



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



Université Amar Thelidji- Laghouat

**FACULTE DES SCIENCES
DEPARTEMENT DES SCIENCES AGRONOMIQUES**

MEMOIRE DE MASTER

Présenté par : Mlle. DJERIDANE Malika

**DOMAINE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)
FILIERE DES SCIENCES ALIMENTAIRES
OPTION : AGROALIMENTAIRE ET CONTROLE DE QUALITE**

Thème

**Etude de l'effet de la durée de préparation du
sirop de la caroube sur les paramètres
biochimiques et physicochimiques**

Soutenu le : 04/07/2022

Jury de soutenance :

Nom et Prénom	Grade	Qualité
M. Houicher Abderrahmane	Professeur	Président
M. Adamou Ala-Eddine	Professeur	Rapporteur
Mm. Lounici Safia	Maître Assistante	Examineur

Promotion : 2021 - 2022

Résumé :

Le caroubier appartient à la famille des Légumineuses (Fabaceae) ayant d'énormes intérêts alimentaires, ces fruits sont utilisés à la préparation du sirop. Dans ce travail, notre objectif était d'étudier l'effet des quatre durées (4, 6, 8, 12h) d'extraction (cuisson) sur la qualité du sirop en relation avec des paramètres biométriques et des paramètres physicochimiques. L'échantillonnage a été réalisé en 2021 sur différents caroubiers de la ville de Laghouat, au même stade de maturation. Les résultats montrent une variation des paramètres alimentaires de sirop avec la durée d'extraction. L'analyse de la composition biochimique du différent sirop, révèle une teneur moyenne en sucre de 55,20 %, des protéines totales de 1,00 %. Le pH indique une faible acidité (5,25), la conductivité électrique de 6,59 mS/cm et la densité de 1,13 g/ml. Ces résultats varient selon la catégorie de taille et la couleur qui peuvent être utilisées dans le tri et aussi la durée d'extraction. Le sirop de caroube de durée d'extraction de 8 heures a été le plus riche en protéines recommandé pour l'alimentation diététique. Par contre, le sirop de durée d'extraction de 12 heures a été le plus épais recommandé comme épaississant et les sirops de durée d'extraction de 4 à 6 heures ont été plus sucrés recommandé comme édulcorant. Les résultats ont été discutés dans un contexte biogéographique à la lumière des connaissances sur les paramètres alimentaires du sirop de la caroube dans différentes régions de la Méditerranée.

Mots clés : Caroube, Sirop, Paramètre biochimique, Paramètre physico-chimique, Paramètre morphologique, Durée d'extraction, Laghouat.

Abstract:

The carob tree belongs to the family of legumes (Fabaceae) having enormous nutritional interests, these fruits are used in the preparation of syrup. In this work, our objective was to study the effect of the four extraction times (4, 6, 8, and 12 h) (cooking) on the quality of the syrup in relation to biometric parameters and physicochemical parameters. The sampling was carried out in 2021 on various carob trees in the city of Laghouat, at the same stage of maturation. The results show variation in syrup dietary parameters with extraction time. Analysis of the biochemical composition of the different syrup reveals an average sugar content of 55.20%, of the total proteins of 1.00%. pH indicates low acidity (5.25), electrical conductivity of 6.59 mS/cm and density of 1.13 g/ml. These results vary according to the size category and color that can be used in sorting and the extraction time. Carob syrup with an extraction time of 8 hours was the highest protein recommended for the diet. In contrast, 12-hour extract-time syrup was the thickest recommended as a thickener and 4-6-hour extract-time syrups were the sweetest recommended as a sweetener. The results were discussed in a biogeographical context in the light of the knowledge on dietary parameters of carob syrup in different regions of the Mediterranean.

Keywords: Laghouat, Carob, Syrup, Biochemical parameter, Physico-chemical parameters, Biometric parameter, Extraction time.

ملخص:

تنتمي شجرة الخروب إلى عائلة البقوليات (Fabaceae) التي لديها أهمية غذائية كبيرة، تستخدم هذه الثمار في تحضير الدبس. في هذا العمل، كان هدفنا هو دراسة تأثير أوقات الاستخلاص الأربعة (الطهي 12/8/6/4 سا) على جودة دبس الخروب. فيما يتعلق بالمعايير الظاهرية، الفيزيائية والكيميائية، تم أخذ العينات في عام 2021 من أشجار خروب الأغواط المختلفة، في نفس مرحلة النضج. تظهر النتائج تبايناً في خصائص الدبس الغذائية مع وقت الاستخلاص. يكشف تحليل التركيبة البيو كيميائية لكل عينة دبس عن ثراء في نسبة السكر بمعدل 55.20٪، وإجمالي البروتينات بمعدل 1.00٪، ويشير الأس الهيدروجيني إلى حموضة منخفضة (5.25)، والناقلية الكهربائية بنسبة 6.59 mS/cm وكثافة 1.13 غ/مل. تختلف هذه النتائج حسب فئة الحجم واللون الذي يمكن استخدامه في الفرز وكذلك وقت الاستخلاص؛ دبس 8 ساعات هو الأغنى بالبروتينات ينصح به للحميات الغذائية. من ناحية أخرى، فإن دبس 12 ساعة هو الأكثر كثافة ينصح به كمثخن ودبس 4 إلى 6 ساعات الأكثر حلاوة ينصح به كمحلي طبيعي. تمت مناقشة النتائج في سياق جغرافي حيوي على ضوء المعرفة بالمعايير الغذائية لشراب الخروب في مناطق مختلفة من البحر الأبيض المتوسط.

الكلمات المفتاحية: خروب، دبس، معيار بيو كيميائي، معيار فيزيوكيميائي، معيار ظاهري، وقت الاستخلاص، الاغواط.

Dédicaces

Je dédie ce travail en premier lieu :

À mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu te garde papa.

À la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, maman que j'adore.

Aux personnes dont j'ai bien aimé leur présence dans ce jour, à mes sœurs Khadidja et Balkis, À mes grands-parents, à mes amis, Mariem, Samia, Fatna, Khadidja, Nourelhouda, Manel.

À ma famille Djeridane et Bouterfaya,

À toute la promotion de 2^{ème} année Master Technologie Agro-alimentaire et contrôle de qualité de l'année 2021-2022, à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin pour que ce projet soit possible, je vous dis merci.

Remerciements

Au nom de Dieu, le Très Miséricordieux, le Tout Miséricordieux Louange à Allah, Seigneur des univers de nous avoir donné la faculté de penser, de raisonner, et d'étudier.

Je tiens tout d'abord à remercier M. HOUICHAR abderrahmane, Professeur à l'université de Laghouat, d'avoir accepté de présider le jury.

J'exprime ma profonde reconnaissance à M. ADAMOU Ala-Eddin, Professeur à l'université de Laghouat, d'avoir accepté la charge de diriger ce mémoire, avec une grande rigueur scientifique, pour sa disponibilité, ses précieux conseils, la confiance qu'il m'a accordée et pour son suivi régulier à l'élaboration de ce travail.

Ma reconnaissance va aussi à Mm LOUNICI Safia, Maître Assistante à l'université de Laghouat, d'avoir bien voulu examiner ce travail.

Sans oublier l'ensemble de nos professeurs qui nous ont accompagnés tout au long de notre cursus universitaire.

Liste des figures

Figure	Titre	Page
01	Aire de répartition du caroubier.	5
02	Les principales parties de fruit de caroube.	6
03	Carte des sols de la wilaya de Laghouat.	10
04	Site du caroubier échantillonné dans la ville de Laghouat au bord d'une route du quartier Snober.	11
05	Schéma représentatif du protocole expérimental d'échantillonnage des gousses de caroube.	12
06	Schéma représentatif de processus modifié de préparation de sirop de caroube selon Tounsi (2019).	14
07	Les gousses de caroube sèches cassées en petits morceaux manuellement.	15
08	Ebullition de caroube trempée (chaque sirop a une durée d'extraction).	16
09	Concentration de liquide de caroube jusqu'à ce il atteigne 50ml.	16
10	Illustration de la méthode d'utilisation du refractomètre.	18
11	La titration par l'acide chlorhydrique HCl à 0,2 N.	19
12	Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de couleur (claire, foncée).	23
13	Variation de la conductivité électrique du sirop de la caroube en fonction de couleur (claire, foncée).	23
14	Variation de pH du sirop de la caroube en fonction de couleur (claire, foncée).	24
15	Variation des protéines totales du sirop de la caroube en fonction de couleur (claire, foncée).	24
16	Variation des sucres solubles du sirop de la caroube en fonction de couleur.	25
17	Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de taille.	25
18	Variation de la conductivité électrique du sirop de la caroube en fonction de taille (petite, moyenne, grande).	26
19	Variation de pH du sirop de la caroube en fonction de taille (petite, moyenne, grande).	26
20	Variation des sucres solubles du sirop de la caroube en fonction de taille.	27
21	Variation des protéines totales du sirop de la caroube en fonction de taille.	27
22	Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.	28
23	Variation de pH du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.	28

24	Variation de la conductivité électrique du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.	29
25	Variation des sucres solubles du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.	29
26	Variation des protéines totales du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.	30
27	Variation de pH du sirop de la caroube en fonction de la densité.	30
28	Variation de pH du sirop de la caroube en fonction de la conductivité électrique.	31
29	Variation des sucres solubles du sirop de la caroube en fonction de la densité.	31
30	Variation de la conductivité électrique du sirop de la caroube en fonction des sucres solubles.	32
31	Variation de pH du sirop de la caroube en fonction des sucres solubles.	32

Liste des Tableaux

Tableau	Titre	Page
01	Composition des gousses de caroube	7
02	Composition physique et chimique du sirop de caroube.	8
03	Description statistique des paramètres phénotypiques des gousses de caroube de la région de Laghouat.	21
04	Description statistique des paramètres physico-chimiques de sirop des gousses de caroube de la région de Laghouat.	22

Résumé	i
Remerciement	ii
Liste des figures	iii
Liste des tableaux	iiii

Introduction

Introduction	1
--------------	---

Partie Bibliographique

1. Le caroubier	3
1.1.Taxonomie et appellations	3
1.2.Biologie	3
1.3.Ecologie	4
1.4.Répartition géographique du caroubier	4
1.4.1. Dans le monde	4
1.4.2. Dans le bassin méditerranéen	4
1.5.Morphologie	5
1.6.Récolte et production du caroubier	6
1.7.Propriétés	6
2. Sirop de caroube	7
2.1.Méthode de préparation de sirop	8
2.1.1. Méthode industriel	8
2.1.2. Méthode artisanale	8

Matériel et méthodes

1. Présentation de la région de Laghouat	10
1.1.Situation géographique	10
1.2.Sols	10
1.3.Climat	10
2. Présentation du site échantillonné	11
3. Méthodologie	11
3.1.Echantillonnage	11
4. Paramètres et analyses au laboratoire	12
4.1.Paramètres morphométriques	12
4.1.1. Longueur totale	13
4.1.2. Longueur d'arc	13

4.1.3. Largeur	13
4.1.4. Epaisseur	13
4.1.5. La masse	13
4.2.Processus de préparation de sirop de la caroube	13
4.3.Paramètres physico-chimiques et biochimiques	17
4.3.1. pH	17
4.3.2. Conductivité électrique	17
4.3.3. Densité	17
4.3.4. Teneurs des sucres solubles totaux	17
4.3.5. Protéines totales	18
5. Analyse statistiques	20

Résultats

1. Description des paramètres alimentaire	21
1.1.Description des paramètres phénotypiques	21
1.1.1. Largeur des gousses de la caroube (LR)	21
1.1.2. Longueur d'arc des gousses de la caroube (LA)	21
1.1.3. Longueur total des gousses de la caroube (LT)	21
1.1.4. Epaisseur des gousses de la caroube (EP)	21
1.1.5. La masse des gousses de la caroube (MA)	21
1.2.Description statistique des paramètres physico-chimiques	22
1.2.1. Densité (DN)	22
1.2.2. Conductivité électrique (CE)	22
1.2.3. Potentiel-Hydrogène (pH)	22
1.2.4. Sucres solubles (SS)	22
1.2.5. Protéines totales (PT)	22
2. Variations des paramètres physicochimiques et biochimiques avec la couleur	22
3. Variations des paramètres physicochimiques et biochimiques Avec la taille	25
4. Variations des paramètres physicochimiques et biochimiques avec la durée d'extraction	28

Discussion

Tables des matières

Discussion		33
	Conclusion	
Conclusion		36
	Références	
Références bibliographiques		37

Introduction

Le caroubier (*Ceratonia Siliqua* L) est largement cultivé dans les pays méditerranéens. Cet arbre a été distribué par les arabes dans la région méditerranéenne, y compris en Espagne (**Petit et Pinilla, 1995**). Le caroubier a une importance économique et environnementale en Algérie pour le reboisement des régions arides et dégradées (**Biner et al., 2007**), il reste très négligé dans les programmes de reboisement et ce, malgré les qualités de cet arbre à l'échelle nationale et surtout régionale (**Benmahioul et al., 2011**). Ces dernières années, l'intérêt pour les caroubes en tant que source bon marché de divers produits a augmenté (**Makris et Kefalas, 2004**).

Plusieurs dérivés sont produits à partir des graines et des gousses de caroube, et l'importance économique de sa culture réside dans l'utilisation dans l'industrie agroalimentaire (**Turhan et al., 2010**). C'est un édulcorant naturel avec une saveur et une apparence similaires au chocolat (**Yousif et Alghzawi, 2000 ; Sengül et al., 2007**).

Les graines du fruit sont utilisées pour l'extraction de la gomme de caroube (E 410) et les gousses pour l'alimentation animale et les substituts du cacao (**Winer, 1980 ; Albanell et al., 1996 ; Roseiro et al., 2013**). La pulpe et les graines sont utilisées comme matière première dans l'industrie alimentaire en tant que stock vivant, biscuits et yogourt (**Moreira et al., 2017**).

Les caroubes sont couramment utilisées dans la production de sirop (**Tounsi et al., 2020**). En Turquie, les gousses sont utilisées pour la production de « pekmez », un sirop concentré traditionnel, préparé après un processus d'extraction liquide-solide avec de l'eau (**Tetik et al., 2011**), puisque les gousses de caroube sont caractérisées par une teneur élevée en sucre avec environ 75 % de saccharose (**Biner et al., 2007**).

Les sirops transformés sont généralement utilisés pour adoucir et conserver les fruits de saison ou pour la préparation de gâteaux, biscuits et confiserie de maison (**Dhaouadi et al., 2014 ; Clodoveo, 2022**). Ses sous-produits alimentaires sont largement consommés. Comme le saccharose cristallisé pour l'industrie alimentaire (**El Batal et al., 2016**) et le « Rub » dans le Maghreb en particulier pendant les périodes froides de l'année pour sa haute teneur en sucre énergétique (**Dhaouadi et al., 2014**).

Le sirop de caroube contient des éléments d'importance vitale dans le métabolisme humain qui sont nécessaires pour une croissance plus saine et la prévention et la guérison

des maladies. Ses produits se sont donc avérés être des sources importantes d'éléments nutritifs et essentiels (**Özcan et al., 2007**).

La préparation industrielle de sirop de caroube nécessite une cuisson couteuse du temps et d'énergie. La variation de la durée d'extraction peut influencer le profil et la qualité physicochimique et biochimique du sirop. Donc, il est important d'étudier l'influence de la durée d'extraction (cuisson) sur ces paramètres pour orienter l'industriel.

L'objectif de ce travail a été l'étude de l'effet des paramètres morphométriques sur la qualité de sirop de caroube et l'effet de la durée d'extraction de sirop de caroube sur les paramètres physicochimiques et biochimiques et de proposer des recommandations pour chaque sirop destiné à l'industrie agroalimentaire notamment comme édulcorant naturel (taux de sucre) et épaississant (taux des protéines).

Partie bibliographique

1. Le caroubier

Le caroubier est un arbre d'exception à usage multiple. Il est considéré comme une composante importante de la végétation pour des raisons environnementales, économiques et sociales (El Hajaji et al., 2011).

