., Kefalas P. (2004).** Carob Pod as a source of polyphenolic Antioxidants, *Food Technol. Biotechnol.* 42 (2): 105–108.
- Marakis S., Lambraki M., Diamantoglou S. (1993).** Tannin chemistry of nine Cretan carob varieties. *Chimica Chronica, New Series.* 22: 213-224.
- Marakis S. (1996).** Carob bean in food and feed: Current status and future potentials- A critical appraisal. *J. Food Sci. Technol.* 33: 365-383.
- Marfak A. (2003).** Radiolyse gamma des flavonoïdes. Etude de leur réactivité avec les radicaux issus des alcools: formation de depsides. Université de Limoges. Thèse de doctorat. Pp, 1-220.
- Mašković P.Z., Manojlović N.T., Mandić A.I., Mišan A.Č., Milovanović I., Radojković M., Cvijović M.S., Solujić S.R. (2012).** Phytochemical screening and biological activity of extracts of plant species *Halacsya sendtneri* (Boiss.) Dörf. *Hem. Ind.* 66 (1): 43–51.
- Melgarejo P., Salazar D.M. (2003).** Tratado de fruticultura para zonas áridas y semiáridas. Vol. II. Mundi-Prensa. España, pp. 19-162.
- Meriç K. (2005).** Études sur les composés polyphénoliques en relation avec l'alimentation de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)). Université Laval Québec. Thèse de doctorat. Méridionales (tome1), Editions du centre national de la recherche scientifique.
- Mhirit O., Et-Tobi M. (2002).** Les arbres hors forêt: le cas du Maroc. Archives de documents de la FAO.
- Milane H. (2004).** La quercétine et ses dérivés: molécules à caractère pro-oxydant ou capteurs de radicaux libres; études et applications thérapeutiques. Université Louis Pasteur (Strasbourg). Thèse de doctorat. Pp, 1-268.
- Miliauskas G., Venskutonis P.R., Van Beck T.A. (2004).** Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food Chemistry.* 85: 231–7.
- Naghmouchi S., Khouja M. L., Romero A., Tous J., Boussaid M. (2009).** Tunisian carob (*Ceratonia siliqua* L.) populations: morphological variability of pods and kernel. *Scientia Horticulturae.* 121: 125–130.
- Nagoudi N. (2014).** Effet de la congélation sur les caractéristiques des dattes de cultivars Timjoughert et Adela, Bent Qbala. Mémoire de Master. Université de Ouargla, Algérie. 1-85.

- Nakayama., (2002).** Antioxidant Activity of Polyphenols in Carob Pods. J. Agric. Food of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) In Turkey. *Food Chemistry*. 50 (2) : 373-7.
- Neukom H. (1988).** Carob bean gum: properties and applications. In: Fito P. & Mulet A., eds. *Proceedings of the II International Carob Symposium, 29 September-1 October 1987, Valencia, Spain*, 551-555. Valencia, Spain: Generalitat Valenciana.
- NF V 05-113. (1972).** Norme AFNOR, ICS : Produits de l'agriculture Fruits, légumes et produits dérivés-Minéralisation des matières organiques-Méthode par incinération. Homologuée par arrêté du 23-6-72 J. O. du 30-6-72.
- Nicoli M.C., Anese M., Parpinel M.T., Franceschi S., Lerici C.R. (1997).** Loss and/or formation of antioxidants during food processing and storage, *Cancer Lett.* 114: 71-74.
- Nwaichi EO, Igbino baro O (2012).** Effects of some selected Spices on some Biochemical Profile of Albino Wistar Rats. *Am J Environ Eng.* 2(1):8-11.
- Ortega N., Macia A., Romero M., Reguant J., Motilva M. (2011).** Matrix composition effect on the digestibility of carob flour phenols by an in-vitro digestion model. *Food Chemistry*. 124: 65–71.
- Owen R. W., Haubner R., Hull W. E., Erben G., Spiegelhalder B., Bartsch H., Haber B., (2003).** Isolation and structure elucidation of the major individual polyphenols in carob fibre. *Food Chem Toxicol.* 41: 1727–1738.
- Papagiannopoulos M., Wollseifen H. R., Mellenthin A., Haber B., Galensa R. (2004).** Identification and quantification of polyphenols in carob fruits (*Ceratonia siliqua* L.) And derived products by HPLC-UV-ESI/ MSn. *J Agric Food Chem.* 52: 3784-3791.
- Peixoto JRO, Silva GC, Costa RA, et al (2011)** In vitro antibacterial effect of aqueous and ethanolic Moringa leaf extracts. *Asian Pac J Trop Med.* 201-4
- Petit M. D., Pinilla J. M. (1995).** Production and Purification of a Sugar Pods Syrup from Carob Pods *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 28: 145-152.
- Quezel P. Santa S. (1963).** Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales (tome1), Editions du centre national de la recherche scientifique, pp.557.
- Rebour H. (1968).** Fruits Méditerranéen, la maison rustique Paris, pp.330.
- Rejeb M. N. (1995).** Le caroubier en Tunisie: Situations et perspectives d'amélioration, in *Quel avenir pour l'amélioration des plantes?* Edit. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext, Paris, pp. 79-85.

