

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou
Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de :

Master en Sciences Agronomiques

Spécialité : Production Végétale

**Etude de la teneur en sucres chez quelques provenances
du caroubier dans la wilaya de Tizi Ouzou**

Soutenu le : 29/06/2025

Par

Slimani Faroudja et Slimane Naima

Devant le jury :

Nom	Prénom	Lieu d'exercice	Qualité
Krouchi	Fazia	UMMTO	Présidente
AIT SAID	Samir	UMMTO	Encadrant
BERKOUD	Moussa	UMMTO	Co-encadrant
FERRAGUIG	Nouredine	UMMTO	Examineur

Remerciements

Avant toute chose, je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude à Mme Krouchi Fazia, Professeure à l'UMMTO et Présidente du jury, pour l'honneur qu'elle m'a fait en acceptant d'évaluer mon travail, malgré ses nombreuses responsabilités.

Je remercie sincèrement M. Ait Said Samir, Maître de Conférences à l'UMMTO, mon encadrant, pour sa disponibilité, ses conseils avisés, son encadrement rigoureux, et l'accompagnement constant tout au long de ce travail.

Mes remerciements vont également à M. Berkoud Moussa, Doctorant à l'UMMTO et co-encadrant, pour ses orientations précieuses, sa patience, et son aide continue lors de la réalisation de ce mémoire.

Je remercie aussi M. Ferraguig Nouredine, , pour avoir accepté d'examiner mon travail et pour ses remarques pertinentes qui m'ont permis d'enrichir cette étude.

Enfin, je remercie toutes les personnes, enseignants, collègues, amis et membres de ma famille, qui m'ont soutenue de près ou de loin dans la réalisation de ce mémoire

Dédicace

Je dédie ce mémoire, avant tout,

À la mémoire de mon père Mokrane,

Parti trop tôt, mais dont l'amour, les conseils et les valeurs continuent de guider mes pas. Ce travail est un hommage à sa mémoire et à tout ce qu'il m'a transmis.

Ton absence est une blessure profonde, mais ton souvenir continue en moi chaque jour.

À ma chère mère Malika,

Tu as assumé avec courage et dignité les deux rôles de mère et de père, sans jamais baisser les bras. Pour ta patience, ta présence constante à mes côtés, ton soutien indéfectible et ton amour inconditionnel. Merci d'avoir cru en moi, même quand moi je doutais.

À mes frères, Kamel, Yazid et Hakim,

Merci pour votre présence, vos encouragements et votre affection. Votre soutien a toujours été précieux pour moi.

À ma sœur Zohra

Pour ton soutien et ta force. Ta présence dans ma vie est une source de joie et d'inspiration. Merci d'être toujours à mes côtés, dans les moments de joie comme dans les épreuves.

À son époux Rachid,

Pour sa tendresse et sa bienveillance.

À leurs merveilleuses filles,

Yasmine, Célia, Serine et Léa,

Petits rayons de soleil qui embellissent notre vie.

À ma binôme et amie d'enfance Naima

Pour les fous rires partagés, les nuits blanches de révisions, les moments de doute surmontés ensemble. Ton amitié sincère et ta complicité ont rendu ce parcours bien plus doux. Merci d'avoir été là, depuis toujours.

A moi même

Pour avoir persévéré face aux défis, pour avoir cru en moi et en mes ambitions, mais surtout pour la force de continuer, de croire en mes capacités et d'aller jusqu'au bout. Ce mémoire représente le fruit de mon travail, de mes efforts et de ma détermination. Je suis fière du parcours que j'ai accompli.

Faroudja



Dédicace

Du profond de mon Cœur ce travail à tous ceux qui me sont chers

À ma chère mère Yamina et à mon père Essaïd

Pour votre amour inestimable, votre patience et vos innombrables sacrifices. Merci d'avoir toujours été ma source de force et de motivation.

À mes frères Kamel, Karim et Mohammed

Pour votre soutien indéfectible, vos encouragements et votre présence rassurante à chaque étape de mon parcours.

À ma sœur Zahia,

Pour ton écoute, ta tendresse et ta confiance en moi, même dans les moments de doute. Ta présence a été un véritable réconfort.

À ma grande sœur Rabea et à son mari Nabil,

Merci pour votre bienveillance, vos conseils et votre soutien tout au long de cette aventure.

À mes petits anges, Aksil et Iline,

Vous êtes ma lumière au quotidien. Votre innocence et vos sourires m'ont donné la force d'avancer, même dans les moments les plus difficiles.

À ma chère collègue, amie d'enfance et sœur de cœur Faroudja

Merci pour ton amitié fidèle, ton soutien constant et cette belle complicité que le temps n'a jamais altérée. Avoir partagé ce chemin avec toi a été une chance inestimable.

À moi-même,

Pour avoir tenu bon malgré les doutes, les défis et la fatigue. Pour avoir cru en mes rêves, même lorsque le chemin semblait incertain. Ce mémoire est aussi le fruit de ma persévérance, de mon travail et de ma résilience

Naima

Résumé

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.), est une espèce emblématique du bassin méditerranéen, elle présente un intérêt agro-économique croissant en Algérie, en raison de sa richesse en sucres. Ce mémoire vise à évaluer et comparer la teneur en sucres totaux des gousses de caroubier issues de trois provenances distinctes de la wilaya de Tizi Ouzou : M'kira, Fréha et Oued Aissi. L'analyse quantitative des sucres totaux a été réalisée par la méthode colorimétrique de Dubois (phénol-acide sulfurique), tandis qu'une identification qualitative des sucres a été effectuée par chromatographie sur couche mince (CCM). Les résultats ont révélé une variabilité significative de la teneur en sucres totaux, avec des valeurs de 26,62% pour Oued Aissi, 24,07% pour Fréha et 17,89% pour M'kira. Ces teneurs, bien que modérées comparées à certaines références internationales, se situent dans la gamme observée pour d'autres écotypes algériens. La comparaison avec des données antérieures de la même wilaya (Iferhounene, 40,14%) souligne l'importance de la diversité intra régionale et le potentiel de sélection. La CCM a confirmé la présence majoritaire de glucose et fructose. Ce travail constitue une contribution à la caractérisation biochimique du caroubier local et souligne la nécessité de poursuivre les recherches pour identifier et valoriser les écotypes les plus performants en vue d'un développement durable de cette filière.

Mots-clés : *Ceratonia siliqua* L., Tizi Ouzou, sucres, variabilité.

Summary

The carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) is an emblematic species of the Mediterranean basin and is becoming increasingly important for its sugar-rich pulp, particularly in Algeria. This dissertation aims to evaluate and compare the total sugar content of carob pods from three locations in the Tizi Ouzou region: M'kira, Fréha and Oued Aissi. Total sugars were analyzed quantitatively using the Dubois colorimetric method (phenol-sulphuric acid), while sugars were identified qualitatively using thin-layer chromatography (TLC). The results revealed significant variability in total sugar content, with values of 26,62%, 24,07% and 17,89% for Oued Aissi, Fréha and M'kira respectively. While these levels are moderate compared to some international references, they are within the range observed for other Algerian ecotypes. Comparing these results with previous data from the same region (Iferhounene, 40,14%) highlights significant intra-regional diversity and the potential for selection. TLC confirmed the presence of glucose and fructose in significant quantities. This study contributes to the biochemical characterization of the local carob tree and emphasizes the necessity of further research to identify and utilize the most promising ecotypes for the sustainable development of this sector.

Key words: *Ceratonia siliqua* L., Tizi Ouzou, sugar, variability.

Liste des abréviations

APG : Angiosperm Phylogeny Group.

°C : Degré Celsius

C : Concentration

DO : Densité optique

g : Gramme

H₂SO₄ : Acide sulfurique

h : heure

Kg : Kilogramme

L: Litre

mg : Milligramme

MS : Matière sèche

nm : Nanomètre

µl : Microlitre

Figure 1: Arbre du caroubier photo personnelle Slimani et Slimane, ITMAS 2025	3
Figure 2: Feuilles du caroubier (photo personnelle Slimani et Slimane, ITMAS, 2025.....	4
Figure 3: Fleurs mâle et femelle du caroubier (photo personnelle madame AKILI, ITMAS, 2024).....	5
Figure 4: Fruits du caroubier avant et après maturité (photo personnelle Slimani et Slimane, 2024, 2025).....	6
Figure 5: Tronc du caroubier (photo personnelle Slimani et Slimane, ITMAS, 2025).....	7
Figure 6 : Carte géographique des trois régions.....	12
Figure 7 : Les échantillons de gamme de glucose.....	14
Figure 8 : Echantillon de M'kira à différentes concentrations.....	15
Figure 9 : Echantillon de Oued Aissi à différentes concentrations.....	15
Figure 10 : Echantillon de Freha à différentes concentrations.....	15
Figure 11 : Le spectrophotomètre UV-1900I de SHIMADZU	15
Figure 12 : Courbe d'étalonnage de glucose	12
Figure 13 : Taux des sucres totaux des différents arbres	13
Figure 14 : Plaque d'analyse chromatographie sur couche mince	25

Tableau 1 : Classification classique et phylogénétique de <i>C. siliqua</i> L	3
Tableau 2 : Les valeurs des absorbances des différentes solutions.	20

