



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 : Ghouireg Halima

DOMAINE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE (SNV)

FILIERE DES SCIENCES ALIMENTAIRES

OPTION : AGROALIMENTAIRE ET CONTROLE DE QUALITE

Thème

**Etude de la relation entre les
caractéristiques phénotypiques et quelques
paramètres biochimiques du sirop de la
caroube**

Soutenu le : 26/09/2021

Jury de soutenance :

Nom et Prénom

Mm. Lounici Safia
Mr. Goudjal Yacine
Mr. Adamou Ala-Eddine

Grade

Maître Assistante
Professeur
Professeur

Qualité

Présidente
Examineur
Rapporteur

Promotion : 2020 - 2021



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
جامعة عمار ثليجي - الأغواط



كلية : العلوم

قسم العلوم الزراعية

مذكرة ماستر

تقديم الطالبة: غويرق حليلة

ميدان علوم الطبيعة والحياة

شعبة علوم زراعية

تخصص : صناعات غذائية و مراقبة النوعية

موضوع البحث

دراسة العلاقة بين الصفات المظهرية وبعض المتغيرات
البيوكيميائية لشراب الخروب.

نوقشت بتاريخ: 26 سبتمبر 2021

أعضاء اللجنة المناقشة :

الاسم و اللقب	الدرجة العلمية	الصفة
السيدة: لونيبي صافية	أستاذ مساعد	رئيسة
السيد: قوجال ياسين	أستاذ تعليم عالي	ممتحنا
السيد: عظامو علاء الدين	أستاذ تعليم عالي	مشرفا

دفعة: 2020-2021

Dédicaces

Je dédie ce travail à :

A' mon très cher père et ma très chère mère,

*Je les remercie pour leurs sacrifices, leur patience, leur soutien,
l'aide et les encouragements qui m'ont apporté durant toutes ces
années d'étude sans eux. Je ne serais pas ce que je suis aujourd'hui.*

A mes très chers frères Yahya, Khaddour.

A mes belles sœurs Bekhta et Messaouda.

Aux enfants de mon frère Aness et Ali.

Aux enfants de ma sœur.

A tout la famille Ghouireg.

A mon mari Salah, K.

*A mes amies particulièrement Khadidja, Khaoula, Rababe, Rym,
Reguia, Hanane et Fatima.*

*A mon professeur et le serviteur du Saint Coran et mes amies de
l'école coranique.*

A tout mes enseignants tout au long de mes études.

A toutes mes collègues de la promotion contrôle de qualité 2020.

Halima

Remerciements

Avant tout nous remercions "Allah" tout puissant qui nous a donné le courage, la volonté et la force pour accomplir ce modeste travail. Merci "Allah" de nous avoir éclairé le chemin de la réussite.

*Mes reconnaissances vont tout d'abord au **Pr. Adamou Ala-Eddin** qui nous a honorés en acceptant de diriger ce travail, pour son encadrement rigoureux et méthodique et les compétences dont elle nous fait bénéficier le long de toutes nos études. Je lui adresse également mes gratitude pour son aide précieuse et d'avoir été là pour nous, par ses conseils fructueux, son soutien continu et ses encouragements permanents. Merci de nous avoir guidés avec patience et d'avoir consacré autant d'heures pour les corrections de ce manuscrit.*

*J'exprime mes sincères remerciements à **Mm Lounici Safia** Maître Assistante à l'université de Laghouat d'avoir accepté de présider le jury.*

*Je tiens à remercier aussi le **Dr. Goudjal Yacine** professeur à l'Université Amar Telidji d'avoir accepté de juger mon travail.*

Enfin, mes remerciements à tous ceux ou celles qui ont contribué de près ou de loin à l'accomplissement de ce mémoire.

Liste des abréviations

- **A.N.R.H** : Agence nationale des ressources en eau
- **CDF** : Conservation Des Forêts
- **CE** : Conductivité électrique
- **DN** : Densité
- **EP** : Epaisseur
- **FAO** : Food and Agriculture Organization
- **Fig.** : Figure
- **IC** : Indice de courbure
- **LA** : Largeur
- **LC** : Longueur d'arc
- **LT** : Longueur totale
- **MA** : Masse
- **ONM** : Office National de Météorologie
- **PR** : Protéines
- **SS** : Sucres solubles
- **Tab.** : Tableau

Indexe des figures

Figure	Titre	Page
01	Arbre de caroubier (<i>Ceratonia siliqua</i>) au bord d'une route de la ville de Laghouat.	4
02	Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde.	6
03	Répartition du caroubier en Algérie suivant les domaines bioclimatiques.	7
04	Les gousses murent de caroubier.	11
05	Pulpe concassée à droite et graines du caroubier à gauche.	12
06	Sirop de la caroube.	17
07	Le site échantillonné du caroubier dans la ville de Laghouat au bord d'une route du quartier Snober.	21
08	Un caroubier échantillonné dans la ville de Laghouat.	22
09	Schéma représentatif du protocole expérimental d'échantillonnage et codage des caroubes.	23
10	Schéma général du traitement du sirop de caroube.	25
11	Les groupes de gousses de caroubes divisés en 50g.	26
12	Les gousses de caroube sèches cassées en petits morceaux manuellement.	26
13	Le trempage de 50g de caroube dans 1 litre d'eau de puits.	27
14	Ebullition de caroube trempée pendant 08 heures.	27
15	Déshydratations de liquide de caroube jusqu'à ce il atteigne 50ml.	28
16	Conservation et stockage dans des flacons hermétiques de sirop de la caroube.	29
17	Détermination de pH de sirop de caroube par un pH-mètre étalonné.	29
18	Préparation et dilution des sirops de la caroube et mesure la tenure en sucres solubles totaux.	30
19	Détermination de la conductivité électriques des sirops de la caroube par un conductémètre électrique.	30
20	La première et deuxième phase de dosage d'azote totale (la minéralisation et digestion).	32

21	La troisième phase de dosage d'azote total (distillation).	33
22	La titration par l'acide chlorhydrique HCl à 0,2 N.	33
23	Variation de taux des sucres solubles (%) du sirop de la caroube on fonction de couleur (Claire, Foncée).	37
24	Variation des sucres solubles du sirop de la caroube on fonction de taille.	38
25	Relation entre le taux des sucres solubles du sirop de la caroube et l'épaisseur de la caroube.	38
26	Relation entre les sucres solubles du sirop de la caroube et la conductivité électrique.	39
27	Variation du taux de protéines dans le sirop des caroubes en fonction de couleur des gousses.	40
28	Variation du taux de protéines dans le sirop des caroubes selon la catégorie de taille des gousses.	40
29	Relation entre le taux des protéines dans le sirop avec l'épaisseur de la caroube.	41
30	Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de couleur.	41
31	Variation de la densité sirop de la caroube en fonction de taille.	42
32	Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de l'épaisseur des gousses.	42

Indexe des tableaux

Tableau	Titre	Page
01	Classification taxonomique du genre Ceratonia.	5
02	Superficie récoltée, rendement et production de la caroube dans le monde et en Algérie.	8
03	Top 10 pays producteurs de la caroube dans le monde pour l'année 2018.	9
04	Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année 2009.	9
05	Composition chimique et minérale de la pulpe de la caroube.	15
06	Composition chimique et minérale de la graine de la caroube.	15
07	La composition nutritionnelle de sirop de caroube.	19
08	Les moyennes mensuelles des précipitations, des températures et de l'humidité de la région de Laghouat entre 2009-2018.	21
09	Description statistique des paramètres phénotypiques des gousses de caroube de la région de Laghouat.	36
10	Description statistique des paramètres physico-chimiques de sirop des gousses de caroube de la région de Laghouat.	37
11	Paramètres morphologiques des gousses de caroube de différents pays.	43
12	Paramètres physico-chimiques des sirops de caroube de différents pays.	46

Sommaire

Dédicaces

Remerciements

Liste des abréviations.....	i
Liste des tableaux.....	ii
Liste des figures.....	iii

Introduction

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

Partie bibliographique

1. Le Caroubier.....	4
1.1. Taxonomie.....	4
1.2. Biologie	5
1.3. Origine et répartition géographique du caroubier.....	5
1.3.1. Origine du caroubier	5
1.2.2. Répartition géographique dans le monde.....	6
1.3.3. Distribution géographique en Algérie.....	6
1.4. Récolte et production du caroubier.....	7
1.5. Variétés de la caroube en Algérie.....	10
2. Les gousses du caroubier	10
2.1. Présentation des gousses du caroubier.....	10
2.2. Graines de caroube	11
2.3. Intérêts et utilisation du caroubier	12
2.3.1. En industrie agro-alimentaire	12
2.3.2. En alimentation pharmaceutique	13

2.3.3. En aliment du bétail.....	14
2.4. Composition chimique du caroubier.....	14
2.5. La farine de la caroube	16
2.5.1. Farine de gousses.....	16
2.5.2. Farine de germe	16
3. Sirop du caroubier	17
3.1. Présentation de sirop de la caroube	17
3.2. Méthode de préparation	18
3.3. Utilisation	18
3.4. Valeur nutritive de sirop de la caroube.....	18

Matériel et méthode

1. Présentation de la région de Laghouat	20
1.1. Situation géographique	20
1.2. Sols	20
1.3. Climat	20
2. Présentation du site échantillonné	21
3. Méthodologie.....	22
3.1. Echantillonnage	22
4. Paramètres et analyses au laboratoire	24
4.1. Paramètres morpho-métriques.....	24
4.1.1. Longueur totale	24
4.1.2. Longueur d'arc.....	24
4.1.3. Largeur.....	24
4.1.4 Epaisseur.....	24
4.1.5. Indice de forme (indice de longueur)	24
4.1.6 . La masse.....	24
4.2. Préparation de sirop de caroube et conditionnement.....	25

4.3. Les analyses physico-chimiques et biochimiques	29
4.3.1. pH.....	29
4.3.3. Conductivité électrique	28
4.3.2. Teneur en sucres solubles totaux	30
4.3.4. Densité.....	31
4.3.5. Protéines totales	31
5. Analyses statistiques.....	34

Résultats

1. Description des paramètres alimentaire.....	35
1.1. Description statistique des paramètres phénotypiques	35
1.1.1. La masse des gousses de la caroube (MA)	35
1.1.2. Longueur total des gousses de la caroube (LT)	35
1.1.3. Largeur des gousses de la caroube (LR)	35
1.1.4. Epaisseur des gousses de la caroube (EP).....	35
1.1.5. Longueur d'arc des gousses de la caroube (LA).....	35
1.1.6. Indice de taille des gousses de la caroube (IT)	35
1.2. Description statistique de paramètres physico-chimiques.....	36
1.2.1. Densité (DN).....	36
1.2.1. Conductivité électrique (CE)	36
1.2.2. pH.....	36
1.2.3. Sucres solubles (SS).....	36
1.2.3. Protéines totales (PR).....	36
2. Variation des indicateurs de qualité avec les paramètres phénotypiques.....	37
2.1. Variation du taux de sucres solubles	37
2.1.1. Avec la couleur	37
2.1.2. Avec la catégorie de taille.....	38
2.2. Variation du taux des protéines	39

2.2.1. Avec la couleur	39
2.2.2. Avec la catégorie de taille	40
2.3. Variation de la densité du sirop de la caroube	41
2.3.1. Avec la couleur	41
2.2.3. Avec la catégorie de taille	42

Discussion

Discussion.....	43
-----------------	----

Conclusion

Conclusion.....	47
-----------------	----

Références bibliographiques

Références bibliographiques	49
-----------------------------------	----

Résumé

Introduction

Le caroubier *Ceratonia siliqua* L., de la famille des Caesalpiniaceae, de l'ordre des Rosales, est une espèce rustique, originaire des zones arides et semi arides de la méditerranée et de la péninsule arabique. C'est un arbuste dioïque à feuilles persistantes et de croissance lente (Biner et al., 2007 ; Bouzouita et al., 2007). C'est une essence thermophile cultivée en climat méditerranéen, mais originaire des pays arabes (Petit et al., 1995). On le retrouve dans la région méditerranéenne, principalement en Espagne, en Italie, en Grèce, au Portugal et au Maroc (Biner et al., 2007 ; Dakia et al., 2008). Le caroubier présente une bonne résistance à la sécheresse, mais il est sensible au froid (Biner et al., 2007). Il peut atteindre une taille allant de 8 à 15 m et vivre jusqu'à 500 ans. Cette essence est souvent utilisée pour lutter contre la déforestation et la désertification, en limitant l'érosion des sols (Correia et al., 2005).

En Algérie, le caroubier reste très négligé et n'a pas encore eu la place qu'il mérite dans les programmes de reboisement et ce, malgré les retombées socio-économiques que cette plante peut avoir à l'échelle nationale et surtout régionale. Les utilisations de *Ceratonia siliqua* sont nombreuses et sa valeur fourragère peut contribuer à l'amélioration des potentialités pastorales du pays. L'intérêt économique des fruits est incontestable et explique la culture en irriguée du caroubier dans plusieurs pays méditerranéens, notamment en Espagne et en Grèce. En outre, cette essence assure la subsistance et la stabilisation de la population rurale.

Le caroubier présente une importance économique considérable, puisque ses gousses qui sont plus riches en sucre que la canne à sucre et la betterave sucrière. Elles sont utilisées en industrie alimentaire et pharmacologique (NAS, 1979 ; Batlle, 1997 ; Markis et Kefalas, 2004). Ainsi, sa valeur commerciale a été récemment remarquée et appréciée créant ainsi un nouvel intérêt pour la plantation de caroubiers (Sidina et al., 2009 ; Yousif et Alghzawi, 2000). L'intérêt de planter les caroubiers a été augmenté dans les régions méditerranéennes en raison du développement de l'industrie alimentaire et l'augmentation de la demande pour les produits à base de caroube (Gubbuk et al., 2010).

Toutes les composantes de l'arbre (feuillage, fleur, fruit, bois, écorce, racine) sont utiles et ont de la valeur dans plusieurs domaines en plus de sa valeur ornementale et paysagère. Ainsi, il est considéré comme l'un des arbres fruitiers et forestiers qui représente le plus grand potentiel de valorisation.

Le caroubier possède d'énormes utilisations alimentaires comme la production du miel issu des fleurs de caroube (Hariri et *al.*, 2009). La poudre de caroube tirée des gousses est un édulcorant naturel, qui a la saveur et l'apparence semblable du chocolat (Bengoechea, 2008).

Par ailleurs, la pulpe est très utilisée en industrie agroalimentaire et pharmacologique, notamment en alimentation diététique comme anti-diarrhéique. Sa richesse en composés phénoliques est à l'origine de ses remarquables propriétés antioxydant (Hariri et *al.*, 2009). Elle est très riche en sucres (40-60%) en particulier, saccharose (27-40%), fructose (3-8%) et glucose (3-5%) mais pauvre en lipides (0.4-0.6%) ou protéines (2-6%) (Leroy, 1929 ; Avallone et *al.*, 1997). Elle présente également une teneur très élevée en fibres (27-50%) et une quantité non négligeable de tanins (Saura-Calixto, 1988).

Le sirop de caroube ou mélasse est un aliment liquide dont les caractéristiques chimiques et physiques sont importantes pour le processus de production. Le sirop de caroube est un produit alimentaire traditionnel couramment consommé comme petit-déjeuner en Turquie et dans les pays du Moyen-Orient (Akbulut et *al.*, 2008).

Le sirop de caroube est un liquide épais fabriqué en trempant de la pulpe de caroube moulue dans de l'eau et réduire le liquide extrait par ébullition (Petit et Pinilla, 1995). Les opérations de production de cette mélasse varient selon l'origine des fruits, cependant, le principe consiste à augmenter le total des solides solubles jusqu'à un niveau souhaité (Yoğurtçu et Kamaşlı, 2006).

Le sirop de caroube contient principalement des quantités de sucres naturels (50–80%), certains minéraux (Fer, Phosphore, Calcium et Potassium), ainsi que les acides organiques. Par conséquent, un tel produit pourrait être considéré comme des aliments naturels, énergétiques et sains (Toker, 2013).

La production de sirop de caroube représente une transformation d'un fruit intéressant à l'industrie agroalimentaire car elle détermine ses caractéristiques de qualité (saveur, couleur, arôme, apparence et sensation en bouche), de sorte que le sirop de caroube puisse être utilisé comme ingrédient dans de nombreuses formulations alimentaires telles que les crèmes glacées, sirops de fruits, gelées et boissons aux jus de fruits (Maskan, 2006).

En outre, les paramètres biochimiques de sirop de caroube peuvent variées avec les caractéristiques morpho-métriques des gousses de caroube, de ce fait la taille la couleur et

l'épaisseur peuvent être utilisées comme indicateur pour apprécier la qualité de sirop et pour trier les meilleurs gousses selon la demande.

