

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université A. MIRA - Béjaïa

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de biologie Physico-chimique
Spécialité Biochimie Appliquée



Réf :.....

Mémoire de Fin de Cycle
En vue de l'obtention du diplôme

MASTER

Thème

Influence du sexe et le type de cultivar sur les teneurs en composés phénoliques et quelques activités biologiques chez le caroubier

Présenté par :

Rahmouni Basma & Ouchene Ouarda

Soutenu le : **30 juin 2024**

Devant le jury composé de :

Mr OTMANI A	MCB	Président
Mme FARHI-BOUADAM B	MCB	Encadreur
Mr TACHERFIOUT M	MCA	Examineur

Année universitaire : 2023 / 2024

Dédicace

À ma chère mère « Malika », pour son amour inconditionnel, ses sacrifices et son soutien indéfectible tout au long de mon parcours. Que ce travail soit un humble témoignage de ma gratitude et de mon affection profonde.

À la mémoire de mon père « Madani » et de mon grand-père « Lahcene », qui ne sont plus parmi nous. Vous êtes toujours présents dans mon cœur et vos enseignements continuent de guider mes pas. Ce mémoire est dédié à vous, en hommage à votre sagesse et à votre influence inestimable sur ma vie.

À mes sœurs, spécialement « Amel » et mes frères, pour leur encouragement constant et leur présence réconfortante. Merci de croire en moi et de me soutenir dans toutes mes entreprises.

À mes amis, pour leur camaraderie, leur aide précieuse et les moments de joie partagés. Votre soutien a été une source de motivation et de réconfort tout au long de cette aventure académique.

À mon binôme de travail, « Ouarda », pour sa collaboration, son soutien et son dévouement tout au long de ce projet. Travailler avec toi a été une expérience enrichissante et précieuse.

À mon encadreur « Dr FARHI épouse BOUADAM », pour ses conseils avisés, sa patience et son expertise. Votre guidance a été essentielle à la réalisation de ce mémoire et je vous en suis profondément reconnaissante.

Basma

Dédicace

À mes chers parents {Fayza et Abdelhamid}

Dont l'amour inconditionnel, le soutien indéfectible et les encouragements constants m'ont permis de poursuivre mes rêves et d'atteindre mes objectifs.

À mes frères et sœurs {Yassine, Lameri, Ammer, Layla, Nassima, Sabrina}

Dont la présence réconfortante, les conseils avisés et la confiance en moi ont été des sources inestimables de motivation.

À mon fiancé {Hichem}

Dont la patience, la compréhension et l'amour indéfectible m'ont soutenue tout au long de cette aventure académique.

À mon cousin {Samir}

Pour son aide et le soutien moral qu'il m'a apporté tout au long de ce parcours.

À mon beau-frère {Achour}

Pour son soutien et son encouragement.

À ma copine et binôme {Basma}

Qu'était toujours à mes côtés.

À ma cousine {aya} aussi.

Avec toute ma gratitude et mon affection.

À mon encadreur {Dr FARHI épouse BOUADAM}, pour ses conseils avisés, sa patience et son expertise. Votre guidance a été essentielle à la réalisation de ce mémoire et je vous en suis profondément reconnaissante.

Avec toute ma gratitude et mon affection.

Ouarda

Remerciements

Avant tout, nous tenons à remercier Dieu Tout-Puissant pour nous avoir accordé la santé, la force, la patience et la sagesse nécessaires pour mener à bien ce travail.

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadreur **Mme BOUADAM-FARHI B**, pour ses conseils avisés, sa patience et son soutien indéfectible tout au long de ce projet.*

Nous remercions également les membres du jury :

Mr TACHERFIOUT M. et Mr OTMANI A.

Pour avoir accepté d'évaluer ce travail. Vos remarques et critiques constructives sont grandement appréciées et ont contribué à améliorer la qualité de ce mémoire.

Un grand merci à notre département de BPC pour le soutien institutionnel et les ressources mises à notre disposition.

Basma et Ouarda

Sommaire

Liste des tableaux	
Liste des figures	
Liste des abréviations	
Introduction.....	1

Partie I : Synthèse bibliographique

I. Généralités sur le caroubier (<i>Ceratonia siliqua</i> L.)	3
I.1. Description botanique et morphologique.....	3
I.2. Répartition géographique.....	4
I.3. Composition chimique du caroubier.....	5
II. Généralités sur les métabolites secondaires.....	6
II.1. Polyphénols.....	6
II.2. Flavonoïdes.....	6
II.3. Anthocyanes.....	7
II.4. Tanins.....	7
II.4.1. Tanins condensés.....	7
II.4.2. Tanins hydrolysables.....	7
III. Activité anti-oxydante.....	8
III.1. Radicaux libres.....	8
III.2. Le stress oxydatif et les antioxydants.....	8

Partie II : Expérimentation *in vitro*

I. Matériel végétal.....	11
II. Méthodes.....	12
II.1. Extraction des composés phénoliques.....	12
II.2. Dosage des composés phénoliques.....	12
II.2.1. Dosage des polyphénols totaux.....	12
II.2.2. Dosage des flavonoïdes.....	12
II.2.3. Dosage des tanins hydrolysables.....	12
II.2.4. Dosage des tanins condensés.....	13
II.2.5. Dosage des anthocyanes.....	13
II.3. Evaluation des activités biologiques.....	14
II.3.1. Evaluation de l'activité antioxydante <i>in vitro</i>	14
II.3.1.1. Test de piégeage du radical libre DPPH.....	14
II.3.1.2. Test de piégeage du radical libre ABTS.....	14

II.3.2. Evaluation de l'activité antibactérienne.....	14
III. Analyse statistique.....	15

Partie III : Résultats et discussions

I. Résultats de la teneur en composés phénoliques dans les feuilles du caroubier.....	16
I.1. Teneur en polyphénols totaux.....	16
I.2. Teneur en flavonoïdes.....	19
I.3. Teneur en tanins condensés.....	23
I.4. Teneur en tanins hydrolysables.....	25
I.5. Teneur en anthocyanes.....	27
II. Résultats de la teneur en composés phénoliques dans les fleurs du caroubier.....	29
II.1. Teneur en polyphénols totaux.....	30
II.2. Teneur en flavonoïdes.....	31
II.3. Teneur en tanins condensés.....	32
II.4. Teneur en tanins hydrolysables.....	33
II.5. Teneur en Teneur en anthocyanes.....	34
III. Résultats de l'évaluation des activités biologiques.....	35
III.1. L'activité antioxydante des feuilles.....	35
III.2. L'activité antioxydante des fleurs.....	38
III.3. L'activité antibactérienne des feuilles.....	42
III.4. L'activité antibactérienne des fleurs.....	43
Conclusions et perspectives.....	45
Références bibliographiques.....	47
Annexes	
Résumé	

Liste des tableaux

N° du Tableau	Titre	Page
I	Classification taxonomique du genre <i>Ceratonia</i> .	3
II	Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur les teneurs en polyphénols totaux.	17
III	Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur les teneurs en flavonoïdes.	21
IV	Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur les teneurs en tanins condensés	24
V	Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur les teneurs en tanins hydrolysables.	26
VI	Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur les teneurs en anthocyanes.	29
VII	Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur les teneurs en composés phénoliques.	35
VIII	Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur l'activité antioxydante des feuilles.	38
IX	Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur l'activité antioxydante des fleurs.	41
X	Résultats de l'activité antibactérienne des extraits de feuilles de <i>Ceratonia siliqua</i> L	42
XI	Résultats de l'activité antibactérienne des extraits des fleurs de <i>Ceratonia siliqua</i> L.	43

Listes des figures

N° de figure	Titre	Page
01	Feuilles du caroubier comprenant folioles.	3
02	Types d'inflorescence (a- mâle; b- femelle; c-hermaphrodite).	4
03	Gousses du caroubier.	4
04	Classification des antioxydants présents dans les sources naturelles.	10
05	Echantillons de <i>Ceratonia siliqua</i> L. de Bejaia	11
06	Etapas de réalisation du test de l'activité antibactérienne.	15
07	Teneurs en polyphénols totaux dans les extraits des feuilles de <i>Ceratonia siliqua</i> L.	16
08	Teneurs en flavonoïdes dans les extraits de différentes feuilles de <i>Ceratonia siliqua</i> L.	20
09	Teneurs en tanins condensés dans les extraits des différentes feuilles de <i>Ceratonia siliqua</i> L.	23
10	Teneurs en tanins hydrolysables dans les extraits des différentes feuilles de <i>Ceratonia siliqua</i> L.	26
11	Teneurs en anthocyanes dans les extraits des différentes feuilles de <i>Ceratonia siliqua</i> L.	28
12	Teneurs en polyphénols totaux dans les quatre extraits des différentes fleurs de <i>Ceratonia siliqua</i> L.	30
13	Teneurs en flavonoïdes dans les quatre extraits des différentes fleurs de <i>Ceratonia siliqua</i> L.	31
14	Teneurs en tanins condensés dans les quatre extraits des différentes fleurs de <i>Ceratonia siliqua</i> L.	32
15	Teneurs en tanins hydrolysés dans les quatre extraits des différentes fleurs de <i>Ceratonia siliqua</i> L.	33
16	Teneurs en anthocyanes dans les quatre extraits des différentes fleurs de <i>Ceratonia siliqua</i> L.	34
17	Pourcentages d'inhibition (DPPH et ABTS) des différents extraits de feuilles de <i>Ceratonia siliqua</i> L.	35
18	Comparaison des pourcentages d'inhibition fournis par les extraits des feuilles de caroubier (<i>Ceratonia siliqua</i> L.) avec la	36

	même concentration que celles des deux standards (DPPH : BHA et AASC ; ABTS : BHA et BHT).	
19	Pourcentages d'inhibitions de DPPH et ABTS pour chaque échantillon des fleurs de caroubier.	39
20	Comparaison des pourcentages d'inhibition fournis par les extraits des fleurs de caroubier (<i>Ceratonia siliqua</i> L.) avec la même concentration que celles des deux standards (DPPH : BHA et AASC ; ABTS : BHA et BHT).	40

Liste des abréviations

% : Pourcentage

µl : Microlitre

Abs : Absorbance

ABTS : Sel d'ammonium de l'acide 2,2-azinobis-(3ethylbenzothiazoline-6-sulfonique)

AlCl₃ : Chlorure d'aluminium

ANOVA : Analyse of variance

BHA : Butylated Hydroxyanisole

°C : Degrés celsius

C. siliqua : *Ceratonia siliqua*

Cm : Centimètre

DPPH : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl

EAG/g MS : Equivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche

EAT/g MS : Equivalent d'acide tannique par gramme de matière sèche

EC/g MS : Equivalent de catéchine par gramme de matière sèche

EQ/g MS : Equivalent de quercétine par gramme de matière sèche

FeCl₃ : Chlorure ferrique

g : Gramme

HCL : Hydrogen chloride

M : Molaire

ml : Millilitre

mn : Minute

Na₂CO₃ : Carbonate de sodium

nm : Nanomètre

PH : Potentiel hydrogène

PM : Poids moléculaire

UFC : Unité formant colonie

XL STAT : Excel Statistical Analysis Software

Introduction

Environ 85 % de la population mondiale utilise les plantes médicinales pour prévenir et traiter les maladies (**Abera, 2014**) grâce à la production des métabolites secondaires également appelés composés médicinaux dérivés de plantes (CMDP) (**Cardoso et al., 2019**). Il a été démontré que les métabolites secondaires possèdent divers effets biologiques, qui constituent la base scientifique de l'utilisation des herbes en médecine traditionnelle (**Hussein et El-Anssary, 2019**). Les feuilles sont les principaux organes des plantes pour la photosynthèse qui peuvent également être utilisées comme organe de synthèse et de stockage pour les métabolites secondaires (**Li et al., 2020**). L'âge des feuilles (**Vázquez-León et al., 2017**), la saison de récolte (**Gomes et al., 2019**) et le stade de croissance (**Li et al., 2016**) ainsi que l'origine géographique (**Ben Othmen et al., 2019**), le type de cultivar (cultivé et sauvage) et le sexe des plantes (**El Hajaji et al., 2010; El Bouzdoudi et al., 2016**) influencent la composition en métabolites secondaires des différents organes des plantes médicinales.