- Rejeb M. N., Laffray D., Louguet P. (1991).** Physiologie du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) en Tunisie. Physiologie des arbres et arbustes en zones arides et semi-arides, Group d'Etude de l'Arbre, Paris, France, pp. 417-426.
- Sadasivam S. Thayumanavan B. (2003).** Molecular host plant resistance to pests. Ed Taylor & Francis, pp. 1-496.
- Sahu A.N., Laloo D. (2011).** Antioxidant activities of three Indian commercially available Nagakesar: An in vitro study. *J Chem Pharm Res.* 3(1): 277–83.
- Santos M., Rodrigues A., Teixeira J. A. (2005).** Production of dextran and fructose from carob pod extract and cheese whey by *Leuconostoc mesenteroides* NRRL B512(f), *Biochemical Engineering Journal.* 25: 1-6.
- Sarni-Manchado P., Cheynier V. (2006).** Les polyphénols en agroalimentaire Ed. Tec & Doc, Paris, pp. 2-10.
- Saura-Calixto F. (1988).** Effect of condensed tannins in the analysis of dietary fiber in carob pods. *J Food Sci.* 53: 1769-1771.
- Sbay H., Abourouh M. (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.
- Wang J., Sun B., Cao Y., Tian Y., Li X. (2008).** Optimisation of ultrasounds-assisted extraction of phenolic compounds from wheat bran. *Food Chemistry.* 106(2): 804-810.
- Seigler D S. (1998).** Plant secondary metabolism. Ed. Kluwer Academic, Boston, pp. 193-205.
- Sidina M.M., El Hansali M., Wahid N., Ouattmane A., Boulli A., Haddioui A. (2009).** Fruit and seed diversity of domesticated carob. *Scientia Horticulturae.* 123: 110-116.
- Sigge G. O., Iipumbu, L., Britz, T. J. (2011).** Proximate composition of carob cultivars growing in South Africa. *South African Journal of Plant and Soil.* 28(1): 17-22.
- Smith B.M., Bean S. R., Schober T.J., Tilley M., Herald T.J., Aramouni F. (2010).** Composition and molecular weight distribution of carob germ protein fractions. *Journal of Agriculture and Food Chemistry.* 58(13) : 7794-800.
- Tamir M., Nachtomi E., Alumot E. (1971).** Degradation of tannins from carob pods by thioglycolic acid. *Phytochem.*10: 2769-2774.
- Tironi. (2007).** Effects of pressure-shift freezing and pressure-assisted thawing on sea bass quality, *Journal of food science.* 72 (7), C 381-7.

- Tous J., Romero A., Plana J., Batlle I. (1996).** Current situation of carob plant material. In Proceedings of the III International Carob Symposium. Cabanas-Tavira. Portugal (in press traitement des essences forestières). Ed. Larose, Paris, pp.443-445.
- Vavilov N.I. (1951).** The Origin, Variation, Immunity, and Breeding of Cultivated Plants. The Ronald Press Co., New York. 72(6): 482.
- Wang Y., Belton P. S., Bridon H., Garanger E., Wellner N., Parker M. L., Grant A., Feillet P., Noel T.R. (2001).** Physicochemical Studies of Caroubin: A Gluten-like Protein. *J. Agric. Food Chem.* 49: 3414-3419.
- Wong S.P., Leong L.P., William K.J.H. (2006).** Antioxidant activities of extracts of selected plants. *Food Chemistry.* 99: 775–83
- Wu N, Fu K, Fu YJ, et al. (2009).** Antioxidant Activities of Extracts and Main Components of Pigeonpea [*Cajanus cajan* (L.) Mill sp.] leaves. *Molecules.* 14:1032–43
- Wursch P., Vedovo S., Rosset J., Smiley M. (1984).** The tannins granules from ripe carob pod. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol.*17: 351-354.
- Yousif A. K., Alghzawi H. M. (2000).** Processing and characterization of carob powder. *Food Chemistry.* 69: 283–287.
- Youssef M. K. E., El-Manfaloty M. M., Ali H. M. (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.
- Zhou X., Peng J., Fan G., Wu Y. (2005).** Isolation and purification of flavonoid glycosides from *Trollius lebebouri* using high-speed counter-counter chromatography by stepwise increasing the flowrate of the mobile phase. *J Chromatogr A.* 1092: 216-21.
- Zohary M. (1973).** Geobotanical Foundations of the Middle East, vol. 2, Stuttgart. In: Kolahi M., Atri M. (2014). Plant Diversity, Life Form and Phytochoria of Hamedan Alvand Region in Iran. *Open Access Library Journal.*1(7): 1-12.
- Zouhair O. (1996).** Le caroubier: situation actuelle et perspectives d’avenir. Document interne, Eaux et forêts, Maroc, pp 22.
- Zunft H.J., Luder W., Harde A., Haber B., Graubaum H. J., Koebnick C., Grunwald J. (2003).** Carob pulp preparation rich in insoluble fibre lowers total and LDL cholesterol in hypercholesterolemic patients. *Eur J Nutr.* (42):235–242.