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Sommaire

Introduction	1
Chapitre I : Généralités sur le caroubier	3
I.1 Taxonomie de l'espèce	3
I.2 Morphologie	3
I.2.1 Feuilles	4
I.2.2 Fleurs	4
I.2.3 Fruits	5
I.2.4 Graines	7
I.2.5. Tronc	7
I.2.6 Racines	7
I.2 Répartition géographique	7
I.2.1 Origine et aires de répartition	7
I.2.2 Conditions climatiques	8
I.3 Cycle biologique et mode de reproduction	9
I.3.1 Développement et croissance	9
I.3.2 Multiplication	9
I.4 Importance écologique	9
Chapitre II : Matériel et méthodes	11
II.1 Présentation des sites d'échantillonnage	11
II.1.1 Localisation géographique des trois régions étudiées	11
II.2 Matériel végétal	12
II.3 Partie expérimentale	12
II.3.1 Matériel de laboratoire	12
II.3.2 Méthode d'analyse des sucres	13
Chapitre III : Résultats et discussion	20
III.1 Résultats de dosage des sucres totaux	20
III.2 Résultat de la CCM	25
III.3 Discussion sur l'analyse chromatographie sur couche mince	26

Sommaire

Conclusion	28
Liste des références	29



Introduction

Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*), est une espèce emblématique du bassin méditerranéen. Il suscite un intérêt croissant en raison de sa capacité d'adaptation aux conditions climatiques arides et de ses multiples utilisations économiques, écologiques et alimentaires. Cet arbre est cultivé depuis l'Antiquité, appartient à la famille des *Fabaceae*. Il est surtout connu pour ses fruits appelés les caroubes qui sont riches en sucres naturels, en fibres et en composés bioactifs (Batlle & Tous, 1997). Leur pulpe sucrée, utilisée aussi bien dans l'alimentation humaine que dans l'industrie agroalimentaire, représente une alternative intéressante aux édulcorants synthétiques et au cacao.

En Algérie, et plus particulièrement dans la wilaya de Tizi Ouzou, le caroubier est une espèce bien implantée, mais encore sous-exploitée malgré son potentiel économique. La variabilité des conditions édapho-climatiques et des pratiques culturelles dans cette région montagneuse suggère l'existence de différences notables entre les provenances locales du caroubier, notamment en ce qui concerne la composition de leurs fruits. Parmi les critères les plus recherchés figure la teneur en sucres de la pulpe, paramètre déterminant pour la valorisation industrielle et nutritionnelle de la caroube (Biner et al., 2007).

En effet, les gousses de caroubier présentent une teneur élevée en sucres principalement le saccharose avec une valeur variant entre 45 à 87,5%. Elles contiennent également des composés phénoliques à des concentrations de 1,4 à 3,2% et des fibres alimentaires de 5,5 à 11%, ainsi que des cendres de 2,2 à 3,4%. Cependant, leur teneur en protéines 0,3 à 7,6% et en lipides 2,2 à 3,4% reste relativement faible. (Yalimakaya et al, 2022)

Ainsi, la présente étude se propose d'évaluer et de comparer la teneur en sucres chez différentes provenances de caroubier situées dans trois localités de la wilaya de Tizi Ouzou. Ce travail vise à identifier les provenances les plus intéressantes du point de vue de leur richesse glucidique, dans une optique de sélection et de valorisation agro économique.

Le mémoire s'articule autour de trois grandes parties :

- Le premier chapitre, consacré aux généralités, présente les aspects botaniques, écologiques et économiques du caroubier, ainsi que l'importance de ses fruits et de leur teneur en sucres.
- Le second chapitre, à caractère pratique, détaille la méthodologie adoptée, le choix des sites d'étude, les techniques d'échantillonnage et d'analyse.

Le troisième chapitre, porte sur la comparaison et la discussion des résultats obtenus, permettant de tirer des conclusions pertinentes à partir des données recueillies



Chapitre I : Généralités sur le caroubier

I.1 Taxonomie de l'espèce

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) appartient à la famille des *Fabaceae* (anciennement Légumineuses), sous-famille des *Caesalpinioideae*. Il s'agit de l'unique espèce du genre *Ceratonia* encore existante de nos jours (Batlle & Tous, 1997). Sa classification taxonomique se présente comme suit :

Tableau.1 : Classification classique et phylogénétique de *C. siliqua* L.

Classification pré- phylogénétique (Cronquist, 1981)		Classification phylogénétique (APGIII, 2009)	
Règne	<i>Plantae</i>	Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	<i>Tracheobionta</i>	Clade	<i>Tracheobionta</i>
Embranchement	<i>Spermaphytes</i>	Clade	<i>Magnoliophyta</i>
Sous-embranchement	<i>Magnoliophyta</i>	Clade	<i>Rosidés</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>	Clade	<i>Rosidés I</i>
Sous-classe	<i>Rosidae</i>	Ordre	<i>Fabales</i>
Ordre	<i>Fabales</i>	Famille	<i>Fabaceae</i>
Famille	<i>Caesalpinaceae</i>	Sous-famille	<i>Caesalpinioideae</i>
Sous-famille	<i>Caesalpinioideae</i>	genre	<i>Ceratonia</i>
Genre	<i>Ceratonia</i>	espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L.
Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L.		

Le nom scientifique "*Ceratonia*" dérive du grec "keras" (corne), en référence à la forme de ses gousses, tandis que "*siliqua*" désigne en latin un type de fruit en forme de gousse (Tous et al., 2013).

I.1.2 Morphologie

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est un arbre ou arbuste sclérophylle à croissance lente (Fig.1), pouvant atteindre dans les conditions propices une hauteur de 7-10 m et même 15 à 20 m en Orient et une circonférence à la base du tronc de 2 à 3 m (Batlle et Tous, 1997 ; Ait chitt et al., 2007). Il possède une cime très étalée et arrondie. C'est un arbre xérophile avec une longévité importante dépassant les 200 ans (Rejeb et al., 1991 ; Benmahioul et al., 2011).



Figure 1: Arbre du caroubier photo personnelle Slimani et Slimane, ITMAS 2025.

I.1.2.1 Feuilles

Les feuilles du caroubier sont composées, paripennées, alternes et persistantes. Elles mesurent entre 10 et 20 cm de longueur et comportent généralement 4 à 10 folioles coriaces, de forme ovale à elliptique (Batlle & Tous, 1997). La face supérieure est luisante et de couleur vert foncé, tandis que la face inférieure est plus claire. Les folioles, de 3 à 7 cm de long et 2 à 3,5 cm de large, présentent un limbe coriace qui constitue une adaptation aux conditions de sécheresse (Correia & Martins-Loução, 2005).

F



Figure 2: Feuilles du caroubier (photo personnelle Slimani et Slimane, ITMAS, 2025).

I.1.1.2 Fleurs

Le caroubier est une espèce dioïque (pieds mâles et femelles séparés), bien que des individus hermaphrodites puissent également exister. Les fleurs, dépourvues de pétales, sont regroupées en inflorescences racémiformes axillaires de 2 à 12 cm de long. Les fleurs mâles produisent du pollen abondant avec 5 étamines, tandis que les fleurs femelles possèdent un pistil allongé contenant de nombreux ovules (Zohary, 2002). La floraison s'étend généralement de septembre à novembre, selon les conditions climatiques locales (Tucker, 1992).

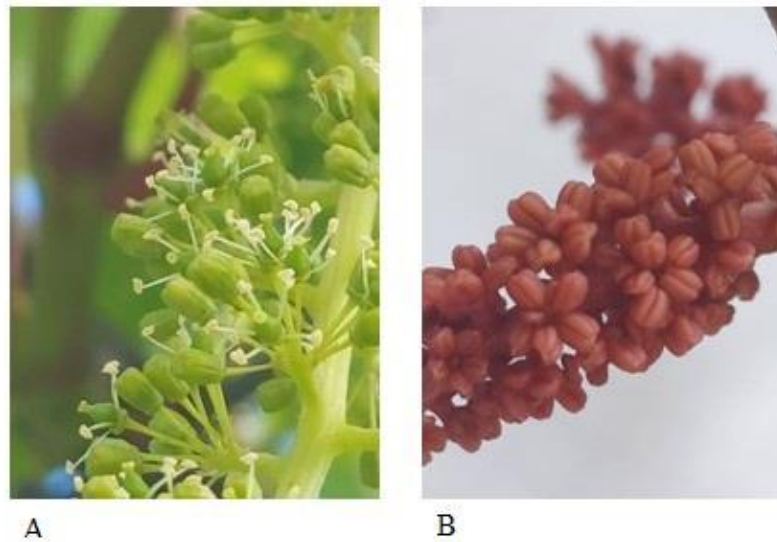


Figure 3: Fleurs mâle et femelle du caroubier (photo personnelle Akili, ITMAS, 2024)

A : Fleurs males ; B : Fleurs femelles.

I.1.1.3 Fruits

Le fruit du caroubier, connu sous le nom de caroube, est une gousse indéhiscente, coriace et aplatie, qui atteint à maturité une couleur brun foncé. Ses dimensions varient généralement entre 10 à 30 cm de long, 1,5 à 3 cm de large, et environ 1 cm d'épaisseur. Ce fruit se distingue par une pulpe épaisse, charnue et particulièrement sucrée, qui constitue près de 80 à 90 % du poids total de la gousse (Tous et al., 2013).

Sur le plan biochimique, la pulpe de caroube est exceptionnellement riche en sucres naturels. Elle contient en moyenne entre 30 et 50 % de glucides selon la variété et les conditions de culture, principalement sous forme de saccharose, glucose et fructose (Fletcher et al., 2016 ; Rejeb et al., 2016). Cette richesse en sucres donne à la caroube un goût naturellement doux et agréable, sans amertume, ce qui en fait un édulcorant naturel de plus en plus prisé dans les industries agroalimentaires et pharmaceutiques (Romano et al., 2002).