De par le multiple usage de sirop de caroube comme additifs alimentaire, l'industrie agroalimentaire exige du sirop de déférente qualité (sirop dense ou pas, sucré ou riche aux protéines). Les paramètres morpho métriques peut indiquer la tenure de sirop on ces éléments.

L'objectif de ce travail est l'utilisation des paramètres phénotypiques (taille et couleur) comme indicateur de qualité dans les opérations de tri des gousses destinées à la fabrication du sirop selon la demande de l'industrie Agro-alimentaire notamment comme édulcorant naturel (taux de sucre) et épaississent (taux des protéines).

Partie
Bibliographique

1. Le Caroubier

Le caroubier (*Ceratonia siliqua*) est un arbre appartenant à la famille des Fabacées (Fig. 1). Originaire du Moyen-Orient, il se caractérise par une importance écologique, industrielle et ornementale. Cette fabacée est connue par ses vertus médicinales et thérapeutiques, très intéressantes vu les activités pharmacologiques des composés photochimiques présents dans les extraits biologiques de la plante (Kaderi et *al.*, 2014).



Figure 1 : Arbre de caroubier (*Ceratonia siliqua*) au bord d'une route de la ville de Laghouat (Photographie personnelle, 2021).

1.1. Taxonomie

Le mot "caroubier" vient de l'Arabe el Kharoube, tasiliroua ou tikida en Berbère, caroubier en Français, et carob tree en anglais. Il est aussi appelé pain de saint Jean-Baptiste, figuier d'Egypte ou fève de pythagore (Sbay, 2008).

Tableau 1 : Classification taxonomique du genre *Ceratonia* (Sbay, 2008).

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliosida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Rosales
Famille	Legumineuses
Sous-famille	Caesalpinioideae
Sous-tribu	Ceratoninae
Genre	<i>Ceratonia</i>

1.2. Biologie

Le caroubier est un arbre ou arbuste sclérophylle, sempervirent, qui peut atteindre 7 à 20 m de hauteur et une circonférence à la base du tronc de 2 à 3m (Fig. 1). 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. Le caroubier peut vivre jusqu'à 200 ans (Ait Chitt *et al.*, 2007).

C'est une espèce dioïque dont les fleurs sont initialement bisexuelles puis deviennent habituellement unisexuées au cours du développement floral (Thomas et Metha, 1983).

Ce rapport est modifié par greffage et bouturage (Gharnit *et al.*, 2004) et il existe quelques formes hermaphrodites (Romano *et al.*, 2002).

1.3. Origine et répartition géographique du caroubier

1.3.1. Origine du caroubier

Le caroubier dont l'origine semble être l'Est de la méditerranée est domestiqué depuis le néolithique 4000 ans avant J.C, et sa culture extensive date au moins de 2000 ans avant J.C. Il était connu dans le proche Orient et les îles de la Méditerranée. En Egypte les pharaons ont utilisé la farine du fruit pour rigidifier les bandelettes des momies (XVIIe Siècle avant J.C). Le caroubier a d'abord été propagé par les grecques, puis par les Arabes et les Berbères de l'Afrique du Nord, en Grèce, en Italie, en Espagne et au Portugal, ensuite il a été introduit en Amérique du Sud, du Nord et en Australie par les Espagnols, actuellement le caroubier se trouve aussi aux Philippines, en Iran, en Afrique du sud et en Inde (Berrougi, 2007).

1.3.2. Répartition géographique dans le monde

Originaire du Moyen-Orient, le caroubier est aujourd'hui rependu dans tout le bassin méditerranéen. On le rencontre principalement en Espagne, Portugal, Maroc, Grèce, Italie, Turquie, Liban, Algérie, Tunisie, Egypte, et Chypre. Ces dernières années le caroubier a été également introduite en Australie, en Afrique du Sud, aux Etats-Unis, en Inde et en Amérique de sud (Tous et *al.*, 1996 ; Sbay, 2008). Le centre d'origine et la distribution géographique du caroubier dans le monde sont représentés dans la Figure 2.

Le caroubier a été introduit en succès dans de nombreux autres pays à climats chauds et semi-arides principalement aux Etats-Unis (Floride, l'Arizona et Californie), l'Australie, l'Argentine, le Chili, le Mexique et l'Afrique du Sud (Battle et Tous ; 1997).

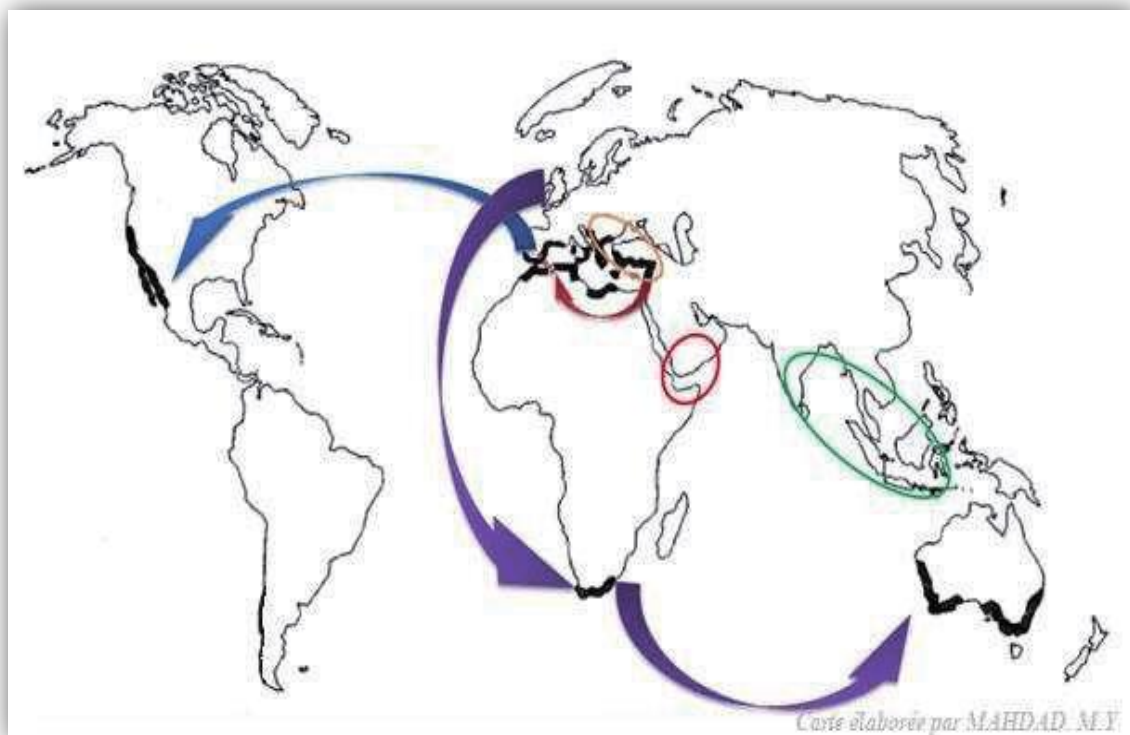


Figure 2 : Centre d'origine et distribution du caroubier dans le monde (les cercles représentent les différentes hypothèses qu'existent sur le centre d'origine de *C. siliqua*. Les flèches symbolisent la distribution de l'espèce dans le monde) (Mahdad, 2013).

1.3.3. Distribution géographique en Algérie

Le caroubier est fréquemment cultivé dans l'Atlas Saharien et il est commun dans le Tells (Makhloufi et Boumaza, 2018) (Fig.3). Il pousse principalement dans la partie ord de

l'Algérie. En raison de sa position géographique importante, l'Algérie offre une flore riche et diversifiée avec un grand nombre d'espèces telles que le caroubier qui a toujours été associé aux oliviers, amandiers et lentisques généralement considérés comme des plantes utiles. Le caroubier est connu en Algérie sous les noms de "A kharrouv", "Karrûba", "Taslighoua", "Tikharroubt", "Tikida"(Boublenza et *al.*, 2019).

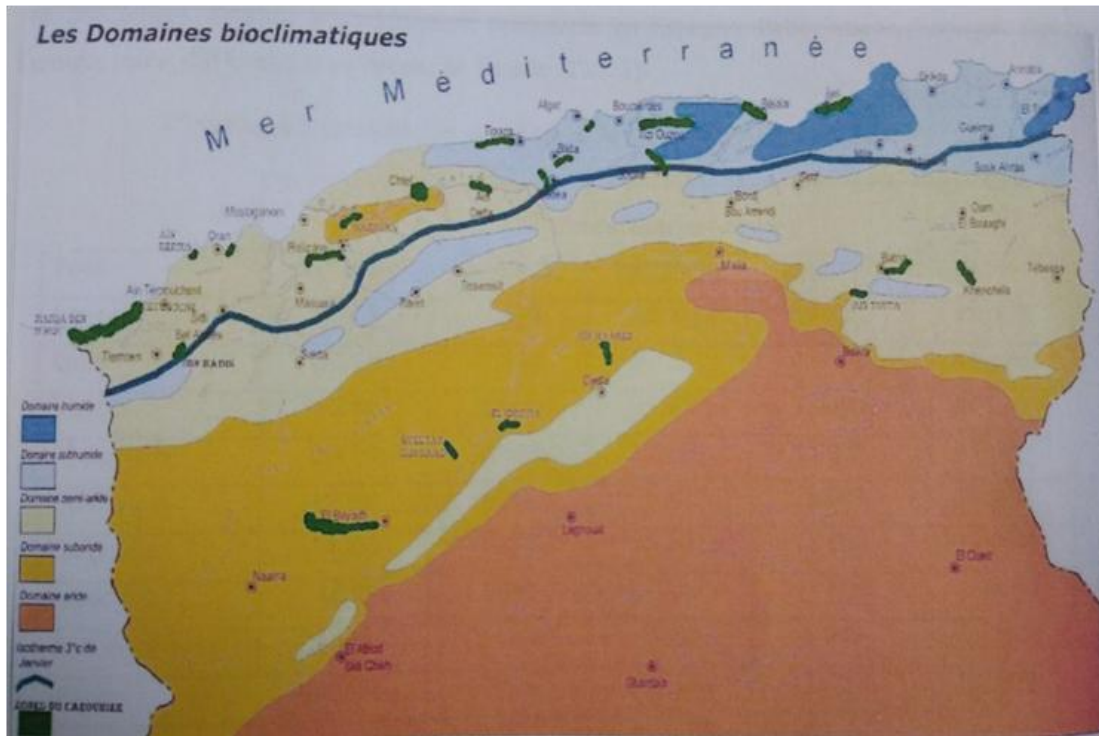


Figure 3 : Répartition du caroubier en Algérie suivant les domaines bioclimatiques (A.N.R.H, 2004).

1.4. Récolte et production du caroubier

La production de caroube est essentiellement concentrée en Espagne, au Maroc, en Italie au Portugal, en Grèce, en Turquie, en Chypre et en Algérie. Par ailleurs, de faibles productions ont été enregistrées en Liban, en Tunisie, en Australie et en Afrique du Sud (Benmahiole et *al.*, 2011).

Selon les statistiques de la FAO (2020), la production mondiale totale de la caroube est estimée à 144.960 tonnes en 2018 soit une augmentation de 6,18 par rapport à l'année 2017 (**Tab.2**). La superficie récoltée est de 42.866 ha avec un rendement annuel de 33.817 hg/ha pour l'année 2018.

En Algérie, le caroubier occupe une superficie de 789 ha produisant 2880 tonnes avec un rendement de 36.507 hg/ha pour l'année 2018. L'Algérie a enregistrée une diminution de 40,35 % par rapport à l'année précédente (FAO, 2020).

Tableau 2 : Superficie récoltée, rendement et production de la caroube dans le monde et en Algérie (FAOSTAT, 2020).

Zone	Élément	Année	Unité	Valeur
Algérie	Superficie récoltée	2016	Ha	814
		2017		827
		2018		789
	Rendement	2016	T/ha	4,0025
		2017		4,8861
		2018		3,6507
	Production	2016	Tonnes	3257
		2017		4042
		2018		2880
Monde	Superficie récoltée	2016	Ha	41109
		2017		40873
		2018		42866
	Rendement	2016	T/ha	3,2472
		2017		3,3276
		2018		3,3817
	Production	2016	tonnes	133489
		2017		136008
		2018		144960

Selon les données de l'Organisation des Nation unies pour l'alimentation et l'agriculture (FAOSTAT, 2020), La production mondiale de la caroube est estimée à 144960 tonnes. Elle est essentiellement concentrée en Portugal, Italie, Maroc, Turquie, Grèce, suivie de Chypre, Algérie, Espagne, Liban, et en dernier la Tunisie (Tab.3).

Tableau 3: Top 10 pays producteurs de la caroube dans le monde pour l'année 2018
(FAOSTAT, 2018).

Pays	Production en tonnes (2018)
Portugal	41734
Italie	36951
Maroc	21974
Turquie	15506
Grèce	12216
Chypre	7460
Algérie	2880
Espagne	2268
Liban	1906
Tunisie	812
Monde	144960

Tableau 4 : Surface cultivée, production et rendement de la caroube en Algérie, année 2009 (Dahim et Nait).

Wilaya	Surface cultivée (ha)	Production (qx)
Bejaia	645	18417
Tipaza	105	5600
Blida	100	8050
Boumerdes	32	1080
Bouira	22	144
Mila	10	80
Tlemcen	5	100
B.B. Arreridj	4	20
Ain-Defla	2	300
Mascara	1	30
Tizi-Ouzou	1	20
Total	927	33841

1.5. Variétés de la caroube en Algérie

Les études morphométriques et chimiques de Boublenza et *al.* (2019) sur dix variétés récoltées dans le nord de l'Algérie ont permis de sélectionner les variétés les plus intéressantes pour les industries agroalimentaires. Ils ont regroupé les différentes variétés en trois groupes ; le premier groupe concerne les populations de Tlemcen, Relizane et Sidi bel Abbes, le deuxième comprend celles de Tipaza et Ain Temouchent, et le troisième celles de Boumerdes et Blida. Les variétés de Mostaganem, Chlef et Bejaia ne sont pas regroupées. Les variations des caractéristiques morphologiques sont influencées par l'environnement et les lieux géographiques ; ces deux paramètres ont un effet sur la qualité des cultivars de caroubiers (Boublenza et *al.*, 2019).

Les deux variétés de Mostaganem et Bejaia produisent un rendement élevé de graines qui sont utilisées pour produire de la gomme de caroube et de la farine de germe de caroube riche en protéines. En revanche, les gousses des caroubiers de Chlef et de Tlemcen ont une pulpe charnue et sont plus riches en sucres ; elles peuvent être valorisées et utilisées pour la production de poudre de caroube. En outre, la plantation de ces variétés de caroube, dont les industries agroalimentaires ont grand besoin, peut constituer une ressource économique importante pour la population rurale (Boublenza et *al.*, 2019).

2. Les gousses du caroubier

2.1. Présentation des gousses du caroubier

La gousse de caroube est principalement composée de deux éléments: la pulpe et les graines qui représentent respectivement, 90% et 10% du poids de la gousse. L'arbre de caroubier commence à produire des gousses à partir de l'âge de 6 ans. Le fruit se développe très lentement nécessitant 9 à 10 mois pour atteindre la maturité (Haddarah, 2013).

La couleur de la gousse de caroube est verte avant d'atteindre la maturité. A maturité, elle devient brune foncée à noire et parfumées. Les gousses sont comestibles et deviennent indéhiscents après maturité. Elle est sinueuse sur les bords, aplatie, droite ou arquée et présente une surface ridée (péricarpe), luisante, comprimée, recourbée ou non suivant les espèces, épaissie aux sutures, de longueur allant de 10 à 30 cm, une largeur variant entre 1,5 et 3,5cm et une épaisseur moyenne de 1 cm (Haddarah, 2013).

Certains auteurs ont rapporté que la gousse du caroubier peut renfermer entre 12 à 16 graines (Tulin et *al.*, 1993; Gharnit, 1997). Ces graines se trouvent à l'intérieur de la gousse dans des petits compartiments du mésocarpe et qui sont séparés par des cloisons pulpeuses. Les graines se caractérisent par une texture très dure, comprimées, ayant la forme ovale oblongue, une couleur brunâtre et brillante, dont la longueur et la largeur varie de 8 à 10 mm et de 7 à 8 mm et de 3 à 5 mm d'épaisseur (Martindale, 1989; Battle et Tous, 1997). (Fig. 4).



Figure 4 : Les gousses mures de caroubier (Photographie personnelle, 2021).