Ses habitats d'origine sont les parties occidentales de l'Asie, mais après son domestication, il s'est répandu dans tout le bassin méditerranéen, puis sur les côtes occidentales des Amériques, en Afrique du Sud et dans les régions australes de l'Australie. Jusqu'en 1980, le genre *Ceratonia* ne comprenait qu'une seule espèce (Batlle et Tous, 1997 ; Azab, 2017 ; Yousif et Alghzawi, 2000).

1.1 Taxonomie et appellations

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*) est un arbre à feuillage persistant qui appartient à la famille des légumineuses (Fabaceae).

Le mot caroubier vient de l'arabe El Kharroub. Il est connu sous le nom scientifique de *Ceratonia siliqua* L. *Ceratonia*, du grec keratia, désigne une petite corne et le nom d'espèce *siliqua*, désigne en latin une siliqua ou gousse. Il est aussi appelé Carouge, Pain de Saint Jean-Baptiste, figuier d'Egypte, fève de Pythagore. Les bijoutiers utilisaient ses graines uniformes comme unité de poids (200 mg), le carat. Le fruit de la caroube, connu comme Algarroba ou Garrofa, et sa graine, connue sous le nom de Garrotín, adoptent, dans chacun des pays et langues, des terminologies dérivées du nom correspondant de l'arbre (Batlle et Tous, 1997 ; Albanell Trullas, 1990).

1.2 Biologie

Le caroubier pousse sous forme d'arbuste ou d'arbre à feuillage persistant sclérophylle mesurant jusqu'à 10 m de haut, avec une large couronne semi-sphérique et un tronc épais à l'écorce brune rugueuse et aux branches robustes. Les feuilles sont longues de 10 à 20 cm, alternes, pennées, avec ou sans foliole terminale. Les feuilles sont sclérophylles et ont un épiderme supérieur à couche unique très épais, dont les cellules contiennent des composés phénoliques dans les grandes vacuoles, et les stomates ne sont présents que dans l'épiderme inférieur et disposé en grappes (Batlle et tous, 1997). Les caroubiers sont une partie traditionnelle de l'alimentation dans la région méditerranéenne, et la plante est cultivée dans la région depuis des siècles pour ses fruits comestibles. La gousse est brune pâle à brune foncée, oblongue, aplatie, droite ou légèrement incurvée, avec une marge épaissie, et varie

de 10 à 20 cm de longueur et de 1,5 à 2 cm de largeur. La gousse non mûre est verte, humide et très astringente, mais la gousse mûre est douce. La gousse brisée a une odeur caractéristique causée par sa teneur en acide iso butyrique de 1,3 % (Ayaz *et al.*, 2007).

1.3 Ecologie

Le caroubier ayant d'énormes intérêts socio-économiques et écologiques, grâce à son aptitude à développer différentes stratégies d'adaptation aux contraintes hydriques. Ainsi, Il peut être utilisé dans le reboisement des zones arides et dégradées, comme étant une ressource précieuse de reforestation pour gérer l'érosion sur les terres marginales non adaptées à d'autres espèces agricoles (sols pauvres et salins et résistant à la sécheresse) (Haddarah, 2013). Le caroubier est une légumineuse vivace résistant à la sécheresse, avec des fruits semblables à des graines (Owen *et al.*, 2003). Les zones appropriées pour cette espèce thermophile devraient avoir un climat méditerranéen subtropical avec des hivers frais.

1.4 Répartition géographique du caroubier

1.4.1 Dans le monde

La répartition originale du *C. siliqua* n'est pas claire, car il a été cultivé à grande échelle depuis l'antiquité. Son aire de répartition à l'état sauvage comprenait la Turquie, Chypre, la Syrie, le Liban, la Palestine, le sud de la Jordanie, l'Égypte, l'Arabie, la Tunisie et la Libye, et il s'est déplacé vers l'ouest à un stade précoce. La caroube aurait été répandue par les Grecs en Grèce et en Italie, puis par les Arabes le long de la côte d'Afrique du Nord dans le sud et l'est de l'Espagne, d'où elle a migré vers le sud du Portugal et le sud-est de la France (Batlle *et tous*, 1997). Il est également implanté dans plusieurs autres pays, ayant des régions à climat méditerranéen comme l'Australie, l'Afrique du Sud, les États-Unis (notamment l'Arizona et la Californie du Sud), les Philippines et l'Iran (Evreinoff, 1947).

1.4.2 Dans le bassin méditerranéen

Au Maroc, le caroubier est localisé dans les plaines et les montagnes du Rif, du Moyen Atlas, du haut Atlas et de l'Anti-Atlas et dans des bioclimats du type humide ; subhumide, semi-aride et aride côtier à variantes chaude et tempérée (Ait Chitt *et al.*, 2007).

En Tunisie, on le rencontre souvent, le long des côtes, de Tabarka à Sfax, là où la pluviosité dépasse 200 mm et où les hivers ne sont pas froids (Rejeb *et al.*, 1991).

En Algérie, les lieux de prédilection de caroubier sont les collines bien ensoleillées des régions littorales ou sublittorales : Sahel algérois; Dahra, Grande Kabylie et Petite- Kabylie,

vallée de la Sommam (1074 ha) et de l'Oued-Isser; collines d'Oran et des coteaux de Mostaganem à étage semi-aride chaud, plaine de Bône, Mitidja et les vallées intérieures (1054 ha), il descend jusqu'à Boussaâda et dans la zone de Traras au Nord de Tlemcen (276 ha) (Lavalée, 1962).

1.5 Morphologie

Le caroubier est un arbre à feuillage abondant, persistant et très dense. Il peut atteindre dans des conditions propices une hauteur de 7 à 10 m et même 15 à 20 m en Orient, et une circonférence à la base du tronc de 2 à 3 m. C'est un arbre xérophytique, pérenne, sa longévité est considérable, jusqu'à 200 ans.

Le caroubier a des racines fortes qui pénètrent dans le sol pour atteindre une profondeur de 18 m ou même plus. Sa croissance est très lente, en particulier au début de sa croissance. Il peut émettre des rejets de souche et se caractérise par des branches solides et robustes.

Les fruits du caroubier sont réunis en grappes simples. Elles sont de grande taille avec une longueur de 10 à 30 cm. Une largeur de 1,5 à 3,5 cm et une épaisseur de 1 à 2,5 cm ; le poids est de 15 à 40 g. Le fruit est indéhiscent, brun foncé à noir à maturité, aplati, allongé ou courbé, séparé à l'intérieur par des cloisons pulpeuses et renferme 5 à 16 graines brunes, soit 10 à 20 % du poids de la gousse en fonction du cultivar, du climat et de la conduite technique (Ait chitt et al., 2007).

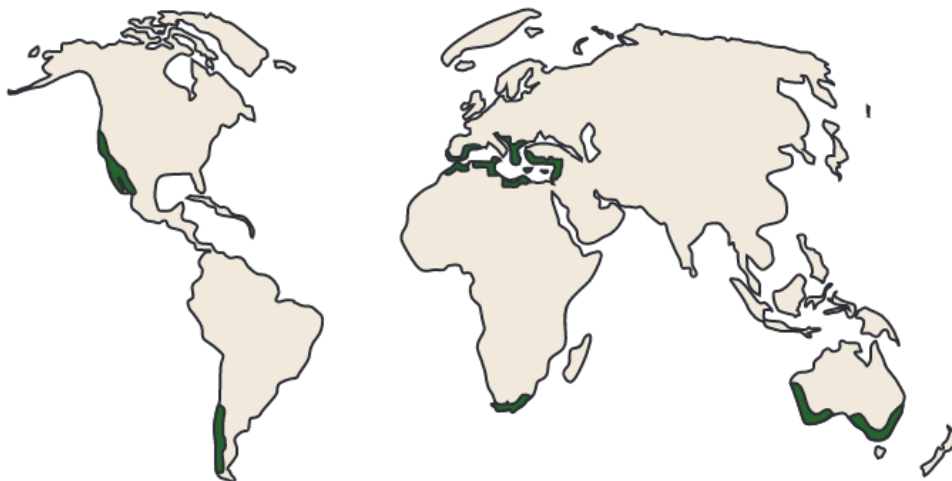


Figure 01 : Aire de répartition du caroubier (Batlle et Tous, 1997)

1.6 Récolte et production du caroubier

La production de caroubes dans le monde est estimée à environ 315000 tonnes par an et les principaux producteurs et exportateurs sont l'Espagne (42%), l'Italie (16%), le Portugal (10%), le Maroc (8%), la Grèce (7%), Chypre (6%) et la Turquie (5%). La superficie totale est d'environ 200000 hectares et le rendement dépend du cultivar, de la région et des pratiques culturelles (Biner et al., 2007).

1.7 Propriétés

Les deux principaux constituants de la caroube sont (en poids) la pulpe (90 %) et les graines (10 %) (Fig. 2).



Figure 2 : Les principales parties de fruit de caroube (Zhu et al., 2019).

La composition chimique de la pulpe dépend du cultivar, de l'origine et de la période de récolte (Albanell Trullas, 1990). La pulpe de caroube a une teneur en sucre de 48 à 56% qui sont représentés principalement par le saccharose, glucose, fructose et maltose. En outre, il contient environ 18% de cellulose et d'hémicellulose. La composition minérale est la suivante : K=1100 mg/100 g, Ca=307 mg/100 g, Mg=42 mg/100 g, Na=13 mg/100 g, Cu=0,23 mg/100 g, Fe=104 mg/100 g, Mn=0,4 mg/100 g, Zn=0,59 mg/100 g. Les protéines se composent principalement par 5 acides aminés dans les extraits de gousses (alanine, glycine, leucine, proline et valine) en plus de tyrosine et phénylalanine (Batlle et tous, 1997) (Tab. 1).

Tableau 1 : Composition des gousses de caroube (Concentration g/100 g).

Constituant chimique (%)	Calixto et Cañellas, 1982	Avallone et <i>al.</i> , 1997	Battle et Tous, 1997	Yousif et Alghzawi, 2000
Humidité	12-15,9	6-10	–	10,07
Cendres	1-6	1-6	2-3	2,79
Matières grasses	0,47-1,12	0,4-0,8	0.2-0.6	0,3
Protéines	3	3-5	–	5,54
Sucres totaux	32-72	–	48-56	45
Fibres alimentaires	–	–	–	10,99
Polyphénols	1,87	1,58-2,44	–	–

2. Sirop de caroube

Le sirop de caroube est un aliment nutritif, avec des quantités élevées de sucres (saccharose, glucose et fructose), de minéraux (potassium, calcium, magnésium, phosphore et fer) et acides organiques (acide citrique) (Sengül et *al.*, 2007 ; Tounsi et *al.*, 2017 ; Tounsi et *al.*, 2020). Comme le tableau 2 montre, le sirop de caroube est une source très riche en minéraux. Parmi les principaux minéraux, K avait la valeur la plus élevée, suivi par Ca, P, Mg, Na, Fe, Zn, Cu et Mn. Le sirop de caroube doit donc être considéré comme un complément alimentaire minéral, en particulier pour les enfants en croissance et les personnes âgées non diabétiques (Karhan et *al.*, 2005) (Tab. 2).

Il est préparé par évaporation d'eau de la gousse ou de la pulpe et concentré par ébullition au sirop cohérent (Özcan et *al.*, 2007), sans ajout de sucre ou d'autres additifs alimentaires (Sengül et *al.*, 2007).

Tableau 2 : Composition physique et chimique du sirop de caroube.

Composants (%)	Tounsi et al., 2020	Özcan et al., 2007	Sengül et al., 2007	Karhan et al., 2005
Sucres solubles	51,50	63,88	71,20	–
Sels Minéraux	2,97	–	–	–
Potassium	1,89	1,60	–	1,05
Sodium	0,22	0,11	–	0,50
Calcium	0,36	0,08	–	0,30
Phosphore	0,15	0,23	–	0,06
Fer	0,003	0,001	–	0,001
Polyphénols	1,60	–	–	1,62
Protéines	0,28	1,40	0,33	–
Hydroxyméthylfurfural	0,03	0,01	0,02	–
pH	4,33	–	5,09	5,18
Energie (kcal/100 g)	–	248,38	–	–

2.1 Méthode de préparation de sirop

2.1.1 Méthode industriel

Le processus d'obtention des sucres comprennent les étapes suivantes :

- ✓ La caroube est soumise à des opérations mécaniques pour séparer les éléments étrangers, elle est lavée à l'eau et séchée par un courant d'air ;
- ✓ Les gousses sont découpées suffisamment pour libérer la graine, puis soumises à une opération de séparation-tamassage pour séparer les graines de la pulpe ;
- ✓ La pulpe est bouillie pour obtenir un jus brut, avec une concentration comprise entre 30° à 50° Brix, La pulpe de déchets est pressée afin d'extraire une partie substantielle de l'eau. Le jus brut obtenu dans ce processus est filtré pour éliminer les particules de caroube en suspension, puis évaporer et concentrer. Le jus brut à une concentration d'environ 60°Brix (Diaz, 1996).

2.1.2 Méthode artisanale

Tout d'abord, les caroubes sont lavées, séchées au soleil pendant plusieurs jours à l'air libre et au sol avec du mortier et du pilon. Ensuite, les gousses écrasées sont mélangées

avec de l'eau courante et le mélange est conservé en macération pendant une nuit, et filtré le lendemain à l'aide d'un tamis ou d'un chiffon filtrant. Le sous-produit de la filtration est mélangé avec de l'eau courante, puis filtré. Les jus groupés sont bouillis dans un récipient ouvert jusqu'à concentration. Après refroidissement, le concentré de jus de caroube est rempli dans des bouteilles en plastique (Tounsi *et al.*, 2020).

Matériel et méthodes

1. Présentation de la région de Laghouat

1.1 Situation géographique

L'échantillonnage a été effectué dans la ville Laghouat située dans le piémont méridional des montagnes de l'Atlas saharien. Elle est située au centre du pays à 400 km au sud de la capitale.

1.2 Sols

La carte (Fig.3) montre une mosaïque dans laquelle cinq classes de sols sont dispersées (sols minéraux bruts, sols peu évolués, sols calcimagnésiques, sols isohumiques, et sols des dayas) (Amrani, 2021).

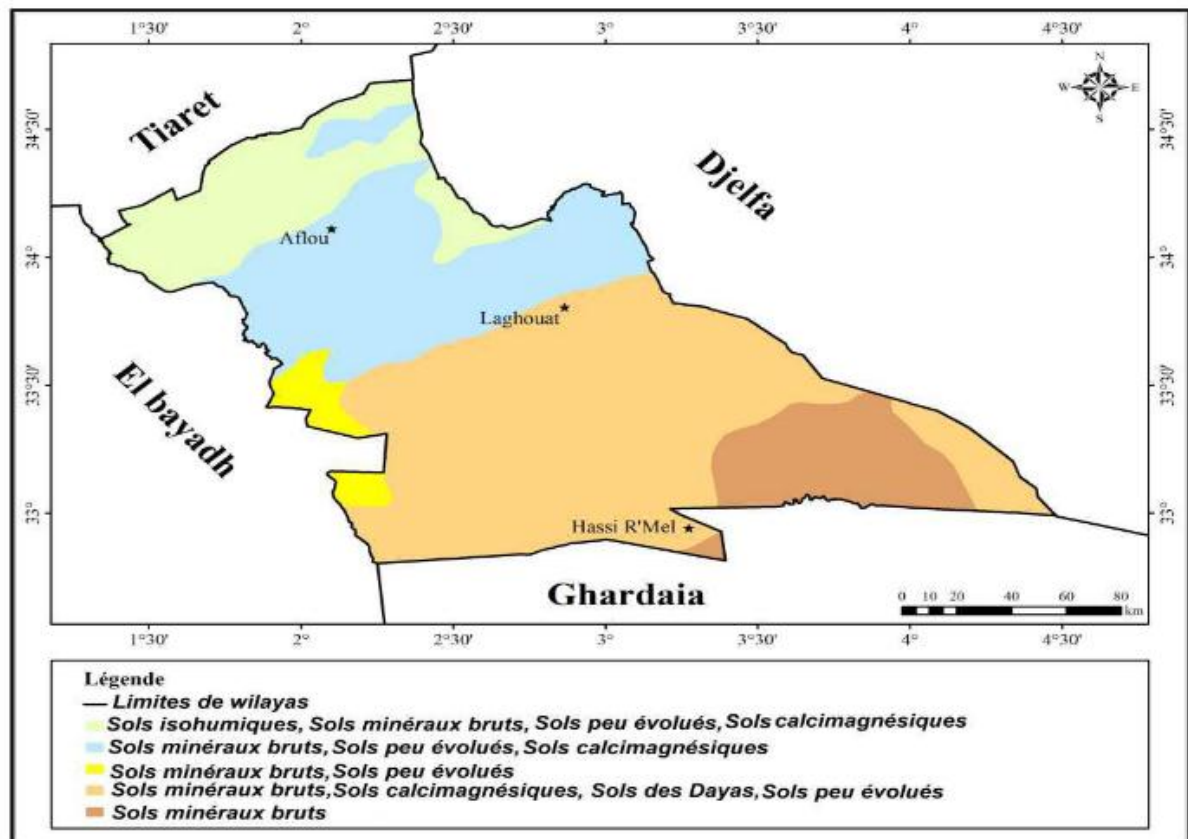


Figure 3 : Carte des sols de la wilaya de Laghouat (Amrani, 2021).