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) est utilisé en médecine traditionnelle dans de nombreux pays pour traiter divers troubles de santé (**Ben Ayache et al., 2021; Azab, 2022**). Il a été rapporté que la caroube possède diverses activités pharmacologiques, telles que des effets antioxydants, anti-diarrhéiques, antibactériens, anti-ulcéreux, anti-inflammatoires et antidiabétiques (**Ben Ayache et al., 2020; Brassesco et al., 2021**).

À l'échelle mondiale, plusieurs études ont été effectuées sur la composition phénolique et l'activité antioxydante du caroubier, nous citons celle réalisées sur les feuilles du caroubier : du Maroc (**El Hajaji et al., 2010; Abidar et al., 2020; Elbouzidi et al., 2023**); de Tunisie (**Dallali et al., 2018**); d'Irak (**Al-Azzawi et Al-Azzawi, 2023**) et enfin du Croatie (**Cegledi et al., 2024**).

En Algérie, de nombreux travaux ont été menés sur la composition phénolique et des activités biologiques de *Ceratonia siliqua* L. Parmi celles-ci, nous notons principalement les travaux réalisés au cours de la dernière décennie sur le caroubier de: Tlemcen (**Ghanemi et al., 2017**); Jijel (**Ayad et al., 2024**); Bouira (**Yahiaoui et al. 2021**); de Bejaia (**Meziani et al., 2014; Amessis-Ouchemoukh et al., 2017; Saci et al., 2019**).

Plusieurs études ont exploré l'impact du sexe et du type de cultivar sur la concentration en composés phénoliques et l'activité antioxydante dans les feuilles de *Ceratonia siliqua* L. Parmi elles, **Custódio et al. (2009)** dans les extraits de feuilles de caroubiers mâles, femelles et hermaphrodites cultivés. **El Hajaji et al. (2010)** dans les extraits des femelles, Tant greffés que spontanés, et mâles spontanés. **Dallali et al. (2018)**

et **Abidar et al. (2020)** qui se sont intéressés aux extraits de feuilles sauvages. **Yahiaoui et al. (2021)** dans les extraits de pulpes, feuilles et graines de deux variétés de caroubier, greffée et spontanée.

C'est dans ce cadre que s'inscrit notre travail qui vise à apporter une contribution afin d'enrichir les données bibliographiques sur l'effet du sexe et le type du cultivar sur la composition phénolique et les activités biologiques tout en ajoutant un autre organe qui n'a pas été traité pour le caroubier qui s'agit bien des fleurs des différents sexes et cultivars.

La présente introduction est suivie:

- D'une synthèse bibliographique qui inclura les généralités concernant la plante *Ceratonia siliqua* L., et les métabolites secondaires ainsi que l'activité antioxydante.
- D'une méthodologie qui présentera la procédure expérimentale en détaillant les différentes méthodes employées au cours de cette étude pour obtenir les résultats, qui seront clairement illustrés dans la partie des résultats et discussions.
- Pour conclure, une synthèse des résultats les plus significatifs de notre étude sera présentée, suivie de perspectives proposées en fin de document.

Synthèse bibliographique

I. Généralités sur le caroubier

Le nom scientifique du caroubier est *Ceratonia siliqua* L. vient du mot grec 'Keras', qui signifie corne, et du latin 'siliqua', qui se réfère à une gousse ou une siliqua, en référence à la dureté et à la forme du fruit de la caroube (**Batlle et Tous, 1997; Sbay, 2008**). Le genre *Ceratonia* (Tab.I) appartient à la famille des légumineuses (*Fabaceae*) (**Quezel et Santa, 1963; Cronquist, 1981**).

Tableau I. Classification taxonomique du genre *Ceratonia* (**Cronquist, 1981**).

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Embranchement	Spermaphytes
Sous-embranchement	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Sous-famille	Caesalpinioideae
Genre	<i>Ceratonia</i>
Espèce	<i>Ceratonia siliqua</i> L.

I.1. Description botanique et morphologique

Ceratonia siliqua est un arbre sclérophylle (**Batlle et Tous, 1997**), typique de la région méditerranéenne (**Quézel et Santa, 1962**). Les feuilles sont persistantes, elles se distinguent par un rachis qui porte de 8 à 15 folioles opposées (Fig.01) (**Ait chitt et al., 2007**).



Figure n°01. Feuilles du caroubier comprenant folioles (**Kaderi et al., 2014**).

Du point de vue sexe, *Ceratonia siliqua* est une espèce dioïque et rarement monoïque (Linskens et Scholten, 1980; Batlle et Tous, 1988). Les inflorescences mâles sont dotées d'étamines courtes ou longues, les inflorescences femelles sont regroupées en grappes, et occasionnellement, les inflorescences hermaphrodites (Fig.02) (Benmahioul et al., 2011). Selon les auteurs, les individus hermaphrodites pourraient être considérés à la fois comme pollinisateurs et producteurs.



Figure n° 02. Types d'inflorescence (a- mâle; b- femelle; c- hermaphrodite (Sbay, 2008).

La gousse ou la caroube du caroubier, initialement de couleur verte, puis elle devient brune foncée à maturité (Fig.03) (Benmahioul et al., 2011). Elle renferme entre 12 à 16 graines brunes soit 10 à 20 % du poids de la gousse et ce nombre varie en fonction du cultivar et du climat (Rejeb, 1995).



Gousses jeunes ou immatures

Gousses matures

Figure n° 03. Gousses du caroubier (Gioxari et al., 2022).

I.2. Répartition géographique

Le caroubier est distribué dans tout le bassin méditerranéen, son aire de répartition s'étend de l'Espagne et du Portugal jusqu'à la Turquie, couvrant l'Asie Mineure, l'Afrique du

Nord, le sud de l'Europe et la péninsule Ibérique (**Boudy, 1950; Rejeb, 1995; Gharnit, 2003**). En Algérie, le caroubier pousse à l'état sauvage dans des conditions naturelles sous des bioclimats sub-humides, semi-arides et arides. Il se trouve souvent en association avec l'olivier et le lentisque (**Benmahioul et al., 2011**).

I.3. Composition chimique du caroubier

D'après plusieurs auteurs, la composition chimique des constituants varie généralement en fonction du cultivar, du sexe, de l'origine ou de la zone de culture, et parfois de la période de récolte, ainsi que des conditions édapho-climatiques (**Orphanos et Papaconstantinou, 1969; Calixto et Canellas, 1982; Albanell et al., 1991 in Kaderi et al., 2011**).

Les études menées par **Rico et al., (2019)** ont mis, en lumière, la richesse des gousses en composés bioactifs. Les principales catégories de composés phénoliques présents dans le caroubier sont les acides phénoliques, les gallotanins et les flavonoïdes (**Stavrou et al., 2018**). Les polyphénols peuvent être trouvés dans le fruit et plus particulièrement dans la pulpe, dans les graines et dans le germe du caroubier (**Stavrou et al., 2018**). Des études ont montré la richesse des extraits des gousses, notamment la pulpe, en composés phénoliques (**Custódio et al., 2011; Torun et al., 2013**), en acides phénoliques (acides coumarique et gallique) (**Fadel et al., 2011**), en tanins condensés (proanthocyanidines) et tanins hydrolysables représentés (ellagitannins et les gallotanins) (**Avallone et al., 1997**). De plus, l'étude réalisée par **Ydjedd et al. (2017)**, sur les extraits des différents stades du fruit ou gousse (non mûrs et mûrs), a permis l'identification de cinq acides phénoliques libres (acides gallique, syringique, cinnamique, p-coumarique et ellagique) et de cinq flavonoïdes (apigénine, kaempférol, naringénine, quercétine rhamnoside et myricétine rhamnoside). **El Hajaji et al. (2010)** ainsi que **Stavrou et al. (2018)** ont mis en évidence la présence de grandes quantités de composés phénoliques, tels que les flavonoïdes et les tanins, dans les extraits de feuilles de caroubier. D'après les recherches de **Yahiaoui et al. (2021)** et de **Madi et al. (2023)**, il a été observé que les extraits de feuilles de caroubier sont particulièrement riches en flavonoïdes et en tanins condensés. **Custódio et al. (2009)** et **De Falco et al. (2022)** ont également rapporté que les extraits de feuilles de *Ceratonia siliqua* contiennent une haute teneur en polyphénols totaux.

La composition en composés phénoliques chez caroubier est variables selon plusieurs facteurs tels que le sexe et l'âge de la plante (**Custódio et al., 2009a; Custódio et al., 2009b ; El Bouzdoudi et al., 2017; Yahiaoui et al., 2020**). L'origine et la variété du caroubier (sauvage ou cultivé) (**El Hajaji et al., 2010; El Bouzdoudi et al., 2017**). La partie de la

plante analysée (pulpe, graine, fibre, feuilles) (**El Bouzdoudi et al., 2017; Saci et al. 2020**). Le Climat et le sol (**Kouki et Manetas, 2002; Correia et al., 2008; Ebrahimi et al., 2008; Andarwulan et al., 2010; Richane et al., 2022**). Le solvant d'extraction (**Zam et al., 2013; El Bouzdoudi et al., 2017**). Méthodes d'extraction (**El Mansouri et al. 2022; Cegledi et al., 2024**).

II. Généralités sur les métabolites secondaires

Les métabolites secondaires, également appelés constituants phytochimiques, composés bioactifs, métabolites spécialisés, produits secondaires ou toxines, sont des composés organiques produits par des organismes tels que des plantes, des champignons ou des bactéries à la suite de processus métaboliques secondaires (**Mikail et al., 2022**). Ils appartiennent à des groupes chimiques variés (alcaloïdes, terpènes, composé phénoliques...) (**Macheix et al., 2005**). Les métabolites secondaires peuvent être classés en fonction de leur structure chimique (par exemple, avoir des anneaux, contenir un sucre), de leur composition (contenant ou non de l'azote), de leur solubilité dans divers solvants ou de la voie par laquelle ils sont synthétisés (par exemple, phénylpropanoïde, qui produit des tanins) (**Tiwari et Rana, 2015**).

II.1. Polyphénols

Les polyphénols, un groupe complexe de composés phytochimiques dérivés de la phénylalanine, sont caractérisés par un cycle aromatique avec un groupe hydroxyle réactif (Annexe 01) (**Miele et al., 2019**). Ils sont généralement impliqués dans l'attraction des pollinisateurs, l'exécution des fonctions structurelles, la défense contre les rayons ultraviolets et aussi dans la protection des plantes contre l'invasion microbienne et les herbivores (**Harborne et Williams, 2000**).

II.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes ou bioflavonoïdes sont des composés jaunes qui partagent la structure de base des diphenylpropanes (C6-C3-C6), dans lesquels les cycles phénoliques (cycle A et cycle B) sont généralement liés par un cycle hétérocyclique (Annexe 01) (**Khoddami et al., 2013**). Cet hétérocycle (cycle C) est généralement un pyrane fermé. Résultant en une large gamme de composés: flavanols, anthocyanidines, anthocyanes, isoflavones, flavones, flavonols, flavanones et flavanonols (**Singla et al., 2019**). Les flavonoïdes peuvent protéger la cellule contre les espèces réactives de l'oxygène (ROS) générées dans l'organisme (**Szwajkowska et al., 2020**).