2.2. Graines de caroube

La graine est composée d'antioxydants et de polysaccharides. Elle est utilisée depuis l'antiquité comme mesure des pierres précieuses et semble également, avoir été utilisée par les pharmaciens pour peser leurs ingrédients (le carat) (Battle, 1997). Les graines de caroube sont constituées de trois différentes parties mais fortement liées. Il s'agit, de l'extérieur vers l'intérieur, une enveloppe (cuticule marronne, 30-33%), un endosperme (blanc et translucide, 42-46%) un embryon ou un germe (23-25%) (Andrade et *al.*, 1999; Neukom, 1988; Garnit, 2006).



Figure 5 : Pulpe concassée à droite et graines du caroubier à gauche (Photographie personnelle, 2021).

2.3. Intérêts et utilisation du caroubier

La gousse de caroube, plus riche en sucre que la canne à sucre et la betterave sucrière, est utilisée en industrie alimentaire comme source de sucre (Bahloul et *al.*, 2013).

La gomme de caroube est extraite de l'albumen des graines de (unités de β -D-mannose et de α -D-galactose), issue de l'endosperme, elle constitue le 1/3 du poids total de la graine. Cette gomme est utilisée dans l'agro-alimentaire comme épaississant connu sous le code normalisé E410, la confiserie et aussi dans les préparations alimentaires diététiques, pour diminuer l'apport alimentaire dans le traitement de l'obésité (Kaderi et *al.*, 2014). 100 kg de graines produisent en moyenne 20 kg de gomme pure et sèche (Benmahiole et *al.*, 2011). La gousse du caroubier est une matière première appropriée à la production de bioéthanol, en raison de sa forte teneur en sucre (50 %) et la facilité de son extraction (Sánchez et *al.*, 2010). La farine élaborée à partir de la pulpe peut être utilisée comme ingrédient dans certains aliments, tels que les gâteaux, bonbons, crèmes glacées, boissons, sirops. De plus, elle est utilisée comme substituant du cacao dans la production du chocolat car elle est moins calorifique et ne contient ni caféine ni théobromine (Mahdad, 2013).

2.3.1. En industrie agro-alimentaire

La poudre de la caroube tirée des gousses est un édulcorant naturel, qui a la saveur et l'apparence semblable du chocolat. C'est pourquoi il est souvent utilisé comme substitut du cacao. L'avantage d'utiliser la caroube réside dans le fait que contrairement au chocolat, il ne

contient pas de stimulant puisque il est dépourvu de caféine et de théobromine (Bengoechea, 2008).

La poudre de caroube non torréfié et torréfié comme additif (code E410) ou/ et comme substituts de cacao dans les pates, les barres de céréales, les confiseries au chocolat, les crèmes glacées, les biscuits, les farines lactées, les produits légers et les aliments diététiques (pas de gluten dans la caroube), (Marakis,1996 ; Plowright, 1951 ; Loeb 1989).

Les dérivés alimentaires peuvent être dérivés de la farine de caroube tels que l'extraction du sucre, les sirops de sucre (Petit et Pinillan 1995), la farine de caroube (gousses broyées) est utilisée aussi dans fermentation de l'éthanol pour la fabrication de l'alcool (Roukas, 1993 ; Roukas, 1996).

Les gousses de caroube sont principalement utilisées pour extraire la mélasse ou (débés), qui est obtenue par broyage, trempage dans le l'eau, et par une série de décantation qui permet d'obtenir un jus sucré. Ce jus subit une ébullition pour obtenir ce qu'on appelle la mélasse de caroube. Le tourteau de caroube broyé ou haché est aussi utilisé comme substitue de la tourbe pour les plantes en pépinière (Rishani et Rice, 1988).

Une autre utilisation des caroubes est la fabrication d'un produit laitier artisanal connu sous le nom (mekika). Ce produit est préparé par coagulation du lait avec l'extrait de gousses vertes de caroube (Abi Azar, 2007).

2.3.2. En industrie pharmaceutique

La gomme de caroube est utilisée dans divers produits pharmaceutiques et cosmétiques (comme agent masquant pour inhiber l'odeur ou le goût du produit) (Lakkabe et *al.*, 2018). La pulpe de caroube, obtenue après séparation des graines, constitue une bonne source de fibres alimentaires, de sucres et d'une gamme de composés bioactifs tels que les polyphénols. Les composés bioactifs présents dans cette pulpe se sont révélés bénéfiques pour le contrôle de nombreux problèmes de santé tels que le diabète, les maladies cardiaques et le cancer du côlon en raison de leurs activités antidiabétiques, antioxydantes et anti-inflammatoires (Salih et *al.*, 2020). Les tanins de la caroube présentent d'importantes propriétés anti-diarrhéiques, et sont largement utilisés dans le combat des diarrhées chez les enfant (Lizardo et *al.*, 2002). Les tanins sont probablement responsables de la lutte antibactérienne : sur la base de la teneur en tanins, auxquels l'activité antimicrobienne a été liée, l'extrait de caroube inhibe les germes

Cellvibrio fulvus, *Clostridium cellulosolvens*, *Sporocytophaga myxococcoides*, *Bacillus subtilis* (Ghédira et *al.*, 2019).

La farine du fruit, est employée dans les industries agro-alimentaire et pharmaceutique, principalement contre les troubles gastro-intestinaux (diarrhée). La pulpe est préconisée contre la tuberculose pulmonaire (Benmahiole et *al.*, 2011).

2.3.3. En alimentation de bétail

La pulpe sucrée de la caroube est employée depuis longtemps comme nourriture de bétail à côté d'autres aliments comme la farine d'orge (Kaderi et *al.*, 2014). De par sa richesse en fibres et en polyphénols, la farine de caroube a été utilisée dans l'alimentation du lapin (Ghédira et *al.*, 2019).

Dans la cosmétique, la gomme de caroube est utilisée pour sa capacité à former une solution très visqueuse, à une faible concentration en raison de ses propriétés épaississantes, émulsifiantes et stabilisantes (Batlle et *al.*, 1997 ; Sandolo et *al.*, 2007).

2.4. Composition chimique des gousses de caroube

La composition chimique de la caroube a été bien étudiée (Avallone et *al.*, 1997; Yousif et Alghzawi, 2000 ; Ozcan et *al.*, 2007 ; Ayaz et *al.*, 2009 , Khelifa et *al.*, 2013 ; Oziyci et *al.*, 2014 ; Mahtout et *al.*, 2018 ; Kabouche 2019 ; Tounsi et *al.*, 2019). Elle varie selon les espèces, les conditions de croissance, les périodes de récolte, les propriétés du sol, le climat, l'origine et les paramètres géographiques (Oziyci et *al.*, 2014) mais dépend également du cultivar, la température (Cruz et *al.*, 1993), la sécheresse (Nunes et *al.*, 1992) et la salinité (El-Dengawy et *al.*, 2011). Les principaux paramètres chimiques étudiés de la gousse de caroube sont l'humidité, les cendres, les sucres, les protéines, les acides aminés, les lipides, les minéraux, les vitamines, les polyphénols et les fibres alimentaires (solubles et insolubles).

Tableau 5 : Composition chimique de la pulpe de caroube.

Composant	Valeurs (m±écart-type)	Références
Humidité	10,2±0,13	Khalifa et <i>al.</i> , 2013
Cendres	3 ± 0,05	
Protéines	2,74 ±0,03	
Lipides	1,15 ± 0,07	
Sucres totaux	83,7 ± 2,0	
Saccharose	44 ± 0,74	
Glucose	2,16± 0,09	
Fructose	7,04 ±0,17	
Polyphénols totaux	17 ± 0,5	
Tannins	6,70 ± 0,12	
Fibres	6,90 ±0,06	
Minéraux (mg/100g)		
P	76,22	
K	1003,5	
Ca	268,57	
Mg	96,43	
Fe	2,1	
Zn	0,45	
Valeur calorique (KJ/100g)	284,6± 17,4	Mahtout et <i>al.</i> , 2018

Tableau 6 : Composition chimique de la graine de caroube.

Composant	Valeurs (m±écart-type)	Références
Lipides (%)	2,1 ± 0,01	Fidan et <i>al.</i> , 2020
Acide oléique	45 ± 0,4	
Acide linoléique	32,4 ± 0,30	
Acide palmitique	16,6 ± 0,15	
Acide stéarique	4,7± 0,15	
Protéines (%)	25,7 0,18	
Sucres (%)		
Saccharose	8,1 ± 0,04	
Glucose	2,2 ± 0,01	
Mannose	54 ± 0,50	
Galactose	15,5 ± 0,14	
Polyphénols totaux (mg/g MS)	1,76 ± 0,29	
Flavonoïdes (mg /gMS)	0,30 ± 0,02	
Minéraux (mg/kg MS)		
Ca	8300 ± 30	
Mg	894 ± 3	
Mn	188 ± 1	
Zn	124 ± 0,5	
B	90 ± 0,4	
Fe	71 ±0,2	
Cu	49 ± 0,1	
Valeur énergétique (KJ/g)	17,5	Dakia et <i>al.</i> , 2007.

2.5. La farine de la caroube

2.5.1. Farine de gousses

La farine de gousses est acclamée comme un ingrédient d'une valeur nutritionnelle marquée en raison de ses niveaux élevés de fibres alimentaires(DF) et de composé phénoliques (Owen et *al.*, 2003., Haber et Galensa, 2004).

Cette farine est composée de 48 à 56 % de sucre totaux, 32 à 38% de sucrose, 5 à 6 % de glucose, 5 à 7% de fructose, 18 à 20% de tannins, 18% de polysaccharides non aminés, 0.3 à 0.6% de lipides et 7 % de protéines. Elle contient aussi des acides aminés essentiels, à savoir (par 100g de matière sèche) : Isoleucine 0.209 g, Leucine 0.442g, lysine 0.196g, Méthionine 0.081g, Phénylalanine0.151g, Thréonine 0.271g, Tryptophane 0.048g, Valine 0.446g (Owen et *al.*, 2003.,Herber et Galensa, 2004).

2.5.2. Farine de germe

L'analyse chimique de la farine de germe de caroube a montré la composition suivante : 8.3% humidité, 6.5% de cendre, 6.6% lipides (neutre et polaire) contenant 21% lipides polaires, 54.7% protéines brunes à une valeur énergétique de 17.5 KJ/g. Des acides aminés essentiels sont aussi présents en quantités intéressantes. A l'exception d'une faible teneur en tryptophane, les acides aminés soufrés (cystéine et méthionine) ont été détectés (Darkia et *al.*, 2007).

La farine de germe de caroube contient une Forte teneur en protéines, près de 50% avec une teneur élevée en lysine et d'arginine. Elle est utilisé dans l'alimentation humaine diététique (Daria et *al.*, 2007) ou comme un ingrédient potentiel dans les aliments dérivés des céréales et est conseillée aux personnes souffrant de maladies coeliaque (Feillet et Routlands, 1998). La teneur en protéines de la farine de germe de caroube obtenue à partir de graines est plus élevée que celles observées chez d'autres végétaux, comme la fève (*vicia faba L*), le pois (*Pisumstivum*) et le soja (*Glycine max. Merr*). (Marcone et *al.*, 1998) ont calculé seulement 18.83% ET 34.35% de protéines dans les germes des graines de poids et de soja, respectivement. (Maza et *al.*, 1989) ont déterminé une valeur de 48.9% en protéines pour la farine de germe de caroube dégraissée.

3. Sirop de la caroube

3.1. Présentation de sirop de la caroube

La mélasse de la caroube, ou Dibs el Kharroub, est un sirop brun épais extrait de la pulpe de la gousse très utilisé au Liban comme substitut au sucre raffiné. Le sirop de caroube est le résidu liquide laissé après sa préparation par évaporation. Elle contient au moins 64% de glucides. Elle peut être incorporée dans des préparations culinaires ou se consommer comme dessert.

C'est un produit populaire car il est local, naturel et son prix est très accessible. La mélasse est un aliment liquide ou ses caractérisations rhéologiques, chimiques et les propriétés physiques sont importantes pour processus de production (Karaman et Kaycier, 2011).

La production de sirop de la caroube représente une transformation des fruits intéressante dans l'industrie alimentaire car il détermine ses caractéristiques de qualité (saveur, couleur, arôme, apparence et sensation en bouche), de sorte que sirop de la caroube puisse être utilisée comme ingrédient dans de nombreuses formulations alimentaires telles que les glaces, sirops de fruits, gelées et boissons aux jus de fruits (Boumegouas, 2020) (Fig. 6).

La fabrication de cette mélasse suit un procédé d'extraction liquide/solide à l'eau, suivi par une concentration par évaporation jusqu'à l'obtention d'un sirop brun visqueux.



Figure 6 : Sirop de la caroube (Photographie personnelle, 2021).

3.2. Méthode de préparation

Selon Diaz (1997). Le procédé d'obtention du sirop de la caroube naturelle sucres comprend les étapes suivantes:

1. Le fruit de la caroube est soumis à des opérations pour séparer les éléments étrangers, il est lavé dans l'eau et séchée par un courant d'air puis coupées les gousses suffisamment pour libérer la graine.

2. Le matériau découpé obtenu à l'étape précédente est soumis à une opération de séparation-tamassage pour séparer d'une part les graines et d'autre part la pulpe. La pulpe coupée à la granulométrie appropriée, est soumis à un processus d'extraction continu dans lequel la pulpe est mise en contact avec de l'eau de diffusion pour temps minimum nécessaire, afin d'éviter la prolifération de microorganismes pour obtenir un brut jus, avec une concentration comprise entre 30 et 50 ° Brix.

3. Le jus brut obtenu lors du processus d'extraction est filtré pour éliminer les particules de caroube en suspension puis évaporé et concentré à partir d'un concentration de 30- 50 °Brix à la sortie du extraction stade à une concentration d'environ 60 ° Brix.

3.3. Utilisation

Le sirop de la caroube est un sirop épais sucré extrait de la pulpe de la gousse du caroubier. Le terme « mélasse » est le plus souvent employé à cause de la couleur foncé du sirop. Le sirop de la caroube, comme les autres sirops de fruits (sirop de datte), se mélange avec de la crème de sésame (Tahini) à parts égales, se mange avec du pain au petit déjeuner ou est utilisée comme condiment dans les plats cuisinés (Basan, 2007). Le sirop de caroube peut contenir des sucres (glucose et fructose). Donc, c'est un aliment important, surtout pour les bébés et les enfants qui ont besoin d'une énergie urgente (Toker, 2013).

La mélasse peut être utilisée comme ingrédient dans de nombreuses formulations telles que les glaces, sirop de fruits, gelées et boissons aux jus de fruits (Maskan, 2016).

3.4. Valeur nutritive de sirop de caroube

La valeur nutritive de sirop de la caroube (Rub El Kharroub) est donnée dans le tableau 7.

Tableau 7: Les compositions en éléments nutritives de sirop de la caroube (Tounsi et *al.*, 2020).

Sirop de caroube	Fait maison	Commerciale
Sucres soluble (g/100g)	51,50	50,81
Sucre réduction (g/100g)	21,45	20,80
Saccharose (g/100g)	30,05	30,01
Minéraux (g/100g)	2,97	3,06
Potassium (mg/100g)	1885,65	1927,84
Sodium (mg/100g)	224,52	232,44
Magnésium (mg/100g)	260,24	270,91
Calcium (mg/100g)	355,26	363,88
Phosphoreuse (mg/100g)	155,0	150,45
Fer (mg/100g)	3,28	3,41
Zinc (mg/100g)	1,89	1,71
Cuivre (mg/100g)	0,18	0,21
Manganèse (mg/100g)	0,22	0,28
Poly phénols (mgGAE/100g)	1597,75	1674,27
Protéines (g/100g)	0,28	0,32
Lipides (g/100g)	ND	ND

*Matériel et
méthodes*

1. Présentation de la région de Laghouat

1.1. Situation géographique

La commune de Laghouat se situe dans le coté nord sur le pied de la chaîne montagneuse de l'atlas saharien, elle s'étend sur le plateau saharien à une moyenne hauteur de 760 mètre au-dessus du niveau de la mer ; cette nature mixte entre les hautes d'un coté et les basses terre de l'autre, constituant ainsi, une liaison et une zone tampon entre le Nord et le sud du pays (Pouget, 1980).

1.2. Sols

Les sols de Laghouat ont une texture légère à teneur faible en matière organique présentant ainsi des contraintes pour l'agriculture, recouverts dans les espaces non cultivés de végétation d'alfa et d'armoïse. Au Sud, les sols sont souvent sableux et dunaires. Au Nord dans les bas-fonds, ils sont plus structurés et plus lourds avec une proportion d'argile qui les constitue (C.D.F, 1998).