Tableau 03 : Caractérisation morphologique des gousses de caroube.

Paramètre Région	Longueur (cm)	Largeur (cm)	Epaisseur (cm)	Poids (g)
Texenna	12,40±1,49	2,23±0,25	0,67±0,20	14,41±1,44
Djimla	14,10±2,76	1,77±0,05	0,43±0,05	08,17±0,72
El Milia	12,90±0,36	1,93±0,11	0,83±0,15	11,89±0,77

Tableau 04 : Résultats du pH et d'acidité titrable.

Paramètre Etat	pH	Acidité titrable (°D)
Texenna		
F	5,30±0,01	1.09±0.007
C	5,58±0,02	0.44±0.007
E	5,23±0,03	0.31±0.007
Djimla		
F	5,26±0,020	1.16±0.014
C	5,28±0,015	0.46±0.007
E	5,45±0,015	0.37±0.014
El Milia		
F	5,31±0,02	0.85±0.007
C	5,46±0,02	0.40±0.007
E	5,48±0,02	0.35±0.014

Tableau 05 : Résultats des teneurs en matière sèche, humidité et cendres.

Paramètre Etat	Matière sèche (%)	Humidité (%)	Cendres (%)
Texenna			
F	87.28±0,0003	12.73±0.0003	2.72±0.0002
C	84.77±0,002	15.23±0.0004	2.81±0.001
E	68.63±0,001	31.37±0.001	2.01±0.0001
Djimla			
F	86.88±0,0005	13.13±0.0003	2.72±0.0002
C	86.33±0,0005	13.67±0.0005	2.72±0.0002
E	39.64±0,0004	60.37±0.0002	2.42±0.0002
El Milia			
F	86.89±0,0003	13.11±0.0005	3.04±0.0001
C	82.18±0,0002	17.83±0.0003	3.04±0.0002
E	63.02±0,0002	36.99±0.0002	2.22±0.0002

Tableau 06 : Teneurs en protéines et en sucres totaux des poudres étudiées.

Teneurs en protéines (%)		Teneurs en sucres (mg/L)	Teneurs en sucres (g/100g)
Texenna			
F	4,32	264±0,0011	211,2±0,0011
C	3,45	254±0,0062	203,2±0,0062
E	3,00	214±0,0013	171,2±0,0013
El Milia			
F	4,79	274±0,0038	219,2±0,0038
C	3,56	244±0,0009	195,2±0,0009
E	2,65	244±0,0019	195,2±0,0019
Djimla			
F	4,65	264±0,0013	211,2±0,0013
C	3,02	264±0,0017	211,2±0,0017
E	2,22	224±0,0014	179,2±0,0014

Tableau 07 : Résultats de la détermination des concentrations en composés phénoliques.

Paramètre Etat	Polyphénols Totaux (µg EqAG/mg MS)	Flavonoïdes (µg EqQ/mgMS)	Flavonols (µgEqQ/mgMS)
Texenna			
F	19,65±0,03	1,930±0,030	22,44±0,02
C	16,79±0,04	1,740±0,030	12,24±0,03
E	12,63±0,03	0,082±0,002	8,56±0,02
Djimla			
F	127,05±0,04	2,14±0,030	20,72±0,02
C	99,850±0,04	2,07±0,020	14,14±0,02
E	78,050±0,03	1,78±0,020	11,60±0,03
El Milia			
F	97,75±0,04	3,23±0,030	53,74±0,03
C	96,04±0,05	3,16±0,020	38,12±0,03
E	82,44±0,02	3,09±0,030	35,58±0,02

Tableaux 08 : Résultats de l'évaluation de l'activité antioxydante.