1.3 Climat

Le climat de la région de Laghouat est saharien et aride. L'hiver est caractérisé par des gelées blanches et l'été par la chaleur et les tempêtes de sable (DPWL, 2010).

2. Présentation du site échantillonné

L'échantillonnage a été effectué en 2021 dans la ville de Laghouat, sur la rue à des fins ornementales, il y a plus de 50 arbres, la distance entre un arbre et un autre est de 3 à 5 mètres environ. À partir de Google map, nous avons présenté l'emplacement géographique du site échantillonné dans la ville de Laghouat en plus des coordonnées géographiques (33,81 latitude nord et de 2,87 de longitude) est dans la figure suivante (Fig.4).

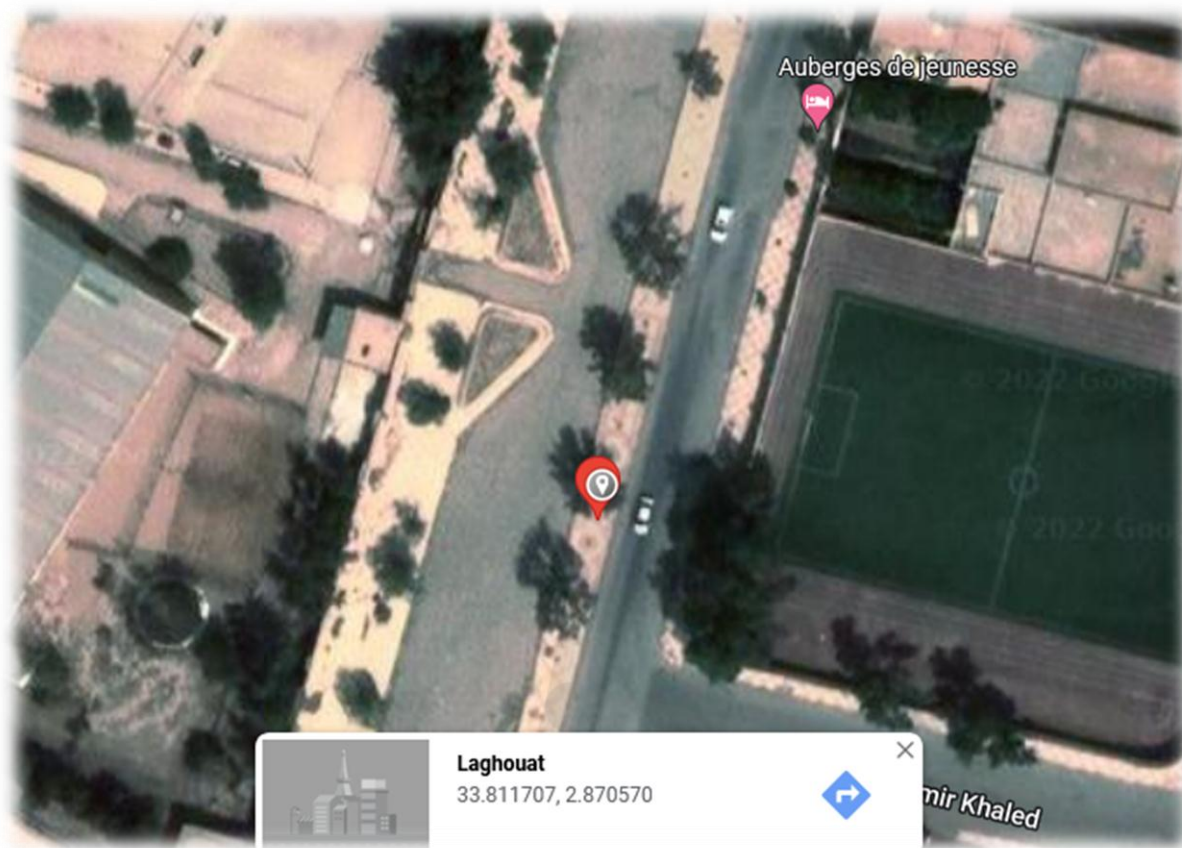


Figure 4 : Site d'échantillonnage du caroubier échantillonné dans la ville de Laghouat au bord d'une route du quartier Snober (Google maps, 2022).

3. Méthodologie

3.1 Echantillonnage

Environ 10 kg de gousses de caroube échantillonnées ont été collectées de la ville de Laghouat en automne dans le même stade de maturation (fin d'octobre). La récolte a été réalisée sur plusieurs arbres productifs choisis au hasard. Ensuite, ont été séparées en fonction de deux facteurs phénotypiques. Le premier facteur est la taille (petite, moyenne et

grandes), le deuxième facteur est la couleur (foncée ou claire). Par la suite, chaque gousse a été codée (Fig.5).

Les gousses ont été séparées, conditionnées dans des emballages dans des sacs papier puis séparées en plusieurs groupes pour faire les mesures morphométriques.

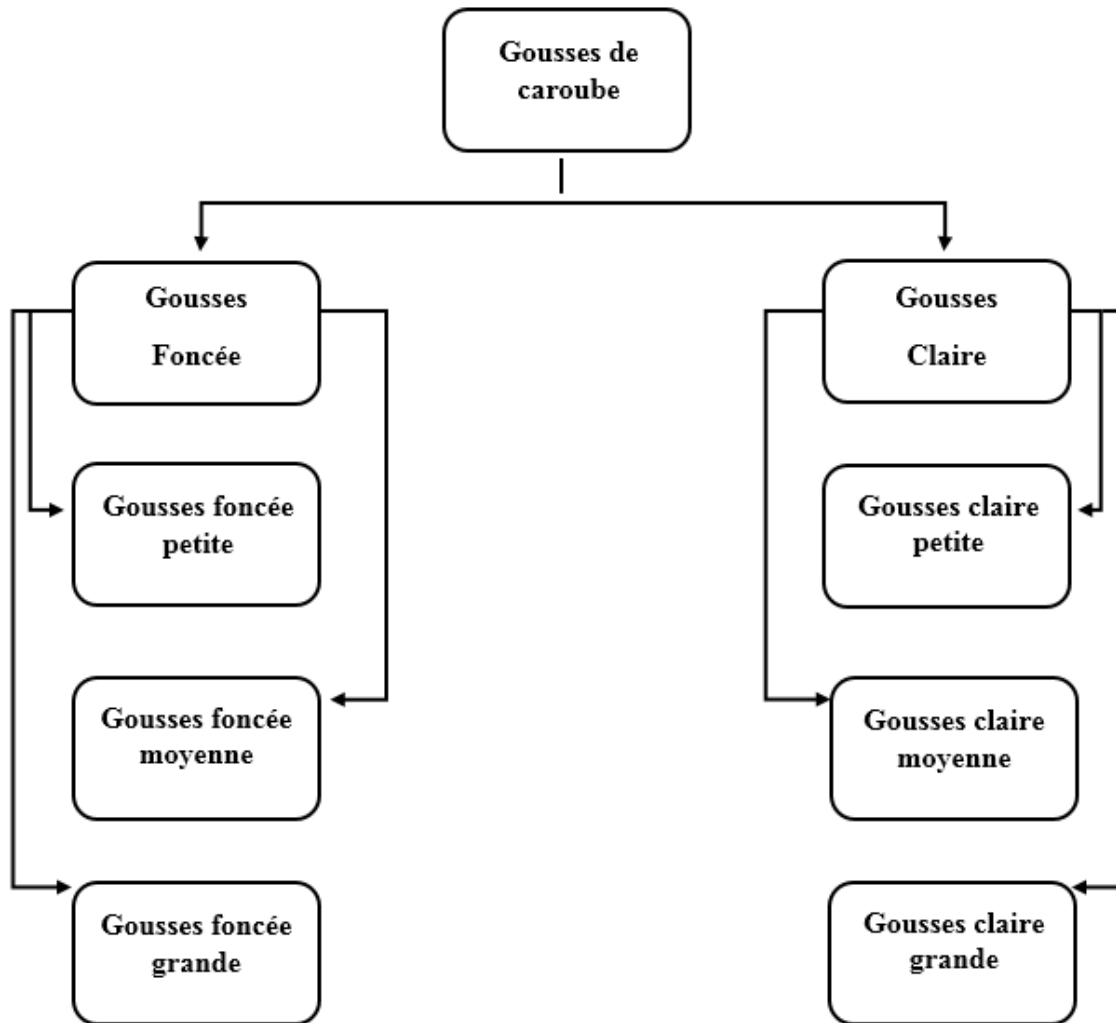


Figure 5 : Schéma représentatif du protocole expérimental d'échantillonnage des gousses de caroube.

4. Paramètres et analyses au laboratoire

4.1 Paramètres morphométriques

les gousses de caroube ont été séparée avant d'effectuer les mesures morphométriques, puis classées selon la taille et la couleur en 6 groupes, chaque groupe contenant 50 gousses,

puis les mesures de la longueur totale, longueur d'arc, largeur, épaisseur et la masse ont été effectuées.

4.1.1 Longueur totale

Longueur totale de la gousse a été déterminée à l'aide d'un mètre ruban, elle représente la distance totale courbée entre les deux extrémités de la gousse par centimètre.

4.1.2 Longueur d'arc

La longueur d'arc représente la distance directe entre les deux extrémités de la gousse par centimètre, elle a été déterminée à l'aide d'un mètre ruban.

4.1.3 Largeur

La largeur (cm) a été déterminée dans le centre des gousses de caroubes, mesurée par un mètre ruban.

4.1.4 Epaisseur

L'épaisseur (mm) a été déterminée dans le centre des gousses de caroubes, il a été mesuré par un pied à coulisse.

4.1.5 La masse

La masse en grammes de chaque gousse a été pesée à l'aide d'une balance électronique (0.01 g).

4.2 Processus de préparation de sirop de la caroube

Afin d'obtenir 24 échantillons de sirops de caroube avec différentes durées d'extraction (4 h, 6 h, 8 h et 12 h), les échantillons ont été préparés, selon le procédé de préparation traditionnel de présenté dans la figure 6 :

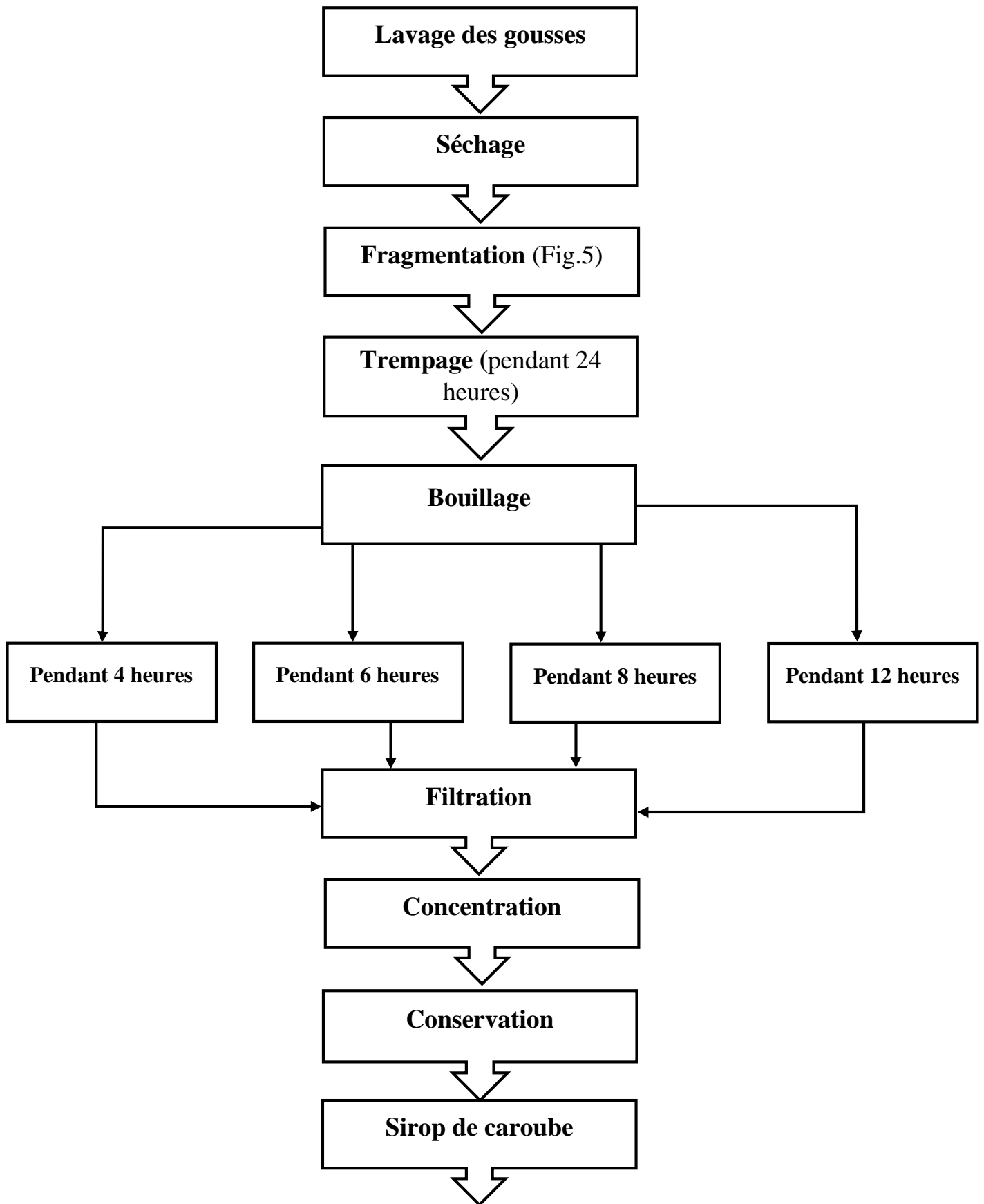


Figure 6 : Schéma représentatif de processus modifié de préparation de sirop de caroube selon Tounsi (2019).

➤ **Lavage des fruits**

Les gousses de caroubes ont d'abord été lavées à l'eau, séchées au soleil divisées par groupes de 50 g, après ont été stockées dans des sacs en papier ;

➤ **Fragmentation**

Les gousses qui sèches ont été, par la suite fragmenté manuellement en petits morceaux pour préparer le jus de caroube (Fig.7).



Figure 7 : Les gousses de caroube sèches cassées en petits morceaux manuellement.

➤ **Trempage**

Trempées chaque 50g des gousses de caroubes sèches et cassées dans un erlenmeyer contenant 1 litre d'eau de puits pendant 24 heures.

➤ **Bouillage**

À cette étape, ont fait bouillir chaque 50g des gousses de caroubes cassées à petit feu dans un grand erlenmeyer sur un bec Bunsen qui a été utilisé comme source de chaleur, un trépied et une grille en fer ont été utilisés comme supports (Fig. 8). Chaque sirop dans une catégorie à une durée de bouillage différente (4 heures, 6 heures, 8 heures, 12 heures).

➤ **Séparation**

À cette étape (après extraction) le liquide de la caroube a d'abord été séparé, le jus a été filtré par un filtre en plastique.

➤ **Concentration**

Dans cette étape, le même dispositif de bouillage (bec Bunsen et trépied) a été utilisé pour concentrer le liquide de la caroube. Le liquide de caroube a été bouilli jusqu' à l'obtention de 50 ml de sirop de la caroube (Fig.9).