Du point de vue nutritionnel, la caroube est considérée comme une source d'énergie rapide, mais aussi durable, grâce à son index glycémique modéré. Elle est également très bien tolérée par l'organisme, y compris chez les personnes souffrant de troubles digestifs ou métaboliques comme le diabète (en quantités contrôlées), ce qui en fait un ingrédient de choix dans les produits diététiques (Correia & Martins-Loução, 2005). En outre, la pulpe est riche en fibres alimentaires (pectines, lignine, cellulose), en antioxydants naturels (polyphénols, flavonoïdes) et en minéraux essentiels tels que le calcium, le magnésium, le potassium et le fer (Barracosa et al., 2007).

Grâce à cette composition exceptionnelle, la caroube est utilisée sous de multiples formes :

- En poudre, comme substitut naturel du cacao (sans caféine ni théobromine),
- En sirop, comme sucrant naturel dans les pâtisseries, les confitures ou les boissons énergétiques,
- En farine, pour enrichir les produits de boulangerie et les aliments pour enfants,
- En complément alimentaire, sous forme de gélules ou d'extraits concentrés.

Sur le plan économique, la valorisation de la pulpe sucrée de caroube représente une opportunité importante pour les régions méditerranéennes. Les produits dérivés de la caroube connaissent une demande croissante sur les marchés internationaux, notamment en raison de la tendance mondiale vers des aliments naturels, sans sucre raffiné, et sans additifs chimiques (Batlle & Tous, 1997 ; Tous et al., 2013).

Outre ses usages humains, la caroube est aussi très appréciée dans l'alimentation animale, notamment pour les ruminants, en raison de son goût sucré et de sa forte valeur énergétique. Elle est souvent intégrée dans les formulations de compléments alimentaires pour bétail, contribuant ainsi à une agriculture plus durable (Fletcher et al., 2016).

Enfin, la richesse en sucres de la caroube joue un rôle écologique non négligeable. Elle constitue une source de nourriture précieuse pour de nombreuses espèces animales, notamment dans les zones méditerranéennes arides où les ressources végétales sont limitées. La douceur de sa pulpe attire divers mammifères et oiseaux qui participent à la dissémination des graines, favorisant ainsi la régénération naturelle des peuplements de caroubiers (Zohary, 2002).



Figure 4: Fruits du caroubier avant et après maturité (photo personnelle Slimani et Slimane, 2024, 2025) A : fruits du caroubier avant maturité ; B : fruits du caroubier après maturité

I.1.1.4 Graines

Chaque gousse contient de 10 à 15 graines dures et brillantes, uniformes en taille et en poids, caractéristique qui leur a valu d'être utilisées comme unité de mesure (le carat) pour les pierres précieuses dans l'Antiquité (Fletcher et al., 2016). Ces graines, d'environ 8-10 mm de long, sont séparées entre elles par une pulpe sucrée et entourées d'un endocarpe lignifié qui leur confère une grande résistance et une longévité remarquable (Barracosa et al., 2007).

I.1.1.5 Tronc

Le caroubier développe un tronc court, tortueux et robuste, pouvant atteindre jusqu'à 1 mètre de diamètre. Son écorce est lisse et grise dans les premières années, puis devient rugueuse et brune avec l'âge (Rejeb et al., 2016). La ramification est importante et commence généralement à faible hauteur, formant une couronne dense et arrondie pouvant atteindre 15 à 20 mètres de hauteur (Batlle & Tous, 1997)



Figure 5: Tronc du caroubier (photo personnelle Slimani et Slimane, ITMAS, 2025)

I.1.1.6 Racines

Le système racinaire du caroubier est puissant et profond, ce qui lui permet d'explorer efficacement le sol à la recherche d'eau et de nutriments, même dans des conditions difficiles. La racine principale peut pénétrer jusqu'à 20 mètres de profondeur dans les sols appropriés (Correia & Martins-Loução, 2005). Cette caractéristique confère au caroubier une remarquable résistance à la sécheresse et lui permet de survivre dans des environnements arides où peu d'autres espèces arborescentes peuvent prospérer.

I.2 Répartition géographique

I.2.1 Origine et aires de répartition

Le caroubier est originaire des régions orientales du bassin méditerranéen, probablement du Moyen-Orient ou de la péninsule Arabique (Zohary, 2002). Il s'est ensuite répandu dans toute

la région méditerranéenne grâce aux civilisations anciennes, notamment les Grecs et les Romains, qui appréciaient ses multiples usages (Tous & Batlle, 1990).

Aujourd'hui, on trouve le caroubier principalement dans les pays du pourtour méditerranéen : Espagne (premier producteur mondial), Italie, Portugal, Maroc, Grèce, Turquie, Chypre, Algérie, Tunisie, mais aussi dans d'autres régions au climat similaire comme certaines parties d'Australie, Californie et Afrique du Sud où il a été introduit (Tous et al., 2013).

En Algérie, le caroubier est fréquemment cultivé dans l'Atlas Saharien et il est commun dans le tell (Que zel et Santa, 1962). on le trouve à l'état naturel en association avec l'amandier, *Olea Europea* et *Pistacia Atlantica* dans les étages semi-aride chaud, subhumide et humide, avec une altitude allant de 100m à 1300m dans les vallons frais qui le protègent de la gelée ; avec une température de 5°C jusqu'à 20°C et une pluviométrie de 80mm à 600mm/an (Rebour, 1968). Suivant ces critères climatiques ; on a établi l'aire de répartition du caroubier en Algérie (Figure 5) et à Tlemcen dans les régions suivantes : Sidi M'djahed, Sebra, Henaya, Tlemcen, Aïn Tellout, Sidi Abdli, Remchi, Ben Sekran, Aïn Youcef et de Beni Saf jusqu'à Marsat Ben M'hidi (figure 6).

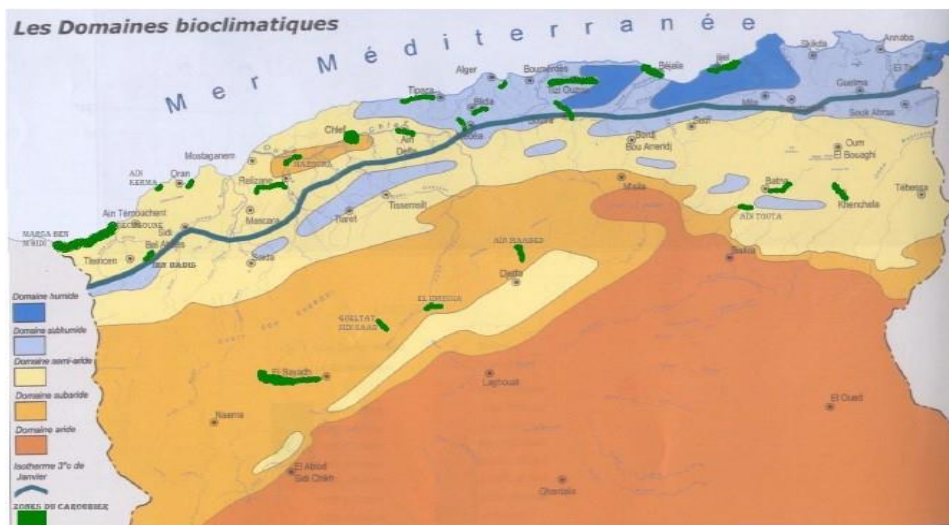


Figure 5 : Distribution du caroubier en Algérie suivant les domaines bioclimatiques (A.N.R.H, 2004)

I.2.2 Conditions climatiques

Le caroubier est parfaitement adapté au climat méditerranéen caractérisé par des étés chauds et secs et des hivers doux et humides. Il prospère dans des zones où les précipitations annuelles varient entre 250 et 500 mm (Batlle & Tous, 1997).

L'espèce est thermophile et supporte bien les températures élevées, pouvant résister à des températures de 40°C et plus. Cependant, elle est sensible au gel prolongé et supporte difficilement des températures inférieures à -4°C (Rejeb et al., 2016). Le caroubier se développe préférentiellement à des altitudes inférieures à 500 m (Tous & Batlle, 1990).

I.3 Cycle biologique et mode de reproduction :

I.3.1 Développement et croissance

Le caroubier est une espèce à croissance lente mais à longévité remarquable, pouvant vivre jusqu'à 200-300 ans. Les jeunes plants connaissent un développement initial assez lent pendant les 3-4 premières années, puis la croissance s'accélère progressivement (Correia & Martins-Loução, 2005).

La maturation sexuelle intervient tardivement, généralement entre 5 et 7 ans pour les arbres mâles et 7 à 9 ans pour les femelles. La pleine production n'est atteinte qu'après 15 à 20 ans (Batlle & Tous, 1997). Cette entrée en production tardive constitue l'un des principaux freins à l'expansion commerciale de cette culture.

La floraison se produit généralement en automne (septembre-novembre), et la maturation des fruits s'étale sur une période de 9 à 12 mois. Les caroubes sont ainsi récoltées l'été suivant (juillet-septembre), lorsqu'elles atteignent leur pleine maturité (Tous et al., 2013).