Activité antioxydante Etat	Activité antioxydante par le test au DPPH (%)	Capacité antioxydante totale (µg EqAA/mgMS)
Texenna		
F1	64,79±7,42	14,64±5,68
F2	49,95±7,42	09,90±0,00
F3	43,21±0,64	07,51±0,14
F4	42,30±0,64	07,12±1,61
C1	63,56±6,21	15,88±0,00
C2	54,77±6,21	12,19±0,41
C3	45,32±9,97	09,06±2,26
C4	31,22±9,97	07,26±1,13
E1	82,32±11,58	30,60±0,00
E2	65,94±11,58	13,89±6,83
E3	52,01±13,93	12,20±9,14
E4	32,31±13,93	06,53±0,33

Activité antioxydante Etat	Activité antioxydante par le test au DPPH (%)	Capacité antioxydante totale ($\mu\text{g EqAA/mgMS}$)
Djimla		
F1	83,92 \pm 5,84	20,05 \pm 0,42
F2	75,66 \pm 5,84	16,04 \pm 5,28
F3	60,12 \pm 12,27	15,07 \pm 2,25
F4	42,76 \pm 12,27	10,70 \pm 0,00
C1	80,38 \pm 3,19	25,42 \pm 8,65
C2	75,86 \pm 3,19	16,87 \pm 0,00
C3	48,54 \pm 3,19	14,19 \pm 0,68
C4	44,02 \pm 33,19	14,14 \pm 0,87
E1	87,28 \pm 2,68	21,27 \pm 6,88
E2	83,48 \pm 2,80	16,94 \pm 9,14
E3	65,44 \pm 2,80	13,22 \pm 0,26
E4	61,47 \pm 2,80	11,35 \pm 0,00
El-Milia		
F1	90,44 \pm 4,92	16,53 \pm 4,90
F2	83,47 \pm 4,92	09,23 \pm 4,53
F3	56,39 \pm 2,78	06,92 \pm 0,00
F4	52,45 \pm 2,78	05,60 \pm 1,85
C1	97,72 \pm 4,24	41,57 \pm 4,87
C2	91,71 \pm 4,24	35,71 \pm 4,72
C3	56,76 \pm 3,59	34,33 \pm 0,80
C4	51,67 \pm 3,59	32,60 \pm 0,00
E1	77,45 \pm 10,45	19,77 \pm 9,00
E2	62,67 \pm 10,45	16,94 \pm 0,57
E3	39,08 \pm 3,31	13,23 \pm 0,25
E4	34,39 \pm 3,31	11,35 \pm 0,00

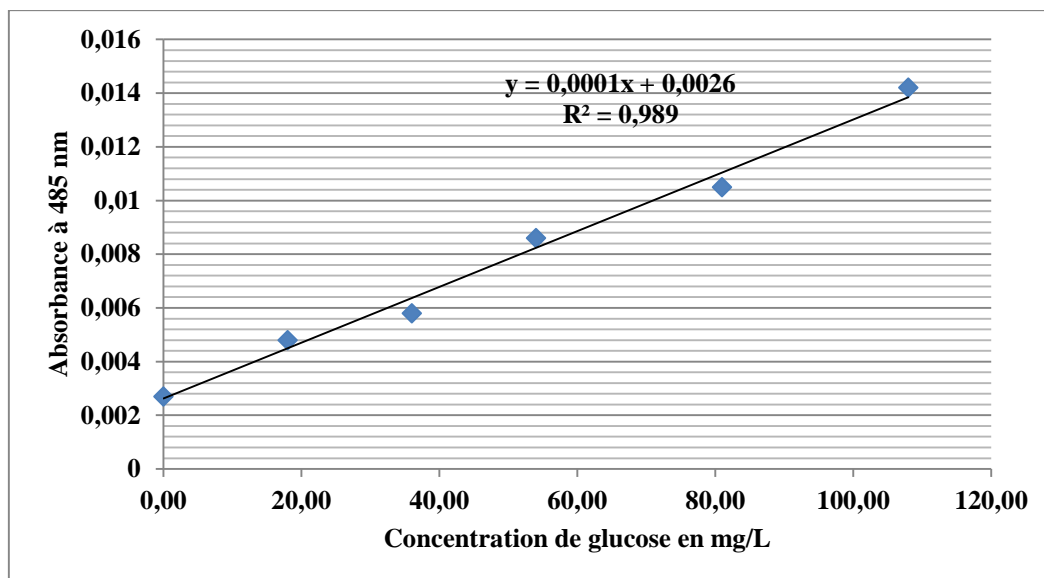


Figure 16. Courbe d'étalonnage de glucose.