II.3. Anthocyanes

Les anthocyanes (dérivant du grec « *anthos* » signifie fleur et « *kyanos* » signifie bleu) sont l'un des pigments les plus importants du règne végétal après la chlorophylle (Hornedo-Ortega et al., 2019). Faisant partie des flavonoïdes, les composés anthocyaniques contiennent deux cycles benzoyle A et B séparés par un hétérocycle C (Turturică et al., 2015). Ils existent dans diverses plantes sous forme de pigments naturels hydrosolubles et ils constituent le principal colorant des plantes (Yazhen et al., 2019). La réactivité élevée et l'instabilité des aglycones dans leur structure confèrent aux anthocyanes un avantage en agissant comme agents antioxydants. Les réactions de glycosylation réduisent et les réactions de diacylation augmentent leur activité de piégeage des radicaux libres (Jaiswal et al., 2019). Le groupe hydroxyle des anthocyanes existe sous forme d'ions cationiques dans la solution cellulaire à un pH plus faible et il présente une forte capacité antioxydante (Zhang et al., 2017).

II.4. Tanins

Le nom « tanin » tire son origine du processus industriel « tannage du cuir », dans lequel les peaux d'animaux sont transformées en cuir grâce à une transformation en aval (Singh et kumar, 2019). Ils présentent une grande diversité structurale entre les différentes espèces végétales, mais la plupart des tanins ont une caractéristique commune dont ils précipitent les protéines (Addisu, 2016).

II.4.1. Tanins condensés

Les tanins condensés (ou proanthocyanidines) comprennent un groupe d'oligomères et de polymères polyhydroxy-flavan-3-ol liés par des liaisons carbone-carbone entre les sous-unités flavanol (Annexe 01) (Schofield et al., 2001). Ils sont des polymères de catéchine et/ou de leucoanthocyanidine, peu hydrolysables par traitement acide, et constituent la principale fraction phénolique responsable des caractéristiques d'astringence des légumes.

II.4.2. Tanins hydrolysables

Les tanins hydrolysables sont des esters d'un polyol (le plus souvent du b-D-glucose) avec soit de l'acide gallique (gallotanins), soit de l'acide hexahydroxydiphénique (ellagitanins) (Annexe 01) (Salminen et al., 1999). Ces gallotanins et ellagitanins sont hydrolysés par des acides ou des bases faibles et sont plus sujets à l'oxydation que les tanins

condensés qui sont caractéristiques des extraits du bois de chêne et de pépins de raisin (**Miele et al., 2019**).

III. Activité anti-oxydante

L'oxygène, essentiel au maintien de la viabilité et du métabolisme des cellules, sa nature paramagnétique entraîne la formation d'intermédiaires très réactifs. Ces intermédiaires sont appelés espèces réactives de l'oxygène (ROS) (**Alamzeb et al., 2023**). Ces dernières jouent un rôle essentiel dans des processus tels que la phagocytose, la chaîne respiratoire mitochondriale, la fécondation et le métabolisme de l'acide arachidonique (**Burle et al., 2023**). Étant donné que la production de ROS (Espèces Réactives de l'Oxygène) est exclusivement impliquée dans tous les types de maladies, y compris le cancer, l'activité antioxydante des composés phytochimiques a attiré l'attention des chercheurs en raison de leurs actions perçues comme « panacée » (**Sakihama et Yamasaki, 2021**).

III.1. Radicaux libres

Les radicaux libres ou les prooxydants sont des molécules réactives à courte durée de vie, possédant des électrons non appariés dans leurs orbitales externes qui recherchent un électron pour stabiliser la molécule (**Atasoy et Yücel, 2021**). Les radicaux libres peuvent être générés par des sources endogènes et exogènes (**Singh Makhaik et al., 2021**). Selon **Çalışkan et Çalışkan (2021)**, les agents pathogènes, les médicaments, les substances toxiques, les ingrédients alimentaires sont à l'origine des prooxydants exogènes. Les prooxydants endogènes peuvent provenir de métabolites issues: des médicaments, du métabolisme cellulaire, du flux ionique, de l'anxiété, de la physiopathologie et de l'ischémie (**Çalışkan et Çalışkan, 2021**). Les radicaux libres comprennent le radical d'oxyde nitrique ($\text{NO}\cdot$), le radical hydroxyle ($\text{OH}\cdot$), le radical ionique superoxyde ($\text{O}\cdot 2$), le peroxyde ($\text{ROO}\cdot$), les radicaux alcoyles ($\text{RO}\cdot$) et l'oxygène singulet (1O_2) (**Engwa, 2018**).

III.2. Le stress oxydatif et les antioxydants

Le stress oxydatif survient lorsque l'équilibre entre les prooxydants (radicaux libres) et les antioxydants est perturbé (**Kiremitli et al., 2021**) c'est-à-dire lorsque les activités des oxydants réactifs dépassent les capacités anti oxydantes in vivo (**Onalapo et al., 2022**). Il est bien établi que le stress oxydatif est lié au développement de certaines maladies, notamment les maladies neurodégénératives, les maladies cardiovasculaires, le diabète,

l'athérosclérose, l'hypertension, les accidents vasculaires cérébraux, l'insuffisance cardiaque, la maladie de Parkinson et même le cancer (Agwu et al., 2023).

Les antioxydants sont des substances essentielles qui ont pour but de réguler le processus oxydatif (Aydin et Seyidoglu, 2021) parmi lesquels les enzymes antioxydantes telles que la superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT), la glutathion peroxydase (GPx) et la DT-diaphorase (Santos-Sánchez et al., 2019) qui ont un rôle inhibiteur de l'activité des radicaux libres pendant l'oxydation (Aydin et Seyidoglu, 2021). Les antioxydants non enzymatiques sont composés principalement des vitamines telles qu'A, E, C, des cofacteurs enzymatiques (Q10), des peptides et certains minéraux (zinc et sélénium) (Fig.04) (Anwar et al., 2018; Çalışkan et Çalışkan, 2021). Les antioxydants sont principalement représentés par la vitamine C et les polyphénols comme les anthocyanes, les acides phénoliques, les flavanols, les flavonols et les tanins (Atasoy et Yücel, 2021; Assefi et al., 2023). Ils agissent comme des pièges pour les radicaux libres en réagissant avec ces radicaux réactifs et en les neutralisant. Ainsi, ils se transforment en substances moins actives, moins dangereuses et à longue durée de vie (Azat Aziz et al., 2022).

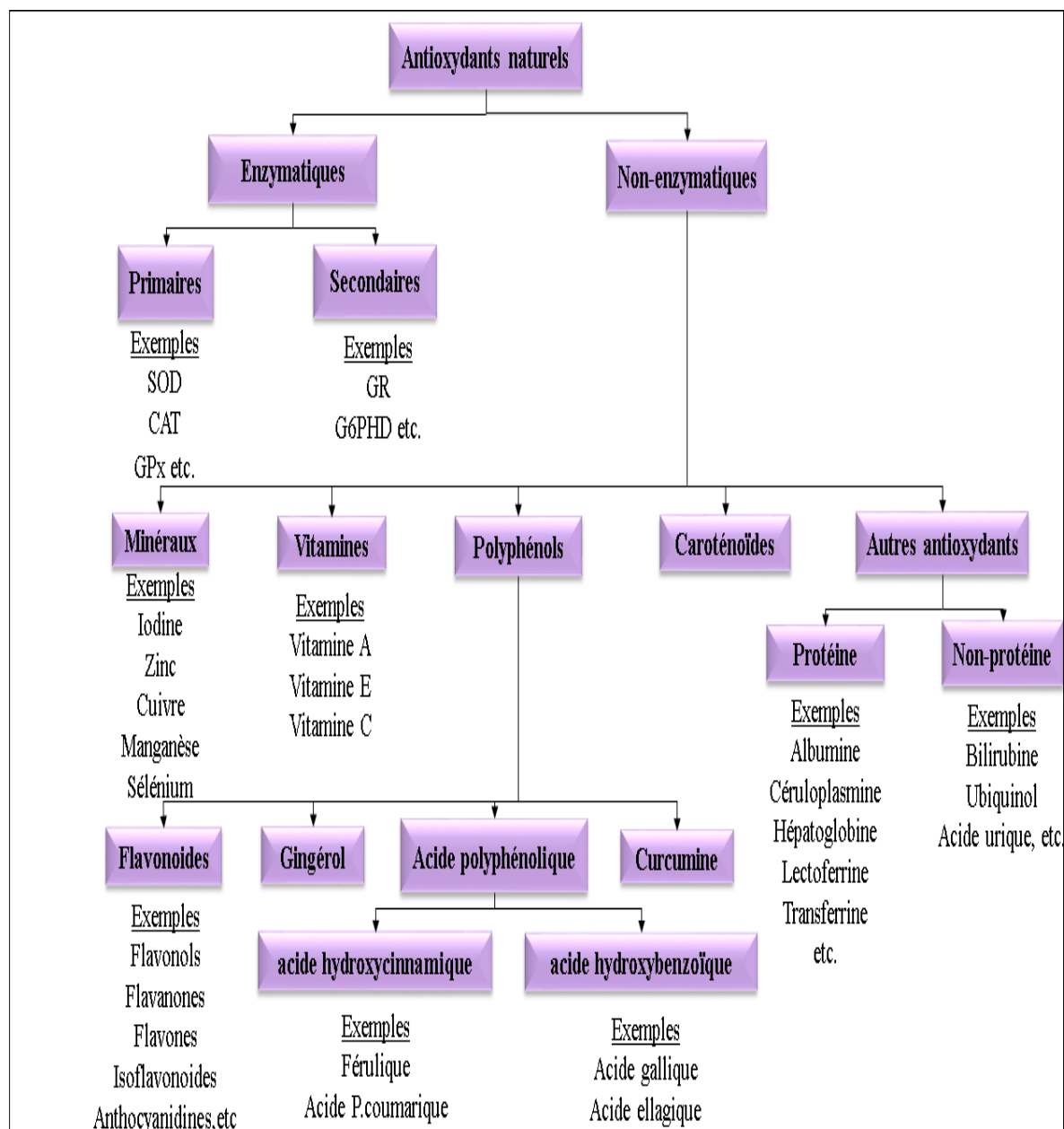


Figure n° 04. Classification des antioxydants présents dans les sources naturelles (Anwar et al., 2018).

Matériels et méthodes

I. Matériel végétal

Les échantillons du présent travail ont été récoltés au niveau de deux endroits situées à Bejaia : naturelle localisée au niveau du Parc National de Gouraya et cultivée qui se trouve au niveau de Taghzouit (une propriété privée) (Fig. 05).



Figure n° 05. Echantillons de *Ceratonia siliqua* L. de Bejaia (Farhi-Bouadam et Bouabid, 2024).

Les échantillons analysés sont les feuilles et les fleurs du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.). De la station naturelle nous avons traité uniquement les feuilles des pieds mâles (FMN) et celles des pieds femelles (FFSN). Et de la station cultivée nous avons traité les échantillons suivants :

- Feuilles et fleurs des pieds mâles à l'état sauvage (FMSC; FLMC);
- Feuilles et fleurs des pieds femelles greffés (FFGC; FLFGC);

- Feuilles et fleurs des pieds femelles à l'état sauvage (FFSC; FLFSC);
- Feuilles et fleurs des pieds hermaphrodites (FHC; FLHC). (Fig.06).

Les échantillons sont séchés à l'air libre et à l'abri des de lumière pendant 25 jours jusqu'à la stabilisation du poids. Puis sont broyés et réduits en poudre qui est conservée dans des flacons opaques. La poudre obtenue est utilisée pour l'extraction des composés phénoliques.

II. Méthodes

II.1. Extraction des composés phénoliques

0.8 g de la poudre végétale est dissoute dans 32 ml du méthanol 80 %. Le mélange est agité pendant 02 heures puis centrifugé pendant 10 mn à 3000 tours/mn. Le surnageant obtenu est filtré puis récupéré dans des flacons opaques (**Oomah, 2011**).