I.3.2 Multiplication

La reproduction du caroubier peut se faire par voie sexuée (semis) ou asexuée (bouturage, greffage, culture *in vitro*) :

- Reproduction sexuée : Les graines de caroubier présentent une dormance tégumentaire due à la dureté de leur enveloppe. Pour germer naturellement, elles nécessitent généralement le passage dans le tractus digestif d'animaux ou une scarification naturelle. En culture, diverses techniques de scarification (mécanique, chimique ou thermique) sont employées pour accélérer la germination (Barracosa et al., 2007).
- Reproduction asexuée : Le greffage constitue la méthode de multiplication végétative la plus couramment utilisée pour la production commerciale. Cette technique permet de conserver les caractéristiques des variétés sélectionnées et d'accélérer l'entrée en production. Le bouturage est également possible mais présente un taux de réussite variable selon les conditions (Batlle & Tous, 1997). Plus récemment, des techniques de

culture *in vitro* ont été développées pour la propagation clonale rapide d'individus sélectionnés (Romano et al., 2002).

I.4 Importance écologique

Le caroubier joue un rôle écologique majeur dans les écosystèmes méditerranéens pour plusieurs raisons :

- Lutte contre l'érosion : Grâce à son système racinaire puissant et profond, le caroubier contribue efficacement à stabiliser les sols, particulièrement sur les terrains en pente et les zones menacées par l'érosion (Rejeb et al., 2016).
- Résistance aux incendies : L'espèce présente une certaine résistance aux incendies de forêt, fréquents en région méditerranéenne. Son écorce épaisse et sa capacité à régénérer après un incendie en font une espèce intéressante pour la reforestation des zones incendiées (Tous & Batlle, 1990).
- Amélioration des sols : Bien que la fixation d'azote atmosphérique par le caroubier soit limitée comparée à d'autres légumineuses, l'espèce contribue à l'amélioration de la structure et de la fertilité des sols grâce à l'apport de matière organique via la litière de feuilles et de fruits (Correia & Martins-Loução, 2005).
- Habitat et ressource pour la faune : Les caroubes constituent une ressource alimentaire importante pour de nombreuses espèces animales sauvages, tandis que la canopée dense de l'arbre offre un abri et un habitat à diverses espèces d'oiseaux et d'insectes (Zohary, 2002).
- Adaptation au changement climatique : Dans le contexte actuel de réchauffement climatique et d'aridification du bassin méditerranéen, le caroubier représente une espèce d'intérêt majeur en raison de sa résistance exceptionnelle à la sécheresse et aux températures élevées. Son utilisation est de plus en plus envisagée dans les programmes de reforestation et d'agroforesterie des zones menacées par la désertification (Tous et al., 2013).

Chapitre II : Matériel et méthodes

II.1 Présentation des sites d'échantillonnage

II.1.1 Localisation géographique des trois régions étudiées

II.1.1.1 M'kira

La ville de M'kira est située dans la partie sud-ouest de la province de Tizi Ouzou, à environ 50 km de la capitale provinciale. Il fait partie du district de Tizi Gheniff et son chef-lieu est le village de Tighilt Bougueni.

Les coordonnées géographiques de la municipalité sont 36.62°N, 3.79°E (Figure 6). La zone urbaine couvre une superficie de 35,84 km². Le terrain de la région est principalement montagneux, avec une altitude moyenne de 500 m. Cette variation d'altitude entraîne une diversité de microclimats locaux. Selon le recensement réalisé en 2008 M'kira compte environ 17 690 habitants. Le climat est méditerranéen, avec des hivers frais et humides et des étés chauds et secs. (Anonyme1)

II.1.1.2 Freha

La ville de Freha est située à environ 31 km à l'est de Tizi Ouzou. La superficie est de 68,55 km². Son altitude moyenne est d'environ 300 m et ses coordonnées géographiques approximatives sont 36.75°N et 4.31°E. La zone a été choisie en raison de son abondance de caroubiers (*C. siliqua* L.).(Anonyme2)

II.1.1.3 Oued Aissi

Oued Aissi est une ville située à 25 km à l'est de la ville de Tizi Ouzou dans la région montagneuse du Djurdjura au nord de l'Algérie. Une vallée fluviale du même nom traverse la région et constitue un affluent important de la rivière Sebaou. Il est situé à 36.70°N, 4.09 °E. L'altitude moyenne de la ville est d'environ 71 m.

Le terrain est constitué de plaines alluviales et est relativement doux par rapport aux zones montagneuses adjacentes. Le climat est méditerranéen humide avec des hivers pluvieux et des étés chauds. En raison de ses sols riches en alluvions et de son eau abondante, la région est particulièrement adaptée à l'agriculture et à la culture du caroubier, une espèce d'arbre bien adaptée aux environnements semi-humides (Anonyme 3).

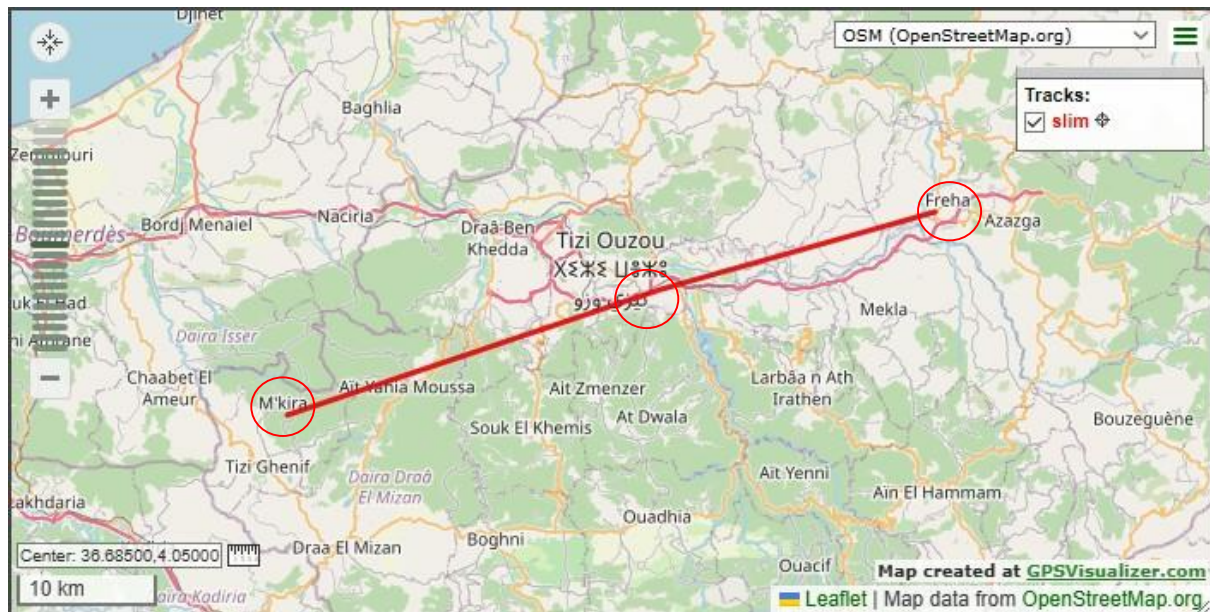


Figure 1 : Carte géographique des trois régions

II.2 Matériel végétal

Trois lots de gousses en pleine maturité ont été échantillonnés sur des pieds cultivés de caroubier. Chaque échantillon provient d'un site différent de la wilaya de Tizi Ouzou (M'kira, Freha, Oued Aissi) en Août 2024, et stockées dans un endroit sec à température ambiante.

II.3 Partie expérimentale

Nous avons procédé au dosage des sucres totaux contenant dans les gousses de caroubier. On a enlevé uniquement les graines, puis on a récupéré la pulpe et elle est ensuite on a broyé finement la pulpe à l'aide d'un broyeur traditionnel. La poudre obtenue est tamisée et utilisée pour notre expérience.

Pour réaliser ce travail, nous avons utilisé le matériel suivant :

II.3.1 Matériel de laboratoire

II.3.1.1 Liste des équipements utilisés

- ✓ Broyeur traditionnel
- ✓ Balance de précision
- ✓ Tube à essai

- ✓ Four de laboratoire pour chauffer des échantillons
- ✓ Entonnoirs, papier wattman pour filtration
- ✓ Fiole jaugée 250ml et 100ml
- ✓ Bécher, pipettes électronique
- ✓ Spectrophotomètre UV-1900I de SHIMADZU, cuves en Quartz

II.3.1.2 Produits chimiques et réactifs

- ✓ Acide sulfurique (H_2SO_4) concentré entre 97 à 99%
- ✓ Phénol (C_6H_6O) à (5%)
- ✓ Glucose($C_6H_{12}O_6$)

II.3.2 Méthode d'analyse des sucres

II.3.2.1 Dosage des sucres totaux par la méthode de Dubois

Principe de la méthode

Cette méthode repose sur l'utilisation de l'acide sulfurique concentré pour hydrolyser les sucres contenus dans l'échantillon ainsi que leur déshydratation pour produire à la fin des hydroxyméthylfurfurals (Hexoses) et des furfurals (pentoses), après ajout du phénol à 5% une coloration jaune orangée (dorée) sera observée (Dubois et al.,1956).

II.3.2.1.1 Mode opératoire

A. Préparation de la gamme d'étalonnage (glucose)

Préparation de la solution mère :

- ✓ Peser 5 mg de poudre de glucose dans 5 ml d'eau distillée, à savoir une concentration de (1 mg/ml) ;
- ✓ Dilution de la solution mère (1mg/ml) pour préparer une solution de (100 µg/ml) ;
- ✓ Réaliser les dilutions $\frac{1}{2}$ { 50 µg/ml ,25 µg/ml ,12.5 µg/ml ,6.25 µg/ml ,3.125 µg/ml }

Préparation d'une solution de phénol à 5 % (5 g de phénol + 100 ml ED) ;

- ✓ Ajouter 5 ml Acide sulfurique bien agité, laisser pendant 15min jusqu'au refroidissement des tubes ;

- ✓ Ajouter 1ml de phénol à 5 % .Agitez bien et laissez pendant 1 h à température ambiante (25 à 30 °C) à l'obscurité.