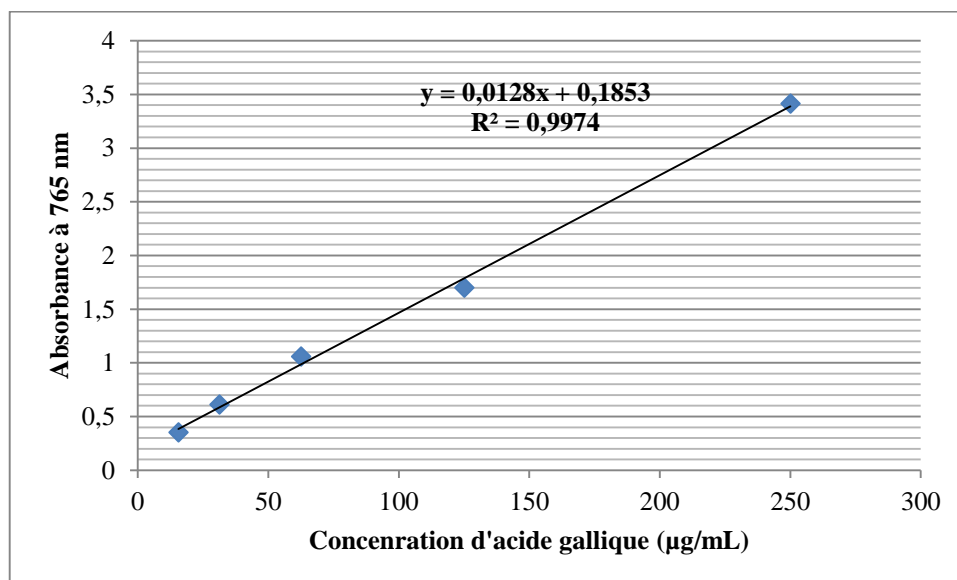


Figure 17. Courbe d'étalonnage d'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux.

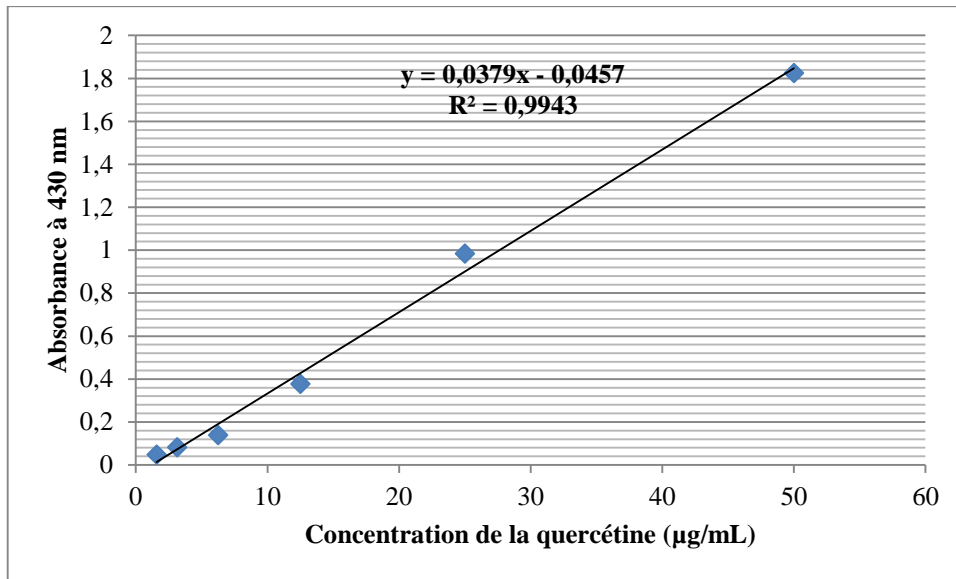


Figure 18. Courbe d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonoïdes.