II.2. Dosage des composés phénoliques

Cinq composés ont été dosés à savoir : les polyphénols totaux, les flavonoïdes, les tanins hydrolysables, les tanins condensés et les anthocyanes. Trois répétitions ont été effectuées pour chaque test, les résultats sont exprimés en Moyenne \pm Ecart type.

II.2.1. Dosage des polyphénols totaux

Le dosage des polyphénols totaux suit le protocole de **Skerget et al. (2005)**. D'abord, 500 μ l de l'extrait sont ajoutés à 2500 μ l de la solution de Folin-Ciocalteu diluée (1/10). Le mélange est agité avant l'ajout de 2000 μ l de Na_2CO_3 (7,5%). Ensuite, le tout est incubé à 50°C pendant 5 minutes. Les absorbances sont lues à 760 nm. Les résultats sont exprimés en milligrammes équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche.

II.2.2. Dosage des flavonoïdes

Le dosage des flavonoïdes utilise la méthode de trichlorure d'aluminium (AlCl_3) citée par (**Quettier-Deleu et al., 2000 ; Chang et al. 2002**). D'abord, 1000 μ l de l'extrait sont ajoutés à 1000 μ l de la solution d' AlCl_3 (2%). Le mélange est agité, puis incubé pendant 10 minutes. Les absorbances sont ensuite lues à 430 nm. Les résultats sont exprimés en milligrammes équivalent de quercétine par gramme de matière sèche.

I.2.3. Dosage des tanins hydrolysables

Le protocole de dosage des tanins hydrolysables décrit est celui où les tanins hydrolysables réagissent avec le chlorure ferrique et donnent une coloration bleue mesurée par spectrophotométrie (**Biaye, 2002**). D'abord 1000 μ l de l'extrait sont ajoutés à 3500 μ l de

la solution de FeCl₃ (0,01 M dans HCl 0,01 M). Et puis le mélange est agité. Les absorbances sont lues à 660. Les résultats sont exprimés en milligrammes équivalent d'Acide tannique par gramme de matière.

II.2.4. Dosage des tanins condensés

Le dosage des tanins condensés utilise la méthode à la vanilline décrite par **Deshpande et al. (1986)**. D'abord, 1000 µl de l'extrait sont ajoutés à 5000 µl de vanilline-HCl à 24%. Le mélange est agité, puis incubé à 30°C pendant 20 minutes. Les absorbances sont ensuite lues à 500 nm. Les résultats sont exprimés en milligrammes équivalent de catéchine par gramme de matière sèche.

II.2.5. Dosage des anthocyanes

Pour doser les anthocyanes, nous avons suivi le protocole décrit par **El Falleh et al. (2011)**, qui utilise la méthode du pH de deux tampons. D'abord, nous avons préparé les solutions tampons et l'extrait en prélevant 4000 µL de l'extrait et en le divisant en deux portions égales de 2000 µL chacune. Pour la première portion de l'extrait, nous avons ajouté 3600 µL de tampon d'acétate de sodium (pH 4.5 ; 0.4 M) et agité le mélange pour assurer une bonne homogénéité. Nous avons ensuite lu les absorbances du mélange à deux longueurs d'onde : 510 nm et 700 nm. Pour la seconde portion de l'extrait, nous avons ajouté 3600 µL de tampon de chlorure de potassium (pH 1 ; 0.025 M) et agité le mélange pour assurer une bonne homogénéité. Nous avons lu de nouveau les absorbances du mélange à 510 nm et 700 nm.

Ensuite, nous avons calculé les absorbances finales en utilisant la formule suivante :

$$A = [(Abs\ 510 - Abs\ 700)\ pH\ 1 - (Abs\ 510 - Abs\ 700)\ pH\ 4.5]$$

Le calcul de la concentration en anthocyanes monomériques totaux (AMT) a été effectué pour obtenir des résultats exprimés en mg/L équivalent de Cyanidine-3-glucoside. La formule utilisée est :

$$AMT = [(A \times PM \times FD) / \epsilon \times l] \times 100$$

Où A est l'absorbance finale, PM est la masse molaire de la cyanidine-3-glucoside (449.2 g/mol), FD est le facteur de dilution, ϵ est le coefficient d'extinction molaire de la cyanidine-3-glucoside (26900 L/mol·cm), et l est la longueur du trajet optique de la cuve (1 cm).

II.3. Evaluation des activités biologiques

Deux activités biologiques ont été testées il s'agit de l'activité antioxydante et l'activité antibactérienne.

II.3.1. Evaluation de l'activité anti-oxydante *in vitro*

II.3.1.1. Test de Piégeage du radical libre DPPH• (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyl)

Le test de DPPH est réalisé selon le protocole décrit par **Bektas et al. (2005)** dans lequel nous avons mélangé 50 de chaque extrait µl avec 2500 µl d'une solution de DPPH (7 mM). La solution est incubée à l'obscurité et à température ambiante pendant 30 minutes. L'absorbance est lue à 517 nm.

Deux standards ont été préparés pour la comparaison des résultats dont BHA (Hydroxyanisole butylé) et AASCO (Acide ascorbique). L'inhibition du radical libre de DPPH exprimée en pourcentage (I %) est calculée comme suit :

$$I \% = [(A \text{ témoin} - A \text{ échantillon}) / A \text{ témoin}] \times 100$$

II.3.1.2. Test de piégeage du radical libre ABTS

Selon **Re et al. (1999)**, 2 ml de la solution d'ABTS (7 mM) sont ajoutés à 200 µl d'extrait, après 7 min d'incubation la lecture des absorbances est réalisée à 734 nm. Les standards de référence utilisés pour évaluer l'activité antioxydante sont BHA et BHT (Hydroxytoluène butylé). Le pourcentage de l'activité scavenging de l'ABTS de chaque extrait a été calculé comme suit :

$$\% \text{ de l'activité scavenging de l'ABTS}^{+\cdot} = [(A_{\text{Contrôle}} - A_{\text{Echantillon}}) / A_{\text{Contrôle}}] \times 100$$

Ac : Absorbance du contrôle.

At : Absorbance du test.

II.3.2. Evaluation de l'activité antibactérienne

Le test de sensibilité des souches bactériennes (*Escherichia coli* et *Staphylococcus aureus*) aux différents extraits, des feuilles et des fleurs du caroubier, a été réalisé par la technique de diffusion en milieu gélosé en utilisant la méthode des disques, ces derniers ont été imprégné de 20 µL d'extraits des feuilles ou des fleurs du caroubier (25 mg/ml) et placés sur les surfacesensemencées, avec une solution bactérienne d'une concentration de 10^7 UFC/ml, des boîtes de Pétri, en présence de disques imbibés d'une solution aqueuse de méthanol (témoins) (Fig.12). Les boîtes ont ensuite été laissées au frais pendant 2 heures à 4°C pour une bonne diffusion, puis incubées à 37°C pendant 24 heures. La mesure des

diamètres, en centimètre, des zones d'inhibition autour des disques contenant les échantillons, a été effectuée. Pour chaque extrait deux répétitions ont été réalisées.

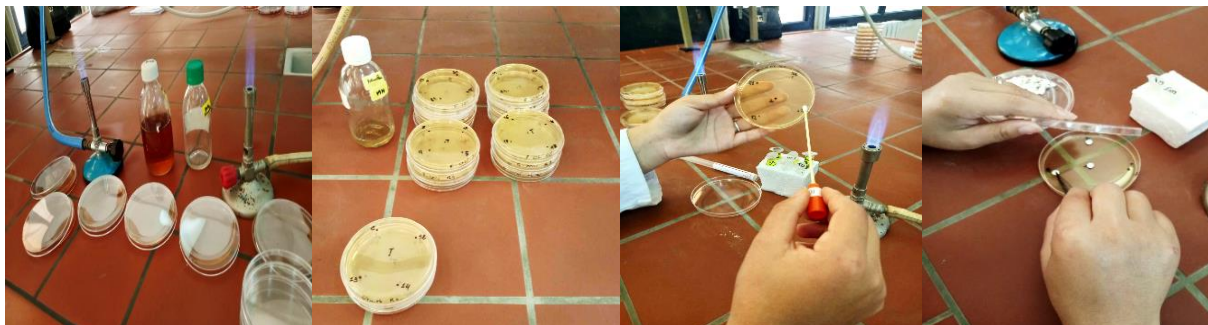


Figure n° 06. Etapes de réalisation du test de l'activité antibactérienne.

III. Analyse statistique

Les résultats obtenus sont soumis à des analyses statistiques en utilisant le logiciel XLSTAT version 2024. Une analyse de la variance a été réalisée pour comparer entre l'ensemble des échantillons aussi les éventuels effets du sexe ainsi que l'effet du type du cultivar, sur la composition phénolique et l'activité antioxydante des feuilles et des fleurs du caroubier de Bejaia, ont été mis en évidence par le test de Tukey.

Résultats et discussions

I. Résultats de la teneur en composés phénoliques des feuilles du caroubier

Cinq classes appartenant aux composés phénoliques ont été dosés à savoir les polyphénols totaux, les flavonoïdes, les tanins hydrolysables, les tanins condensés et les anthocyanes.

I.1. Teneur en polyphénols totaux

La figure n°13 représente les teneurs en polyphénols totaux exprimées en mg EAG/g MS dans les différents extraits des feuilles de *Ceratonia siliqua* L.

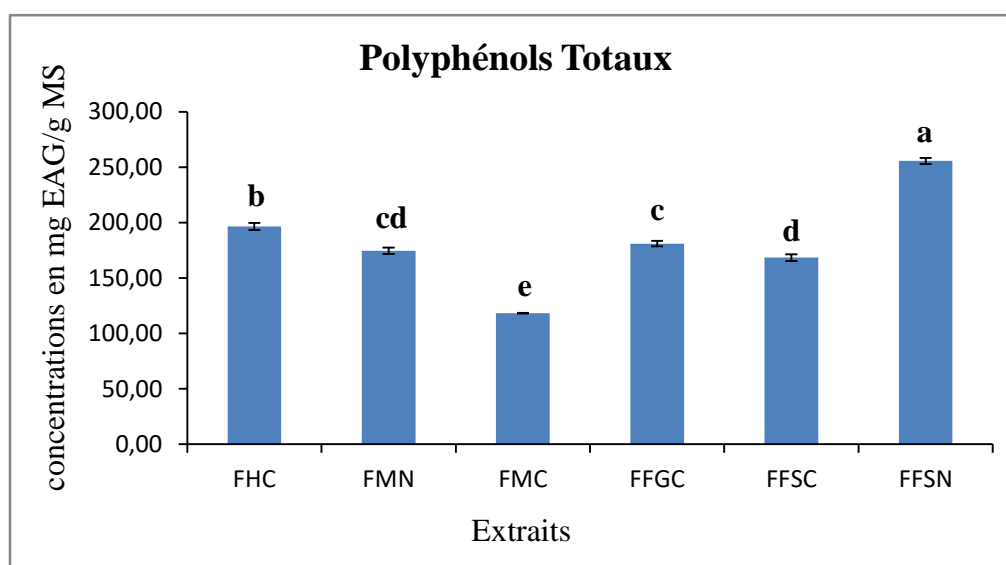


Figure n°07. Teneurs en polyphénols totaux dans les extraits des feuilles de *Ceratonia siliqua* L. (FHC : feuilles hermaphrodites cultivées ; FMN : feuilles mâles naturelles ; FMC : feuilles mâles cultivées ; FFGC : feuilles femelles greffées cultivées ; FFSC : feuilles femelles sauvages cultivées ; FFSN : feuilles femelles sauvages naturelles).