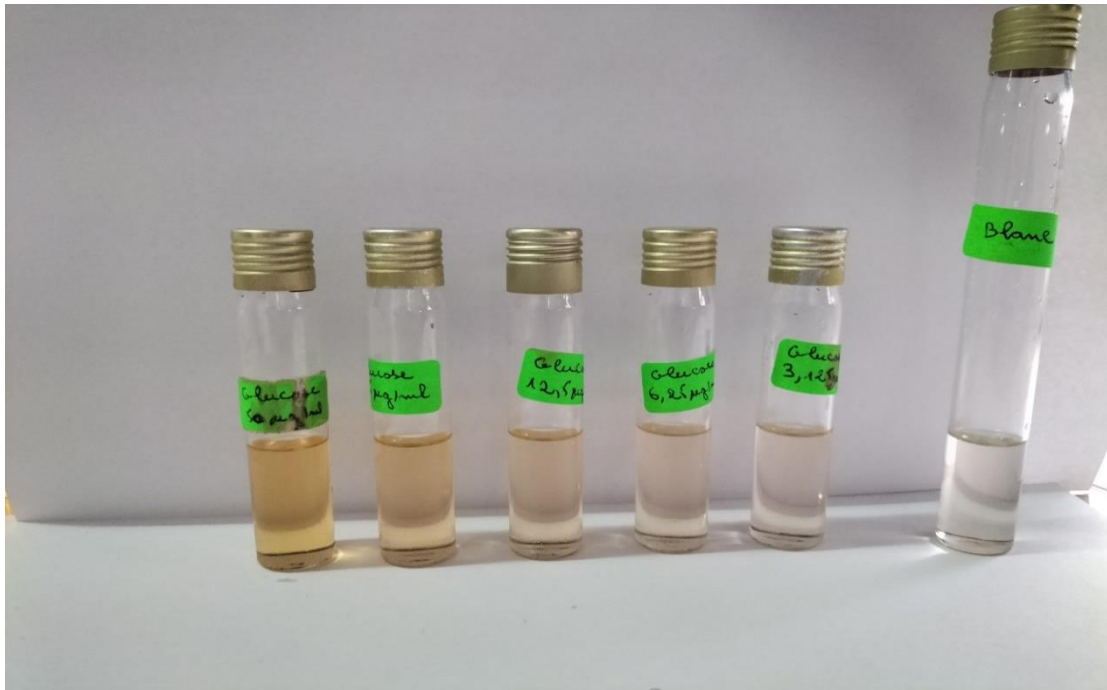


Figure 2 : Les échantillons de gamme de glucose

B. Préparation de l'échantillon (poudre de caroube) :

- ✓ 0.25 g de poudre +10 ml d'acide sulfurique à 0.5 M ;
- ✓ Chauffage au four à 105 °C pendant 2 h ;
- ✓ Transvaser dans une fiole jaugée (250 ml), ajouter d'ED jusqu'à 250 ml ;
- ✓ Filtration avec papier wattman ;
- ✓ Réaliser les dilutions ½ à partir de la solution mère de (1 mg/ml) ;
- ✓ On a préparé 5 dilutions { 100 µg/ml ,50µg/ml ,25µg/ml ,12.5µg/ml ,6.25µg/ml } ;
- ✓ Ajouter 5 ml Acide sulfurique bien agiter, laisser pendant 15min jusqu'au refroidissement des tubes ;
- ✓ Ajouter 1 ml phénol à 5%. Agitez bien et laissez pendant 1h à température ambiante (25 à 30 °C) à l'obscurité.

C. Préparation de blanc (tous les réactifs excepté l'échantillon)

- ✓ Dans un tube à essai, on met 1 ml d'ED + 5 ml d'acide sulfurique et 1ml de phénol 5%



Figure 4: Echantillons de Oued Aissi à différentes concentrations



Figure 3 : Echantillons de M'kira à différentes concentrations

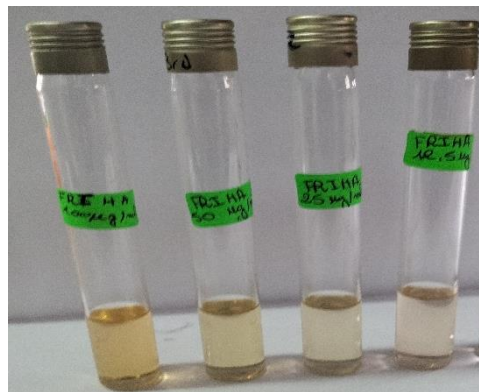


Figure 5 : Echantillons de Freha à différentes concentrations.

C. Mesurer les absorbances

Les absorbances des différents échantillons ont été mesurés à l'aide d'un spectrophotomètre (UV-1900I de SHIMADZU) (Figure 11).



Figure 6 : Photo de spectrophotomètre utilisé

- ✓ Déterminer (λ max) en effectuant un balayage spectrophotométrique dans une plage allant de 450 à 520 nm avec la solution la plus concentrée de glucose (50 $\mu\text{g/ml}$) et les absorbances des solutions ont été mesurées à 489 nm.
- ✓ L'étalonnage avec le blanc ;
- ✓ Mesurer les absorbances des échantillons et de la gamme de glucose allant de la solution la moins concentrée jusqu'à la plus concentrée.

II.3.2.2.1 Chromatographie sur couche mince

Principe

La chromatographie sur couche mince (CCM) repose sur le principe fondamental de la migration différentielle, régie par les affinités variables des composants d'un échantillon pour deux phases distinctes : la phase stationnaire et la phase mobile. La phase stationnaire est généralement constituée d'une fine couche uniforme d'un matériau adsorbant finement pulvérisé. Le plus souvent du gel de silice (SiO_2), de l'oxyde d'aluminium (Al_2O_3) ou de la cellulose déposée sur un support rigide tel qu'une plaque en verre, en aluminium ou en plastique. Ces matériaux adsorbants possèdent des sites actifs capables d'interagir avec les molécules de l'échantillon par l'intermédiaire de forces intermoléculaires diverses telles que les liaisons hydrogène, les interactions dipôle-dipôle, les forces de Van der Waals ou les attractions électrostatiques.

La phase mobile, qui joue le rôle de système solvant transporteur, progresse à travers la phase stationnaire par capillarité lorsque l'extrémité inférieure de la plaque de CCM est placée en contact avec le solvant. Le choix de la phase mobile est déterminant et implique souvent des solvants polaires comme le méthanol, l'éthanol ou l'acétone, des solvants non polaires tels que l'hexane ou l'éther de pétrole, ou des mélanges de solvants pour optimiser la séparation. La polarité de la phase mobile influence directement le comportement migratoire des analytes, selon la règle générale du « semblable dissout le semblable » : les composés polaires migrent plus efficacement dans des solvants polaires, tandis que les composés apolaires montrent une plus grande affinité pour des systèmes solvants apolaires.

Le mécanisme de séparation repose sur un équilibre compétitif où les constituants de l'échantillon se répartissent de manière continue entre la phase stationnaire et la phase mobile à mesure que le front du solvant progresse sur la plaque. Les composés qui interagissent fortement avec la phase stationnaire — notamment par des liaisons hydrogène ou des

interactions polaires dans le cas de la chromatographie en phase normale — ont tendance à être davantage retenus et migrent donc plus lentement. En revanche, les composés ayant de faibles interactions avec la phase stationnaire mais une forte affinité pour la phase mobile migrent plus rapidement et parcourent une plus grande distance avant la fin du développement.

La mesure quantitative de cette migration différentielle est exprimée par le facteur de rétention (R_f), calculé comme le rapport entre la distance parcourue par le centre de la tâche du composé et celle parcourue par le front du solvant. Cette valeur sans unité varie de 0 à 1 : un R_f de 0 indique une absence de migration, tandis qu'un R_f de 1 correspond à une migration équivalente à celle du front du solvant. Le R_f est caractéristique de chaque composé dans des conditions chromatographiques données, incluant la nature de la phase stationnaire, la composition de la phase mobile, la température, l'humidité et les conditions de saturation de la plaque, ce qui en fait un paramètre précieux pour l'identification qualitative et l'analyse comparative (Sherma & Fried, 2003).

Les éléments clés d'une séparation chromatographique sur couche mince sont :

- **La phase mobile :** Un jeu de solvants adapté appelé souvent éluant qui permettra l'entraînement ou migration des différents composés chimiques ou biochimiques à séparer sur une phase stationnaire pour avoir une bonne séparation.
- **Phase stationnaire :** Cette phase est composée d'un gel fixé généralement de la silice, sur un support comme une plaque en verre ou en aluminium, ce gel est souvent très polaire et qui joue le rôle de retenir des molécules plus ou moins polaires comme lui
- **Cuve chromatographique :** il s'agit d'un récipient, généralement en verre et de forme variable et qui permet le développement de la CCM.
- **Agent de révélation :** ce sont des composés chimiques généralement des solutions combinées d'acides et d'autres solvant, ou physiques comme la lampe UV, ces derniers vont interagir avec les molécules séparées pour permettre la visualisation des spots sur la plaque de CCM.