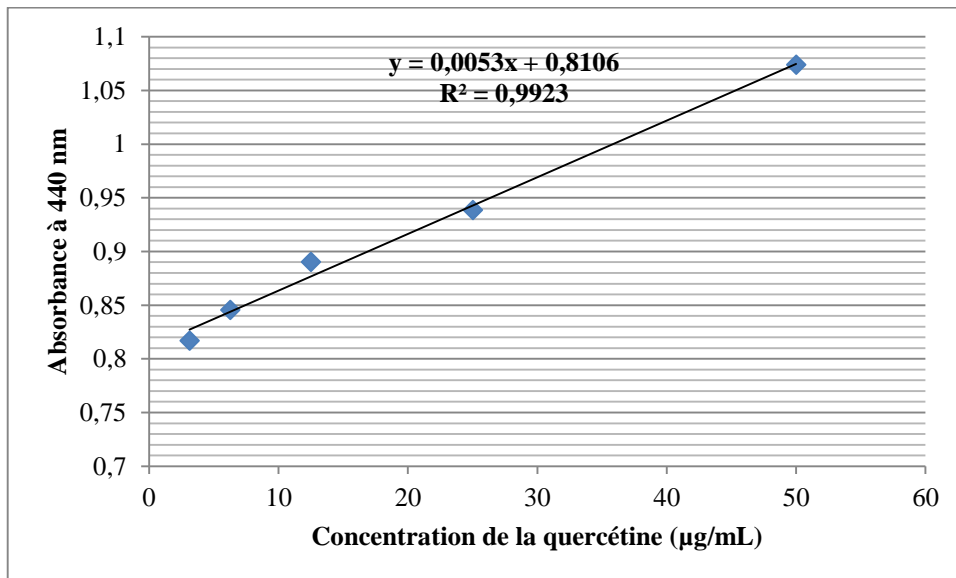


Figure 19. Courbe d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonols.

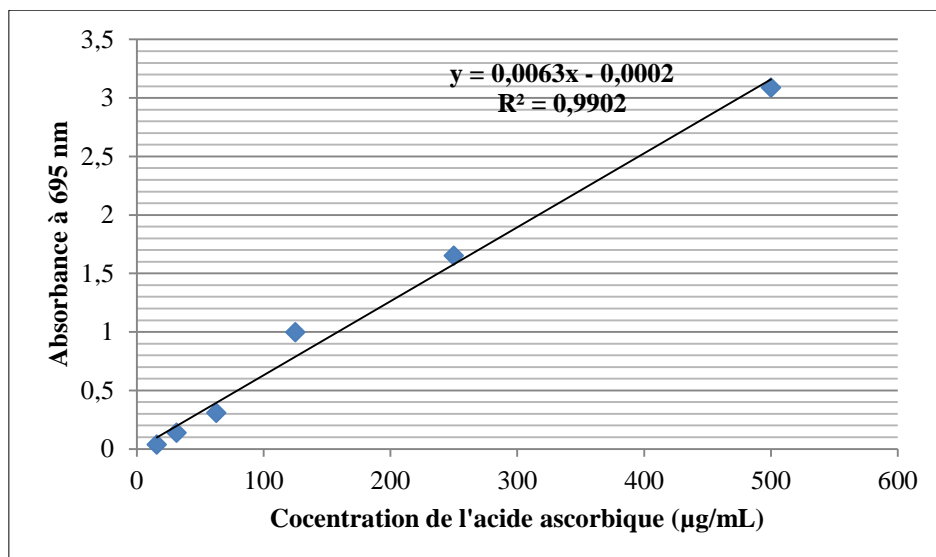


Figure 20. Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique (capacité antioxydante totale).

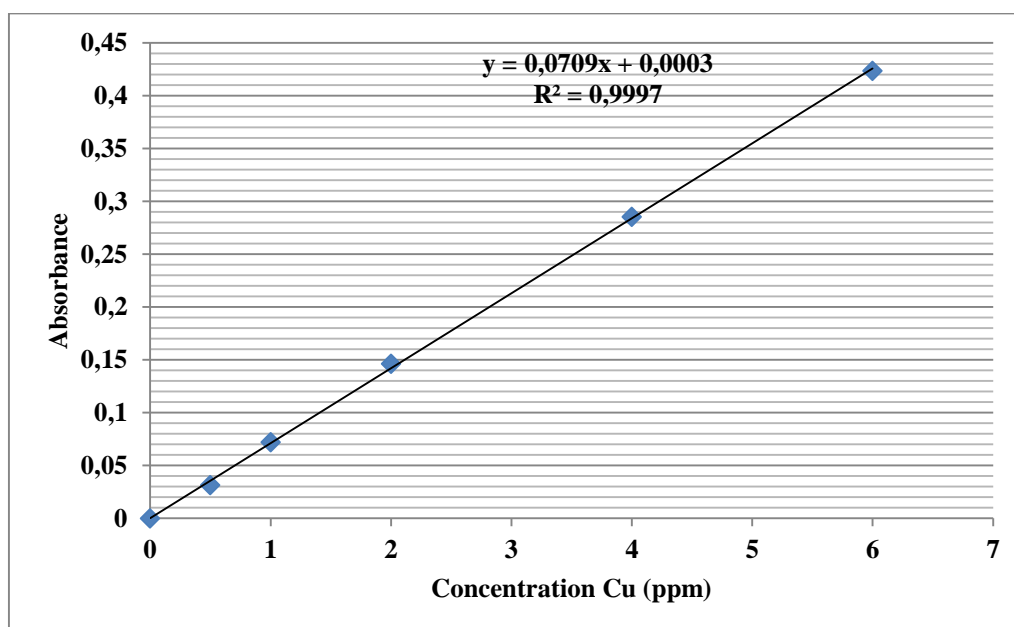


Figure 21. Courbe de référence expérimentale de l'absorbance en fonction de la quantité (ppm) de Cuivre.