1.3. Climat

D'après les données climatiques recueillies auprès de l'Office National de la Météorologie (ONM) située à Laghouat, sur une période de 10 ans (2009-2018), la région de Laghouat est dominée par un climat de type semi-aride et aride. Caractérisée par des étés très chauds et aride ; les hivers sont long ; sec et venteux et le climat est dégagé dans l'ensemble tout au long de l'année.

Dans la région de Laghouat les températures sont très fortes en été et basses en hiver. Aussi les températures moyennes annuelles de région oscillent entre 12.91°C et 25.35°C (2009-2018). Le moins le plus chaud est Juillet avec une moyenne de 31.87°C, par contre le moins le plus froid est Janvier avec une moyenne de 8.86°C (Tab.8).

Tableau 8 : les moyennes mensuelles des précipitations, des températures et de l'humidité de la région de Laghouat entre 2009-2018 (ONM, 2019).

Paramètres	Jan.	Fev.	Mar.	Avr.	Mai.	Jui.	Juit.	Aout.	Sep.	Oct.	Nov.	Déc.	Cumul annuel	Moy annuel
P (mm)	7,4	8,3	5,9	5,2	10,5	8,1	4,6	14,6	26,9	16,0	9,8	7,4	124,6	-
T (°C)	8,9	9,5	13,4	17,8	22,5	27,6	31,9	30,5	24,9	20,8	12,8	9,3	-	19,1
H (%)	57,8	51,3	45,2	38,8	33,9	31,1	22,9	28,2	38,8	48,5	53,4	58,2	-	42,3

2. Présentation du site échantillonné

L'échantillonnage a été effectué au bord d'une route de la ville de Laghouat, plantée dans 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 Earth, nous avons présenté l'emplacement géographique du site échantillonné dans la ville de Laghouat en plus des coordonnées géographiques de latitude et de longitude dans la figure suivante (Fig. 7).

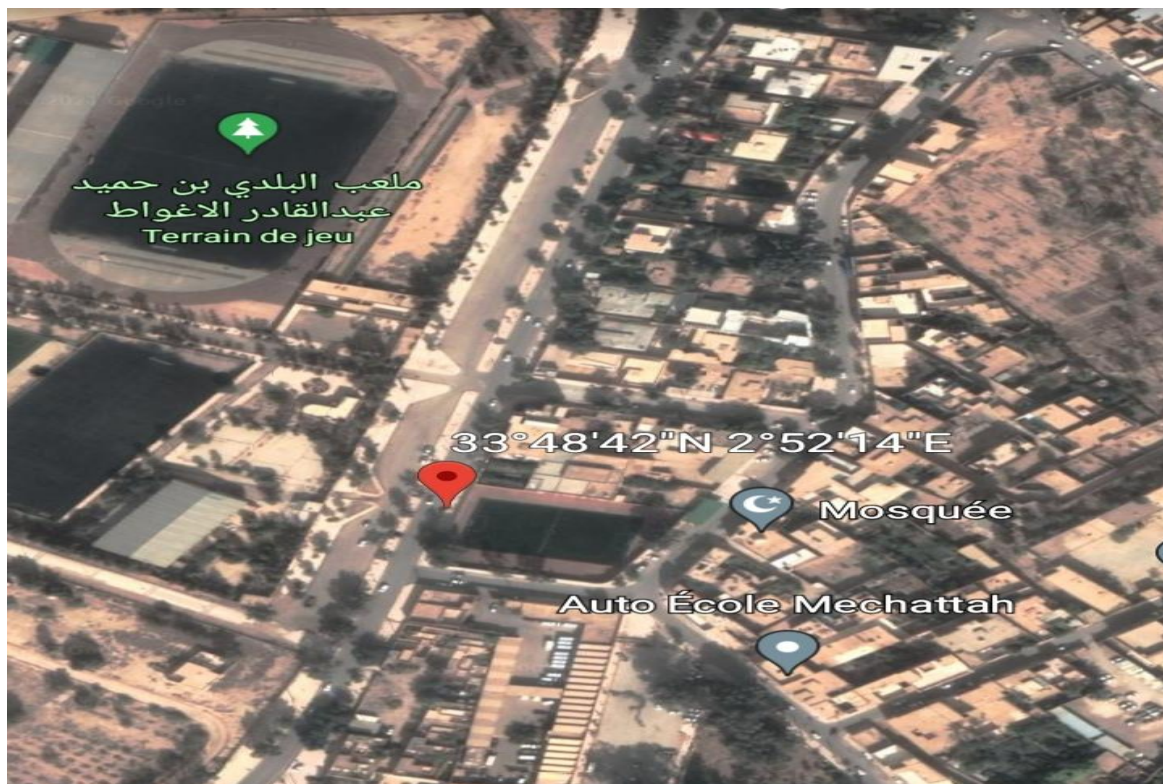


Figure 7: Le site échantillonné du caroubier dans la ville de Laghouat au bord d'une route du quartier Snober (Google Earth, 2021).

3. Méthodologie

3.1. Echantillonnage

Environ 20kg 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). Après, chaque gousse a été codée (Fig.9).

Après avoir séparé les gousses de caroubes en groupes, leur emballage dans des sacs a été effectué pour chaque groupe pour faire les mesures morpho-métriques (Fig. 8).



Figure 8 : Un caroubier échantillonné dans la ville de Laghouat (Photographie personnelle, 2021).

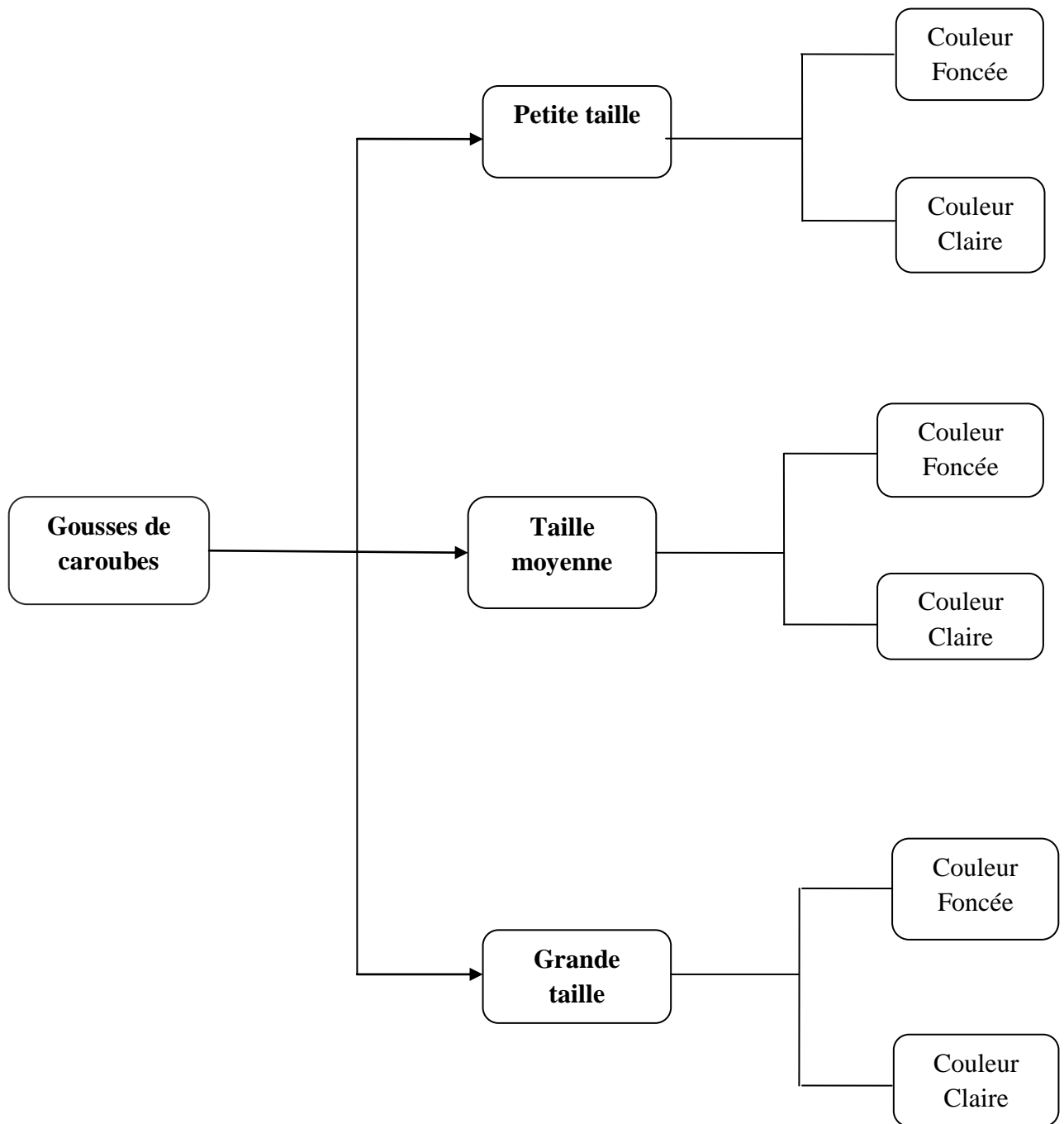


Figure 9: Schéma représentatif du protocole expérimental d'échantillonnage et codage des caroubes.

4. Paramètres et analyses au laboratoire

4.1. Paramètres morpho-métriques

Nous avons séparé les gousses de caroube avant d'effectuer les mesures morphométriques, selon la taille et la couleur en 6 groupes, chaque groupe contenant 50 gousses, puis nous codons pour faire les mesures de la longueur totale, longueur d'arc, largeur, épaisseur, indice de forme et la masse.

4.1.1. Longueur totale

Longueur totale (cm) de la gousse est déterminée à l'aide d'un mètre ruban, elle représente la distance totale courbée entre les deux extrémités de la gousse.

4.1.2. Longueur d'arc

La longueur d'arc (cm) représente la distance directe entre les deux extrémités de la gousse, 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 (cm) a été déterminée dans le centre des gousses de caroubes, mesurée par un pied à coulisse.

4.1.5. Indice de forme (indice de longueur)

Selon Sallouh et Nouioui (2019). Indice de longueur est déterminée par la relation suivant :

$$\text{Indice de longueur} = (\text{Longueur d'arc} / \text{Longueur total}) \times 100.$$

4.1.6. La masse

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

4.2. Préparation de sirop de la caroube et conditionnement

Afin d'obtenir du sirop de la caroube, nous faisons plusieurs étapes selon la préparation de Tounsi et *al.* (2019) (Fig.10), pour obtenir des résultats satisfaisants, donc nous respectons le temps et l'ordre spécifié pour chaque étape selon le schéma suivant :

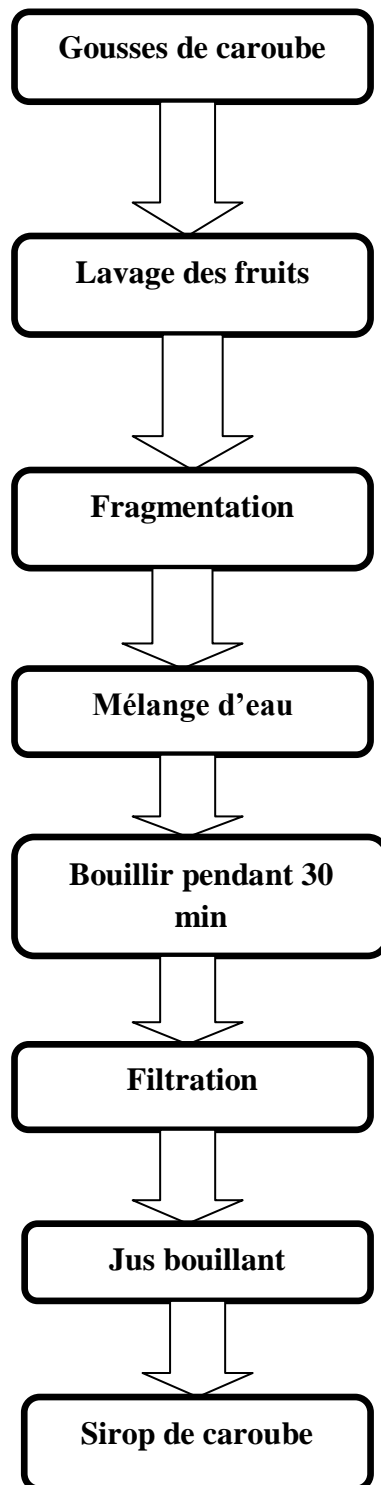


Figure 10 : Schéma général du traitement du sirop de caroube (Tounsi et *al.*, 2019).

- **Rinçage**

Les gousses de caroubes ont été rincées puis séchées et divisées par groupes de 50g, après ont été stockées dans des sacs en papier après cela, nous passons à l'étape suivante (Fig. 11).



Figure 11: Les groupes de gousses de caroubes divisés en 50g.

- **Fragmentation**

Les gousses ont été, par la suite, cassées les gousses de caroubes qui sont sèches en petite morceaux manuellement à laide d'un pilon dans un mortier en cuivre (Fig.12).

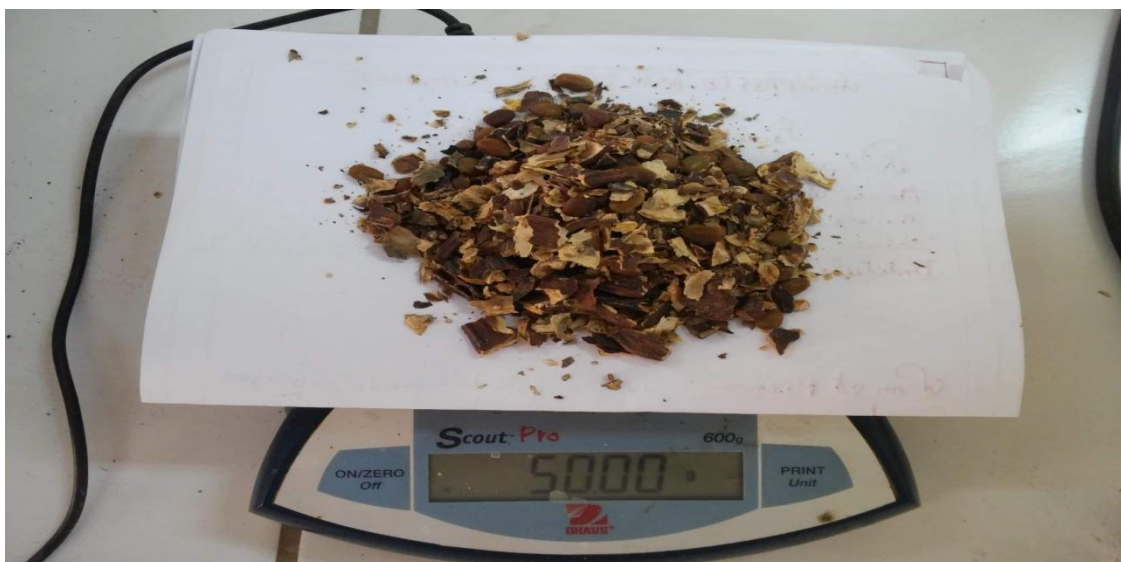


Figure 12 : Les gousses de caroube sèches cassées en petits morceaux manuellement.

- **Trempage**

Trempées chaque 50g des gousses de caroubes sèches et cassées dans un erlenmayer contenant 1 litre d'eau de puits pendant 24 heures (Fig.13).



Figure 13 : Le trempage de 50g de caroube dans 1 litre d'eau de puits.

- **Bouillage**

À cette étape, un trépied et une grille en fer ont été utilisés comme support. Aussi, pour faire bouillir la caroube à petit feu, un bec bunsen a été utilisé comme source de chaleur. La durée de bouillage a été de 8 heures (Fig. 14).



Figure 14 : Ebullition de caroube trempée pendant 08 heures.

- **Séparation**

À cette étape, l'extrait liquide de la caroube a été séparé, puis filtré des particules de la caroube par un filtre en plastique.

- **Concentration**

Dans cette étape, le même dispositif de bouillage (bec bunsen et trépied) a été utilisé pour déshydrater le liquide de la caroube.

Après, le liquide de caroube a été bouilli à petit feu jusqu'à l'obtention de 50ml de sirop de la caroube (Fig.15).



Figure 15: 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 hermétiques à température ambiante (Fig.16).



Figure 16: Conservation et stockage dans des flacons hermétiques de sirop de la caroube.

4.3. Les analyses physico-chimiques et biochimiques

Pour déterminer la composition physico-chimique des gousses de caroube nous avons effectué des analyses de laboratoire sur le sirop qui conservée dans les flacons.