La figure montre que les teneurs les plus importantes ont été notées dans les extraits des femelles, notamment les feuilles FFSN qui ont fournis la grande concentration ($255,65 \pm 2,79$ mg EAG/g MS), par rapport à ceux des mâles dont la valeur minimale a été enregistrée dans les extraits des feuilles mâles cultivées ($FMC = 118,21 \pm 0,20$ mg EAG/g MS). Ceci concorde avec les résultats trouvés par **El Hajaji et al. (2010)** qui ont travaillé sur des échantillons femelles greffées et spontanées et des mâles spontanés, les auteurs ont décelé que les extraits femelles avaient les teneurs les plus élevées en polyphénols totaux par rapport aux mâles.

Et pour les deux sexes se sont les extraits des échantillons issus de la station naturelle (FFSN= $255,65 \pm 2,79$ mg EAG/g MS, FMN= $174,72 \pm 2,90$ mg EAG/g MS) contre qui ont enregistré les grandes teneurs par rapport à ceux récoltés de la station cultivée (FGC= $181,02 \pm 2,39$ mg EAG/g MS; FFSC= $168,41 \pm 3,03$ mg EAG/g MS et FMC= $118,21 \pm 0,20$ mg

EAG/g MS). Ceci a été démontré aussi dans l'étude réalisée par **Yahiaoui et al. (2021)** qui ont révélé que les feuilles spontanées contiennent une concentration plus élevée de polyphénols totaux, avec (14 ± 0.53 mg EAG/g MS), comparativement aux feuilles greffées qui en contiennent (10.2 ± 0.65 mg EAG/g MS). Mais leurs résultats sont beaucoup inférieurs à celui du présent travail, sachant que les auteurs n'ont pas indiqué le sexe des feuilles.

Ainsi, dans la station cultivée et pour uniquement le sexe femelle, ce sont les feuilles du pied greffé (FFGC= 181.02 mg EAG) qui ont fourni les valeurs élevées par rapport aux feuilles du pied sauvage (FFSC= 168.41 mg EAG) dans la même station. Ce résultat est en adéquation avec celui décelé par El **Hajaji et al. (2010)** qui ont trouvé que les feuilles des femelles greffées avaient une teneur en polyphénols totaux (0.82 à 2.64 g/L GAE) supérieure à celle dans les feuilles de femelles spontanées (0.77 à 2.60g/L GAE).

L'analyse des résultats par le test de signification du Tukey a permis de détecter la présence des différences significatives (** et ***) entre les différents extraits des feuilles, à l'exception des extraits des feuilles de FMN qui n'a pas présenté des différences avec les extraits des feuilles FFGC et FFSC (Tab.II) De plus, le test a montré un effet significatif du sexe des feuilles sur les teneurs en polyphénols totaux ceci a été observé entre les feuilles hermaphrodites cultivées (FHC) et les feuilles mâles et femelles. Entre les feuilles mâles cultivées et l'ensemble des feuilles femelles traitées (Tab.II). Néanmoins, les feuilles mâles naturelles ont présenté des différences uniquement avec les feuilles femelles naturelles échantillonnées dans la même station (Tab.II).

Tableau II. Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur les teneurs en polyphénols totaux.

Facteurs de variation	Echantillons et signification
Hermaphrodites et mâles	FHC vs FMC (***)
	FHC vs FMN (***)
Hermaphrodites et femelles	FHC vs FFSN (***)
	FHC vs FFSC (***)
	FHC vs FFGC (**)
Mâles et femelles	FFSN vs FMC (***)
	FFSN vs FMN (***)
	FFGC vs FMC (***)
	FFGC vs FMN
	FMN vs FFSC
	FFSC vs FMC (***)
Mâles naturels et cultivés	FMN vs FMC (***)
Femelles naturels et cultivés	FFSN vs FFSC (***)

	FFSN vs FFGC (***)
Femelles sauvage et greffées dans la station cultivée.	FFGC vs FFSC (**)

Au niveau de signe de signification $\alpha \leq 0.05$ où [(***): très hautement significatif (<0.001); (**): hautement significatif (<0.01); (*): significatif (<0.05); (///): non significatif.]

En ce qui concerne l'effet de type du cultivar sur les teneurs en polyphénols totaux, les résultats du test de Tukey (Tab.II) ont détecté un effet significatif (***) entre les échantillons du même sexe issus des stations différentes d'un côté et entre les femelles (sauvages et greffées) de la même station (cultivée) (Tab.II).

Les concentrations en polyphénols totaux dans nos extraits sont plus élevées à celles trouvées par **Custódio et al. (2009)** ($30,7 \pm 2,1$ mg EAG/g MS), ($28,8 \pm 2,6$ mg EAG/g MS) et ($12,3 \pm 1,1$ mg EAG/g MS) pour les feuilles mâles, femelles et hermaphrodites du caroubier cultivé au Portugal. Par ailleurs, les teneurs en polyphénols totaux des feuilles FFGC et feuilles FFSC (Fig.) sont plus basses que celles rapportées par **Custódio et al. (2011)** (261.1 mg EAG/g MS) estimées dans les extraits des feuilles femelles de leur étude.

Pour la comparaison des résultats avec les études qui ont utilisé le même solvant d'extraction qui est le méthanol, les résultats, obtenus dans le présent travail, pour les feuilles naturelles (femelles =255.65 mg EAG et mâles= 174.72 mg EAG) dépassent d'abord ceux rapportés par **Dallali et al. (2018)** (varie du $2,5 \pm 0,14$ mg EAG/g MS à $6,45 \pm 0,22$ mg EAG/g MS pour des feuilles du caroubier sauvage récoltées dans trois sites naturels en Tunisie). Puis ceux de **De Falco et al. (2022)** ($16,43 \pm 0,24$ mg EAG/g MS pour les extraits méthanoliques des feuilles matures de *Ceratonia siliqua* L). Ensuite, ceux d'**Alali et al. (2007)** (52,8 mg GAE/g MS) et ceux d'**Al Qaraleh et Tarawneh (2016)** (62.16 mg EAG/g MS).

Dans l'étude d'une caractérisation qualitative réalisée par **Ghanemi et al. (2017)**, il a été démontré que l'extrait méthanolique des feuilles du caroubier présente des concentrations élevées en acide m-coumarique (2192,38 mg EAG/g MS) et en acide gallique (1445,38 mg EAG/g MS), des valeurs qui dépassent celles que nous avons obtenu.

Ces différences sont probablement dues à des facteurs climatiques et environnementaux, tels que la température, l'altitude, les précipitations, la localisation géographique, la sécheresse, ainsi qu'à la contamination des arbres par des agents pathogènes (**Ebrahimi et al., 2008 ; Andarwulan et al., 2010**), à l'origine géographique (**El Bouzdoudi et al., 2016; Ben Othmen et al., 2019**), au moment de la collecte des échantillons et au stade de croissance de la plante (**Miliauskas et al., 2004**). Elles peuvent également être influencées par le type de cultivar, l'organe de la plante et le sexe (**El Hajaji et al., 2010; El**

Bouzdoudi et al., 2016), à l'âge de la plante utilisée et le stade de la maturité de l'organe (**Benchikh et al., 2016; El Bouzdoudi et al., 2016; De Falco et al., 2022**) et aussi aux circonstances d'extraction (**Ben Othmen et al., 2021**).

D'autres études ont utilisés des solvants, autres que le méthanol, ont indiqué des teneurs beaucoup inférieures aux nôtres dans les extraits des feuilles sauvages du caroubier, notamment l'étude de **Cegledi et al. (2024)** qui ont utilisé l'éthanol comme solvant d'extraction (valeurs varient de $56,51 \pm 1,16$ mg EAG/g MS à $67,11 \pm 1,38$ mg EAG/g MS pour trois méthodes différentes); celle de **Abidar et Boiangiu (2020)** qui ont travaillé sur les extraits éthanoliques des feuilles sauvages du caroubier du Maroc ($52,95 \pm 0,141$ mg EAG/g MS) et enfin celle réalisée par **Meziani et al. (2014)** qui ont analysé les extraits acétoniques ($21,41$ mg EAG/g MS) et les extraits éthanoliques ($22,98$ mg EAG/g MS) des feuilles du caroubier sauvage d'Aftis située dans la wilaya de Bejaia.

En ce qui concerne la comparaison de nos résultats avec ceux obtenus pour d'autres parties que les feuilles, montre que les résultats du présent travail sont inférieurs à ceux rapportés par **Amessis-Ouchemoukh et al. (2017)** pour les extraits éthanoliques des gousses ($5165,49 \pm 38,32$ mg EAG/g MS) du caroubier collecté à Ighil Yesli (Béjaia) et aussi à ceux révélés dans l'étude de **Saci et al. (2019)** réalisée sur les extraits acétoniques de gousses sauvages ($258,55 \pm 2,57$ mg EAG/g MS) et cultivées ($231,12 \pm 2,98$ mg EAG/g MS).

Par ailleurs, nos résultats surpassent ceux obtenus par **Ayad et al. (2024)**, qui ont mené une recherche sur les extraits méthanoliques des gousses vertes sauvages collectés dans trois localités situées à Jijel ($87,10 \pm 0,07$ mg EAG/g MS pour les échantillons issus de Texenna, suivies de ceux de Chekfa avec $45,14 \pm 0,04$ mg EAG/g MS puis les échantillons d'El Emir Abdelkader avec $36,74 \pm 0,01$ mg EAG/g MS).

Il a été démontré que les solvants d'extraction ont un impact significatif sur la composition phénolique (**Makris et Kefalas, 2004; Baba Ahmed et al., 2023; Madi et al., 2023**).

I.2. Teneur en flavonoïdes

Le diagramme en batonnets présenté dans la figure n°14 illustre les concentrations en flavonoïdes, exprimées en mg d'équivalents quercétine par gramme de matière sèche, calculées dans les extraits des différentes feuilles de *Ceratonia siliqua* L.

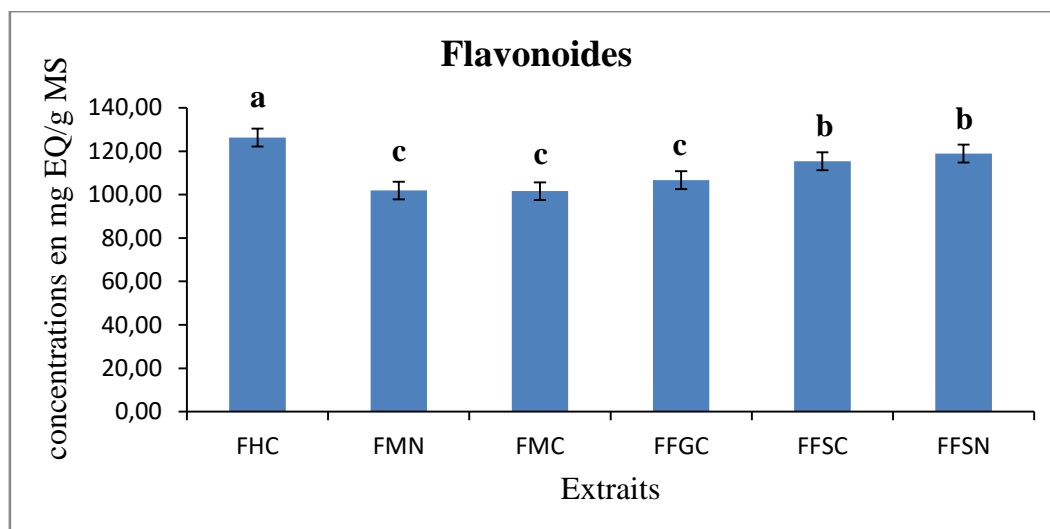


Figure n°08. Teneurs en flavonoïdes dans les extraits des différentes feuilles de *Cerantonia siliqua* L. (**FHC** : feuilles hermaphrodites cultivées ; **FMN** : feuilles mâles naturelles ; **FMC** : feuilles mâles cultivées ; **FFGC** : feuilles femelles greffées cultivées ; **FFSC** : feuilles femelles sauvages cultivées ; **FFSN** : feuilles femelles sauvages naturelles)

Par rapport aux flavonoïdes, les grandes valeurs ont été enregistrées dans les extraits des feuilles hermaphrodites cultivées (FHC= 126,26 ± 1,93 mg EQ/g MS) et les femelles (FFSN=118.89 mg EQ; FFSC= 115.33 mg EQ; FFGC= 106.65 mg EQ). Quant aux feuilles mâles, elles ont fourni les faibles teneurs (FMN= 101.88 mg EQ; FMC=101.59 mg EQ). De plus, quel que soit le sexe des feuilles, ce sont les échantillons récoltés dans la station naturelle qui notent les teneurs les plus élevées.