Figure 8 : Ebullition de caroube trempée (chaque sirop a une durée d'extraction).



Figure 9 : Concentration de liquide de caroube jusqu'à ce il atteigne 50ml.

➤ **Conservation**

La conservation du sirop de la caroube a été effectuée dans des flacons hermétiquement fermés à température ambiante.

4.3 Paramètres physico-chimiques et biochimiques

Pour déterminer la composition physico-chimique des différents sirops de caroube nous avons effectué des analyses au laboratoire sur le sirop qui a été conservé dans des flacons.

4.3.1. pH

Le pH de sirop de caroube a été mesuré directement à la température ambiante à l'aide d'un pH-mètre étalonné (EPA, 1978).

4.3.2. Conductivité électrique

Pour déterminer la conductivité électrique de sirop de la caroube, en introduisant la sonde dans un échantillon de sirop directement à la température ambiante à l'aide d'un conductimètre électrique.

4.3.3. Densité

La densité ou la masse volumique a été réalisé sur la base de la densité de l'eau selon la fonction suivante :

$$\text{Densité} = M/V$$

M : la masse du sirop (g).

V : le volume du récipient (m).

4.3.4. Teneur des sucres solubles totaux

Pour déterminé la tenure en sucres solubles totaux de sirop de la caroube (%) une solution de caroube a été préparée par dilution à 4% de sirop. La teneur des sucres solubles a été mesurée directement à l'aide d'un réfractomètre (Op Tech, Allemagne) préalablement étalonné avec d'eau distillée (Fig.10) (Harrill, 1998).

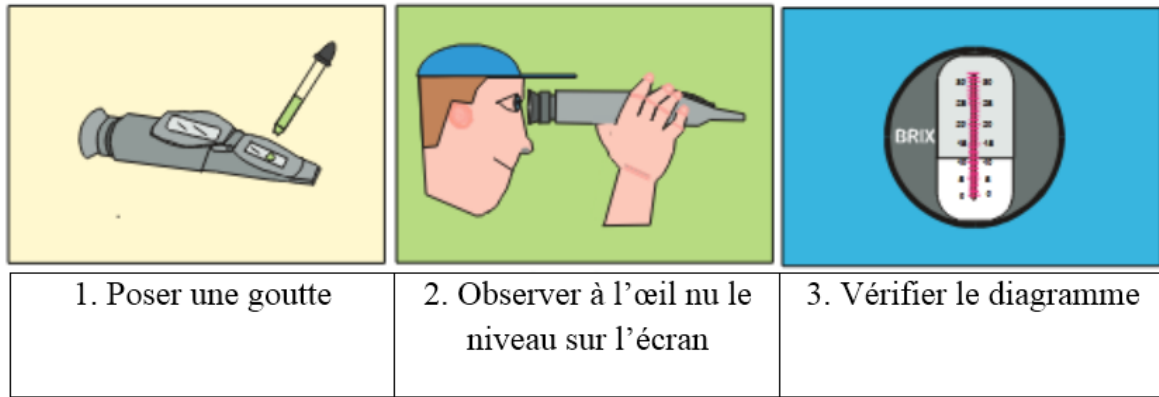


Figure 10 : Illustration de la méthode d'utilisation du réfractomètre (Harrill, 1998).

4.3.5. Protéines totales

L'azote total du sirop de caroube a été déterminé selon la méthode de Kjeldahl (Bremner, 1965) à l'aide d'un appareil de digestion et de distillation Kjeldahl. Le principe de cette méthode est de mesurer la teneur en azote total de l'échantillon par trois phases successives : digestion avec du acide sulfurique concentré, distillation avec solution d'hydroxyde de sodium et titrage avec une solution acide. Un facteur de conversion de 6,25 a été utilisé pour convertir la teneur en azote mesurée en protéines.

❖ La minéralisation :

Cette étape se fait à chaud, dans un matras (tube de digestion) on introduit de 2 ml de sirop de caroube, 7g de catalyseur $K_2 SO_4$ (Sulfate de Potassium) et 5 ml d'eau oxygénée (H_2O_2) et 7 ml d'acide sulfurique ($H_2 SO_4$) à 95-98%.

❖ La digestion :

Les tubes ont été placés sur le support pour les chauffer à $400^\circ C$ pendant 30 minutes sous hôte pour absorber les vapeurs.

❖ l'acide borique ($H_3 BO$) a été dilué à 4 %, l'hydroxyde de sodium ($Na Oh$) à 35 % et l'acide chlorhydrique ($H Cl$) à 0,2 N.

❖ Distillation :

Cette étape consiste à ajouter 50 ml d'eau distillée aux tubes suivis par 25 ml d'hydroxyde de sodium NaOH à 35%. L'addition de NaOH va entraîner une libération de l'ammoniac sous forme de sel $(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$.

L'ammoniac est ensuite entraîné par la vapeur d'eau. Le distillat est récupéré dans un bécher de 100 ml contenant 25 ml d'acide borique. Le volume doit être compris 100 ml.

❖ La titration :

La titration acido-base se fait par l'utilisation de l'acide Chlorhydrique dilué 0,2N et le complexe ammonium borate. En ajoutent quelques gouttes (5 à 6 gouttes) de rouge de méthylène, la couleur de la solution obtenue vire du jaune à la couleur rose (Fig.11).

❖ **Calcul** : Le taux des protéines totales est déterminé par la relation suivante (Nielsen, 2017) :

$$1\text{ml d'HCl à } 0,2\text{ N} \rightarrow 2,803\text{ mg de NH}_3$$

$$\text{Protéines Totales PT (\%)} \text{ de sirop de caroube} = \text{N} \times 6,25/10$$

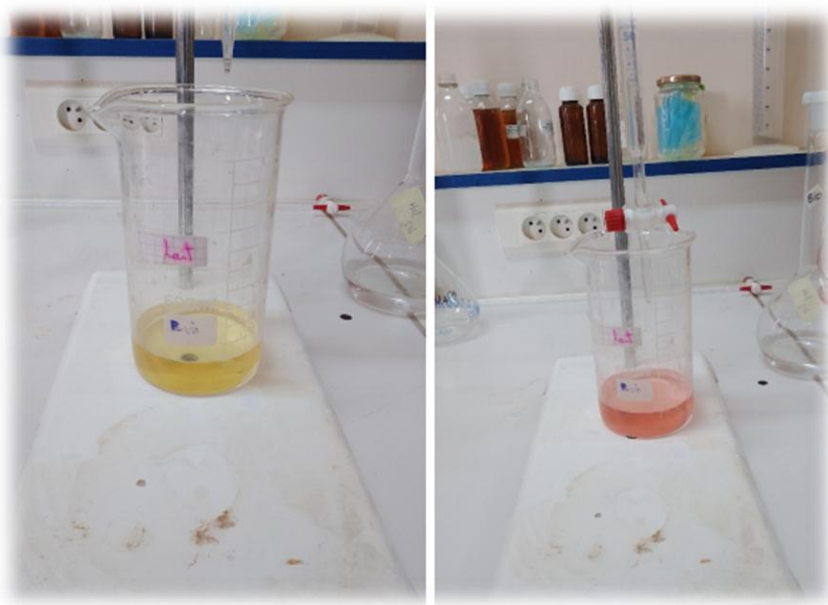


Figure 11 : La titration par l'acide chlorhydrique HCl à 0,2 N.

5. Analyses statistiques

Les analyses statistiques descriptives ($P < 0.05$) ont été calculés (la taille d'échantillon N, moyenne, écart-type et extrême). Les corrélations de Pearson pour mettre en évidence la relation entre les paramètres physicochimiques et biochimiques avec la durée d'extraction et des tests statistiques (T test et ANOVA) pour comparer entre les paramètres physicochimiques et biochimiques des différents sirops à l'aide de logiciel « Statistix 8 ».

Résultats

1. Description des paramètres alimentaire

1.1 Description des paramètres phénotypiques

L'observation à l'œil nu de nos gousses de caroube a permis de déceler une grande différence morphologique (Tab.3). En effet, notre échantillon de 300 gousses illustre l'existence de diverses formes : sinueuse sur les bords, droite où courbée et torsadée, présente une surface ridée, luisante.

1.1.1 Largeur des gousses de la caroube (LR)

La largeur de la gousse de 6 groupes de formes différentes, varie de 2,30 cm à 0,90 cm. La moyenne globale pour ce trait est de 1,49 cm.

1.1.2 Longueur d'arc des gousses de la caroube (LA)

La moyenne pour ce trait a été de 3,56 cm. Ainsi que la plus longue distance directe entre les deux extrémités de la gousse a été de 19,00 cm et la plus courte distance directe entre les deux extrémités de la gousse a été de 0,42 cm.

1.1.3 Longueur total des gousses de la caroube (LT)

La longueur totale a été variable d'une gousse à un autre 20,40 cm à 4,80 cm. La moyenne globale pour ce trait a été de 12,70 cm.

1.1.4 Epaisseur des gousses de la caroube (EP)

L'épaisseur de la gousse a été de 0,82 cm à 0,17 cm. La moyenne globale pour ce trait a été de 1,49 cm.

1.1.5 La masse des gousses de la caroube (MA)

La masse de la gousse varie de 19,94 g à 1,63 g, et la moyenne globale pour ce trait a été de 7,14 g.

Tableau 3 : Description statistique des paramètres phénotypiques des gousses de caroube de la région de Laghouat.

Paramètres	Nombre	Moyen	Ecart-type	Minimum	Maximum
Largeur (cm)	303	1,49	0,27	0,90	2,30
Longueur d'arc (cm)	303	10,76	3,56	0,42	19,00
Longueur total (cm)	303	12,70	3,50	4,80	20,40
Epaisseur (cm)	303	0,53	1,27	0,17	0,82
Masse (g)	303	7,14	2,66	1,63	19,94

1.2 Description statistique des paramètres physico-chimiques

1.2.1 Densité (DN)

La densité de 24 sirops de caroube a été en moyenne de 1,13 g/ml. Elle varie d'un sirop à un autre de 1,06 à 1,20 g/ml (Tab. 4).

1.2.2 Conductivité électrique (CE)

La conductivité électrique a été de 4,60 mS/cm à 8,08 mS/cm. La moyenne pour ce trait a été de 6,59 mS/cm (Tab. 4).

1.2.3 Potentiel-Hydrogène (pH)

Le pH a été de 5,08 à 5,47. La moyenne pour ce trait a été de 5,25 (Tab.4).

1.2.4 Sucres solubles (SS)

Le taux des sucres solubles des 24 sirops de caroube varient entre 36,25 à 75,00%. La moyenne pour ce trait a été de 55,20 % (Tab.4).

1.2.5 Protéines totales (PT)

Le taux des protéines totales de 24 sirops de caroube varient entre 0,53 à 1,75%. La moyenne globale pour ce trait est de 1,00 % (Tab.4).

Tableau 4 : Description statistique des paramètres physico-chimiques de sirop des gousses de caroube de la région de Laghouat.

Paramètres	Nombre	Moyen	Ecart-type	Minimum	Maximum
Densité (g/ml)	24	1,13	0,03	1,06	1,20
Conductivité électrique (mS/cm)	24	6,59	0,98	4,60	8,08
pH	24	5,25	0,11	5,08	5,47
Sucres solubles (%)	24	55,20	12,85	36,25	75,00
Protéines totales (%)	17	1,00	0,37	0,53	1,75

2. Variations des paramètres physicochimiques et biochimiques avec la couleur

La densité n'a pas été significativement variable par rapport la couleur de sirop des gousses de caroube ($F^{1, 22} = 0,01$; $P \leq 0,9213$). La densité de sirop des gousses de caroube

claire ($1,13 \pm 0,01$) n'a pas différente que la densité des gousses de caroube foncée ($1,13 \pm 0,06$) (Fig.12).

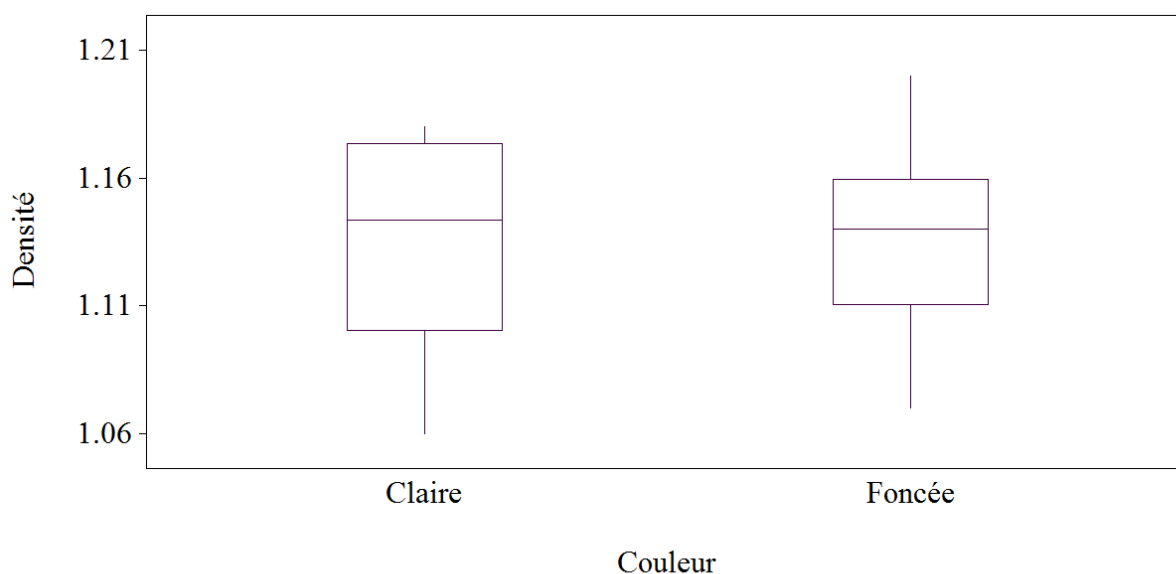


Figure 12 : Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de couleur (claire, foncée).

La conductivité électrique a été significativement variable par rapport la couleur de sirop des gousses de caroube ($F^{1, 22}=24,9$; $P \leq 0,0001$). La conductivité électrique de sirop des gousses de caroube claire est plus élevée ($7,29 \pm 0,19$) par rapport des gousses de caroube foncée ($5,89 \pm 0,19$) (Fig.13).

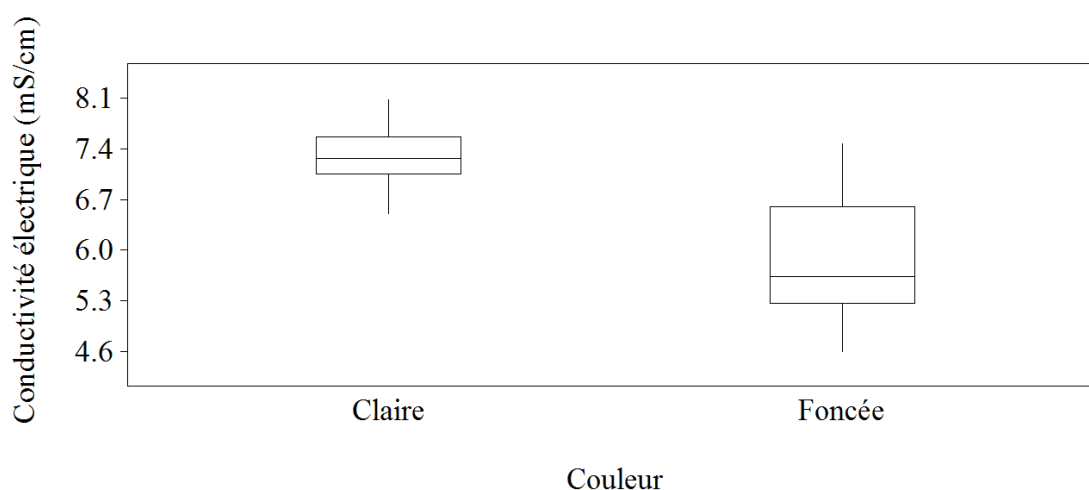


Figure 13 : Variation de la conductivité électrique du sirop de la caroube en fonction de couleur (claire, foncée).