4.3.1. pH

Pour déterminé le pH de sirop de caroube, une solution de sirop à 40% a été préparée dans un bécher, ensuite, la mesure de pH de cette solution a l'aide d'un pH-mètre étalonné (Fig. 17).

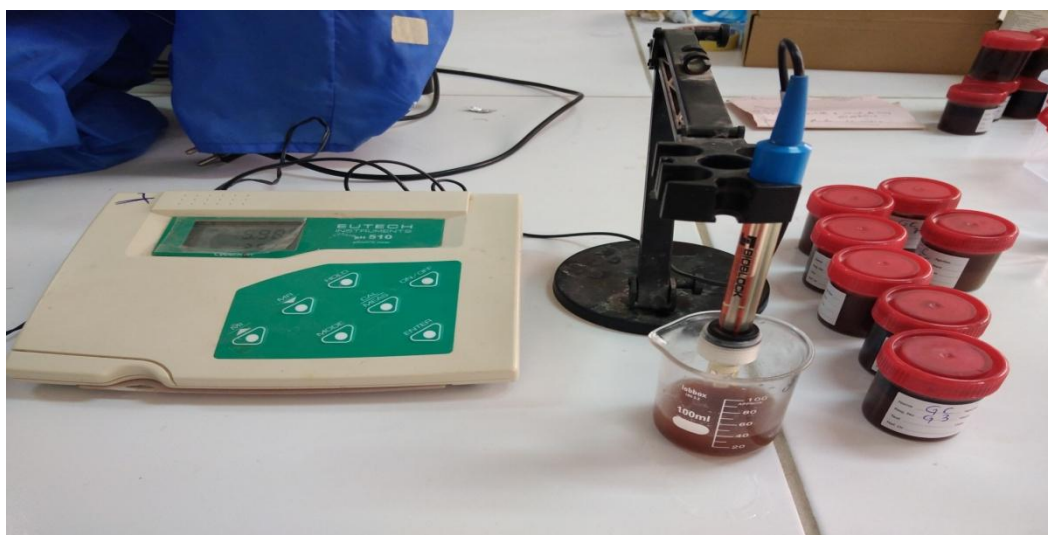


Figure 17: Détermination de pH de sirop de caroube par un pH-mètre étalonné.

4.3.2. Conductivité électrique

Pour déterminer la conductivité électrique de sirop de la caroube, préparé une solution à 10%. Où on ajoute 10ml d'eau distillée à 1ml de sirop, puis homogénéisé la solution. En fin, mesurée la conductivité électrique par un conductimètre électrique (Fig. 19).

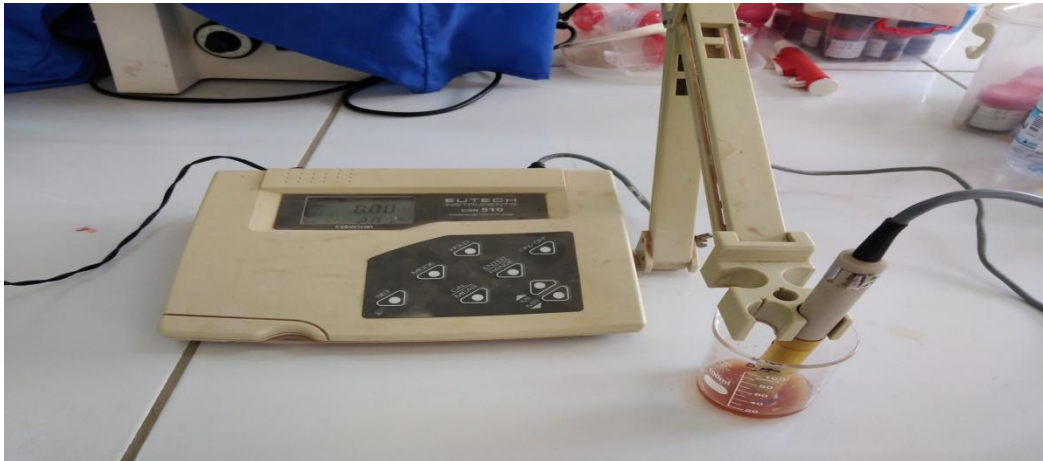


Figure 18 : Détermination de la conductivité électrique des sirops de la caroube par un conductimètre électrique.

4.3.3. Teneur en sucres solubles totaux

Pour déterminer la teneur en sucres solubles totaux de sirop de la caroube (%) une solution de caroube a été préparée par dilution à 4% de sirop. Puis on fait la lecture directement par refractomètre étalonné (Fig.18).



Figure 19: Préparation et dilution des sirops de la caroube et mesure la teneur en sucres solubles totaux.

4.3.4. Densité

La détermination de la densité de chaque sirop de la caroube a été appliquée selon la fonction suivante :

$$\text{Densité} = M/V$$

M : la masse du sirop (g).

V : le volume du récipient (ml).

4.3.5. Protéines totales

Pour déterminer la teneur des protéines dans un échantillon, on procède à un dosage de l'azote total par la méthode de Kjeldahl (AOAC, 1992). Cette dernière s'effectue en trois phases :

- **La minéralisation :**

Dans un matras (tube de digestion) on introduit :

- ❖ 2 ml de sirop de la caroube.
- ❖ 7 g de Sulfate de potassium anhydre (K_2SO_4).
- ❖ 5 ml d'eau oxygénée (H_2O_2).
- ❖ 7 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4).

- **La digestion**

Nous mettons les tubes de digestions avec le support pour chauffés à $400^\circ C$ sous hôte pendant 30 minutes, ensuite laisser refroidir, après en ajoute 50ml d'eau distillée dans chaque tube (Fig.20).

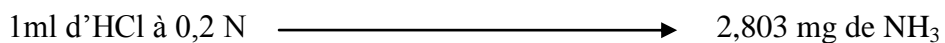
En ce moment en préparé l'Acide borique (H_3BO), l'hydroxyde de sodium ($NaOH$) et l'acide chlorhydrique (HCl).



Figure 20 : La première et deuxième phase de dosage d'azote totale (la minéralisation et digestion).

- **Distillation**

Cette phase s'effectué par l'ajoute de 50ml de la soude NaOH à 35% à la solution des tubes de digestion pour réaliser le déplacement d'ammoniac. Ensuite, 100 ml de distilla a été récupéré dans un bécher en présence de 25ml d'acide borique à 4%. Puis, en ajoute quelques gouttes (5 à 6 gouttes) de rouge de méthylène pour réaliser la titration par l'acide chlorhydrique HCl à 0,2 N (fig.21, 22). Le taux des protéines totales est déterminé par la relation suivante :



$$\text{Protéines Totales PT (\% de sirop de caroube) = N g*6,25}$$



Figure 21 : La troisième phase de dosage d'azote total (distillation).

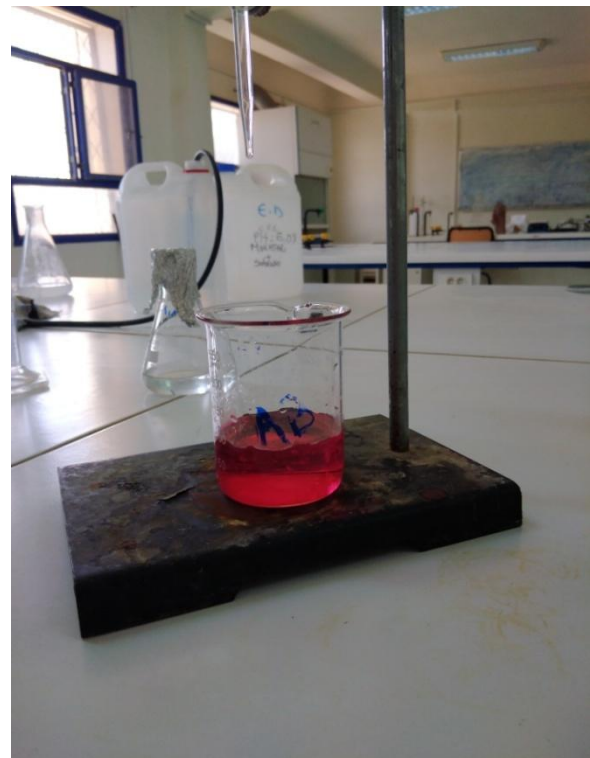
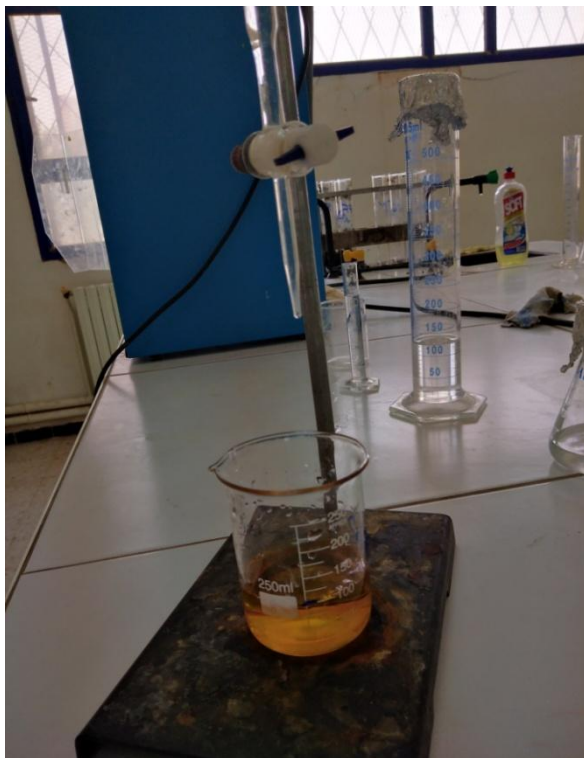


Figure 22 : La titration par l'acide chlorhydrique HCl à 0,2 N.

6. Analyses statistiques

Les analyses statistiques descriptives ($P < 0.05$) ont été calculé (la taille d'échantillon N, moyenne, écart-type et extrême). Les corrélations de Pearson pour mettre en évidence la relation entre les paramètres phénotypiques et les paramètres physicochimiques et des tests statistique (T test et ANOVA) pour comparer entre les groupes de différents couleurs et tailles.

Résultats

1. Description des paramètres alimentaire

1.1. Description statistique des paramètres phénotypiques

1.1.1. La masse des gousses de la caroube (MA)

La masse moyenne de 300 gousses de caroube a été de 7,874 g. La masse des gousses de caroube varient entre 2,42 g jusqu'à 18,04g (Tab.9).

1.1.2. Longueur total des gousses de la caroube (LT)

La longueur moyenne de 300 gousses de caroube a été de 10,153cm. La longueur totale des gousses varient entre 3,20 jusqu'à 17,40cm(Tab.9).

1.1.3. Largeur des gousses de la caroube (LR)

La largeur moyenne des 300 gousses de caroube a été de 1,651 cm. La largeur des gousses de caroube varient entre 1,10 jusqu'à 2,40cm (Tab.9).

1.1.4. Epaisseur des gousses de la caroube (EP)

La moyenne d'épaisseur de 300 gousses de caroube a été de 5,201 cm. L'épaisseur des gousses de caroube varient entre 0,19 jusqu'à 0,88cm (Tab.9).

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

La moyenne de longueur d'arc de 300 gousses de caroube a été de 12,505 cm. La longueur d'arc des gousses de caroube varient entre 6,20 jusqu'à 20,20 cm (Tab.9).

1.1.6. Indice de taille des gousses de la caroube (IT)

La moyenne de l'indice de la courbure de 300 gousses de caroube a été de 82,15. L'indice de courbure de gousses de caroube varient entre 99,40 pour les gousses pratiquement droites jusqu'à 21,92 pour les gousses très courbées (Tab.9).

Tableau 9 : Description statistique des paramètres phénotypiques des gousses de caroube de la région de Laghouat.

Variable	Nombre	Moyenne	Ecart-type	Extrêmes
La masse (g)	300	7,874	3,17	2,42 - 18,04
Longueur total (cm)	300	10,153	3,37	3,20 - 17,40
Largeur (cm)	300	1,651	0,29	1,10 - 2,40
Epaisseur (cm)	300	0,52	0,13	0,19 – 0,88
Longueur de l'arc (cm)	300	12,505	3,46	6,20 - 20,20
Indice de taille (LT/LA)	300	82,15	17,60	21,92 – 99,40

1.2. Description statistique de paramètres physico-chimiques

1.2.1. Densité (DN)

La densité de 45 sirops de caroube a été en moyenne de 1,33. Elle varie d'un sirop à un autre de 1,11 à 1,82 (Tab.10).

1.2.1. Conductivité électrique (CE)

La moyenne de conductivité électrique de 45 sirops de caroube a été de 2922,1 Sm⁻¹. La conductivité électrique des sirops de caroube varient entre 102,8 à 6010 Sm⁻¹ (Tab.10).

1.2.2. pH

Le pH de 45 sirops de caroube affiche une faible acidité avec une moyenne de 6,01. Il varie d'un sirop à un autre de 5,73 à 6,33 (Tab.10).

1.2.3. Sucres solubles (SS)

La moyenne du taux des sucres soluble de 45 sirops de caroube a été de 31,44 %. Les sucres solubles des sirops de caroubes varient entre 25 à 52,5% (Tab.10).

1.2.3. Protéines totales

La moyenne du taux des protéines totales de 22 sirops de caroube a été 1.11%. Les protéines totales de sirops de caroubes varient entre 0,61 à 1,58% (Tab.10).

Tableau 10 : Description statistique des paramètres physico-chimiques de sirop des gousses de caroube de la région de Laghouat.

Paramètres	N	Moyenne	Ecart-type	Extrêmes
Densité	45	1,33	0,17	1,11 - 1,82
Conductivité électrique (Sm-1)	45	2922,1	1276,5	102,8 - 6010
pH	45	6,01	0,12	5,73 - 6,33
Sucres solubles (%)	45	31,44	6,96	25,0 - 52,50
Protéines (%)	22	1,11	0,22	0,61-1,58

2. Variation des indicateurs de qualité avec les paramètres phénotypiques

2.1. Variation du taux de sucres solubles

2.1.1. Avec la couleur

Il n'y a pas de différence significative du taux de sucre du sirop de la caroube entre les gousses de couleur claire et de couleur foncée ($F^{1,43}=2,28$; $P= 0,1384$) (Fig.23).

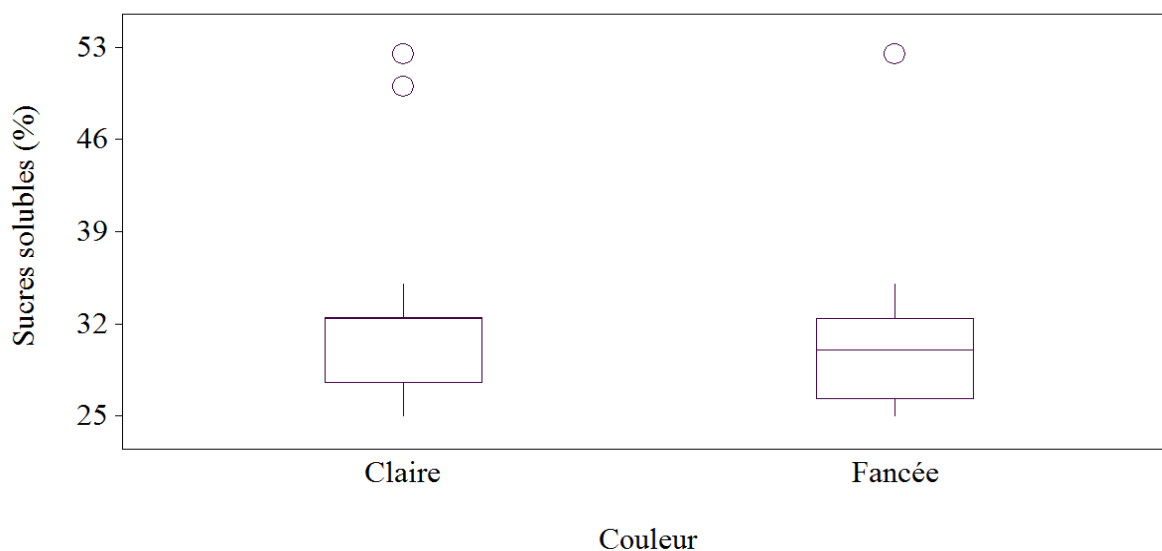


Figure 23 : Variation de taux des sucres solubles (%) du sirop de la caroube on fonction de couleur (Clair, Foncé).

2.1.2. Avec la catégorie de taille

Le taux des sucres solubles du sirop de la caroube est variable avec les différentes catégories de taille ($F^{2, 42}=5,42$; $P= 0,0081$). Les gousses de taille moyenne (35,83%) présentent le taux de sucre le plus élevé par rapport aux petites (29,75%) et grandes gousses (29%) (Fig.24).