Dans la station cultivée, les extraits des feuilles femelles sauvages (115.33 mg EQ) sont plus riches en flavonoïdes par rapport aux extraits des feuilles greffées (106.65 mg EQ) contrairement à ce qui a été trouvé pour les polyphénols totaux. Notre résultat, pour les flavonoïdes, est en adéquation avec celui de **Yahiaoui et al. (2021)** qui ont révélé que les feuilles spontanées contiennent une concentration plus élevée de flavonoïdes, comparativement aux feuilles greffées.

L'analyse statistique a révélé trois groupes différents: le groupe « a » qui est composé des feuilles hermaphrodites qui présentent des différences significatives (** et ***) avec le reste des feuilles traitées. Le groupe « b » qui comporte les feuilles femelles sauvages (naturelles et cultivées) et le groupe « c » contenant les feuilles mâles (naturelles et cultivées) et les feuilles femelles greffées. Les échantillons contenus dans le même groupe ne présentent aucune différence significative.

L'effet du sexe de l'échantillon, sur les teneurs en flavonoïdes, recherché par le test du Tukey (Tab.III) a décelé des différences significatives entre les feuilles hermaphrodites

cultivées (FHC) et les feuilles mâles et femelles issues des deux stations. Les feuilles femelles sauvages (naturelles et cultivées) sont différentes significativement, au niveau des flavonoïdes, avec l'ensemble des feuilles mâles traitées, alors que pour les feuilles femelles greffées cultivées n'ont présenté aucune différence significative avec les feuilles mâles (naturelles et cultivées) (Tab.III).

Dans l'effet du type de cultivar (Tab.III) l'analyse statistique a révélé que les feuilles mâles issues des deux stations ne présentent aucune différence significative, c'est le cas aussi pour les feuilles sauvages (Tab.III). Néanmoins, les teneurs en flavonoïdes dans les extraits des feuilles femelles (sauvages et greffées) échantillonnées de la station cultivée présentent une différence hautement significative. De plus, les feuilles greffées (Tab.III) sont différentes significativement des feuilles sauvages naturelle.

Tableau III. Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur les teneurs en flavonoïdes.

Facteurs de variation	Echantillons
Hermaphrodites et mâles	FHC vs FMC (***)
	FHC vs FMN (***)
Hermaphrodites et femelles	FHC vs FFSN (**)
	FHC vs FFSC (**)
	FHC vs FFGC (***)
Mâles et femelles	FFSN vs FMC (***)
	FFSN vs FMN (***)
	FFGC vs FMC (///)
	FFGC vs FMN (///)
	FFSC vs FMN (***)
	FFSC vs FMC (***)
Mâles naturels et cultivés	FMN vs FMC (///)
Femelles naturels et cultivés	FFSN vs FFSC (///)
	FFSN vs FFGC (***)
Femelles sauvage et greffées dans la station cultivée.	FFGC vs FFSC (**)

Au niveau de signe de signification $\alpha = 0.05$ où [(***) : très hautement significatif (<0.001); (**) : hautement significatif (<0.01); (*) : significatif (<0.05); (///) : non significatif].

Les résultats du dosage des flavonoïdes, dans les extraits de toutes les feuilles, sont supérieurs à ceux déterminés par **Custódio et al. (2009)** qui sont de valeur (7.0 ± 1.0 mg EQ/g MS) pour les feuilles mâles, (1.6 ± 0.1 mg EQ/g MS) pour les feuilles femelles et (5.8 ± 0.6 mg EQ/g MS) pour les feuilles hermaphrodites.

Dans une autre étude menée par **Custódio et al. (2009)**, sur des extraits de six feuilles femelles cultivées (2.1 à 13.4 mg ER/g MS), leurs résultats sont inférieurs à ceux de nos extraits des FFGC et FFSC. Aussi, leurs résultats des extraits des deux feuilles

hermaphrodites cultivées (5.1 ± 0 mg ER/g MS) et (6.3 ± 0.2 mg ER/g MS) sont inférieurs à nos résultats des FHC. Les extraits de FMC ont montré une teneur en flavonoïdes supérieure, par rapport à leurs extraits des deux feuilles mâles cultivées (6.0 ± 0.5 mg ER/g MS et 7.9 ± 0.1 mg ER/g MS).

Une étude réalisée par **Ben Hsouna et al. (2015)** sur les extraits de feuilles du caroubier de Chebba (Mahdia, Tunisie) en utilisant divers solvants d'extraction (hexane, dichlorométhane, acétate d'éthyle, eau) a indiqué que la concentration en flavonoïdes varie en fonction du solvant utilisé ($193,30 \pm 3,07$ mg EQ/g MS dans l'extrait de l'acétate d'éthyle; $75,94 \pm 7,68$ mg EQ/g MS dans les extraits au dichlorométhane et $21,71 \pm 8,71$ mg EQ/g MS dans les extraits aqueux) et ils sont tous inférieurs aux nôtres. Ces derniers dépassent aussi ceux indiqués par **Abidar et Boiangiu (2020)**, qui ont dosé les flavonoïdes dans les extraits aqueux ($25,35 \pm 0,124$ mg EQ/g MS) des feuilles de *Ceratonia siliqua* L. récoltées dans le sud du Maroc.

Selon les résultats obtenus par **Madi et al. (2023)**, la concentration en flavonoïdes dans l'extrait des feuilles de *Ceratonia siliqua* L. est plus élevée dans l'extrait méthanolique ($58,32 \pm 0,01$ mg EQ/g MS) par rapport à l'extrait aqueux ($41,66 \pm 0,04$ mg EQ/g MS). Cependant leurs valeurs sont inférieures à celles de nos extraits. Ces derniers sont supérieurs à ceux obtenus dans les feuilles (58.32 ± 0.01 mg EQ/g MS), issues de Constantine, dans l'étude réalisée par **Madi et al. (2023)**.

La comparaison avec d'autres parties de *Ceratonia siliqua* L., notamment les gousses, a révélé que les extraits méthanoliques des feuilles analysées dans le présent travail (Fig.14) sont moins riches en flavonoïdes par rapport aux extraits éthanoliques des gousses matures de Bejaia (1342.51 ± 28.46 mg EQ/g MS) étudiées par **Amessis-Ouchemoukh et al. (2017)**. Par ailleurs, ils sont très riches par rapport aux extraits méthanoliques des gousses immatures de Jijel (4.90 ± 0.06 mg EQ/g MS dans les extraits des gousses de Texanna; 4.09 ± 0.11 mg EQ/g MS dans les extraits des gousses d'El Emir Abdelkader et 3.95 ± 0.20 mg EQ/g MS dans les extraits des gousses de Chekfa) analysées par **Ayad et al. (2024)**. De plus, nos résultats sont supérieurs à ceux trouvés par **El Guiche et al. (2015)** dans les extraits de quatre espèces appartenant à la famille des Fabacées.

Il est nécessaire de mentionner que la technique et le solvant d'extraction jouent un rôle très important dans la quantification des flavonoïdes comme il a été indiqué par **Saha et al., (2017)** et **Kobus-Cisowska et al. (2020)**.

Les teneurs en flavonoïdes peuvent être influencées par le type de solvant d'extraction (**Ben Hsouna et al. 2013; Baba Ahmed et al., 2023**), par le sexe de la plante

(Custódio *et al.*, 2009), par le type d'organe (Oueslati *et al.*, 2022) et par la température de l'extraction (Cegledi *et al.*, 2024).

I.3. Teneur en tanins condensés

Les résultats du dosage des tanins condensés présents dans les différents extraits des feuilles de *Ceratonia siliqua* L., sont synthétisés dans la figure n°15.

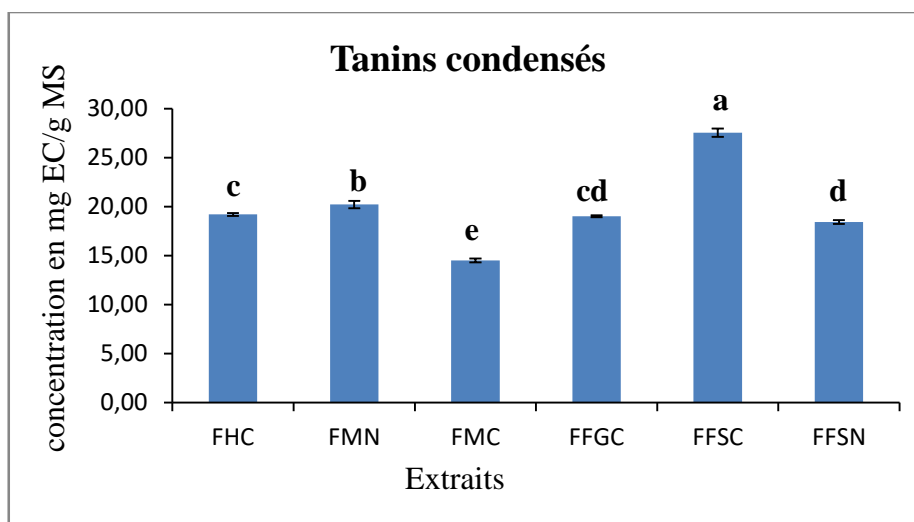


Figure n°09. Teneurs en tanins condensés dans les extraits des différentes feuilles de *Ceratonia siliqua* L. (**FHC**: feuilles hermaphrodites cultivées; **FMN**: feuilles mâles naturelles; **FMC**: feuilles mâles cultivées; **FFGC** : feuilles femelles greffées cultivées ; **FFSC**: feuilles femelles sauvages cultivées; **FFSN**: feuilles femelles sauvages naturelles)

Les résultats indiquent que les extraits des FFSC ont la concentration la plus élevée en tanins condensés (FFSC=27,55 ± 0,42 mg EC/g MS). Pour les feuilles mâles, ce sont les échantillons de la station naturelle (FMN= 20,22 ± 0,37 mg EC/g MS) qui ont fourni les grandes concentrations en tanins condensés par rapport aux feuilles mâles cultivées (FMC= 14,51 ± 0,21 mg EC/g MS). En revanche, pour les femelles, sont les feuilles sauvages de la station cultivé (FFSC=27,55 ± 0,42 mg EC/g MS) qui ont donné les teneurs élevées par rapport aux feuilles greffées de la station cultivée (FFGC= 19,02 ± 0,09 mg EC/g MS) ainsi qu'aux feuilles sauvages de la station naturelle (FFSN= 18,42 ± 0,19 mg EC/g MS).

D'après les résultats du criblage phytochimique des feuilles des variétés greffées et naturelles de *Ceratonia siliqua* L. dans l'étude réalisée par **Yahiaoui et al. (2021)**, il apparaît que les feuilles naturelles contiennent une concentration plus élevée de tanins condensés que les feuilles greffées. Ceci en accord avec ce qui a été trouvé dans le présent travail.