II.3.2.2.2 Matériel de laboratoire

• Liste des équipements utilisés

- ✓ Cuve chromatographique ;
- ✓ Plaque de CCM en aluminium (TLC Silica gel 60F254, 25 aluminium sheets 20*20cm, protéger de l'humidité et des vapeurs chimique. Sigma-Aldrich Canada Co. Or Milipore (Canada) Ltd. 2149 Winston Park Dr. Oakville, Ontario., 2020);
- ✓ Sèche-cheveux, four ;
- ✓ Tube capillaire ;
- ✓ Becher ;
- ✓ Flacon en verre ;
- ✓ Pulvérisateur en verre.

• Produits chimiques et réactifs

- ✓ Méthanol, acide acétique, dichlorométhane, butanol ;
- ✓ Acide sulfurique, phénol.

II.3.2.2.3 Mode opératoire

• Préparation de solution de phase mobile

Dans un flacon en verre, on renverse un volume de dichlorométhane, butanol, méthanol, acide acétique avec une proportion de 2, 3, 2, 1.

• Préparation de solution de révélation :

Solubiliser 3 g de phénol dans 95 ml d'éthanol, puis ajouter 5 ml d'acide sulfurique concentré dans un bécher puis la solution obtenue est renversée dans un pulvérisateur en verre.

II.3.2.2.4 Les étapes à suivre pour l'analyse :

- ✓ Préparer des échantillons de Fréha Oued Aissi, M'kira (1 mg/ml)
- ✓ Etablir des standard de sucres connus (1 mg /ml) [Gal, Glu, Fru, Man, Ara, Xyl, Rhm, A. Glu]
- ✓ Utiliser une plaque de CCM en aluminium, marquant une ligne de départ avec un crayon à environ 1,5 cm du bas de la plaque et du haut

- ✓ Déposer des gouttes de la solution des sucres sur la ligne de départ à l'aide des tubes capillaire, suivant cette ordre (Gal, Glu, Fru, Man, Ara, Xyl, Rhm, A. Glu, échantillon Oued Aissi, M'kira, Fréha) ;
- ✓ Puis sécher les gouttes avec un sèche-cheveux ;
- ✓ Placer la plaque dans une cuve contenant le solvant contenant dichlorométhane, butanol, méthanol, acide acétique avec les proportions suivantes: 2 :3 :2 :1 ;
- ✓ S'assurer que le niveau du solvant est en dessous de la ligne de départ ;
- ✓ Couvrir la cuve pendant le développement, qui va durer jusqu'à 3hr de temps ;
- ✓ Retirer la plaque lorsque l'éluant arrive au front du solvant ;
- ✓ Séchage de la plaque à l'aide d'un sèche-cheveux ;
- ✓ Pulvériser la plaque avec un agent de révélateur ;
- ✓ Sécher dans un four à 105 °C pendant 15 min.



Chapitre III : Résultats et Discussion

III.1 Résultats de dosage des sucres totaux

Les valeurs des absorbances des différentes solutions obtenues par l'analyse spectroscopique sont enregistrées dans le tableau 2.

Tableau 2 : Les valeurs des absorbances des différentes solutions.

Zone	ABS	Concentration $\mu\text{g/ml}$
Freha	0,285	12,03
Oued Aissi	0,304	13,31
M'kira	0,239	8,95

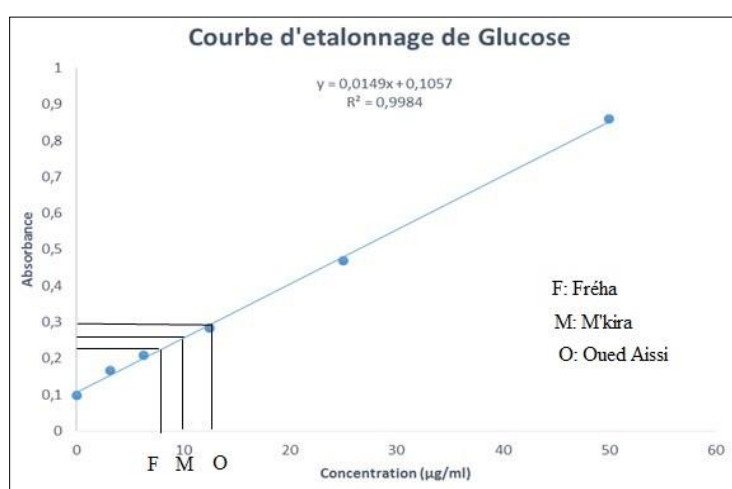


Figure 12 : La courbe d'étalonnage du glucose

En utilisant la courbe d'étalonnage du glucose (Figure 12), nous avons évalué la teneur totale en sucres dans les échantillons de gousses de caroubier.

Nous avons enregistré une variabilité assez importante de taux des sucres totaux entre les trois arbres de *C. siliqua* entre les différentes régions. Les résultats obtenus sont présentés ci-dessous (Figure 13).

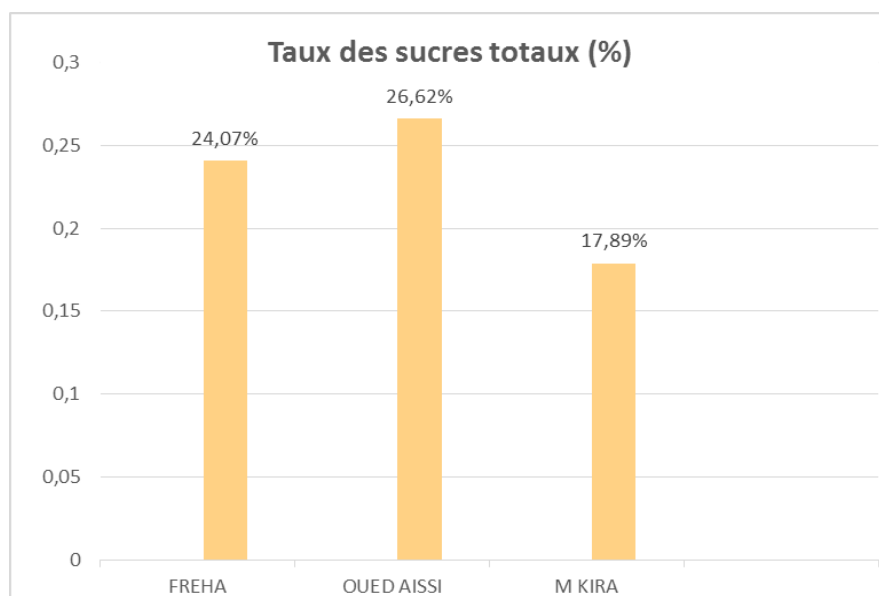


Figure 13 : Taux des sucres totaux des différents arbres

Notre étude, axée sur trois provenances distinctes de la wilaya de Tizi Ouzou, a fourni des données précieuses sur la variabilité locale.

Les valeurs obtenues, exprimées en pourcentage, se réfèrent à la teneur en sucres totaux dans la "gousse de caroubier bien mûre et sèche" que nous avons analysée. La méthodologie que nous avons employée pour le dosage des sucres totaux est la méthode de Dubois (phénol-acide sulfurique), une technique standard. Ces pourcentages sont directement comparables aux autres études rapportant des TST en pourcentage de la matière sèche ou de la poudre. Nous avons d'emblée observé une variabilité notable au sein même de la wilaya de Tizi Ouzou, avec des TST allant de près de 18 % à plus de 26 %. L'échantillon d'Oued Aissi étant le plus riche en sucres totaux, suivi de Freha, tandis que celui de M'kira a présenté la teneur la plus faible parmi les trois.

Toutefois, il est à noter que les valeurs en sucres totaux obtenus dans nos stations sont nettement inférieures à ceux enregistrés par Djeddar & Madadi (2024), dans la région de (Iferhounene) et dont les taux est de l'ordre de 40,14 %.

Cette différence dans la teneur en sucres entre les différentes provenances serait due à :

- L'existence d'une diversité génétique considérable entre les écotypes ou variétés de caroubiers présents dans différentes localités de Tizi Ouzou. La provenance d'Iferhounene pourrait correspondre à une variété intrinsèquement plus sucrée.
- Les conditions micro-environnementales (microclimat, sol, altitude spécifique du site de collecte) entre Iferhounene et les localités de M'kira, Fréha, et Oued Aissi que nous

avons étudiées pourraient être suffisamment distinctes pour impacter significativement l'accumulation des sucres.

- Des différences dans le stade de maturité à la récolte, bien que les deux études mentionnent des fruits "matures",
- La nature des sujets, qu'ils soient sauvages ou greffées serait aussi une source de variation. Généralement, les sujets greffés ont des gousses plus sucrées que celles des sujets sauvages.

Situons maintenant les valeurs de notre étude à Tizi Ouzou (17,89 % - 26,62 %) et celle d'Iferhounene (40,14 %) par rapport à un panel plus large de résultats internationaux :

Nos résultats restent inférieurs par ceux obtenus par Kyratzis et al. (2021) chez les provenances de chypre avec des taux allant de 30,5 % à 49,20. Elles sont nettement plus faibles comparées aux résultats obtenus par Ayaz et al. (2009) chez les provenances de Turquie et dont les taux oscillent entre 42 % à 86 % ou chez les provenances libanaises (Haddarah et al., 2013) avec des taux estimés à 89,46 %. Contrairement, les résultats en sucres totaux obtenus chez nos provenances sont proches de celles obtenues chez les provenances d'Espagne dont la moyenne est de 25,70 % (Albanell et al., 1991) et celles en provenance de Portugal , 25% (Correia & Pestana, 2024). D'autres études ont révélé que les taux des sucres totaux sont de l'ordre de 31,2 % les sujets hermaphrodites d'Espagne (Correia & Pestana, 2024) , 53 % chez les provenances de Turquie (Correia & Pestana, 2024), 31,5 % - 50,1 % en Turquie (Ozdemir & Yalimkaya, 2022).