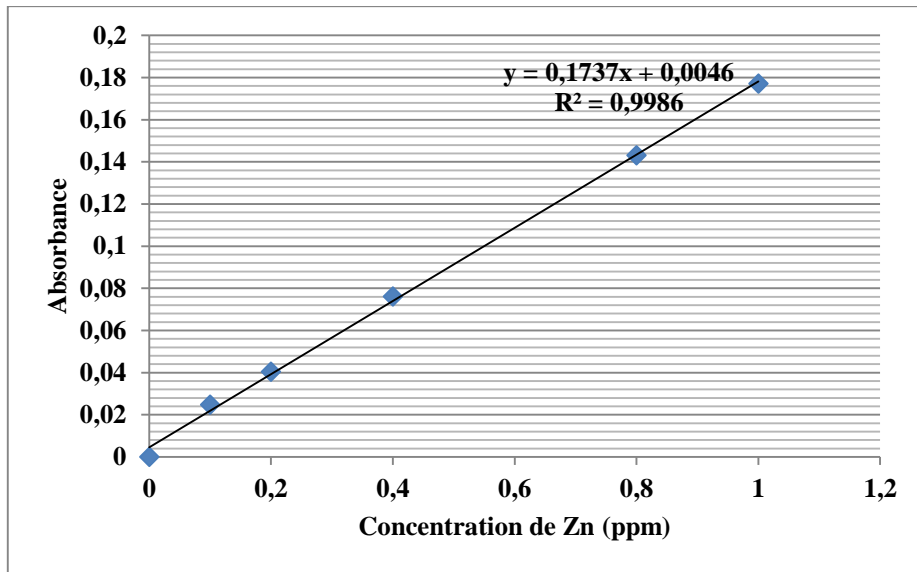


Figure 22. Courbe de référence expérimentale de l'absorbance en fonction de la quantité (ppm) de Zinc.

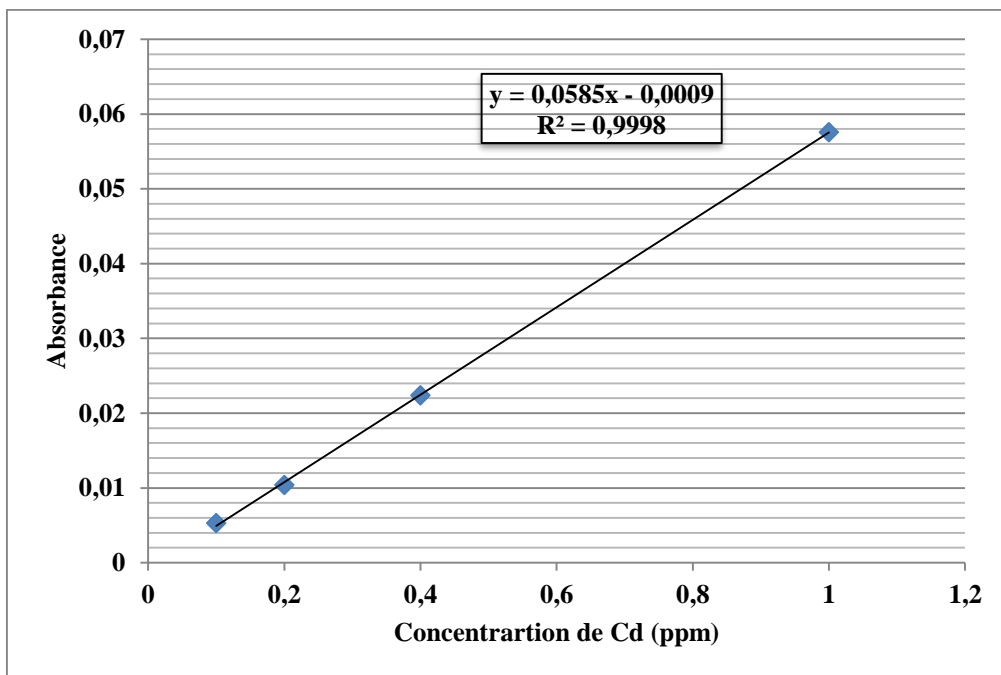


Figure 23. Courbe de référence expérimentale de l'absorbance en fonction de la quantité (ppm) de Cadmium.