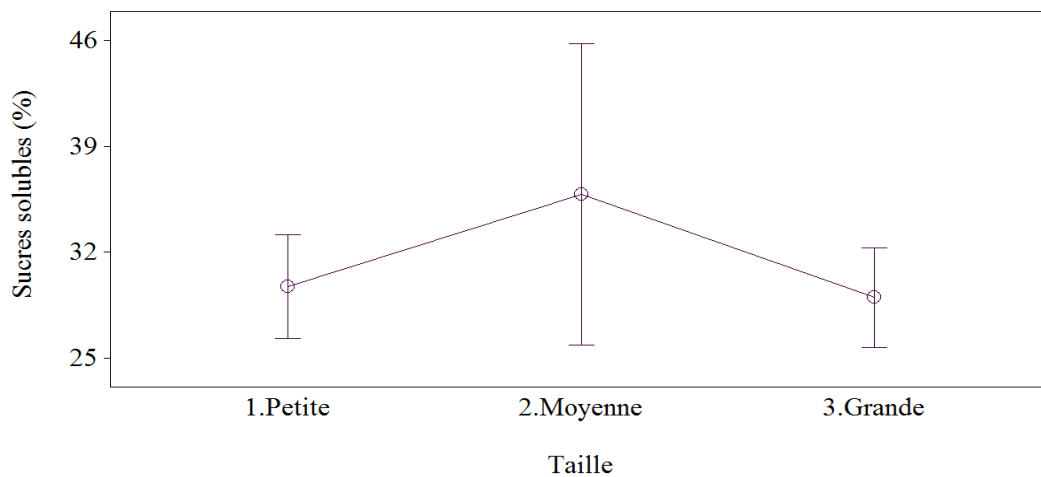


Figure 24 : Variation des sucres solubles du sirop de la caroube en fonction de la taille.

Il existe une corrélation positive et significative entre le taux des sucres solubles du sirop de la caroube et l'épaisseur de la caroube ($r= 0,296$; $ddl= 44$; $P=0,0481$). Le taux des sucres solubles du sirop de la caroube augmente proportionnellement avec l'épaisseur de la caroube (Fig.25).

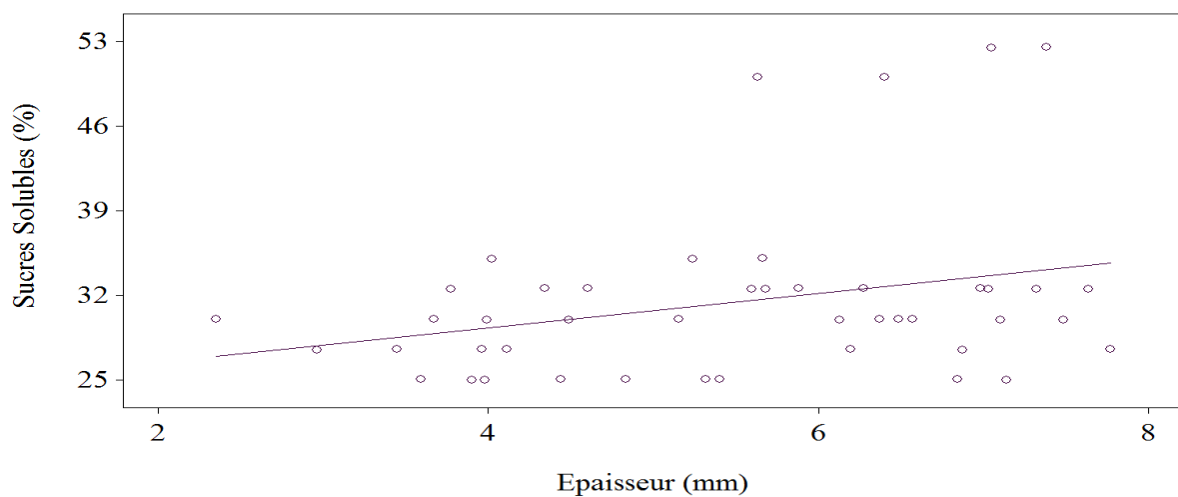


Figure 25 : Relation entre le taux des sucres solubles du sirop de la caroube et l'épaisseur de la caroube.

Il existe une corrélation négative et hautement significative entre le taux des sucres solubles du sirop de la caroube et la conductivité électrique ($r = -0,392$; $ddl = 44$; $P = 0,0078$). Le taux des sucres solubles du sirop de la caroube diminue proportionnellement avec la conductivité électrique (Fig.26).

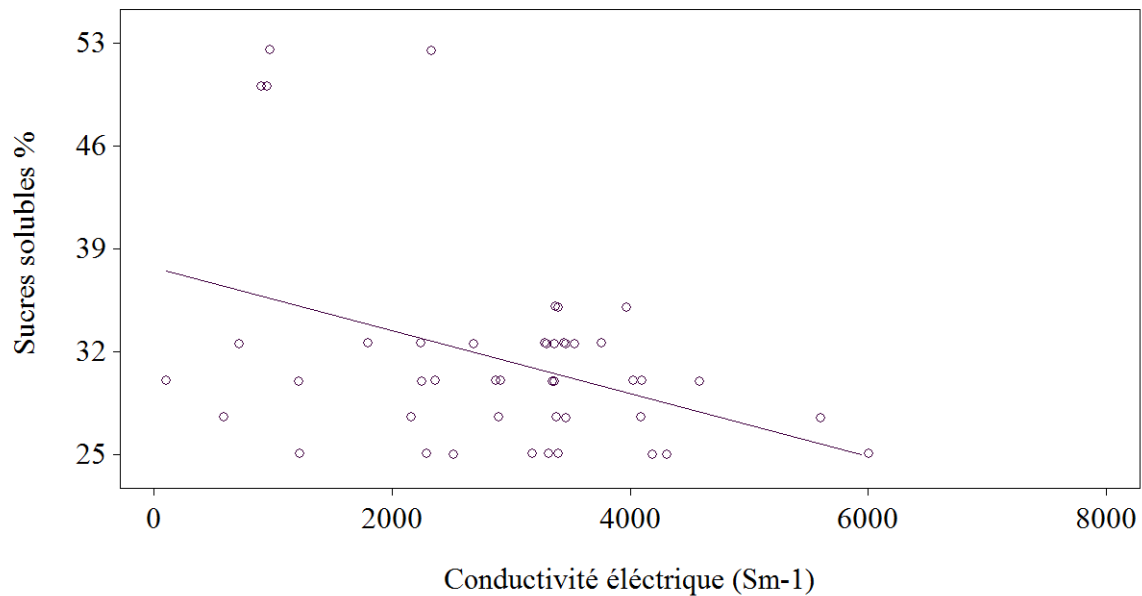


Figure 26 : Relation entre les sucres solubles du sirop de la caroube et la conductivité électrique.

2.2. Variation du taux des protéines

2.2.1. Avec la couleur

Le taux des protéines a été relativement plus élevé dans le sirop des gousses claires (1,22 %) par rapport aux sirops des gousses foncées (1,02 %). Cette variation a été statistiquement significative ($T_{1,21} = 20,00$; $P = 0,0338$) (Fig.27).

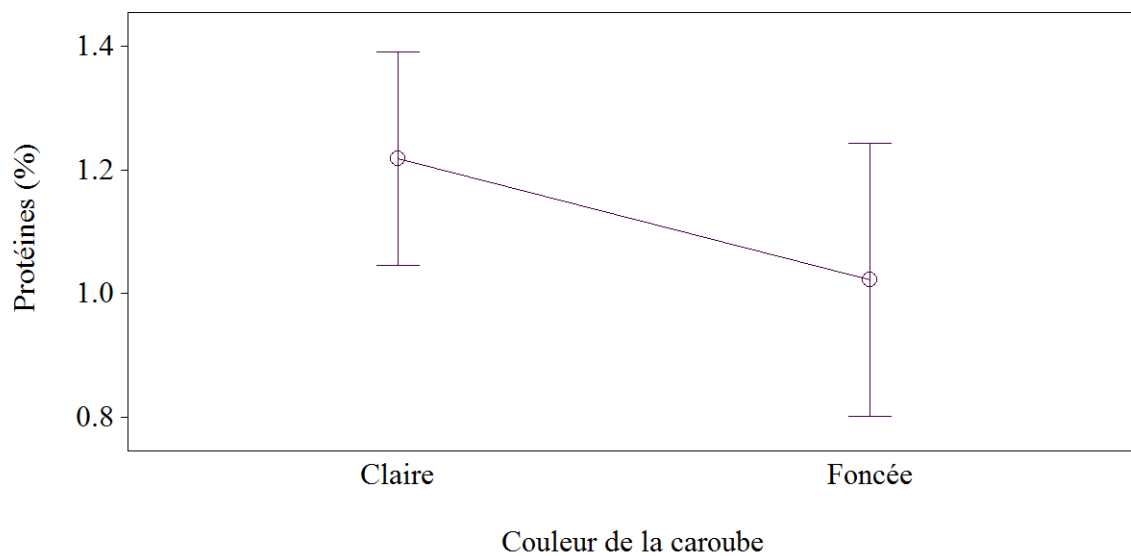


Figure 27 : Variation du taux de protéines dans le sirop des caroubes en fonction de couleur des gousses (foncée, claire).

2.2.2. Avec la catégorie de taille

Le taux des protéines a été relativement plus faible dans le sirop des petites gousses (1,06 %) par rapport aux sirops des gousses moyennes (1,11 %) et de grande taille (1,14 %) ($F^{3, 19} = 0,20$; $P=0,8185$) (Fig.28).

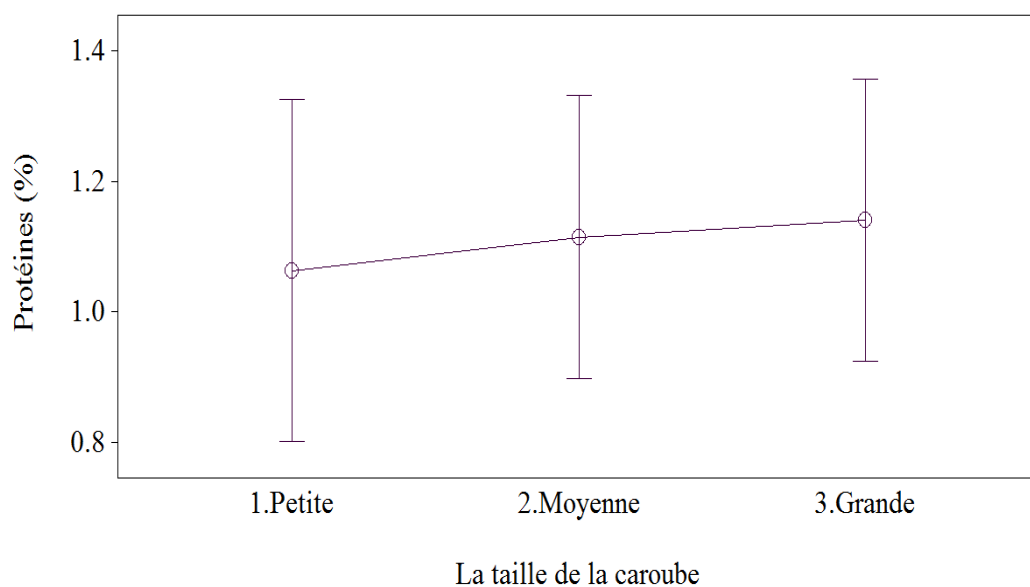


Figure 28 : Variation du taux de protéines dans le sirop des caroubes selon la catégorie de taille de gousses.

Il existe une corrélation négative et hautement significative entre le taux des protéines et l'épaisseur de la caroube ($r = -0,5959$; $ddl = 22$; $P = 0,0034$). Le sirop des caroubes les plus épaisses a été plus pauvre en protéines par rapport au sirop des caroubes les plus minces (Fig.29).

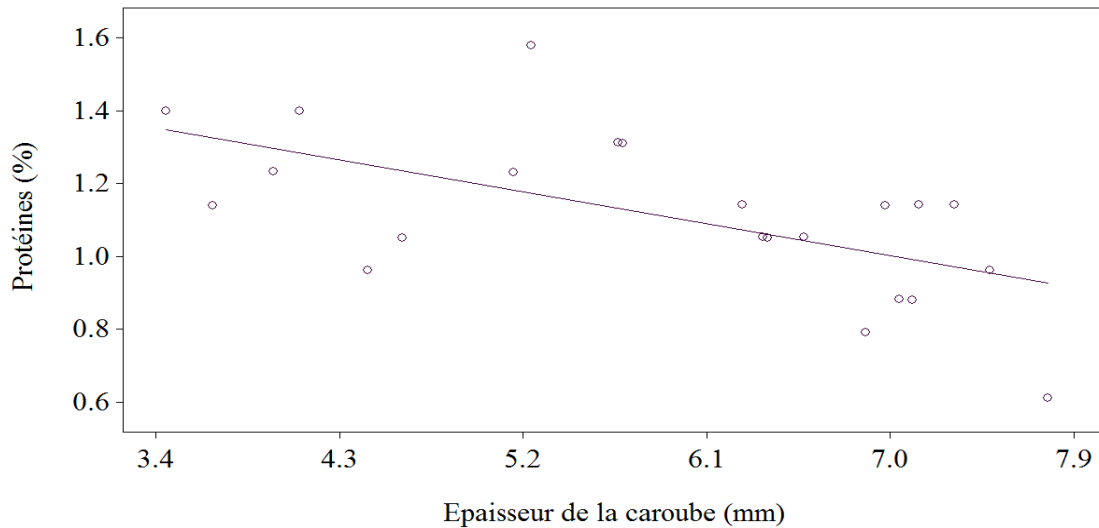


Figure 29: Relation entre le taux des protéines dans le sirop avec l'épaisseur de la caroube

2.3. Variation de la densité du sirop de la caroube

2.3.1. Avec la couleur

Il n'y a pas de différence significative de la densité du sirop de la caroube entre les gousses de couleur claire et de couleur foncée ($F^{1, 43} = 0,42$; $P = 0,4728$) (Fig.30).

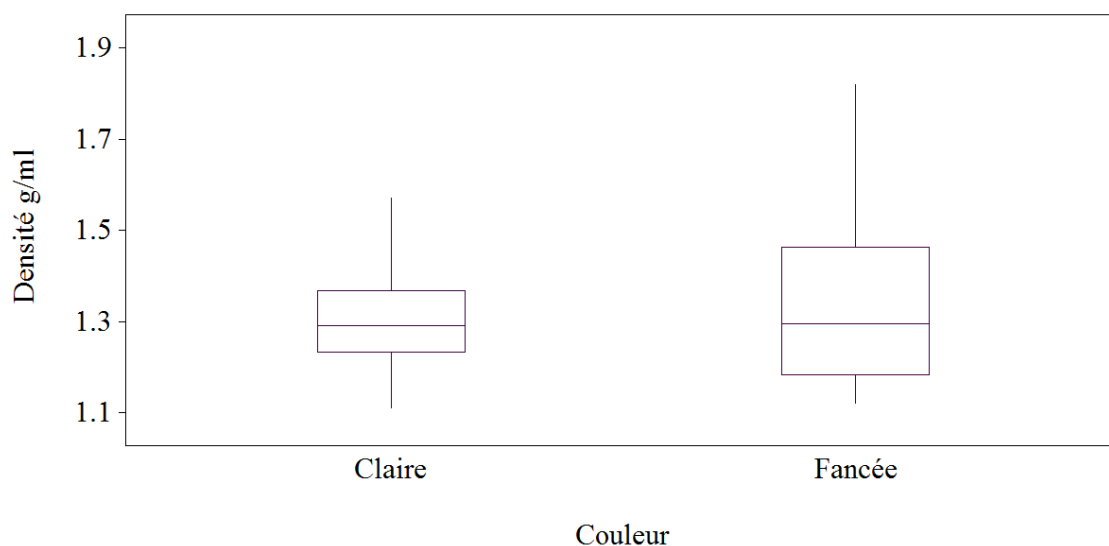


Figure 30 : Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de couleur.

2.2.3. Avec la catégorie de taille

Il n'y a pas de différence significative de la densité du sirop de la caroube avec les catégories de tailles ($F^{2, 42}=0,41$; $P= 0,6651$). Le sirop de petites gousses est légèrement plus dense que celui des gousses moyennes et de grande taille (Fig.31).