La variabilité considérable des TST observée est le résultat d'une interaction complexe de multiples facteurs :

- **Facteurs génétiques (cultivar/variété/écotype) :** C'est un déterminant fondamental.
 - Chaque génotype de caroubier possède un potentiel génétique propre pour la synthèse et l'accumulation des sucres. La différence de près de 22 points de pourcentage entre M'kira (17,89 % dans notre étude) et Iferhounene (40,14 % par Djeddar & Madadi), toutes deux de Tizi Ouzou, illustre de manière frappante l'impact de la variation génétique locale. Les arbres de M'kira, Fréha et Oued Aissi pourraient appartenir à des écotypes distincts de celui d'Iferhounene, moins

performants en termes de production de sucres. La sélection, qu'elle soit naturelle ou anthropique (par greffage de variétés reconnues pour leur douceur), joue un rôle majeur.

- **Conditions environnementales (Terroir)**

- **Climat :**

- *Température et Ensoleillement* : Des températures optimales et un ensoleillement abondant durant la photosynthèse et la maturation du fruit favorisent l'accumulation des glucides. Des variations microclimatiques au sein de la wilaya de Tizi Ouzou (exposition des versants, ombrage, etc.) peuvent influencer ces paramètres pour les sites que nous avons étudiés.
- *Pluviométrie et Disponibilité en Eau* : La caroube est xérophile, mais un stress hydrique sévère peut limiter la photosynthèse. Inversement, une humidité excessive en fin de maturation peut diluer les sucres ou favoriser des attaques fongiques.

- **Sol :**

- *Type et Fertilité* : La caroube s'adapte aux sols pauvres et calcaires. (Boublenza, 2020) note que la majorité des caroubiers algériens se trouvent en zone de garrigue sur sols hétérogènes et pauvres, ce qui pourrait expliquer des teneurs en sucres globalement plus faibles. La nature du sol (texture, structure, pH, teneur en matière organique et en nutriments) à M'kira, Fréha, Oued Aissi et Iferhounene peut varier et impacter la vigueur de l'arbre et la qualité des fruits.

- **Altitude** : Elle influence la température, la durée de la saison de croissance et l'intensité du rayonnement, autant de facteurs modulant la production de sucres.

- **Pratiques agronomiques et de culture :**

- **Origine (Sauvage vs. Cultivé/Greffé)** : Les arbres sauvages ou issus de semis spontanés (fréquents en Algérie selon (Boublenza, 2020) sont génétiquement hétérogènes et généralement moins productifs en sucres que les arbres cultivés et greffés à partir de variétés sélectionnées pour leur douceur. Les échantillons

de notre étude pourraient provenir d'arbres moins sélectionnés que celui d'Iferhounene.

- **Type de plante :** le genre de plante (male, femelle ou hermaphrodite) a un impact significatif sur la composition de fruit
- **Âge et État Sanitaire de l'Arbre :** Des arbres jeunes ou stressés (maladies, ravageurs) auront une capacité photosynthétique réduite et une moindre allocation de sucres vers les fruits.
- **Densité de Plantation et Conduite du Verger :** Ces aspects, s'il s'agit de plantations, influencent la compétition pour la lumière et les nutriments.
- **Stade physiologique à la récolte :**
 - La teneur en sucres augmente significativement pendant la maturation du fruit. Une récolte trop précoce se traduit par des fruits moins sucrés. Bien que nous ayons et que d'autres études mentionnent des fruits "matures", de légères différences dans l'appréciation de la maturité optimale ou des dates de récolte légèrement décalées entre les différents sites et les différentes années d'étude peuvent induire des variations (Correia et al, 2024).
- **Traitement post-récolte et préparation de l'échantillon**
 - **Séchage :** Un séchage adéquat concentre les sucres par élimination de l'eau. Des méthodes de séchage différentes peuvent influencer la composition finale (Correia et al, 2024).
- **Méthodologie analytique**
 - Bien que la méthode de Dubois que nous avons utilisée soit standard pour les sucres totaux, des variations mineures dans son application (qualité des réactifs, précision des dilutions, type de spectrophotomètre) peuvent introduire de petites différences. Cependant, l'ampleur des écarts observés, notamment entre nos échantillons et celui d'Iferhounene, suggère que ce facteur est moins prépondérant que les facteurs génétiques ou environnementaux.

L'analyse comparative des teneurs en sucres totaux que nous avons menée révèle une hétérogénéité notable pour la caroube, tant à l'échelle internationale qu'au sein même de la wilaya de Tizi Ouzou. Les échantillons de M'kira, Fréha et Oued Aissi, avec des TST variant

de 17,89 % à 26,62 %, se positionnent dans la frange inférieure des valeurs rapportées pour la caroube, et sont significativement moins riches en sucres que l'échantillon d'Iferhounene (40,14 %) de la même wilaya.

Cette forte variabilité intra-régionale (Tizi Ouzou) est particulièrement instructive. Elle met en lumière le rôle prédominant des facteurs génétiques (diversité des écotypes locaux) et des micro-conditions environnementales spécifiques à chaque site de prélèvement. Il est plausible que les caroubiers de M'kira, Fréha et Oued Aissi que nous avons étudiés représentent des populations d'arbres moins sélectionnés pour la production de sucres, possiblement des arbres spontanés ou des variétés locales anciennes, tandis que la provenance d'Iferhounene pourrait correspondre à un écotpe naturellement plus performant ou à des arbres bénéficiant de conditions de croissance plus favorables ou d'une sélection (même informelle) par les populations locales.

Les TST plus modestes de nos trois échantillons (17,89 % - 26,62 %) s'inscrivent dans la tendance générale observée par Boublenza (2020) pour la caroube algérienne, souvent issue de peuplements naturels ou semi-naturels moins productifs en sucres que les cultivars commerciaux intensément sélectionnés dans d'autres pays. Néanmoins, le chiffre de 40,14 % pour Iferhounene prouve qu'un potentiel existe en Algérie pour des teneurs en sucres plus substantielles.

III.3 Résultat de la CCM

Les résultats obtenus avec la chromatographie sur couche mince montrent que les différentes provenances ont deux sports (Figure 14).

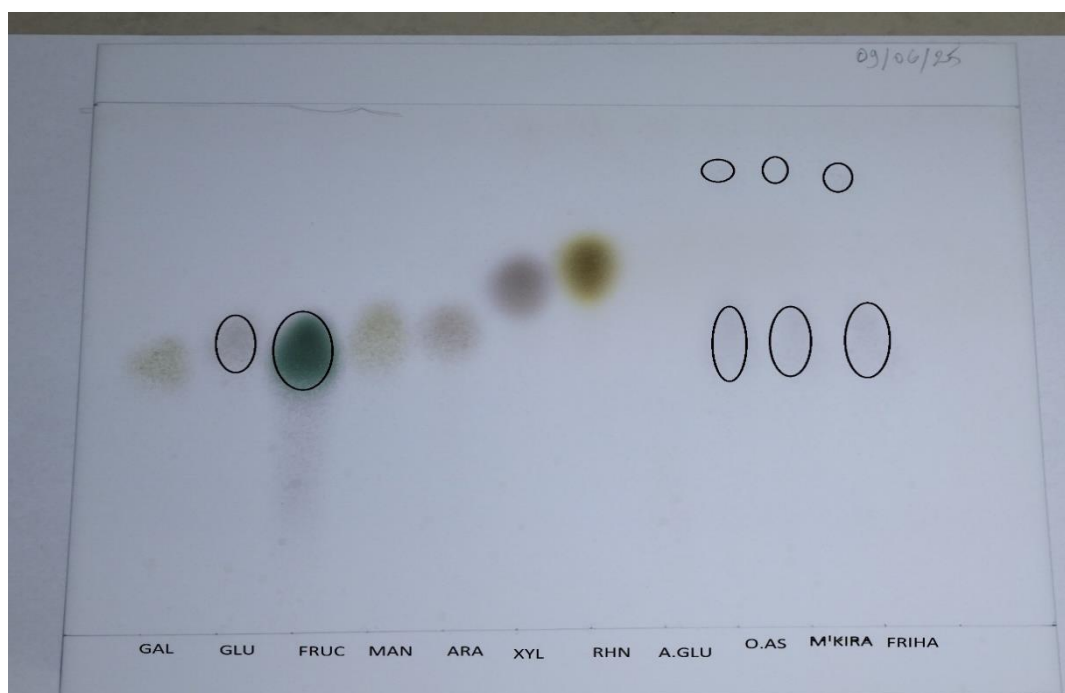


Figure 14 : Plaque d'analyse chromatographie sur couche mince

La figure 14 montre que la composition chimique des différentes solutions des 3 provenances est similaire. La plaque d'analyse chromatographique a identifié deux composants glucidiques dans les solutions étudiées, qui sont le glucose et le fructose.

III.3.1 Discussion sur l'analyse chromatographie sur couche mince

L'éluant utilisé pour avoir une meilleure séparation des sucres standards est composée de (dichlorométhane, butanol, méthanol, acide acétique avec la proportion {2, 3, 2,1}). Selon les résultats obtenus après pulvérisation avec l'agent révélateur on a obtenu des spots (taches) identiques des différents échantillons testés (Ouat Aissi, M'kira, Fréha). Chaque échantillon a donné 2 spots différents avec la même vitesse de migration.