La mise en évidence de l'effet du sexe ainsi que l'effet du type de cultivar sur les teneurs en tanins condensés (Tab.IV), par le test du Tukey a détecté des différences significatives (**; **) entre les feuilles mâles et celles des femelles, issues des deux stations (Tab.IV). Les feuilles hermaphrodites sont différentes significativement (**; **), au niveau

des tanins condensés, avec l'ensemble des feuilles mâles traitées, et avec les feuilles sauvages des deux stations (**; *) alors que pour les feuilles femelles greffées cultivées n'ont présenté aucune différence significative avec les feuilles hermaphrodites (Tab.IV). Pour ce qui est du type de cultivar (Tab.IV). L'analyse montre que, parmi les échantillons comparés, seulement ceux des feuilles sauvages de la station naturelle et des feuilles greffées de la station cultivée qui ne sont pas différents significativement entre eux (Tab.IV).

Tableau IV. Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur les teneurs en tanins condensés.

Facteurs de variation	Echantillons
Hermaphrodites et mâles	FHC vs FMC (***)
	FHC vs FMN (**)
Hermaphrodites et femelles	FHC vs FFSN (*)
	FHC vs FFSC (***)
	FHC vs FFGC (///)
Mâles et femelles	FFSN vs FMC (***)
	FFSN vs FMN (***)
	FFGC vs FMC (***)
	FFGC vs FMN (**)
	FFSC vs FMN (***)
	FFSC vs FMC (***)
Mâles naturels et cultivés	FMN vs FMC (***)
Femelles naturels et cultivés	FFSN vs FFSC (***)
	FFSN vs FFGC (///)
Femelles sauvage et greffées dans la station cultivée.	FFGC vs FFSC (***)

Au niveau de signe de signification $\alpha = 0.05$ où [(***) : très hautement significatif (<0.001); (**) : hautement significatif (<0.01); (*) : significatif (<0.05); (///) : non significatif].

Selon l'étude menée par **Custódio et al. (2009)**, la comparaison des teneurs en tanins condensés dans les extraits de feuilles de trois types du caroubier (feuilles mâles cultivées, feuilles femelles cultivées et feuilles hermaphrodites cultivées) a révélé une concentration de $(16.2 \pm 0.3 \text{ mg EC/g MS})$ pour les feuilles mâles cultivées qui est supérieure à notre extrait de FMC $(14,51 \pm 0,21 \text{ mg EC/g MS})$. Les feuilles femelles cultivées avaient une concentration de $(12.5 \pm 0.1 \text{ mg EC/g MS})$ qui est inférieure à nos extraits de FFSC $(27,55 \pm 0,42 \text{ mg EC/g MS})$ et FFGC $(19,02 \pm 0,09 \text{ mg EC/g MS})$. Pour les feuilles hermaphrodites cultivées, les concentrations étaient de $(20.3 \pm 0.9) \text{ mg EC/g MS}$. Cette dernière dépasse légèrement notre résultat pour l'extrait de FHC $(19,20 \pm 0,16 \text{ mg EC/g MS})$.

Les teneurs en tanins condensés estimées par **El bouzidi et al. (2023)** dans leur étude sur les extraits des feuilles $(29.61 \pm 0.36 \text{ mg EC/g MS})$ de *Ceratonia siliqua* L. sont supérieures à celles de nos extraits illustrés dans la figure n°15.

Les teneurs en tanins condensés des extraits des FFSC et des FFGC (Fig.15) sont plus élevées par rapport à celles rapportées par **Custódio et al. (2009)** dans les extraits de feuilles femelles de six caroubiers différents (teneurs qui varient de 1.8 à 23.7 mg EC/g MS). La concentration dans notre extrait de FHC ($19,20 \pm 0,16$ mg EC/g MS) est inférieure à celle des auteurs relatifs, pour le même type de feuilles ($21,07 \pm 0,2$ et $19,5 \pm 0,8$ mg EC/g MS). Quant aux deux extraits des feuilles mâles cultivées, leurs teneurs ($16,1 \pm 0,3$ et $16,3 \pm 0,2$ mg EC/g MS) sont plus élevées à celles de notre extrait de FMC ($14,51 \pm 0,21$ mg EC/g MS).

De la comparaison des résultats avec ceux obtenus pour d'autres parties de la plante nous avons constaté que les nôtres (Fig.15) sont supérieures à ceux trouvés par **Ben Ayache et al. (2020)** dans les extraits des gousses ($0,3 \pm 0,0$ mg EC/g MS) et des graines ($0,2 \pm 0,0$ mg EC/g MS) du caroubier récolté en Tunisie.

Dans l'étude menée par **Avallone et al. (1997)**, différents échantillons de gousses de caroube ont été extraits en utilisant une variété de solvants. Les résultats ont montré que les extraits acétoniques à 70% ont donné la concentration la plus élevée de proanthocyanidines (2,9 mg EC/g MS), suivie par les extraits méthanoliques (1,4 mg EC/g MS) et puis par l'extrait acétonique à 100% (0,8 mg EC/g MS). Ces valeurs sont supérieures à celles obtenues dans nos extraits (Fig.15).

Il a été démontré que les concentrations en tanins condensés peuvent varier en fonction de la méthode utilisée pour l'extraction (**Silanikove et al., 2006**), le type de cultivar (**Saci et al., 2019**), la maturation de l'organe et l'origine géographique (**Ben Othmen et al., 2019**).

I.4. Teneur en tanins hydrolysables

La figure ci-dessous illustre les résultats du dosage des tanins hydrolysables dans les différents extraits de feuilles de *Ceratonia siliqua* L.

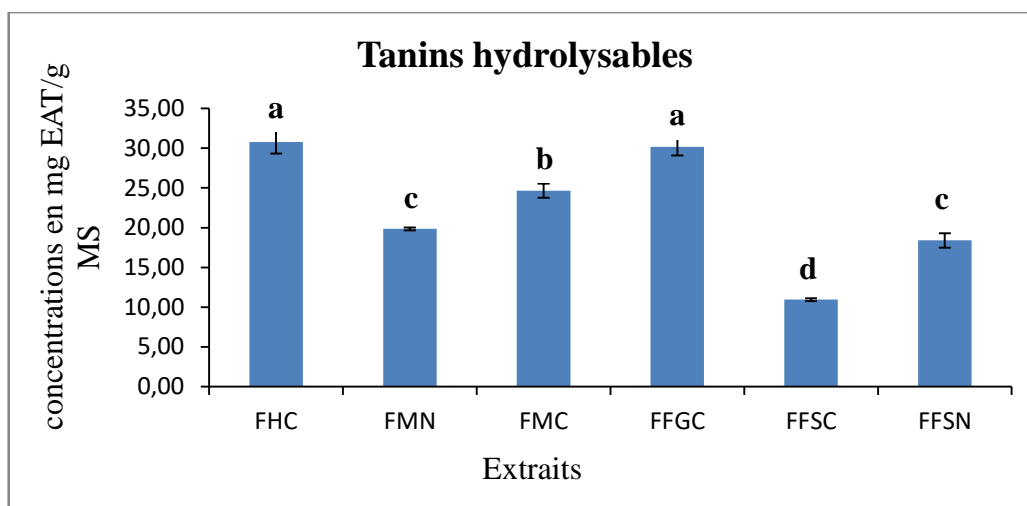


Figure n°10. Teneurs en tanins hydrolysables dans les extraits des différentes feuilles de *Ceratonia siliqua* L. (**FHC**: feuilles hermaphrodites cultivées; **FMN**: feuilles mâles naturelles; **FMC**: feuilles mâles cultivées; **FFGC**: feuilles femelles greffées cultivées; **FFSC**: feuilles femelles sauvages cultivées; **FFSN**: feuilles femelles sauvages naturelles)

Selon les résultats affichés dans la figure n°16, nous avons constaté que dans la station cultivée, ce sont les extraits des feuilles hermaphrodites (FHC= 30,77 ± 1,43 mg EAT/g MS) et ceux des feuilles femelles greffées (FFGC= 30,19 ± 1,12 mg EAT/g MS) qui ont enregistré les grandes concentrations, en tanins hydrolysables. Alors que pour la station naturelle, les résultats montrent que les feuilles mâles naturelles (FMN=19,84 ± 0,18 mg EAT/g MS) ont synthétisé plus de tanins hydrolysables par rapport aux feuilles femelles naturelles (FFSN=18,40 ± 0,90 mg EAT/g MS). Cependant, les tanins hydrolysables se concentrent mieux dans les feuilles mâles cultivées (FMC=24,66 ± 0,87 mg EAT/g MS) par rapport aux feuilles mâles naturelles (Fig.16). Les résultats de l'étude réalisée par **Ghanemi et al. (2021)**, sur les extraits des feuilles du caroubier cultivé en Algérie occidentale, ont montré que les feuilles contiennent des niveaux significatifs de tanins hydrolysables.

L'effet du sexe (Tab.V) sur les teneurs en tanins hydrolysables, mis en évidence par le test du Tukey a révélé des différences significatives (**; **) similaires à celles qui ont été détectées dans les cas des tanins condensés. Pour ce qui est de l'effet du type de cultivar, l'analyse montre la présence des différences significatives (**; **) entre les feuilles sauvages naturelles et les feuilles cultivées, pour les deux sexes, et entre les feuilles femelles greffées cultivées et les feuilles sauvages cultivées (Tab.V).

Tableau V. Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur les teneurs en tanins hydrolysables.

Facteurs de variation	Echantillons
Hermaphrodites et mâles	FHC vs FMC (***)
	FHC vs FMN (***)
Hermaphrodites et femelles	FHC vs FFSN (***)

	FHC vs FFSC (***)
	FHC vs FFGC (///)
Mâles et femelles	FFSN vs FMC (***)
	FFSN vs FMN (***)
	FFGC vs FMC (***)
	FFGC vs FMN (**)
	FFSC vs FMN (***)
	FFSC vs FMC (***)
Mâles naturels et cultivés	FMN vs FMC (**)
Femelles naturels et cultivés	FFSN vs FFSC (***)
	FFSN vs FFGC (***)
Femelles sauvage et greffées dans la station cultivée.	FFGC vs FFSC (***)

Au niveau de signe de signification $\alpha= 0.05$ où [(***) : très hautement significatif (<0.001) ; (**) : hautement significatif (<0.01) ; (*) : significatif (<0.05) ; (///) : non significatif].

Les résultats obtenus pour les tanins hydrolysables dans le présent travail sont supérieurs à ceux rapportés par **El Bouzdoudi et al. (2017)**, qui ont analysé les extraits des feuilles matures (45.26 mg EAT/g MS), jeunes (26.27 mg EAT/g MS) et âgées (32.01 mg EAT/g MS) prélevées sur un arbre femelle cultivé au Maroc.

Dans l'étude menée par **Avallone et al. (1997)** différents échantillons de gousses de caroube ont été extraits en utilisant divers systèmes de solvants. Les résultats ont indiqué que l'acétone à 70% a révélé la plus haute concentration d'ellagitannins (0.46 mg EAT/g MS), suivi par l'acétone à 100% (0.3 mg EAT/g MS), puis le méthanol (0.29 mg EAT/g MS).

Il a été démontré que les teneurs en tannins hydrolysables peuvent être influencées par plusieurs facteurs, tels que les méthodes d'extraction utilisées (**El Mansouri et al., 2022**), les conditions environnementales de croissance des plantes (**Katiki et al., 2013**) et la variabilité génétique (**Dahmani et al., 2023**).

I.5. Teneur en anthocyanes

Les résultats du dosage des anthocyanes dans les feuilles des différents sexes et cultivars du caroubier sont synthétisés dans la figure ci-dessous.