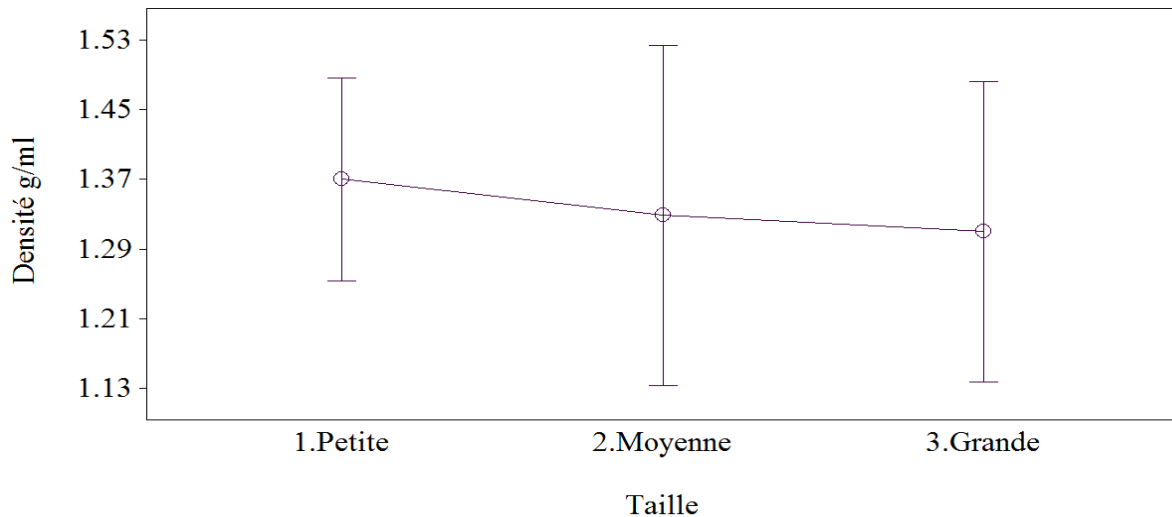


Figure 31 : Variation de la densité sirop de la caroube en fonction de taille

Il existe une corrélation positive et significative entre la densité du sirop de la caroube et l'épaisseur de la caroube ($r= 0,343$; $ddl= 44$; $P=0,0211$). La densité du sirop de la caroube augmente proportionnellement avec l'épaisseur de la caroube (Fig.32).

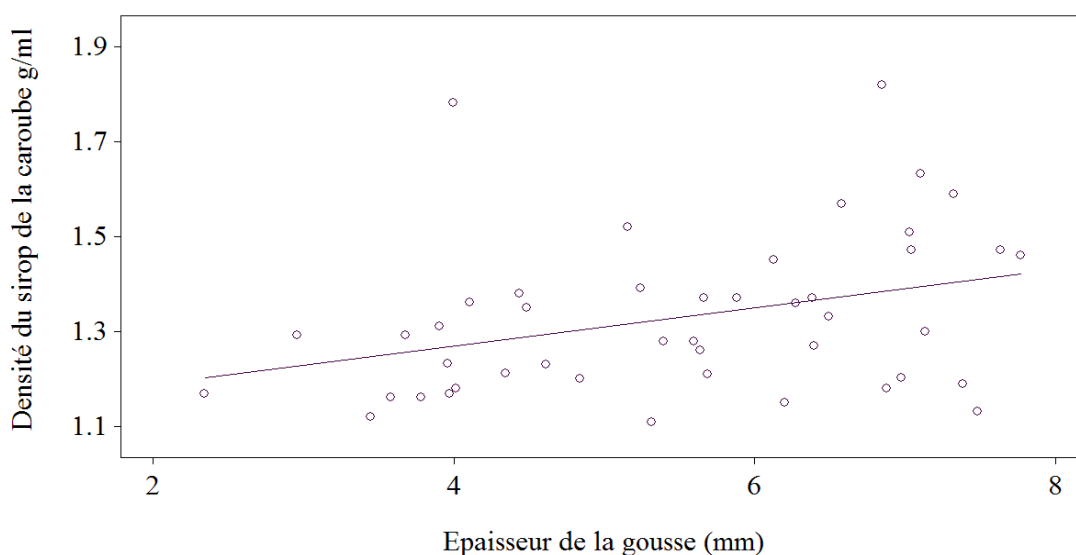


Figure 32: Variation de la densité du sirop de la caroube en fonction de l'épaisseur des gousses.

Discussion

Ce travail a pour objectif d'utiliser des paramètres phénotypiques comme indicateurs de qualité à travers l'étude de leur interaction avec les paramètres physicochimiques. Ces dernières, varient principalement avec la couleur et la taille, c'est ainsi que l'épaisseur des gousses de la caroube est le meilleur indicateur de qualité.

L'étude a montré des corrélations entre les caractéristiques phénotypiques et physicochimiques des gousses, qui contribuent à déterminer les gousses de caroube de la valeur nutritive la plus élevée et de bonne qualité.

Les résultats comparatifs indiquent une variation des paramètres des gousses de caroube, d'une gousse à une autre du même arbre, entre les gousses de différents arbres et les gousses de différentes régions (Tab.11).

Tableau 11: Paramètres morphologique des gousses de caroube de différents pays.

Références	Pays	Longueur des gousses (cm) (grande)	Longueur des gousses (cm) (moyenne)	Longueur des gousses (cm) (petite)	Largeur des gousses (cm)	La masse (g)	Epaisseur (cm)	Indice de taille (LT/LA)
Présent travail, 2021	Algérie	13 – 20,2	9,7-16,5	6,2-11,4	1,10- 2,4	2,42-18,04	0,19-0,88	21,92-99,4
Boumegouas, 2020		14.5-22	11.5-14	6-11	0,8-2,5	2,65-15,44	0,2-0,9	100-873,3
Kabouche, 2019		15-24	11-14,9	8-10,9	1,5-2,7	4,36-18,58	-	0,14-1
Haddarah et <i>al.</i> , 2013	Liban	11,42-24,25			1,73-2,5	-	-	-
Konate, 2007	Maroc	< 16	14-14,5	12,5-13,5	2-2,4	-	-	-
Gharnit, 1997	Maroc	X= 14,22			1,5-1,66	-	-	-
Battle et <i>al.</i> , 1997	Italie	15-20	14-15	10-14	1,5-3,5	-	-	-
Tulin et <i>al.</i> , 1993	Italie	15-20	14-15	10-14	1,5-2,5	-	-	-

X : moyenne.

Selon Boumegouas (2020), Kabouche (2019) et Sallouh et Nouioui (2019), l'observation à l'œil nu des gousses de caroube a permis de déceler une grande différence morphologique. En effet, un échantillon de plusieurs gousses illustre l'existence de diverses formes : sinuose sur les bords, droite ou légèrement courbée et torsadée, présente une surface ridée, luisante. Selon ces études, la gousse du caroubier peut renfermer entre 6 à 12 graines. Les graines, de couleur brunâtre et brillante, se caractérisent par une texture très dure, comprimées, ayant la forme ovale.

La teneur en sucres soluble, le pH, la densité et les protéines dans le sirop de la caroube ne varient pas avec les paramètres de couleur des gousses. Selon Boumegouas (2020), La teneur en sucres soluble, le pH, et les protéines dans le sirop de la caroube varient avec les différents paramètres de couleur des gousses, mais la densité de sirop de la caroube n'a pas été variable entre les gousses de couleur foncée et les gousses de couleur claire.

Par contre, La teneur en sucres soluble, le pH et les protéines dans le sirop de la caroube sont variables avec les différents paramètres de taille des gousses, d'où la caroube de petite taille contient plus de sucre que l'autre forme. La teneur en sucres soluble dans le sirop de la caroube de la région de Laghouat, a été plus élevée que le sirop de la caroube de Maroc et de Tunisie (El Batal et *al.*, 2016 ; Tounsi et *al.*, 2020). Le taux de sucre est variable selon de nombreux facteurs tels que l'origine géographique, les conditions édapho-climatiques (notamment la température et les précipitations, voir chapitre Matériel et méthodes), la diversité entre les variétés, la récolte et le stockage, et les facteurs technologiques tels que l'extraction et les méthodes d'analyse (Karkacier et Artik, 1995 ; Kumazawa et *al.*, 2002 ; Biber et *al.*, 2007).

Le pH a été variable avec les différentes catégories de taille des gousses d'où le sirop de caroube de taille moyenne a été légèrement plus élevé et moins acide que les autres gousses. Selon Tounsi (2017), le pH dans le sirop de la caroube de Tunisie a été plus élevée et moins acide que le sirop de la caroube de la région de Laghouat. Les résultats indiquent une corrélation positive entre le pH et la masse et entre le pH et la longueur des gousses, le pH augmente avec l'augmentation de la masse et l'augmentation de longueur des gousses. Le pH des gousses de caroube comme les autres fruits diminue (acide) dans des mauvaises conditions de conservation (Domonhede et *al.*, 2018). En outre, le sirop a été caractérisé par un pH acide qui pourrait s'expliquer soit par la dégradation des sucres en acides, soit par

hydrolyse de l'Hydroxyméthylfurfural (HMF) en acide lévulinique et en acide formique (Toker *et al.*, 2013).

Les protéines ont été variables avec les différentes catégories de taille des gousses qui est due au fait que les gousses de caroube de petite taille contiennent des sucres solubles et peut-être même des protéines avec des quantités relativement considérables (Kabouche, 2019).

La caroube de la région de Laghouat contient une valeur des protéines totales plus faible que les caroubes dans les régions de Blida, Tlemcen et Jijel mentionnés par Gaouar (2011). La teneur en protéines de caroube en Algérie a été plus élevée que la teneur du Liban cités par Haddarah *et al.*, (2013) (Tab.11).

Selon Kabouche (2019), La teneur en protéines des gousses de caroube a été variable avec les différents paramètres de taille et de couleur, d'où les caroubes de grande taille et claire contient plus de protéines que les gousses de moyenne et petite taille.

Selon les résultats mentionné par Gaouar (2011), les graines de caroube contiennent de taux élevé de protéine, alors on trouve dans les grandes gousses de caroube le taux de protéine plus élevé, parce qu'ils contiennent un grande nombre des graines.

Par contre, la densité de sirop de la caroube ne varie pas avec les catégories de taille des gousses, mais elle varie avec la couleur ; les gousses de petite taille offrent le sirop le plus dense.

Les gousses épaisses présentes le taux de sucres le plus élevée, un faible taux de protéines et une densité élevée. Selon Boumegouas (2020), la densité augmente avec l'augmentation des sucres solubles. Ces résultats expliquent la densité et l'épaisseur élevées, et s'explique aussi par le fait que l'augmentation de la densité de sirop de caroube est liée au taux de sucres pas aux protéines et plaident pour l'utilisation de l'épaisseur comme un indicateur de tri des gousses de caroube.

Tableau 12 : Paramètres physico-chimiques des sirops de caroube de différents pays.

Références	Pays	Sucres solubles (%)	pH	Protéines (%)	Densité	Conductivité électrolytique (Sm⁻¹)
Présente travail, 2021	Algérie	31,44	6,01	1,11	1,33	2922,1
Boumegouas, 2020	Algérie	35,18	4,62	-	1,27	1353,9
Tounsi et <i>al.</i> , 2019	Tunisie	32,93	-	2,28	-	-
El Batal et <i>al.</i> , 2016	Maroc	31,5-50,1	-		-	-
Albanell et <i>al.</i> , 1991	Espagne	12,75-46,95	-	-	-	-

Conclusion

Les résultats indiquent que les paramètres morpho-métriques et phénotypiques (la taille, la couleur, la forme) influencent sur les paramètres physico-chimiques et alimentaires du sirop de la caroube.

Cette étude a montré que le sirop de caroube contient des sucres solubles estimé en moyenne de 31,44 %. Le taux des protéines en moyenne de 1.11. Le pH, légèrement acide, estimé en moyenne de 6,01. Il varie avec la masse et longueur de gousse. La conductivité électrique varie entre 102,8 et 6010 Sm⁻¹, cette dernière, a été corrélée avec le taux des sucres solubles. La densité a été en moyenne de 1,33.

Le taux de sucres solubles a été élevé dans le sirop des gousses de taille moyenne et de couleur foncée. Il augmente proportionnellement avec l'épaisseur de la caroube. Ces gousses peuvent être choisies dans l'industrie alimentaire pour la préparation de sirop de caroube surtout qu'il existe une corrélation positive entre les sucres solubles et la densité. De ce fait, le sirop riche en sucres peut être utilisé comme édulcorant.

Le taux des protéines du sirop de la caroube a été plus élevé dans le sirop de gousses minces et de couleur claire.

La densité de sirop de la caroube augmente avec l'augmentation des sucres solubles, elle augmente aussi dans le cas du sirop des gousses de taille petite, Quant à la couleur, elle n'a pas d'effet clair. La densité augmente proportionnellement avec l'épaisseur de la caroube. Ainsi, de par la densité des sirops, ils peuvent être utilisés comme épaississant.

Le pH du sirop des gousses de la caroube de taille moyennes et de couleur claires a été légèrement plus élevé et moins acide que les autres gousses.

La conductivité électrique du sirop de la caroube a été plus élevée dans le sirop de petites gousses de couleur claire. La conductivité électrique diminue avec l'augmentation de la longueur de l'arc.

L'étude a montré des corrélations entre les paramètres morpho-métriques des gousses de la caroube et les caractéristiques biochimiques de sirop de caroube, qui contribuent à sélectionner et trier les gousses de caroube qui donnent un sirop de bonne qualité.

L'épaisseur est peut être utilisée comme un indicateur de tri des gousses, où les gousses minces et de couleur claires ont présenté le taux des protéines le plus élevée. Par contre, les gousses les plus épaisses et de couleur foncé ont été plus sucrées.

Cette étude nous a permis de connaître les différents bénéfices et usages du sirop de la caroube dans le domaine de l'industrie agroalimentaire. Cela nous a également aidés à trouver des moyens d'obtenir un sirop de bonne qualité selon les caractéristiques morpho-métrique des gousses de caroube. J'espère que la recherche se poursuivra afin d'atteindre plus de résultats sur l'influence des fibres et les différents minéraux afin de contribuer à développer le secteur l'industrie agroalimentaire en Algérie.

Références

Bibliographiques

- **A.N.R.H., (2004).** L'atlas pratique de l'Algérie, Edition populaire de l'armée (EPA). 116p.
- **Abi Azar R., (2007).** Complexassions des protéines lactières par les extraits de gousses vertes de caroubier. Propriétés technologiques des coagulums obtenus, Agroparistech Ecole Doctorale Abies, Thèse de doctorat.
- **Ait Chitt M., Belmir M., et Lazrek A., (2007).** Production des plantes sélectionnées et greffées du caroubier. Transfert de technologie en Agriculture. IAV Rabat, 153 :1- 4.
- **Akbulut M., Çoklar H., Özen G., (2008).** Rheological characteristics of Juniperusdrupacea fruit juice (pekmez) concentrated by boiling. Food Science and Technology International, 14(4) : 321-328.
- **Avallone R., Plessi M., Baraldi M., & Monzani A., (1997).** Determination of chemical composition of carob (*Ceratonia siliqua* L.) : Protein, fat, carbohydrates, and tannins. J. Food com. Anal, 10 : 166-172.
- **Ayaz, F. A., Torun, H., Glew, R. H., Bak, Z. D., Chuang, L. T., Presley, J. M., & Andrews, R., (2009).** Nutrient content of carob pod (*Ceratonia siliqua* L.) flour prepared commercially and domestically. Plant foods for human nutrition, 64(4)/286.
- **Bahloul A., Kitane S. et Khelifa M., (2013).** Nouveau procédé de traitement et valorisation de graine de caroube par cuisson thermique en autoclave et séparation de l'épluchure par voie mécanique. Brevets. WO 2013/129899 Al. 17p.
- **Basan J., (2007).** The Middle Eastern Kitchen, Hippocrene Books. 158p.
- **Battle I. & Tous J., (1997).** Carob tree. (*Ceratonia siliqua* L.) Promoting the conservation and use of underutilized and G neglected crops. 17. Institute of Plant Genetic and Crops Plant Research. Gatersleben /International Plant Resources Institute. Rome. Italy.
- **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 (*Ceratoonia siliqua* L.) germ proteins. Food Chemistry, 107 : 675-683.
- **Benmahiole B., Kaid-harache M. et Daguin F., (2011).** Le caroubier une espèce méditerranéen à usage multiple. 51-58p.