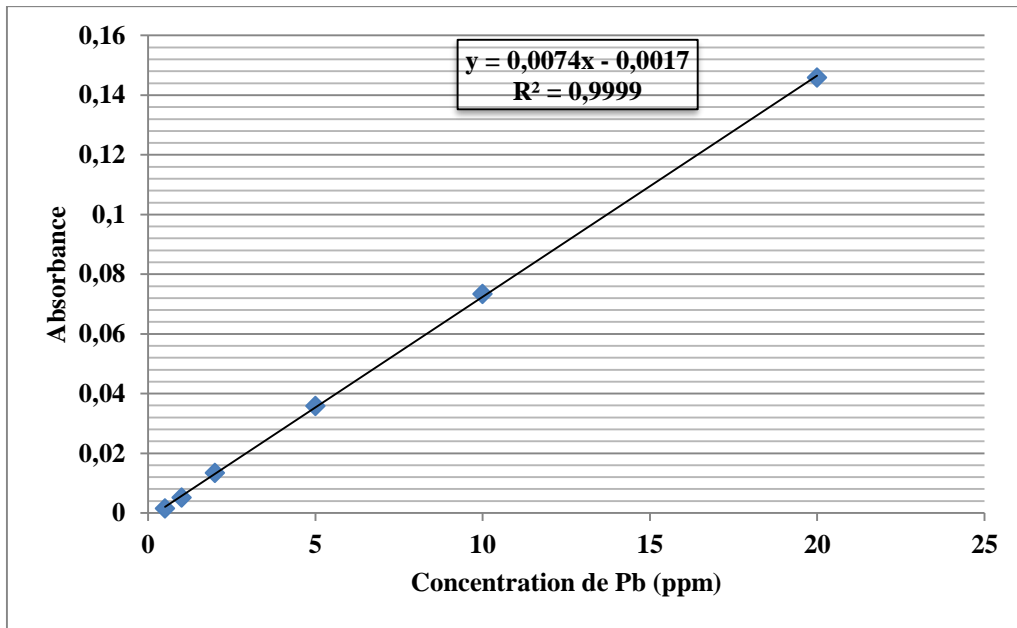


Figure 24. Courbe de référence expérimentale de l'absorbance en fonction de la quantité (ppm) de Plomb.

Présenté par :
BESSIBES Selma
BOUDJERDA Sara

Encadrant : M^{lle} AYAD Rima

Date de soutenance: 02 /07/2017

Thème :

Impact de deux procédés de transformation sur la qualité du caroubier de la wilaya de Jijel

Nature du diplôme : Master académique en biologie
Option : Contrôle de Qualité des Produits Alimentaires

Résumé

Dans le but de mettre en évidence l'effet de deux procédés de transformation (congélation et ébullition) sur les caractéristiques physicochimiques et la composition en composés phénoliques ainsi qu'une évaluation de l'activité antioxydante de ces derniers en utilisant deux méthodes différentes, les poudres des pulpes de caroubes de trois régions de Jijel (Texenna, Djimla et El Milia) ont été analysés. Les résultats obtenus ont montré que les deux traitements testés influencent les qualités physicochimique, chimique et les taux des activités antioxydantes. Ces résultats très encourageants du caroubier de Jijel méritent d'être complétés par des études physicochimiques, phytochimiques et thérapeutiques plus approfondies.

Mots clés : Poudres de caroube, congélation, ébullition, composés phénoliques, activité antioxydante.

Abstract

In order to demonstrate the effect of two transformation processes (freezing and boiling) on the physicochemical characteristics and the phenolic compound composition as well as an evaluation of the antioxidant activity of the latter using two different methods, the Powders of locust bean pulp from three regions of Jijel (Texenna, Djimla and El Milia) were analyzed. The results obtained showed that the two treatments tested influence the physicochemical, chemical and antioxidant activity levels. These very encouraging results of the Jijel carob tree deserve to be complemented by more thorough physicochemical, phytochemical and therapeutic studies.

Key words: carob powders, freezing, boiling, phenolic compounds, antioxidant activity.

ملخص

من أجل إظهار تأثير اثنين من أساليب المعالجة (التجميد والغليان) على الخصائص الفيزيائية ومكونات المركبات الفينولية وكذلك تقييم النشاط المضاد للأكسدة لهذه الأخيرة باستخدام طريقتين مختلفتين، وقد تم تحليل مسحوق لب الخروب من ثلاث مناطق من جيجل (تاكسنة، جيملة والميلية). وأظهرت النتائج أن كلا من العلاجات اختبار تأثير الصفات الفيزيائية والكيميائية ومعدلات النشاط المضاد للأكسدة. هذه النتائج مشجعة جدا للخروب جيجل تستحق أن تستكمل الدراسات الفيزيائية والكيميائية، المواد الكيميائية النباتية ومزيد من العلاج.

الكلمات المفتاح: بودرة الخروب، التجميد، الغليان، المركبات الفينولية، النشاط المضاد للأكسدة.