Le 1^{er} qui est un spot migré des standards de Glucose et de Fructose, et le 2^{ème} spots qui est migré beaucoup plus loin que les sucres standard utilisé, ceci peut être expliqué au fait qu'une partie aglycone et hydrophobe est lié au sucre présent dans le caroube, et cette partie ne peut être des polyphénols puisque ces derniers sont présent en grand pourcentage dans le caroube. (Lkram et al., 2023).

On conclusion, et selon les résultats de la CCM obtenus on peut déduire que les sucres majoritaires identifiés sont le glucose et fructose et ceci concorde avec l'étude réalisé par (Lkram et al., 2023) cette dernier nous montre qu'un grand pourcentage de sucres contenu dans le caroube est principalement composé de Glucose, de Fructose et de sucrose et ceci confirmé dans nos résultats.

Pour le 2^{ème} spot observé du sucre attaché à une partie aglycone peut être expliqué par le fait que l'étape d'extraction et de purification des sucres n'est pas complète ou peu efficace, alors une optimisation de l'extraction et l'utilisation des techniques de purification plus rigoureuses des sucres contenant dans la caroube devraient être employé. Par ailleurs d'autres études plus pointues sur la composition en sucres de la caroube doivent être réalisées pour une caractérisation plus précise (FTIR, HPLC, RMN...etc).

A partir de la recherche que nous avons menée à l'échelle inter-régionale, l'étude turque de Yalimkaya & Özdemir (2022), axée sur l'optimisation de l'extraction de sucres à haute pureté à partir de caroubes turques, a permis d'identifier et de quantifier individuellement les sucres (saccharose, glucose, fructose) par chromatographie HPLC, avec une teneur totale de 10,18 % (exprimée en g/kg MS), dont 7,17 % de saccharose, 1,90 % de glucose et 1,11 % de fructose. Cette valeur, nettement inférieure à celles observées en Algérie, peut s'expliquer par des objectifs analytiques différents : tandis que notre étude et celle de Djeddar & Madadi visent à évaluer la teneur brute en sucres totaux après hydrolyse, l'approche de Yalimkaya & Özdemir cible une extraction sélective à haute pureté, avec des conditions techniques qui n'optimisent pas nécessairement le rendement global en glucides (p. ex. température modérée, exclusion de certains métabolites secondaires). En outre, les différences méthodologiques (colorimétrie vs. HPLC), la base de calcul (matière sèche ou fraîche), les variétés cultivées, ainsi que les conditions pédoclimatiques et de maturation des gousses contribuent tous à expliquer les écarts de résultats observés.



Conclusion

En conclusion, ce travail a mis en lumière la variabilité de la teneur en sucres du caroubier dans la wilaya de Tizi Ouzou, fournissant une base de données initiale pour les provenances de M'kira, Freha et Oued Aissi. Si ces dernières présentent des teneurs modérées, l'existence d'écotypes plus riches comme celui d'Iferhounene atteste du potentiel de cette espèce en Algérie. Il est donc impératif de poursuivre les investigations par une prospection plus large et une caractérisation plus approfondie (morphologique, biochimique et génétique) des populations de caroubiers, non seulement à Tizi Ouzou mais à travers tout le territoire national.

De telles études permettraient d'identifier et de sélectionner des individus ou des populations élites, adaptés aux conditions locales et présentant des caractéristiques agronomiques et qualitatives supérieures. La valorisation du caroubier, par la sélection de matériel végétal performant et l'optimisation des itinéraires techniques, pourrait ainsi contribuer significativement au développement rural durable, à la diversification agricole et à la sécurité alimentaire en Algérie.

Les perspectives de recherche incluent également l'étude de l'impact des facteurs environnementaux sur la composition des caroubes et la standardisation des techniques d'extraction et d'analyse pour une meilleure comparabilité des résultats. Il serait intéressant aussi, à l'avenir, de poursuivre le dosage des sucres arbre par arbre, en augmentant le nombre de stations, afin d'étudier la variabilité intra et inter-stationnelle de manière plus précise.



Références bibliographiques

- A.N.R.H, (2004), L'atlas pratique de l'Algérie, Edition populaire de l'armée (EPA), pp. 116
- Albanell E., Caja G. et Plaixats J., (1991). Characteristics of Spanish carob pods and nutritive value of carob kibbles. *Options Méditerranéen*, 135-136.
- Barracosa, P., Osório, J., & Cravador, A. (2007). Evaluation of fruit and seed diversity and characterization of carob (*Ceratonia siliqua L.*) cultivars in Algarve region. *Scientia Horticulturae*, 114(4), 250-257.
- Battle, I., & Tous, J. (1997). Carob tree. (*Ceratonia siliqua L.*) Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Institute of Plant Genetics and Crop Plant Research, Gatersleben/International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy.
- Biner, B., Gubbuk, H., Karhan, M., Aksu, M., & Pekmezci, M. (2007). Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua L.*) in Turkey. *Food Chemistry*, 100(4), 1453-1455.
- Biner, B., Gübbük, H., Karhan, M., Aksu, M., & Pekmezci, M. (2007). Sugar profiles of the pods of cultivated and wild types of carob bean (*Ceratonia siliqua L.*) in Turkey. *Food Chemistry*, 100(4), 1453-1455. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.10.061>
- Boublenza, I. (2020). Etude des populations spontanées et cultivées du caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) en Algérie. PhD thèse. Univ. Tlemcen, Algérie, pp.82.
- Chanaa, N., & Bendehina, R. (2023). Propriétés physico-chimique et microbiologique de quelques miels produits dans le centre Algérien.
- Correia, P. J., & Pestana, M. (2024). Sugars and phenols in carob tree fruits from different producing countries: a short review. *Heliyon*.
- Correia, P. M., & Martins-Loução, M. A. (2005). The use of macronutrients and water in marginal Mediterranean areas: the case of carob-tree. *Field Crops Research*, 91(1), 1-6.
- Djeddar, L., & Madadi, T. (2024). Caractérisation morphologique et physico-chimique de la caroube [Mémoire de fin de cycle, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Département des Sciences Alimentaires].
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. A., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, 28(3), 350–356. <https://doi.org/10.1021/ac60111a017>

Fletcher, M. T., Hungerford, N. L., & Webber, D. (2016). Carob: History, folklore, ancient medicine, & modern uses. *Journal of Ethnopharmacology*, 183, 147-160.

Frontiers in Plant Science, 11, 612376. DOI:10.3389/fpls.2020.612376

Germplasm Are Configured by Agro-Environmental Zone, Genotype, and Growing Season.

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), 1-16.

Ikram, A., Khalid, W., Wajeeha Zafar, K. U., Ali, A., Afzal, M. F., Aziz, A., ... & Koraqi, H. (2023). Nutritional, biochemical, and clinical applications of carob: A review. *Food Science & Nutrition*, 11(7), 3641-3654.

Kyrtziz AC. Antoniou C. Papayiannis LC. Graziani G. Roupheal Y. Kyriacou MC 2021. Pod

Meda, N. R. (2018). Potentiel de valorisation d'extraits bioactifs issus de bourgeons d'érable à sucre et d'érable

Milouda, K. A. K. I., & Messaouda, S. A. H. B. E. N. E. (2008). Aperçu sur les polysaccharides de la plante spontanée *Plantago notata* à caractère médicinal dans la région de Ouargla (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MARBAH OUARGLA).

Morphology, Primary and Secondary Metabolite Profiles in Non-grafted and Grafted Carob

Rejeb, M. N., Lachiheb, B., & Kaabi, N. (2016). Le caroubier (*Ceratonia siliqua L.*) en Tunisie : Importance écologique et usages. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 27(3), 84-92.

Romano, A., Barros, S., & Martins-Loução, M. A. (2002). Micropropagation of the Mediterranean tree (*Ceratonia siliqua L.*) *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*, 68(1), 35-41.

Sherma, J., & Fried, B. (2003). *Handbook of thin-layer chromatography* (3rd ed.). Marcel Dekker.

Touchstone, J. C. (1992). *Practice of thin layer chromatography: Principles and procedures*. In J. C. Touchstone (Ed.), *Practice of thin layer chromatography* (3^e éd., pp. 1–15). John Wiley & Sons.

Tous, J., & Batlle, I. (1990). *El algarrobo*. Mundi-Prensa, Madrid.

Tous, J., Romero, A., Hermoso, J. F., & Ninot, A. (2013). Mediterranean crop performance and water use efficiency of carob (*Ceratonia siliqua L.*) in Spain. *CIHEAM-IAMZ Options Méditerranéennes*, 105, 181-184.

Tucker, S. C. (1992). The developmental basis for sexual expression in *Ceratonia siliqua* (Leguminosae: Caesalpinioideae: Cassieae). *American Journal of Botany*, 79(3), 318-327.

Yalimkaya, S., & Özdemir, Y. (2022). Optimization of sugar extraction from carob pods. *Chemistry Africa*, 5(4), 1013-1025. <https://doi.org/10.1007/s42250-022-00403-7>

Zohary, M. (2002). Domestication of the carob (*Ceratonia siliqua L.*) tree: historical and evolutionary perspectives. In *Proceedings of the IV International Congress on Carob*, Cabanas-Tavira, Portugal (pp. 163-180).

https://www.vitamedz.com/fr/Tizi-Ouzou/presentation-de-m-kira-141508-Articles-15-0-1.html#google_vignette (Anonyme1)

<https://mapcarta.com/fr/17361278>(Anonyme3)

<https://en-gb.topographic-map.com/map-15djm2/Fréha>(Anonyme2)