- **Berrougui H., (2007).** Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), une richesse nationale aux vertus médicinales. Maghreb Canada Express 5, 20p.
- **Biner B., Gubbuk H., Karhan M., Akus M., et Pekmezei M., (2007).** Sugar profiles of the pods cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua* L) in Turkey. Food chemistry 100 : 1453-1455.
- **Boublenza, I., Ghezlaoui, S., Mahdad, M., Vasai, F., & Chemat, F., (2019).** Algerian carob (*Ceratonia siliqua* L.) populations. Morphological and chemical variability of their fruits and seeds. Scientia Horticulturae, 256, 108537.
- **Boumegouas B., (2020).** Influence de la taille et de la couleur des gousses sur quelques paramètres biochimiques du sirop de caroube. Mémoire. Master. Laghouat.47p.
- **Bouzouita N., Khaldi A., Zgoulli S., Chebil L., Chekki R., Chaabouni MM., 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.
- **C.D.F., (1998).** Conservation des forets, Algérie.
- **Correia P., & Martins-Loucao M., (2005).** The use of macronutrients and water in marginal Mediterranean areas: the case of carob tree. Field Crops Res., 91 : 1-6.
- **Cruz, C., Lips, S. H., & Martins-Loucao, M. A., (1993).** Effect of root temperature on carob growth: nitrate versus ammonium nutrition. Journal of plant nutrition, 16(8) :1517-1530.
- **Dahim I., Nait L.A., (2018).** Cotribution physico chimique de la gousse de caroube. Mémoire. Master. Tizi-Ouzou, 24p.
- **Dakia P.A., Wathelet B., Paquot M., (2007).** Isolation and chemical evaluation of carob (*Ceratonia siliqua* L.) seed germ, Food Chemistry 102 (2007) 1368–1374.
- **Dakia P.A., Blecker C., Robert C., Wathelet B., Paquot M., (2008).** Composition and physicochemical properties of locust bean gum extracted from whole seeds by acid and water dehuling pre-treatment. Food Hydrocolloids, 22 : 807-818.
- **Diaz S., (1997).** Syrup of natural carob sugarand a process for its production. United States Patent. 10p.
- **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, 955–959.
- **El-Dengawy, E. R. F., Hussein, A. A., & Alamri, S. A. (2011).** Improving growth and salinity tolerance of carob seedlings (*Ceratonia siliqua* L.) by Azospirillum

- inoculation. American Eurasian journal of agricultural & environmental sciences, 11(3), 371-384.
- **FAOSTAT. (2018).** www.fao.org
 - **FAOSTAT. (2020).** <http://fao.org/faostat/fr/data/QC>.
 - **Feillet, P., and Roulland, T. M. (1998).** Caroubin: A gluten-like protein isolate from carob bean germ. Cereal Chemistry, 75, 488-492.
 - **Gaouar N., (2011).** Etude de la valeur nutritive de la caroube de différentes variétés Algériennes. Mémoire. Agro. Tlemcen, 47-62p.
 - **Gharnit N., (1997).** Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) Essais de propagation in vitro et intérêt socioéconomique au cercle de MOKRISSET (NW. Maroc). M&moire du D.E.S.A. Univ. Abdl Malek E. Maroc.
 - **Gharnit N., El Mtili N., Ennabili A., Sayah F., (2004).** Floral characterization of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) from the province of Chefchaouen (NW of Morocco). Moroccan J. Biol, 41-51p.
 - **Gharnit N., El Mtili N., Ennabili A., Sayah F., (2006).** importance socioéconomique du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans la Province de Chefchaouen (nord-ouest du Maroc), Rev. Tela Botanica Base de Données Nomenclaturale de la Flore de France BDNFF, 4(2) : 33.
 - **Ghédira K. et Goetz P., (2019).** Caroubier : *Ceratonia siliqua* (L.) (Fabaceae). Phytothérapie, 17 : 286-290.
 - **Gubbuk H., Kafkas E., Guven D., & Gunes E., (2010).** Physical and phytochemical profile of wild and domesticated carob (*Ceratonia siliqua* L.) genotypes. Spanish Journal of Agricultural Research, 4 : 1533-1538.
 - **Haddarah A., (2013).** L'influence des cultivars sur les propriétés fonctionnelles de la caroube Libanaise. Thèse de doctorat : L'Université Libanaise (Ecole Doctorale des Sciences et Technologie) Et l'Université de Lorraine (France), 132p.
 - **Haddarah A., Ismail A., Bassal A., Hamieh T., Ioannou I., Ghoul B., (2013).** Morphological and chemical variability of Lebanese carob varieties. European Scientific Journal, 9(18): 367-368.
 - **Hariri A., Ouis 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.

- **Kabouche N., (2019).** Variation de la valeur nutritive avec les caractéristiques phénotypiques et physico-chimiques des siliques de la caroube. Mémoire. Master. Laghouat. 56p.
- **Kaderi M., Ben Hamouda G., Zaeir H., Hanana M., et Hamrouni L., (2014).** Notes ethnobotaniques et phyto-pharmacologiques sur (*Ceratonia siliqua* L). phytothérapie, 13 :144–147.
- **Karaman S., Kayacier A., (2011).** Effect of temperature on rheological characteristics of molasses: Modeling of apparent viscosity using Adaptive Neuro – Fuzzy Inference System (ANFIS). Food Science and Technology, 44(8) :1717-1725.
- **Karkacier M. et Artik N., (1995).** Determination of physical properties, chemical composition and extraction conditions of carob bean (*Ceratonia siliqua* L.). Gida, 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) : 348-35.
- **Konate I., (2007).** Diversité Phénotypique et Moléculaire du Caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) et des Bactéries endophytes qui lui sont associées. Université Mohammed V-Agdal Faculté Des Sciences Rabat. thèse de doctorat.
- **Kumazawa S., M. Taniguchi. Y., Suzuki M., Shimura. Mi-Sun Kwon. Nakayama T., (2002).** Antioxidant Activity of Polyphenols in Carob Pods. J. Agric. Food Chemistry, 50 (2): 373–377.
- **Lakkab I., Lachkar M., El Hajaji H. et EL Bali B., (2018).** Nouveau procédé de décorticage de la caroube.
- **Lizardo R., J. Cañellas, F. Mas, D. Torrallardona, J. Brufau., (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.
- **Mahdad MY., (2013).** Situation et perspectives d'amélioration du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans le Nord-ouest de l'Algérie. Mémoire de magister. Amélioration de la production végétale et biodiversité. Université Abou Bekr Belkaid-Tlemcen. 98p.
- **Mahtout, R., Ortiz-Martínez, V. M., Salar-García, M. J., Gracia, I., Hernández-Fernández, F. J., Pérez de los Ríos, A., ...& Lozano-Blanco, L. J., (2018).** Algerian

- carob tree products: A comprehensive valorization Analysis and future prospects. Sustainability. 10(1) : 90.
- **Makhloufi L., Boumaza D., (2018).** Essai d'incorporation de la farine de caroube (*Ceratonia siliqua* L) dans les Cookies en substitution partielle de la farine de blé Mémoire. Master. BOUIRA. 65p.
 - **Markis D.P. & Kefalas P., (2004).**Carob pods (*Ceratonia siliqua* L) as a source of polyphenolic antioxidant. Food Technol. Biotechnol. 42 : 105-146.
 - **Maskan M., (2016).** Production of pomegranate (*Punicagranatum* L.) juice concentrate by various heating methods: colour degradation and kinetic. J. Food Eng. 72 : 218–224.
 - **NAS., (1979).** Tropical Legumes : Resources for the Future. National Academy of Sciences. Washington DC, USA, 109-116.
 - **Neukom H., (1988).** Carob bean : properties and application. In : Fito P. et Mulet A., eds. Proceedings of the II International Carob Symposium, Valencia, Spain, 551-555.
 - **Nunes, M. A., CochichoRamalho, J. D., & Silva Rijo, P. D., (1992).** Seasonal changes in some photosynthetic properties of *Ceratonia siliqua* (carob tree) leaves under natural conditions. Physiologia Plantarum, 86(3) : 381-387.
 - **ONM., (2019).** Office National de la Météorologie. Laghouat.
 - **Oziyci, H. R., Tetik, N., Turhan, I., Yatmaz, E., Ucgun, K., Akgul, H., ...& Karhan, M., (2014).** Mineral composition of pods and seeds of wild and grafted carob (*Ceratonia siliqua* L.) fruits. Scientia Horticulturae, 167 : 149-152.
 - **Owen R. W., R. Haubner, W. E. Hull, G. Erben, B. Spiegelhalder, H. Bartsch and B. Habe R. (2003),** Isolation and structure elucidation of the major individual polyphenols in carob fibre, Food and Chemical Toxicology Vol. 41, N°12, pp. 1727-1738
 - **Petit M.D., et Pinilla J.M., (1995).** Production and purification of a sugar syrup from carob pods. LWT - Food Science and Technology, 28 : 145-152.
 - **Pouget M., (1980).** Les relations sol-végétation dans les steppes Sud-Algéroises. Paris : ORSTOM, 116 : 8-556.
 - **Romano A., Barros S., Martins-Loução M.A., (2002).** Micropropagation of the Mediterranean tree *Ceratonia siliqua*, Plant Cell, Tissue Organ Cult., 68(1) : 35-41
 - **Salih G. et Jilal A. (2020).** Utilisation alimentaire de la pulpe de caroube : Formulation et test consommateur.

- **Sallouh M et Nouioui I., (2019).** Etude de quelques propriétés chimiques et biologiques de la caroube Algérienne. Mémoire Master. Université Mohamed Khider de Biskra. Algerie, 81p.
- **Sánchez S., Lozano L.J., Godínez C. et al. (2010).** Carob pod as a feedstock for the production of bioethanol in Mediterranean areas. *Applied Energy*, 87: 3417-3424.
- **Sandolo C., Coviello T., Matricardi P., et Alhaique F., (2007).** Characterization of polysaccharide hydrogels for modified drug delivery. *Eur. Biophys. J.* 36(7) : 693-700.
- **Saura-Calixto F., (1988).** Effect of condensed tannins in the analysis of dietary fiber in carob pods. *Journal of Food Sciences*, 53(6) : 1769-1771.
- **Sbay H., (2008).** Le caroubier au Maroc. Un arbre d'avenir. 47p.
- **Sidina M .M., El Hansali M., Wahid N., Ouatmane A., Boulli A., & Haddioui A., (2009).** Fruit and seed diversity of domesticated carob (*Ceratonia siliqua* L.) in Morocco. *Scienta Horticulturae*, 123 : 110-116.
- **Thomas V., Metha A.R., (1983).** Effect of phloroglucinol on shoot growth and initiation of roots in carob tree cultures grown in vitro., In Sen S.K., Giles K.L., (Eds.), *Proc. Int. Plant Cell Cult. Crop Improvement*, Calcutta India. New York and London: Plenum Press, 451-457.
- **Toker O.S., Doganc M., Ersöz N.B., Yilmaz M.T., (2013).** Optimization of the content of 5-hydroxymethylfurfural (HMF) formed in some molasses types: HPLCDAD analysis to determine effect of different storage time and temperature levels. *Ind. Crops Prod*, 50 : 137–144.
- **Tounsi L., Ghazala I., Kechaou1 N., (2020).** Physicochemical and phytochemical properties of Tunisian carob molasses. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 14: 20–30.
- **Tounsi L., Karra S., Kechaou H., & Kechaou N., Processing., (2017).** physicochemical and functional properties of carob molasses and powders. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-9
- **Tounsi L.,Kchaou H., Chaker F., Bredai S., Kechaou1 N., (2019).** Effect of adding carob molasses on physical and nutritional quality parameters of sesame paste. *Association of Food Scientists & Technologists*, 56(3):1502–1509.

- **Tulin T., Burges N. A., Chater A. O., Edmondson., Heywood V. H., Moor. D. M., Valentine D. H., Waters S. M., Webb D. A., (1990/1993).** Flora Europaea. Cambridge University Press. UK.
- **Yoğurtçu H. et Kamışlı F., (2006).** Determination of rheological properties of some pekmez samples in Turkey. Journal of Food Engineering, 77 : 1064-1068.
- **Yousif A. K., et Alghazawi H. M., (2000).** Processing and characterization of carob powder, Food chemistry, 69(3) : 283-287.

Titre du mémoire : Etude de la relation entre les caractéristiques phénotypiques avec quelques paramètres biochimiques du sirop de la caroube.

Nom : Ghouireg

Prénom : Halima

Encadreur : Adamou Ala-Eddine

Résumé : Le caroubier est une espèce agro-sylvo-pastorale ayant d'énormes intérêts alimentaire, ces fruits sont valorisés comme sirop. Dans ce travail, notre objectif était d'étudier la relation entre les paramètres morpho-métriques (taille et couleur) des gousses de la caroube avec quelques paramètres physico-chimiques (pH, sucres solubles, protéines, densité et conductivité électrique) qui affectent la valeur nutritive et la qualité de sirop de caroube. L'échantillonnage a été réalisé en 2020 sur différents caroubiers de Laghouat, au même stade de maturation.

Les résultats montrent une variation des paramètres alimentaires de sirop avec les paramètres morpho-métriques des gousses de caroube. L'analyse de la composition biochimique de sirop, révèle une richesse en sucre de 31,44 %, les protéines totales de 1,11 %, un pH indique une faible acidité (6,01), la conductivité électrique de 2922,1 Sm-1 et la densité de 1,33g/m³. Ces résultats varient selon la catégorie de taille et la couleur qui peuvent être utilisés dans le tri ; le sirop des gousses minces et de couleur claire ont présenté le taux des protéines le plus élevé. Par contre, les gousses les plus épaisses et de couleur foncée ont été plus sucrées. 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 : Laghouat, Caroube, Sirop, Paramètres biochimiques, Taille, Couleur, Epaisseur.

Memory title : Study of the relationship between phenotypic characteristics with some biochemical parameters of carob molasses.

Name : Ghouireg

First name : Halima

Directed by : Adamou Ala-Eddine

Abstract : The carob tree is an agro-sylvo-pastoral species with enormous food interests, its fruits are valued as molasses. In this work, our objective was to study the relationship between morpho-metric parameters (size and color) of carob pods with some physico-chemical parameters (pH, soluble sugars, proteins, density and electrical conductivity) that affect the nutritional value and quality of carob molasses. The sampling was carried out in 2020 on different carob trees of Laghouat, at the same stage of ripening.

The results show a variation of the food parameters of syrup with the morpho-metric parameters of carob pods. The analysis of the biochemical composition of syrup, reveals a sugar richness of 31.44%, total protein of 1.11%, a pH indicates low acidity (6.01), electrical conductivity of 2922.1 Sm-1 and density of 1.33g/m³. These results vary according to the size category and color that can be used in the sorting; the molasses of thin and light colored pods presented the highest protein content. On the other hand, the thicker and darker colored pods were sweeter. The results were discussed in a biogeographic context in the light of the knowledge on the dietary parameters of carob molasses in different regions of the Mediterranean.

Key words: Laghouat, Carob molasses, Biochemical parameters, Size, Color, Thickness.

عنوان المذكرة : دراسة العلاقة بين الصفات المظهرية وبعض المتغيرات البيوكيميائية لشراب الخروب.

الموخر : عظامو علاء الدين

الاسم : حليلة

اللقب : غويرق

الملخص : تعتبر شجرة الخروب من الأنواع الزراعية الرعوية ذات الاهتمامات الغذائية الهائلة، ويتم تثمين هذه الثمار على أنها شراب. في هذا العمل، كان هدفنا دراسة العلاقة بين المتغيرات الشكلية (الحجم واللون) لقرون الخروب مع بعض الخصائص الفيزيائية والكيميائية (الأس الهيدروجيني والسكريات الذائبة والبروتينات والكثافة والتوصيل الكهربائي) التي تؤثر على القيمة الغذائية وجودة شراب الخروب. تم أخذ العينات في عام 2020 على أشجار الخروب المختلفة في الأغواط، في نفس مرحلة النضج.

أظهرت النتائج تبايناً في الخصائص الغذائية للشراب مع المتغيرات الشكلية لقرون الخروب. يكشف تحليل التركيب الكيميائي للشراب عن محتوى السكر بنسبة 31.44٪، والبروتينات الكلية بنسبة 1.11٪، ودرجة الحموضة ضعيفة نسبياً (6.01)، و الموصلية الكهربائية 2922.1 سم-1 و كثافة 1.33 جم / م³. تختلف هذه النتائج حسب فئة الحجم واللون اللذين يمكن استخدامهما في الفرز؛ أظهر شراب القرون الرقيقة ذات اللون الفاتح أعلى محتوى بروتين. في المقابل، كانت القرون السمكية والأعمق أكثر حلاوة. تمت مناقشة النتائج في سياق جغرافي على ضوء المعارف حول المؤشرات الغذائية لشراب الخروب في مناطق مختلفة من البحر الأبيض المتوسط.

الكلمات المفتاحية: الأغواط، شراب الخروب، الخصائص البيوكيميائية، الحجم، اللون، السماكة.