Le pH des gosses claires ($5,22 \pm 0,03$) n'a pas été significativement variable ($F^{1, 22}=1,31$; $P \leq 0,2652$) par rapport à celui de la couleur du sirop des gosses de caroube foncée ($5,28 \pm 0,03$) (Fig.14).

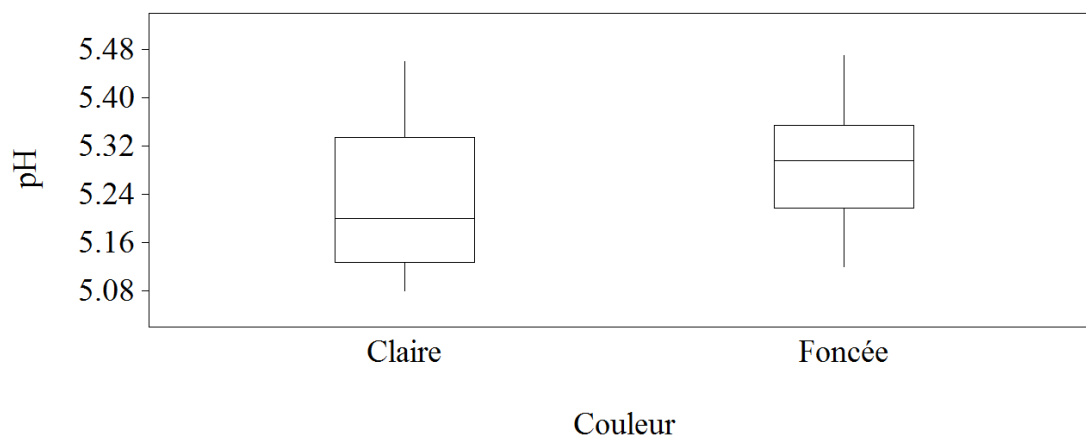


Figure 14 : Variation de pH du sirop de la caroube en fonction de la couleur (claire, foncée).

Le taux des protéines totales n'a pas été significativement variable par rapport la variation de la couleur du sirop des gosses de caroube ($F^{1, 15}=0,11$; $P \leq 0,7482$). Le taux des protéines totales de sirop des gosses de caroube claire a été légèrement élevé ($1,03 \pm 0,14$) par rapport à celui du sirop des gosses de caroube foncée ($0,97 \pm 0,12$) (Fig.15).

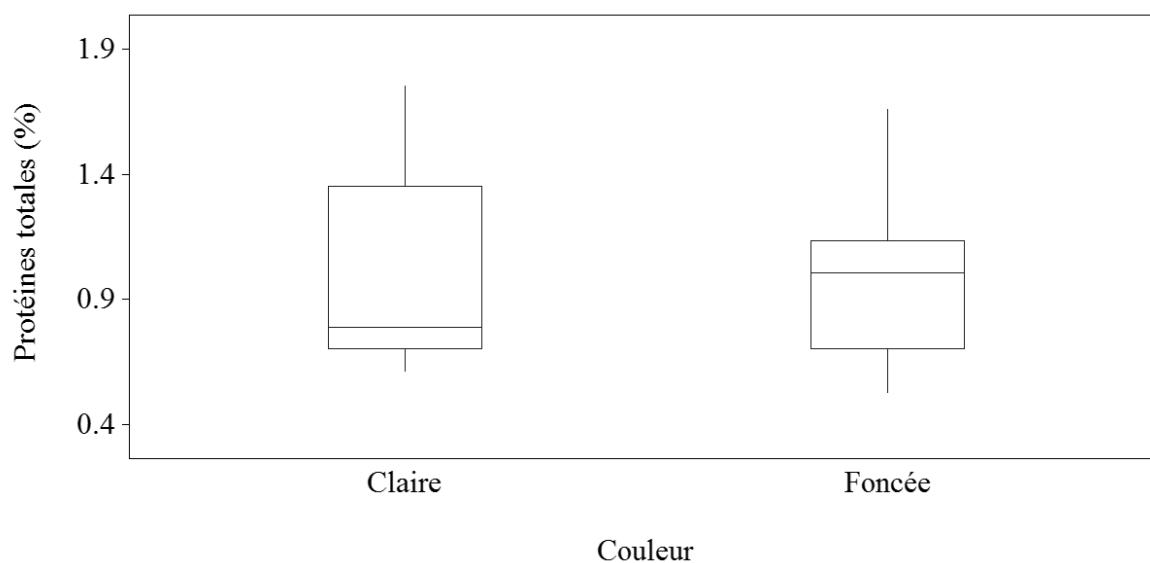


Figure 15 : Variation des protéines totales du sirop de la caroube en fonction de la couleur (claire, foncée).

Le taux des sucres solubles du sirop des gousses de caroube a été significativement variables d'une couleur à une autre ($F^{1, 22}=22,6$; $P \leq 0,0001$). Le taux des sucres solubles de sirop des gousses de la caroube claire a été plus bas ($46,25 \pm 2,66$) par rapport au sirop des gousses foncée ($64,16 \pm 2,66$) (Fig.16).

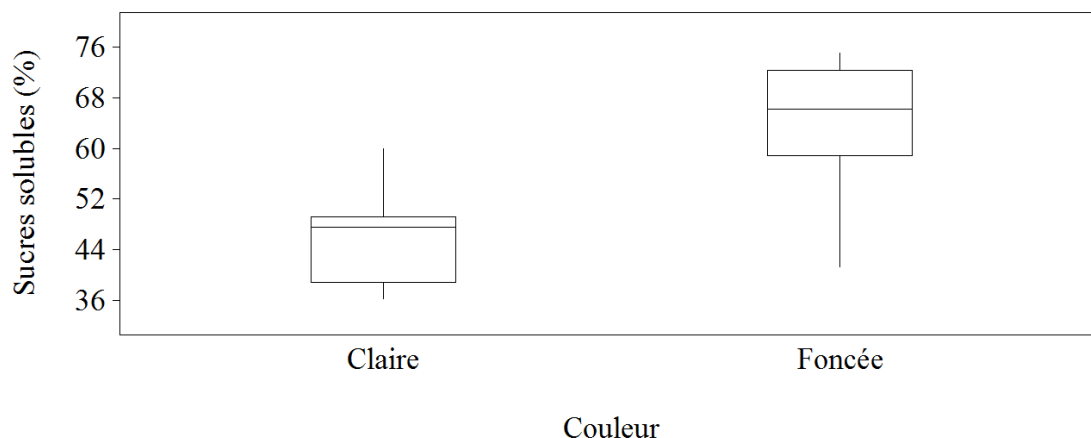


Figure 16 : Variation des sucres solubles du sirop de la caroube en fonction de couleur.

3. Variations des paramètres physicochimiques et biochimiques Avec la taille

La densité du sirop n'a pas été significativement variable avec la taille des gousses de caroube ($F^{2, 21}= 1,20$; $P \leq 0,3205$). La densité du sirop des gousses de grande taille ($1,14 \pm 0,01$ g/ml) a été légèrement plus élevée par rapport à celle du sirop des gousses de la caroube de petites taille ($1,13 \pm 0,01$ g/ml) et de taille moyenne ($1,12 \pm 0,01$ g/ml) (Fig.17).

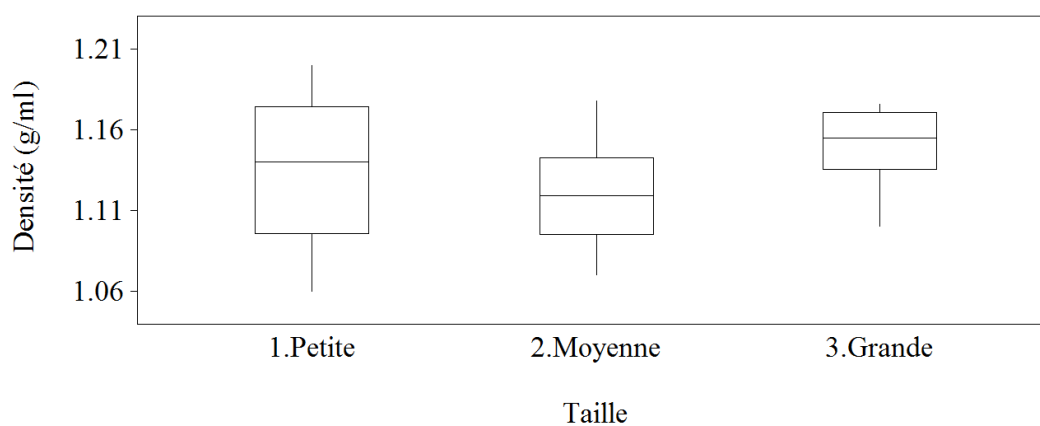


Figure 17 : Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de taille.

La conductivité électrique du sirop n'a pas été significativement variable avec la taille des gousses de caroube ($F^{2, 21} = 0,86$; $P \leq 0,4357$). La conductivité électrique du sirop des gousses de petites taille ($6,92 \pm 0,35 \text{ mS/cm}$) a été légèrement élevée par rapport le sirop des gousses de caroube de taille moyennes ($6,27 \pm 0,35 \text{ mS/cm}$) et de grandes taille ($6,58 \pm 0,35 \text{ mS/cm}$) (Fig.18).

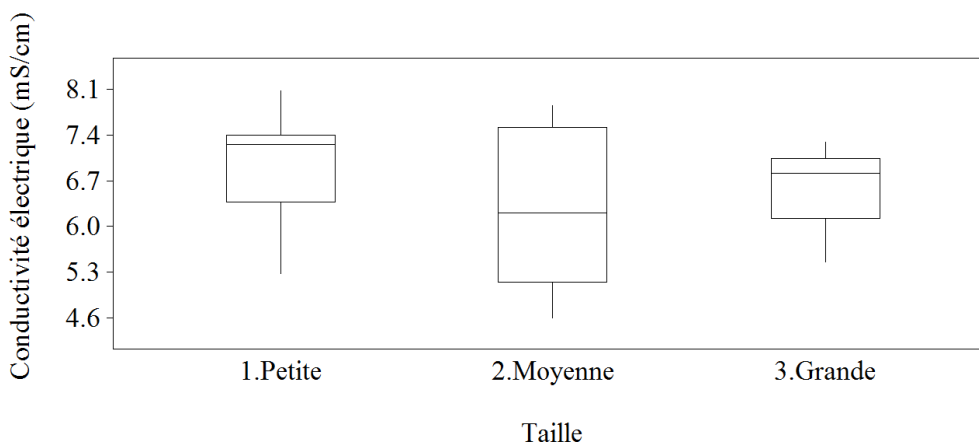


Figure 18 : Variation de la conductivité électrique du sirop de la caroube en fonction de taille (petite, moyenne, grande).

Le pH du sirop n'a pas été significativement variable avec la taille des gousses de caroube ($F^{2, 21} = 0,06$; $P \leq 0,9444$). Les pH des différentes tailles du sirop des gousses de la caroube ont été plus proches entre eux : le pH du sirop des gousses de petites de la caroube a été de $5,26 \pm 0,04$, le pH du sirop des gousses moyennes a été de $5,24 \pm 0,04$ et celui du sirop des grandes gousses a été de $5,26 \pm 0,04$ (Fig.19).

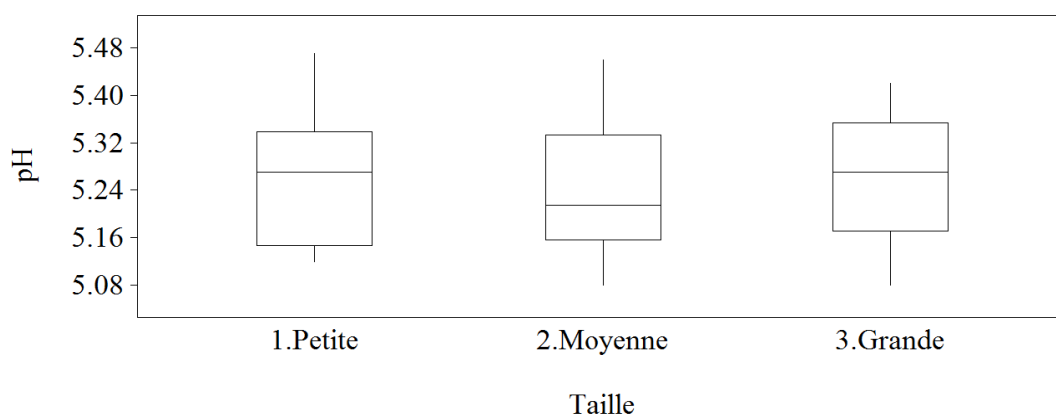


Figure 19 : Variation du pH du sirop de la caroube en fonction de taille (petite, moyenne, grande).

Le taux des sucres solubles du sirop n'a pas été significativement variable avec la taille des gousses de caroube ($F^{2, 21} = 0,15$; $P \leq 0,8651$). Le taux des sucres solubles des gousses de petite taille ($53,12 \pm 4,72\%$) a été légèrement plus faible que celui de grande ($56,25 \pm 4,72\%$) et moyenne taille ($56,25 \pm 4,72\%$) (Fig.20).

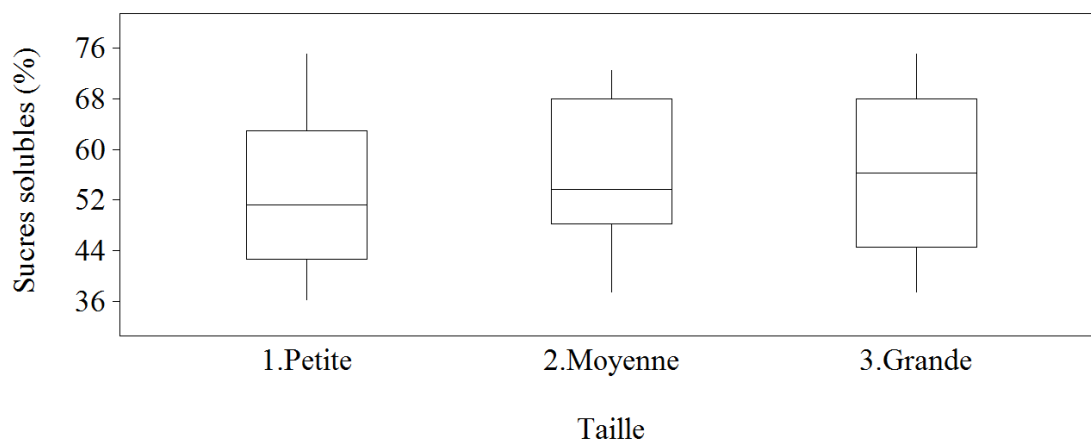


Figure 20 : Variation des sucres solubles du sirop de la caroube en fonction de taille.

Le taux des protéines totales n'a pas été significativement variable avec la taille de sirop des gousses de caroube ($F^{2, 14} = 0,06$; $P \leq 0,9460$). Le taux des protéines totales du sirop de petite taille ($1,05 \pm 0,17\%$) a été légèrement plus élevé par rapport à celui des grandes ($0,99 \pm 0,16\%$) et moyenne taille ($0,97 \pm 0,16\%$) (Fig.21).

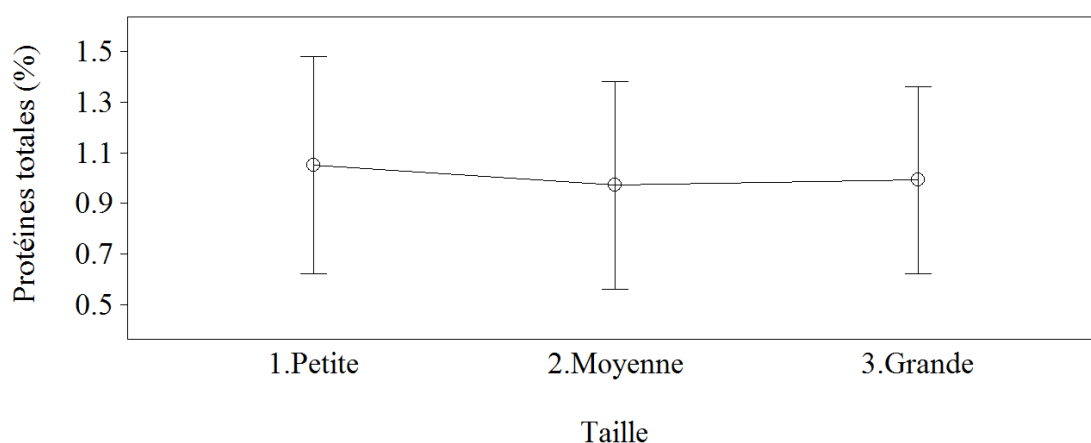


Figure 21 : Variation des protéines totales du sirop de la caroube en fonction de taille.

4. Variations des paramètres physicochimiques et biochimiques avec la durée d'extraction

La densité a été significativement variable avec la durée d'extraction du sirop de la caroube ($F^{3,20}=16,4$; $P=0,0001$). La densité du sirop de la caroube a augmenté linéairement avec la durée d'extraction (Fig.22).

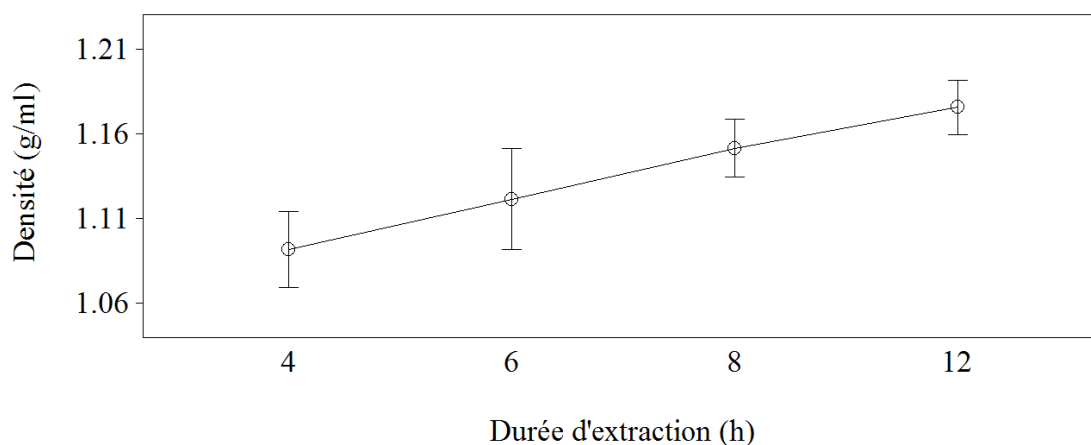


Figure 22 : Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.

Le pH a été significativement variable avec la durée d'extraction du sirop de la caroube ($F^{3,20}=17,1$; $P=0,0001$). Le pH du sirop de la caroube a baissé linéairement avec la durée d'extraction (Fig. 23).

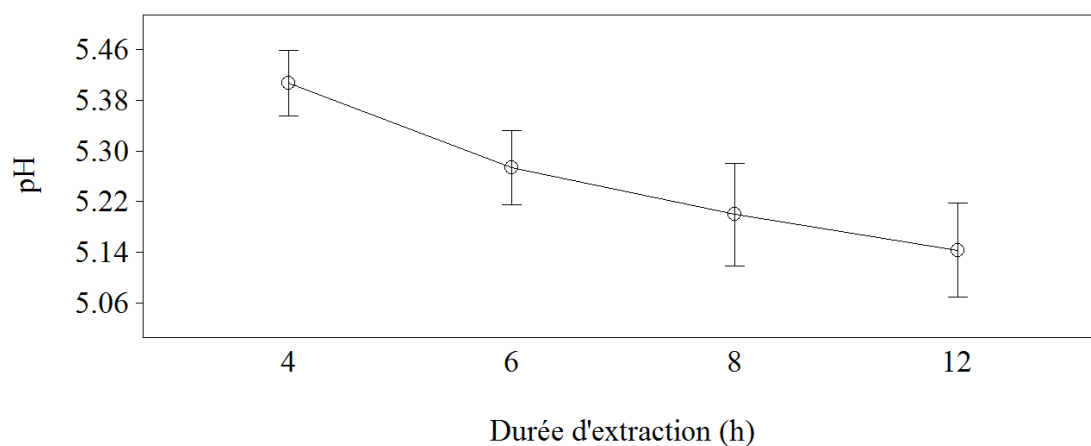


Figure 23 : Variation de pH du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.

La conductivité électrique n'a pas été pas significativement variable avec la durée d'extraction ($F^{3,20} = 0.32$; $P \leq 0,8080$) (Fig.24).

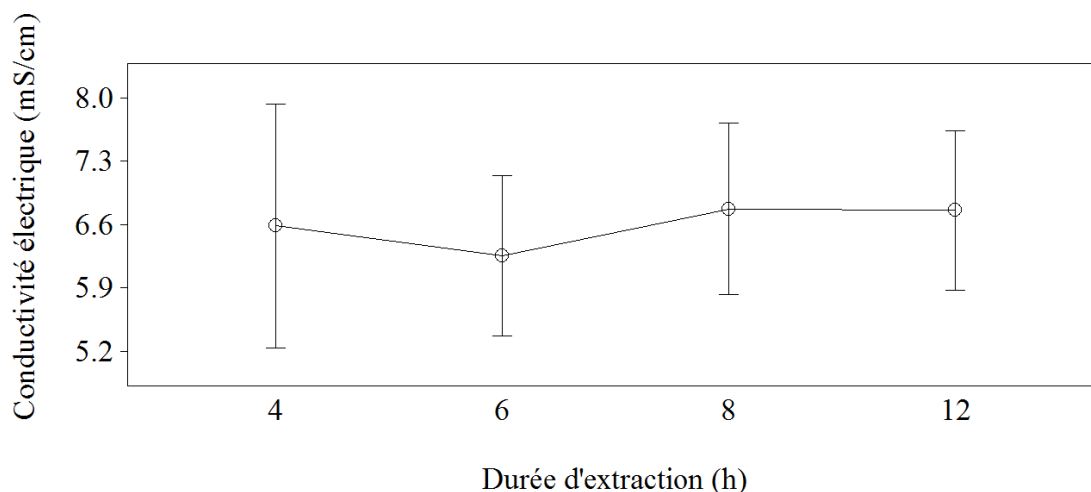


Figure 24 : Variation de la conductivité électrique du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.

Le taux des sucres solubles n'a pas été significativement variables avec la durée d'extraction ($F^{3,20} = 1,83$; $P \leq 0,1742$). Le taux des sucres solubles des durées de 4 ($59,37 \pm 4,98\%$) et 6 heures ($60,41 \pm 4,98\%$) ont été plus élevée par rapport aux durées de 8 ($55,41 \pm 4,98\%$) et 12 heures ($45,62 \pm 4,98\%$) (Fig. 25).

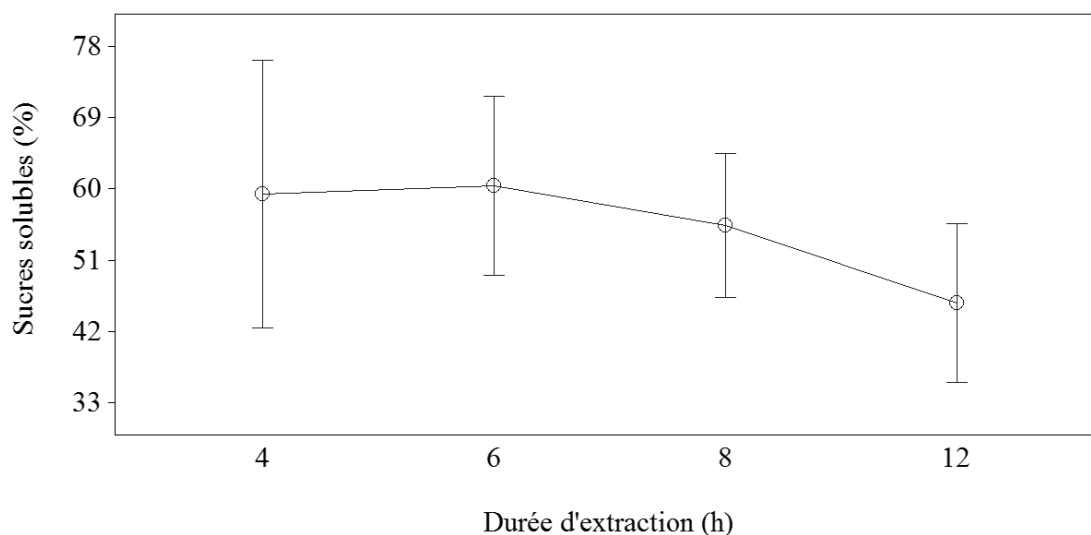


Figure 25 : Variation des sucres solubles du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.

Le taux des protéines totales n'a pas été significativement variables avec la durée d'extraction ($F^{3,13} = 3,24$; $P \leq 0,0573$). Le taux des protéines totales de 8 heures ($1,31 \pm 0,12\%$) a été plus élevé par rapport aux sirops de 4 heures ($0,84 \pm 0,18\%$), de la durée d'extraction de 6 heures ($0,90 \pm 0,14\%$) et de 12 heures ($0,70 \pm 0,18\%$) (Fig. 26).

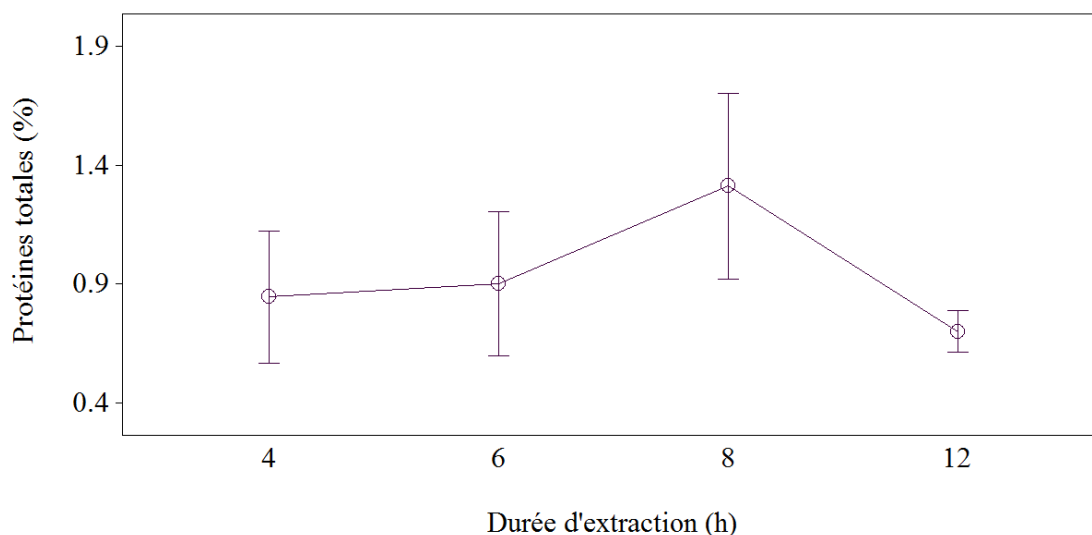


Figure 26 : Variation des protéines totales du sirop de la caroube en fonction de la durée d'extraction.

Il existe une corrélation négative et significative entre le pH et la densité du sirop de la caroube ($r = 0,6930$; $ddl = 23$; $p = 0,0020$). L'augmentation de la densité du sirop conduit à la baisse de son pH (Fig.27).

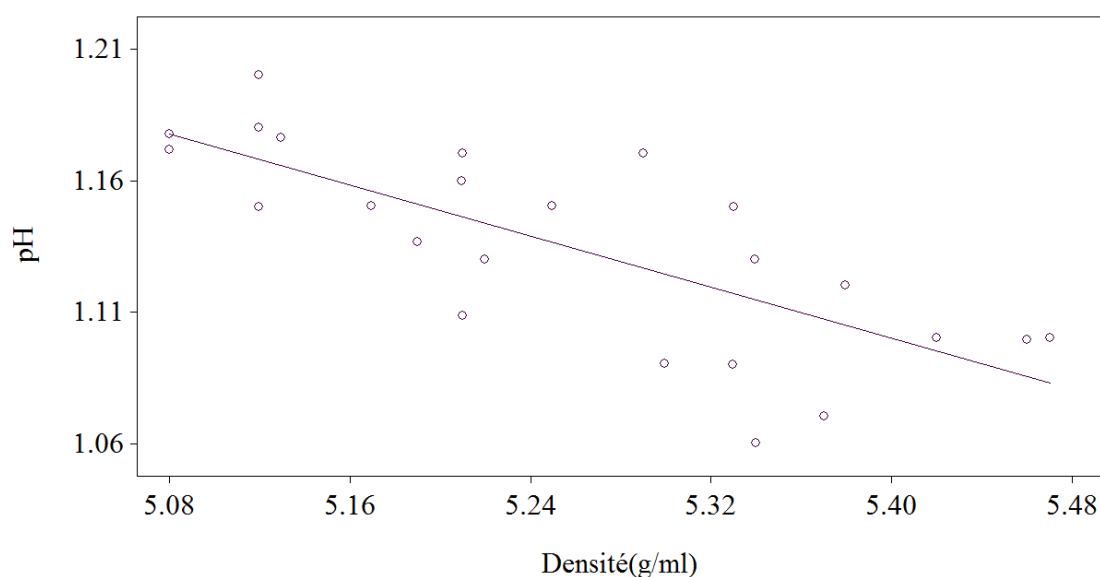


Figure 27 : Variation de pH du sirop de la caroube en fonction de la densité.

Il existe une autre corrélation négative et significative entre le pH et la conductivité électrique du sirop de la caroube ($r= 0,5130$; $ddl=23$; $p=0,0352$). L'augmentation de la conductivité électrique du sirop conduit à la baisse de son pH (Fig.28).

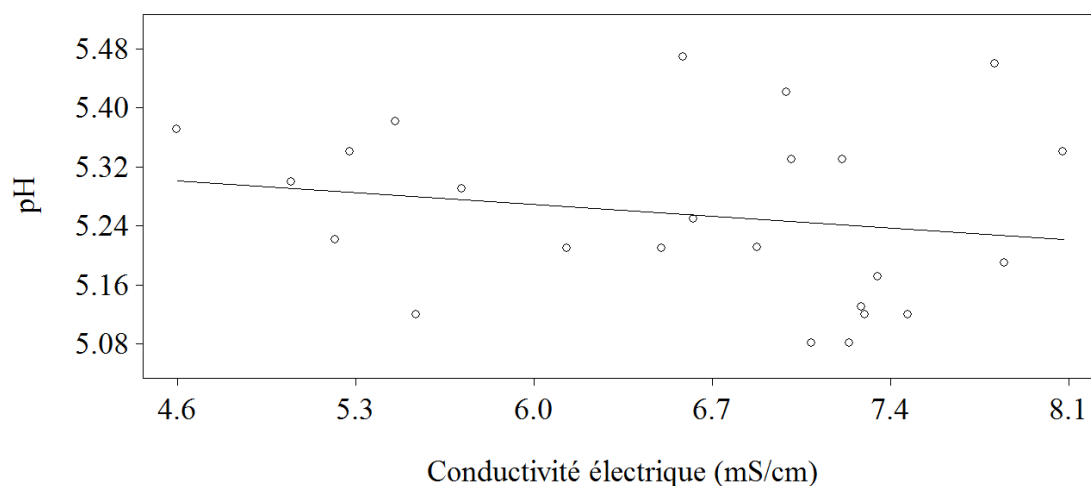


Figure 28 : Variation de pH du sirop de la caroube en fonction de la conductivité électrique.

Il existe une corrélation négative et significative entre le taux des sucres solubles et la densité du sirop de la caroube ($r=0,6271$; $ddl=23$; $p=0,0071$). La diminution des sucres solubles du sirop conduit à l'augmentation de sa densité (Fig.29).

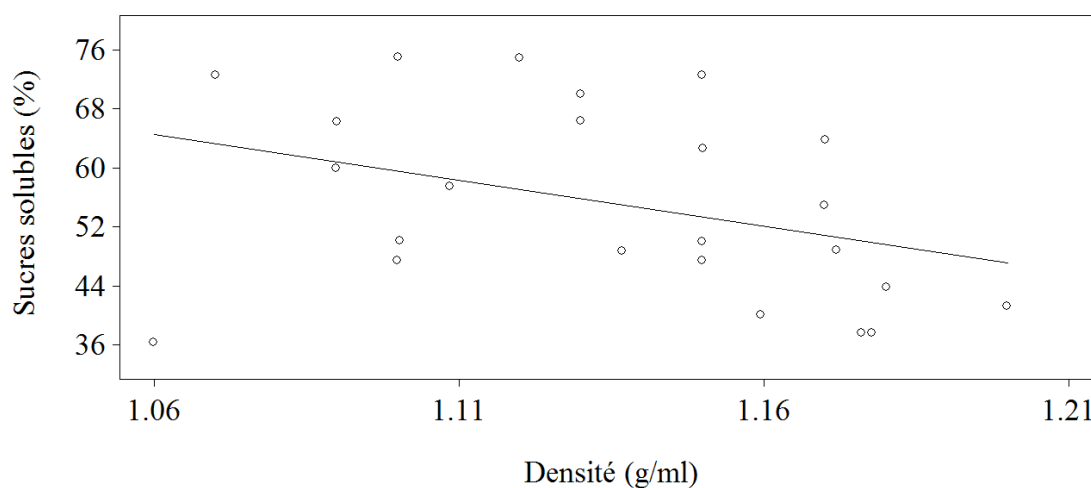


Figure 29 : Variation des sucres solubles du sirop de la caroube en fonction de la densité.

Il existe une corrélation négative et significative entre la conductivité électrique et le taux des sucres solubles du sirop de la caroube ($r= 0,6934$; $ddl=23$; $p=0,0020$).

L'augmentation des sucres solubles du sirop conduit à la diminution de la conductivité électrique (Fig.30).

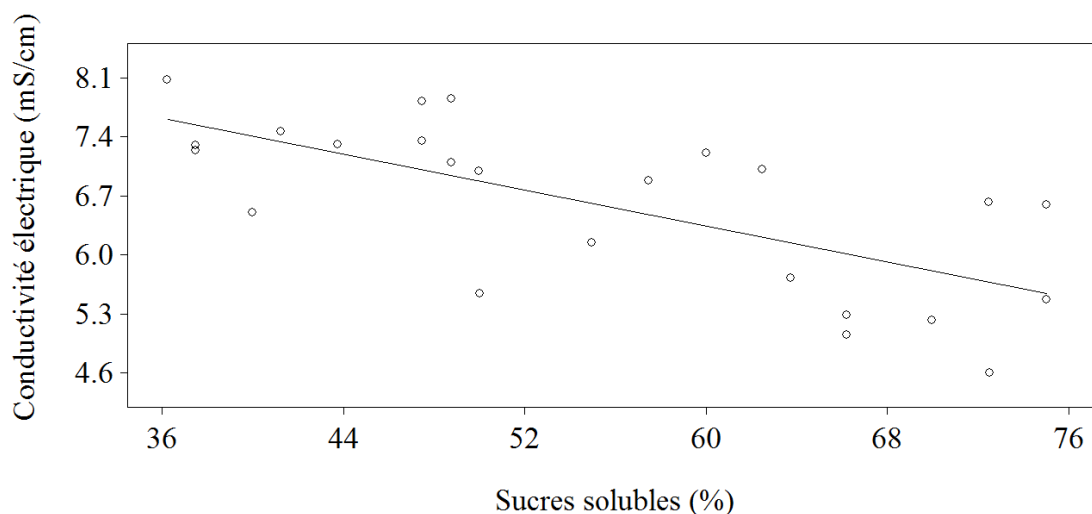


Figure 30 : Variation de la conductivité électrique du sirop de la caroube en fonction des sucres solubles.

Il existe une corrélation positive et significative entre le taux des sucres solubles et le pH du sirop de la caroube ($r= 0,8448$; $ddl=23$; $p=0,0001$). L'augmentation des sucres solubles du sirop conduit à l'augmentation de son pH (Fig.31).

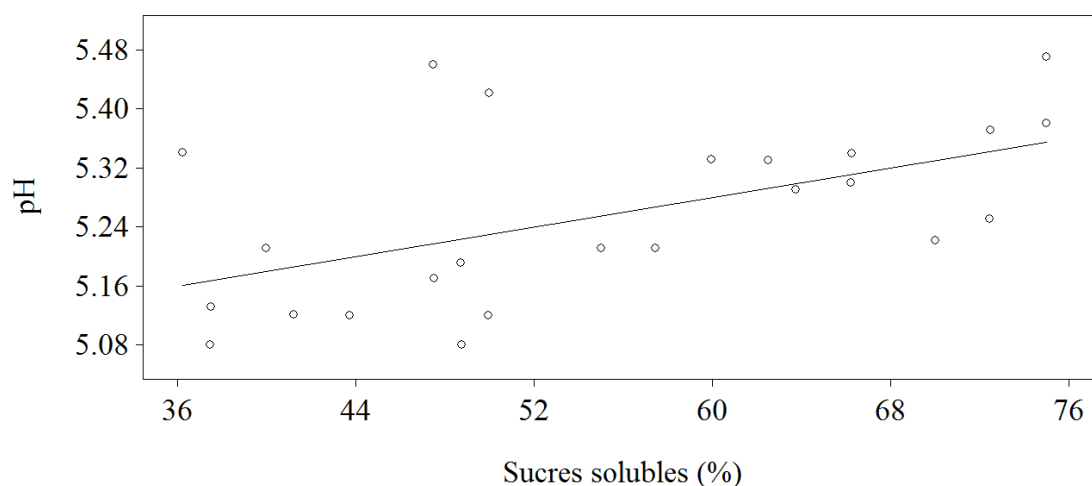


Figure 31 : Variation de pH du sirop de la caroube en fonction des sucres solubles.

Discussion

Ce travail avait pour objectif d'étudier l'effet des quatre durées d'extraction (cuisson) sur la qualité du sirop en relation avec des paramètres biométriques, physicochimiques et biochimiques.

Les gousses de caroube de la région de Laghouat ont présenté plusieurs formes. **Korkmaz (2020)**, a montré dans son article que les caractéristiques morphologiques et la composition biochimique ont été considérablement influencées par les facteurs génétiques.

L'étude a montré des corrélations entre les caractéristiques physicochimiques du sirop et sa durée d'extraction, qui contribuent à déterminer le sirop de caroube de la valeur nutritive la plus élevée et de bonne qualité pour l'industriel.

La densité des différents sirops a été variable avec les différentes durées d'extraction qui est due au fait que plus le processus d'extraction été long, plus l'eau s'évapore plus le sirop devient épais. Selon **Manikandan (2020)** grâce à cette fonctionnalité le sirop de caroube peut être utilisé comme épaississant, stabilisant et gélifiant.

Les résultats indiquent que la conductivité électrique était plus élevée dans les sirops faite à partir des gousses claires. Cela signifie que les sirops préparés à base des gousses claires contiennent une quantité de sels minéraux plus élevée que les gousses foncées. D'après **Şimşek et Artık (2002)**, **Papaefstathiou et al. (2018)**, le sirop de caroube contient une teneur élevée en potassium. De ce fait, il pourrait être utilisé comme ingrédient naturel pour la création de nouveaux additifs alimentaires à base de haute teneur en minéraux (**Papaefstathiou et al., 2018**).

Selon **Ozcan et al., (2007)**, le potassium, le phosphore et le calcium avaient les valeurs les plus élevées dans le sirop de caroube par rapport aux fruits et la farine de caroube. Ainsi, il contient la plus grande quantité d'élément de titane tandis par rapport au fruit de la caroube. De même, le sirop de la caroube contient plus de Fer et Sodium par rapport à certains autres produits alimentaires (**Karhan et al., 2005 ; Ozcan et al., 2007**).

Le pH de différents sirops a été variable avec les différentes durées d'extraction qui est due au fait que plus le processus d'extraction été long, plus le pH de sirop devient acide.

Les résultats indiquent un pH d'acide faible compatible avec les résultats de **Şimşek & Artık (2002) ; Sengül et al., (2007) ; Tounsi et al., (2017)**. Par ailleurs le pH de caroube de **Tounsi (2020)** et de **Goulas & Aresti (2021)** a été plus acide que notre sirop de caroube de Laghouat. En général, Le pH du sirop de caroube est lié à la solubilité

d'acides organiques. L'acidité du sirop de caroube peut être expliquée soit par la dégradation des sucres en acides, soit par hydrolyse du l'Hydroxymethylfurfural (HMF) en acide lévulinique et formique (**Tounsi et al., 2020**). C'est ainsi, que le sirop de caroube est utilisé comme un milieu de culture pour *Lactobacillus delbrueckii* qui produit l'acide lactique par la fermentation de par la richesse du sirop en sucres (**Manikandan, 2020**). Il peut servir de source de carbone peu coûteuse pour le processus de fermentation microbienne afin de produire du bioéthanol, de l'acide citrique et de l'acide succinique (**Dlilali et al., 2017**).

Selon **Dlilali et al., (2017)**, de nombreux facteurs influencent sur la composition chimique du fruit. Par exemple, la température, la sécheresse, l'irrigation, la fertilisation et la salinité. De nombreuses études ont démontré que chaque fruit a son propre profil caractéristique d'acides aminés, qui peut varier selon le type de fruit et leurs produits transformés en fonction de la variété des espèces, de l'origine géographique, du stade de maturation et des pratiques culturelles (**Ayaz et al., 2007**).

Les résultats indiquent aussi un faible taux de protéines comparable avec les résultats de sirop de **Özcan (2007)**. Par contre, plus faible à d'autres travaux (**Evreinoff, 1947 ; Avallone, 1997 ; Calixto & Cañellas, 1982 ; Ayaz et al., 2007 ; Sbay., 2008 ; Haddarah et al., 2013 ; Youssef et al., 2013 ; Tounsi et al., 2017 ; Loullis, 2018 ; Bouhrem & Benabdelmoumene, 2019 ; Fidan et al., 2019 ; Brassesco et al., 2021**). D'autre part, autres travaux indiquent des valeurs plus faibles (**Sengül et al., 2007 ; Tounsi et al., 2020**), ils ont expliqué cette faible concentration par l'implication de protéines dans la réaction de Maillard qui se produit pendant le traitement thermique, et par le fait que le caroube a une faible teneur en protéines selon le type de cultivar (**Fidan et al., 2016**).

Par ailleurs, les protéines du sirop de caroube étaient inférieures à celles des fruits de caroube et de la farine de caroube (**Özcan et al., 2007**).

Les sucres solubles des différents sirops ont été variables avec les différentes catégories de couleur qui est due au fait que les gousses de caroube de couleur foncée contiennent un taux de sucres solubles élevés.

Les résultats montrent une grande quantité de sucres solubles particulièrement dans le sirop qui a été soumis à une durée d'extraction de quatre et de six heures. Nos résultats ont été comparables avec la majorité des travaux de la littérature spécialisée (**Evreinoff,**

1947 ; Avallone, 1997 ; Şimşek & Artık, 2002 ; Özcan *et al.*, 2007 ; Sengül *et al.*, 2007 ; Iipumbu, 2008 ; Loullis & Pinakoulaki, 2018 ; Tounsi *et al.*, 2020 ; Goulas & Aresti, 2021). Par contre, La teneur en sucres soluble dans le sirop de la caroube de la région de Laghouat, a été légèrement inférieure que la teneur de caroube de Liban et Turquie (Ayaz *et al.*, 2007 ; Biner *et al.*, 2007 ; Haddarah *et al.*, 2013) et plus élevée que la caroube de l'Espagne (Calixto & Cañellas, 1982). Ces différences peuvent être attribuées aux processus d'extraction et à la méthode d'analyse (Petit & Pinilla, 1995).

Les résultats ont montré que la durée d'extraction de quatre et six heures étaient assez suffisante pour extraire la majorité des sucres solubles des gousses de caroube par rapport aux autres durées.

L'impact de la durée d'extraction sur la teneur en sucre observée après de quatre différentes durées de cuisson (4, 6, 8 et 12 heures) pourrait être attribuée à la réaction de caramélisation qui a eu lieu pendant la cuisson (Tounsi *et al.*, 2017).

La teneur en sucre des fruits peut varier considérablement selon les espèces, la variété, la maturité physiologique, la saison des récoltes, le climat et les conditions d'entreposage (Ayaz *et al.*, 2007).

En résumant les résultats, on peut conclure que le sirop de caroube est riche en sucres, contient de très faibles niveaux de protéines. Une composition nutritionnelle semblable a été signalée pour le sirop produit à partir d'autres fruits comme la datte et le genévrier. À cet égard, grâce à une teneur élevée en sucres et minéraux, le sirop pourrait être considérée comme un aliment très important dans la nutrition humaine, en particulier pour les sportifs, les femmes enceintes et les enfants (Şimşek & Artık, 2002 ; Sengül *et al.*, 2007 ; Tounsi *et al.*, 2020).

À cet égard, cette étude a permis de constater que le temps d'extraction à modifier le profil physicochimiques et biochimique du sirop et il a une influence positive sur le rendement du sirop de caroube (Aziz, 2014).

Conclusion

La durée d'extraction du sirop de la caroube lors de sa préparation a un grand effet sur certaines propriétés physico-chimiques, biochimiques et leurs propriétés fonctionnelles.

Nos résultats démontrent que le sirop de durée d'extraction limitée à 4 heures a été le moins concentré avec une densité de 1,09 g/ml, pH de 5,40, Conductivité électrique de 6,58 (mS/cm), sucres solubles totaux de 59,37 % et protéines totales de 0,84 %.

Le sirop de durée d'extraction de 6 heures a été plus concentré par rapport au premier et plus sucré avec un taux de sucres solubles totaux de 60,41 % et protéines totales de 0,90 %, une densité de 1,12 g/ml, le pH de 5,27 et une conductivité de 6,25 (mS/cm),

Le sirop de durée d'extraction de 8 heures affiche le taux de protéines totales le plus élevé avec de 1,31%. La densité a été de 1,15 g/ml, de pH 5,20, conductivité de 6,77 (mS/cm), sucres solubles totaux a été de 55,41 %.

Le sirop de durée d'extraction de 12 heures indique la densité la plus élevée avec 1,17 g/ml. Le pH a été de 5,14, la conductivité de 6,76 (mS/cm), le taux des sucres solubles totaux a été de 45,62 % et les protéines totales de 0,70 %.

Le taux des sucres solubles a été le plus élevé dans les sirops de durée d'extraction de 4 à 6 heures. Ils diminuent proportionnellement avec la durée d'extraction de la caroube. Ces sirops de 4 à 6 heures peuvent être recommandés dans l'industrie alimentaire comme édulcorant de par leur teneur élevée en sucres solubles.

La densité de sirop de la caroube augmente avec l'augmentation de durée d'extraction. Ainsi, de par la densité de sirop de durée d'extraction de 12 heures, il peut être recommandé comme épaississant.

Le sirop de caroube de durée d'extraction de 8 heures est le plus riche en protéines. Il peut être recommandé dans l'industrie des aliments diététiques à faible teneur énergétique.

Cette recherche évalue la qualité nutritionnelle de sirops de caroube de la région de Laghouat afin de fournir les meilleurs rendements selon la durée d'extraction qui représente une étape coûteuse pour l'industrie agroalimentaire. Par ailleurs, d'autres paramètres pourraient être impliqués pour améliorer les conclusions ci-dessus et pour bien évaluer la qualité de notre sirop.

Références bibliographique

- **Ait Chitt, M., Belmir, H., & Lazrak, A. (2007).** Production de plants sélectionnés et greffés de caroubier. Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA MAPM/DERD, 153, 1-4.
- **Albanell, E. (1990).** Caracterización morfológica, composición química y valor nutritivo de distintas variedades de garrofa (*Ceratonia siliqua* L.) cultivadas en España. Universidad autónoma de Barcelona. Barcelona, España. 142p.
- **Albanell, E., Caja, G., & Plaixats, J. (1996).** Characterization of carob fruits (*Ceratonia siliqua* L.), cultivated in Spain for agroindustrial use. International Tree Crops Journal, 9(1), 1-9.
- **Albertos, I., Jaime, I., Diez, A. M., González-Arnáiz, L., & Rico, D. (2015).** Carob seed peel as natural antioxidant in minced and refrigerated (4° C) Atlantic horse mackerel (*Trachurus trachurus*). LWT-Food Science and Technology, 64(2), 650-656.
- **Amrani, O., (2021).** Etude floristique et nutritive, spatiotemporelles, des principales plantes vivaces des parcours steppiques, naturels et aménagés, de la région de Laghouat (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA).
- **Avallone, R., Plessi, M., Baraldi, M., & Monzani, A. (1997).** Determination of chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua*): protein, fat, carbohydrates, and tannins. Journal of food composition and analysis, 10(2), 166-172.
- **Ayaz, F. A., Torun, H., Ayaz, S. E. M. A., Correia, P. J., Alaiz, M., Sanz, C., ... & Strnad, M. (2007).** Determination of chemical composition of Anatolian carob pod (*Ceratonia siliqua* L.): sugars, amino and organic acids, minerals and phenolic compounds. Journal of Food Quality, 30(6), 1040-1055.
- **Aziz, H. A. S. I. B., & Hicham, E. B. (2014).** Optimization of production of carob pulp syrup from different populations of Moroccan carob (*Ceratonia siliqua* L.). International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, 4(3), 855-863.
- **Batlle, I., & Tous, J. (1997).** Carob tree. *Ceratonia siliqua*, 92.
- **Benmahioul, B., Harche, M. K., & Daguin, F. (2011).** Le caroubier, une espèce méditerranéenne à usages multiples. Forêt méditerranéenne, 32(1), 51-58.

- **Biner, B., Gubbuk, H. A. M. İ. D. E., Karhan, M. U. S. T. A. F. A., Aksu, M., & Pekmezci, M. (2007).** Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.) in Turkey. *Food chemistry*, 100(4), 1453-1455.
- **Bouhrem, I., & Benabdelmoumene, D. (2019).** Le caroubier : Valorisation et utilisation industrielle. Éditions universitaires européennes.
- **Brassesco, M. E., Brandão, T. R., Silva, C. L., & Pintado, M. (2021).** Carob bean (*Ceratonia siliqua* L.): A new perspective for functional food. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 310-322.
- **Bremner, J. M. (1965).** Total nitrogen. *Methods of soil analysis: part two chemical and microbiological properties*, 9, 1149-1178.
- **Calixto, F. S., & Cañellas, J. (1982).** Components of nutritional interest in carob pods (*Ceratonia siliqua*). *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 33(12), 1319-1323.
- **Carlson, W. A. (1986).** THE CAROB: EVALUATION OF TREES, PODS AND KERNELS. *International Tree Crops Journal*, 3(4), 281-290.
- **Clodoveo, M. L., Crupi, P., Muraglia, M., & Corbo, F. (2022).** Processing of Carob Kernels to Syrup by Ultrasound-Assisted Extraction. *Processes*, 10(5), 983.
- **Dhaouadi, K., Belkhir, M., Akinochi, I., Raboudi, F., Pamies, D., Barrajon, E., ... & Fattouch, S. (2014).** Sucrose supplementation during traditional carob syrup processing affected its chemical characteristics and biological activities. *LWT-Food Science and Technology*, 57(1), 1-8.
- **Diaz, C. S. (1996).** Syrup of natural carob sugars and a process for its production. *Biotechnology Advances*, 14(4), 598-599.
- **Dlilali, B., Ahmed, H., Zouaoui, B., Fatima, S., & Karima, O. Y. (2017).** Kinetic of batch production of lactic acid from carob pods syrup. *Banat's Journal of Biotechnology*, 8(15), 57.
- **DPWL (Direction de la planification de wilaya de Laghouat), (2010).** Monographie de la wilaya de Laghouat. Rapport annuel ; 305.

- **El Batal, H., Hasib, A., Ouatmane, A., Dehbi, F., Jaouad, A., & Boulli, A. (2016).** Sugar composition and yield of syrup production from the pulp of Moroccan carob pods (*Ceratonia siliqua* L.). *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S955-S959.
- **EPA, (1978).** pH, Méthode 150.1 (électrométrie). U.S. Environmental Protection Agency, United States. Office of Research Development Environmental Monitoring Support Laboratory, U.S. Environmental Protection Agency, United States.
- **El Hajaji, H., Lachkar, N., Alaoui, K., Cherrah, Y., Farah, A., Ennabili, A., & Lachkar, M. (2011).** Antioxidant activity, phytochemical screening, and total phenolic content of extracts from three genders of carob tree barks growing in Morocco. *Arabian Journal of Chemistry*, 4(3), 321-324.
- **Evreinoff, V. A. (1947).** Le Caroubier ou *Ceratonia siliqua* L. *Revue Internationale de Botanique Appliquée et d'Agriculture Tropicale*, 27(299), 389–401. <https://doi.org/10.3406/jatba.1947.2081>.
- **Fidan, H., Petkova, N., Sapoundzhieva, T., & Abanoz, E. I. (2016, September).** Carbohydrate content in Bulgarian and Turkish carob pods and their products. In *CBU international conference proceedings (Vol. 4, pp. 796-802)*.
- **Fidan, H., Mihaylova, D., Petkova, N., Sapoundzhieva, T., Slavov, A., & Krastev, L. (2019).** Determination of chemical composition, antibacterial and antioxidant properties of products obtained from carob and honey locust. *Turkish Journal of Biochemistry*, 44(3), 316-322.
- **Goulas, V., & Aresti, P. (2021).** Physicochemical proprieties of carob syrup reveal D-pinitol as an index of sucrose supplementation. *Food and Environment Safety Journal*, 20(3).
- **Haddarah, A. (2013).** L'influence des cultivars sur les propriétés fonctionnelles de la caroube Libanaise (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- **Haddarah, A., Ismail, A., Bassal, A., Hamieh, T., Ioannou, I., & Ghoul, M. (2013).** Morphological and chemical variability of Lebanese carob varieties. *European scientific journal*, 9(18).

- **Harrill, R. (1998).** Using a refractometer to test the quality of fruits and vegetables. PUBLISHING, Éd.
- **Iipumbu, L. (2008).** Compositional analysis of locally cultivated carob (*Ceratonia siliqua*) cultivars and development of nutritional food products for a range of market sectors (Doctoral dissertation, Stellenbosch: Stellenbosch University).
- **Karhan, M., Turhan, I., Tetik, N., & Aksu, M. (2005).** Nutritive value of carob (*Ceratonia siliqua* L.) pekmez; a traditional product of Turkey. *Innov Trad Foods*, 2, 899-901.
- **Korkmaz, N., Akin, M., Koc, A., Eyduran, S. P., Ilhan, G., Sagbas, H. I., & Ercisli, S. (2020).** Morphological and biochemical diversity among wild-grown carob trees (*L.*). *Folia Horticulturae*, 32(1), 69-78.
- **Lavalée P., (1962).** Le caroubier, son utilisation dans l'alimentation du bétail en Algérie et en Tunisie ». Alger, 47p
- **Loullis, A., & Pinakoulaki, E. (2018).** Carob as cocoa substitute: a review on composition, health benefits and food applications. *European Food Research and Technology*, 244(6), 959-977.
- **Mahdad, Y. M., Mediouni, R. M., Selka, N., Viruel, J., & Gaouar, S. B. S. (2022).** Functional Diversity Based on Morphometric Analysis and Identification of the Algerian Carob Tree (*Ceratonia siliqua* L.) Cultivars. *Genetics & Biodiversity Journal*, 6(2), 1-20.
- **Makris, D. P., & Kefalas, P. (2004).** Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic antioxidants. *Food Technology and Biotechnology*, 42(2), 105-108.
- **Manikandan, N. A., Pakshirajan, K., & Pugazhenthii, G. (2020).** A closed-loop biorefinery approach for polyhydroxybutyrate (PHB) production using sugars from carob pods as the sole raw material and downstream processing using the co-product lignin. *Bioresource Technology*, 307, 123247.
- **Moreira, T. C., da Silva, A. T., Fagundes, C., Ferreira, S. M. R., Cândido, L. M. B., Passos, M., & Krüger, C. C. H. (2017).** Elaboration of yogurt with reduced level

of lactose added of carob (*Ceratonia siliqua* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 76, 326-329.

- **Nielsen, S. S. (2017).** Food analysis laboratory manual. Springer.
- **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 and Chemical Toxicology*, 41(12), 1727-1738.
- **Özcan, M., Arslan, D., & Gökçalik, H. (2007).** Some compositional properties and mineral contents of carob (*Ceratonia siliqua*) fruit, flour and syrup. *International journal of food sciences and nutrition*, 58(8), 652-658.
- **Papaefstathiou, E., Agapiou, A., Giannopoulos, S., & Kokkinofta, R. (2018).** Nutritional characterization of carobs and traditional carob products. *Food science & nutrition*, 6(8), 2151-2161.
- **Petit, M. D., & Pinilla, J. M. (1995).** Production and purification of a sugar syrup from carob pods. *LWT-Food Science and Technology*, 28(1), 145-152.
- **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. P.*, 417-426.
- **Roseiro, J. C., Gírio, F. M., & Collaço, M. A. (1991).** Yield improvements in carob sugar extraction. *Process biochemistry*, 26(3), 179-182.
- **Sbay, H. (2008).** Le Caroubier au Maroc : un arbre d'avenir. Centre de recherche forestière.
- **Sengül, M., Fatih Ertugay, M., Sengül, M., & Yüksel, Y. (2007).** Rheological characteristics of carob pekmez. *International Journal of Food Properties*, 10(1), 39-46.
- **Şimşek, A., & Artık, N. (2002).** Studies of composition of concentrates from different fruit. *Gıda*, 27, 459-467.
- **Tetik, N., Turhan, I., Oziyci, H. R., & Karhan, M. (2011).** Determination of D-pinitol in carob syrup. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 62(6), 572-576.

- **Tounsi, L., Ghazala, I., & Kechaou, N. (2020).** Physicochemical and phytochemical properties of Tunisian carob molasses. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14(1), 20-30.
- **Tounsi, L., Karra, S., Kechaou, H., & Kechaou, N. (2017).** Processing, physicochemical and functional properties of carob molasses and powders. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(3), 1440-1448.
- **Tounsi, L., Kchaou, H., Chaker, F., Bredai, S., & Kechaou, N. (2019).** Effect of adding carob molasses on physical and nutritional quality parameters of sesame paste. *Journal of food science and technology*, 56(3), 1502-1509.
- **Turhan, I., Bialka, K. L., Demirci, A., & Karhan, M. (2010).** Ethanol production from carob extract by using *Saccharomyces cerevisiae*. *Bioresource technology*, 101(14), 5290-5296.
- **Winer, N. (1980).** The potential of the carob (*Ceratonia siliqua*). *International Tree Crops Journal*, 1(1), 15-26.
- **Yousif, A. K., & Alghzawi, H. M. (2000).** Processing and characterization of carob powder. *Food chemistry*, 69(3), 283-287.
- **Zhu, B. J., Zayed, M. Z., Zhu, H. X., Zhao, J., & Li, S. P. (2019).** Functional polysaccharides of carob fruit: a review. *Chinese medicine*, 14(1), 1-10.

Titre: Etude de l'effet de la durée de préparation du sirop de la caroube sur les paramètres biochimiques et physicochimiques.

Nom : Djeridane

Prénom : Malika

Encadreur : Adamou Ala-Eddine

Résumé : Le caroubier *Ceratonia siliqua L* appartient à la famille des Légumineuses (Fabaceae) ayant d'énormes intérêts alimentaires, ces fruits sont utilisés à la préparation du sirop. Dans ce travail, notre objectif était d'étudier l'effet des quatre durées (4, 6, 8, 12h) d'extraction (cuisson) sur la qualité du sirop en relation avec des paramètres biométriques et des paramètres physicochimiques. L'échantillonnage a été réalisé en 2021 sur différents caroubiers de la ville de Laghouat, au même stade de maturation. Les résultats montrent une variation des paramètres alimentaires de sirop avec la durée d'extraction. L'analyse de la composition biochimique du différent sirop, révèle une teneur moyenne en sucre de 55,20 %, des protéines totales de 1,00 %. Le pH indique une faible acidité (5,25), la conductivité électrique de 6,59 mS/cm et la densité de 1,13 g/ml. Ces résultats varient selon la catégorie de taille et la couleur qui peuvent être utilisées dans le tri et aussi la durée d'extraction. Le sirop de caroube de durée d'extraction de 8 heures a été le plus riche en protéines recommandé pour l'alimentation diététique. Par contre, le sirop de durée d'extraction de 12 heures a été le plus épais recommandé comme épaississant et les sirops de durée d'extraction de 4 à 6 heures ont été plus sucrés recommandé comme édulcorant. Les résultats ont été discutés dans un contexte biogéographique à la lumière des connaissances sur les paramètres alimentaires du sirop de la caroube dans différentes régions de la Méditerranée.

Mots clés : Caroube, Sirop, Paramètre biochimique, Paramètre physico-chimique, Paramètre morphologique, Durée d'extraction, Laghouat.

Title: Study of the effect of the duration of preparation of carob bean syrup on biochemical and physicochemical parameters.

Last name: Djeridane

First name: Malika

Directed by: Adamou Ala-Eddine

Abstract: The carob tree belongs to the family of legumes (Fabaceae) having enormous nutritional interests, these fruits are used in the preparation of syrup. In this work, our objective was to study the effect of the four extraction times (4, 6, 8, and 12 h) (cooking) on the quality of the syrup in relation to biometric parameters and physicochemical parameters. The sampling was carried out in 2021 on various carob trees in the city of Laghouat, at the same stage of maturation. The results show variation in syrup dietary parameters with extraction time. Analysis of the biochemical composition of the different syrup reveals an average sugar content of 55.20%, a total proteins of 1.00%. pH indicates low acidity (5.25), electrical conductivity of 6.59 mS/cm and density of 1.13 g/ml. These results vary according to the size category and color that can be used in sorting and also the extraction time. Carob syrup with an extraction time of 8 hours was the highest protein recommended for the diet. In contrast, 12-hour extract-time syrup was the thickest recommended as a thickener and 4-6-hour extract-time syrups were the sweetest recommended as a sweetener. The results were discussed in a biogeographical context in the light of the knowledge on dietary parameters of carob syrup in different regions of the Mediterranean.

Keywords: Carob, Syrup, Biochemical parameter, Physico-chemical parameter, Biometric parameter, Extraction time, Laghouat.

عنوان: دراسة تأثير مدة تحضير دبس الخروب على المعايير البيوكيميائية والفيزيوكيميائية.

المؤطر: عظامو علاء الدين

اللقب: جريدان

الإسم: مليكة

الملخص: تنتمي شجرة الخروب إلى عائلة البقوليات (Fabaceae) التي لديها أهمية غذائية كبيرة، تستخدم هذه الثمار في تحضير الدبس. في هذا العمل، كان هدفنا هو دراسة تأثير أوقات الاستخلاص الأربعة (الطهي 12/8/6/4 سا) على جودة دبس الخروب. فيما يتعلق بالمعايير الظاهرية، الفيزيائية والكيميائية، تم أخذ العينات في عام 2021 من أشجار خروب الأغواط المختلفة، في نفس مرحلة النضج. تظهر النتائج تبايناً في خصائص الدبس الغذائية مع وقت الاستخلاص. يكشف تحليل التركيبة البيوكيميائية لكل عينة دبس عن ثراء في نسبة السكر بمعدل 55.20٪، وإجمالي البروتينات بمعدل 1.00٪، ويشير الأس الهيدروجيني إلى حموضة منخفضة (5.25)، والناقلية الكهربائية بنسبة 6.59 mS/cm وكثافة 1.13 غ/مل. تختلف هذه النتائج حسب فئة الحجم واللون الذي يمكن استخدامه في الفرز وكذلك وقت الاستخلاص؛ دبس 8 ساعات هو الأغنى بالبروتينات ينصح به للحميات الغذائية. من ناحية أخرى، فإن دبس 12 ساعة هو الأكثر كثافة ينصح به كمثخن ودبس 4 و6 ساعات الأكثر حلاوة ينصح به كمحلي طبيعي. تمت مناقشة النتائج في سياق جغرافي حيوي في ضوء المعرفة بالمعايير الغذائية لشراب الخروب في مناطق مختلفة من البحر الأبيض المتوسط.

الكلمات المفتاحية: خروب، دبس، معيار بيوكيميائي، معيار فيزيوكيميائي، معيار ظاهري، وقت الاستخلاص، الاغواط.