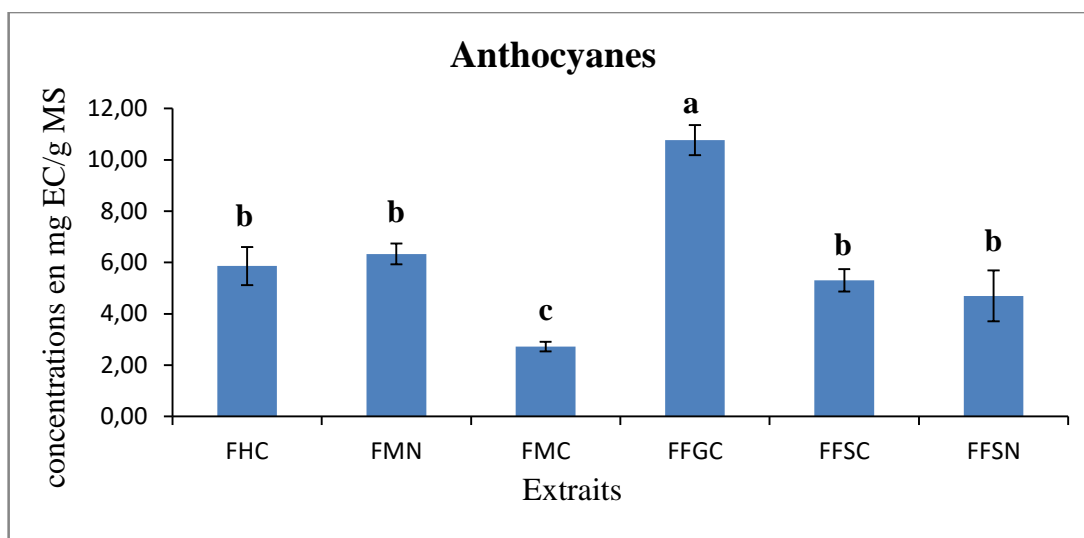


Figure n°11. Teneurs en anthocyanes dans les extraits des différentes feuilles de *Ceratonia siliqua* L. (**FHC** : feuilles hermaphrodites cultivées ; **FMN** : feuilles mâles naturelles ; **FMC** : feuilles mâles cultivées ; **FFGC** : feuilles femelles greffées cultivées ; **FFSC** : feuilles femelles sauvages cultivées ; **FFSN** : feuilles femelles sauvages naturelles).

D'après la figure n° trois groupes différents ont été détectés par l'analyse statistique, il s'agit des groupes uniques « a » et « c » composés des feuilles femelles greffées cultivées (FFGC) et des feuilles mâles cultivées (FMC) respectivement, ces deux échantillons présentent des différences significatives avec le reste des feuilles traitées (FHC; FMN; FFSN; FFSC). Ces derniers ne présentent aucune différence significative entre eux et ils sont regroupés dans le même groupe « b ».

Par rapport au sexe femelle, les grandes valeurs d'anthocyanes ont été enregistrées dans les feuilles greffées (FFGC = 10,77 mg EC) de la station cultivée. De plus, avec une valeur moins, les femelles sauvage (FFSC = 5,31 mg EC) de la station cultivée sont plus riches en anthocyanes comparativement à leurs homologues dans la station naturelle (FFSN = 04,70 mg EC). Ce qui est le contraire pour les feuilles mâles où sont les échantillons issus de la station naturelle (FMN = 06,33 mg EC) qui contient plus d'anthocyanes par rapport à leurs homologues dans la station cultivée (FMC = 02,73 mg EC).

Dans l'analyse de l'effet du sexe (Tab.VI), sur les teneurs en anthocyanes, le test du Tukey a révélé que les feuilles hermaphrodites cultivées (FHC) ont présenté des différences significatives (***) uniquement avec les feuilles des individus qui se retrouvent dans la même station qu'elle (femelles greffées et mâles cultivées) (Tab.VI). Aussi, toutes les feuilles femelles sont différentes significativement des feuilles mâles cultivés.

Pour ce qui est de l'effet du type de cultivar (Tab.VI), l'analyse montre des différences significatives (***) entre les feuilles sauvages naturelles et les feuilles

cultivées, pour les deux sexes, et entre les feuilles femelles greffées cultivées et les feuilles sauvages cultivées (Tab.VI).

Tableau VI. Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur les teneurs en anthocyanes.

Facteurs de variation	Echantillons
Hermaphrodites et mâles	FHC vs FMC (***)
	FHC vs FMN (//)
Hermaphrodites et femelles	FHC vs FFSN (//)
	FHC vs FFSC (//)
	FHC vs FFGC (***)
Mâles et femelles	FFSN vs FMC (**)
	FFSN vs FMN (//)
	FFGC vs FMC (***)
	FFGC vs FMN (***)
	FFSC vs FMN (//)
	FFSC vs FMC (**)
Mâles naturels et cultivés	FMN vs FMC (**)
Femelles naturels et cultivés	FFSN vs FFSC (//)
Femelles sauvage et greffées dans la station cultivée.	FFSN vs FFGC (***)
	FFGC vs FFSC (***)

Au niveau de signe de signification $\alpha=0.05$ où [(***) : très hautement significatif (<0.001); (**): hautement significatif (<0.01); (*): significatif (<0.05); (//): non significatif].

Les résultats de teneurs en anthocyanes du présent travail (Fig.17) sont inférieurs à ceux rapportés par **Ben Ayache et al. (2020)**, qui ont relevé une concentration de (158.1 ± 0.7 mg EC/g MS) dans les extraits de pulpe et de (51.2 ± 0.1 mg EC/g MS) dans les extraits de graines de caroubier de Tunisie.

La concentration en anthocyanes dans les feuilles de l'olivier *Olea europaea* L., récoltées à Mahdia (Tunisie) dans l'étude de **Brahmi et al. (2012)** est estimée à ($0,14 \pm 0,01$ mg EC/g MS) ce qui est inférieur à celle trouvée dans nos extraits de toutes les feuilles traitées de *Ceratonia siliqua* L. Nous avons comparé avec l'olivier car cet arbre partage avec le caroubier les mêmes exigences écologiques et climatiques.

De nombreux facteurs influencent le rendement en anthocyanes, notamment le type d'échantillon, la durée d'incubation, la température, le solvant utilisé et le rapport solvant/masse (**Taghavi et al., 2022**); états de carence ou d'excès de minéraux (**Nguinambaye et al., 2020**).

II. Résultats de la teneur en composés phénoliques dans les fleurs du caroubier

Pour les échantillons des fleurs, uniquement la station cultivée qui est concernée dans le présent travail.

II.1. Teneur en polyphénols totaux

Les résultats du dosage des polyphénols totaux dans les quatre types d'extraits de fleurs sont présentés dans la figure n°18.

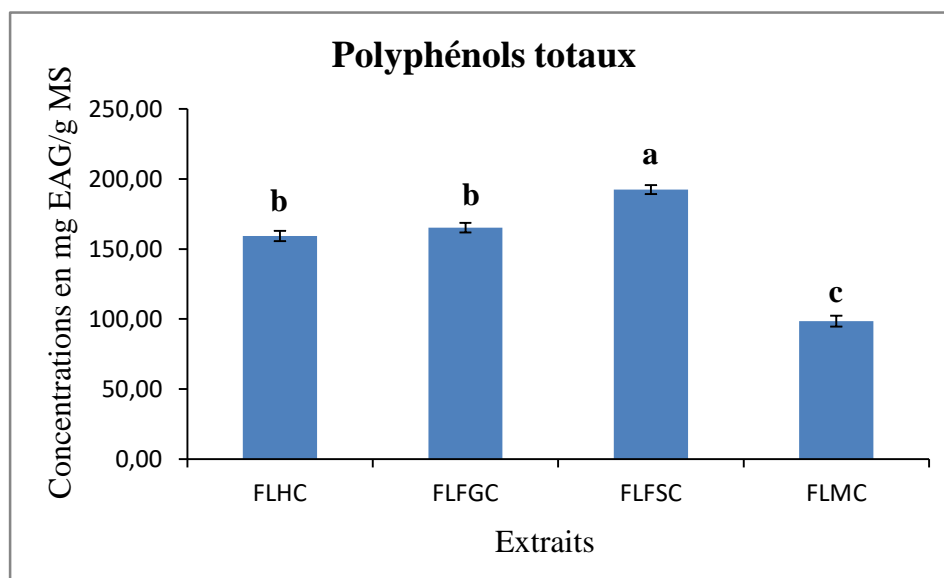


Figure n°12. Teneurs en polyphénols totaux dans les quatre extraits des différentes fleurs de *Ceratonia siliqua* L. (**FLHC** : fleurs hermaphrodites cultivées ; **FLFGC** : fleurs femelles greffées cultivées ; **FLFSC** : fleurs femelles sauvages cultivées ; **FLMC** : fleurs mâles cultivées)

Les résultats indiquent que les concentrations les plus élevées, en polyphénols totaux, sont enregistrées dans les extraits des fleurs femelles cultivées greffées (FLFGC = 192,40 ± 3,69 mg EAG/g MS) puis sauvages (FLFSC = 165,19 ± 3,46 mg EAG/g MS), suivies par les extraits des fleurs hermaphrodites (FLHC = 159,33 ± 3,28 mg EAG/g MS). Quant à l'extrait de FLMC (98,42 ± 3,81 mg EAG/g MS) il détient la concentration la plus basse en polyphénols totaux.

Nous avons comparé les résultats avec d'autres plantes appartenant en particulier à la famille des Fabacées vu le manque d'études réalisées sur les composés phénoliques dans les fleurs du caroubier.

Les résultats obtenus dans le présent travail (Fig.18) dans les extraits des fleurs femelles et mâles du caroubier sont supérieurs à ceux des fleurs de *Clitoria ternatea* L. (de 24,07 ± 2,29 mg EAG/g MS jusqu'au 53,62 ± 2,78 mg EAG/g MS) (**Buddhika et al., 2021**); des fleurs de trèfle blanc (*Trifolium repens*) (14,29 ± 1,19 mg EAG/g MS) et de trèfle rouge (*Trifolium pratense*) (19,20 ± 0,71 mg EAG/g MS) (**Jakubczyk et al., 2021**) ; des fleurs de *Crotalaria retusa* L. (**Sinan et al., 2020**); des fleurs de *Vicia faba* L. (137,78 mg EAG/g

MS) (Topal et al., 2020) et des fleurs de six variétés *Vigna unguiculata* qui ont présenté des teneurs allant du (10.00 ± 0.11) à (20.87 ± 0.36 mg EAG/g MS) (Alabi et al., 2011).

Par ailleurs, ils sont inférieurs à ceux des fleurs de *Clitoria ternatea* L. (2459.94 ± 1057.931 mg EAG/g MS) (Kuswandari et al., 2022); des fleurs de *Retama monosperma* (200 ± 0.4 mg EAG/g MS) (Belmokhtar et Harche, 2014); des fleurs de diverses plantes de légumineuses en Malaisie péninsulaire, ayant des concentrations en polyphénols totaux variaient entre (235 ± 35 mg EAG/g MS) et (8280 ± 498 mg EAG/g MS) (Ling Chew et al., 2011). De plus, celle des fleurs FLMC ($98,42 \pm 3,81$ mg EAG/g MS) est inférieur à celle des fleurs de *Vicia faba* L. ($137,78$ mg EAG/g MS) (Topal et al., 2020).

Ces différences peuvent être attribuées aux milieux écologiques où la plante est récoltée, ainsi qu'au réactifs utilisé lors du test (Goh et al., 2022). Il a été démontré que la production et la libération de métabolites phénoliques dans les fleurs peuvent être influencées par les facteurs climatiques et les stades phénologiques (Naghiloo et al., 2012), par le solvant d'extraction (Belmokhtar et Harche, 2014; Cherfia et al., 2017) et par la méthode d'extraction (Sinan et al., 2020).

II.2. Teneur en flavonoïdes

Les quantités de flavonoïdes, exprimées en milligrammes équivalents de quercétine, sont illustrées dans la figure n°19.

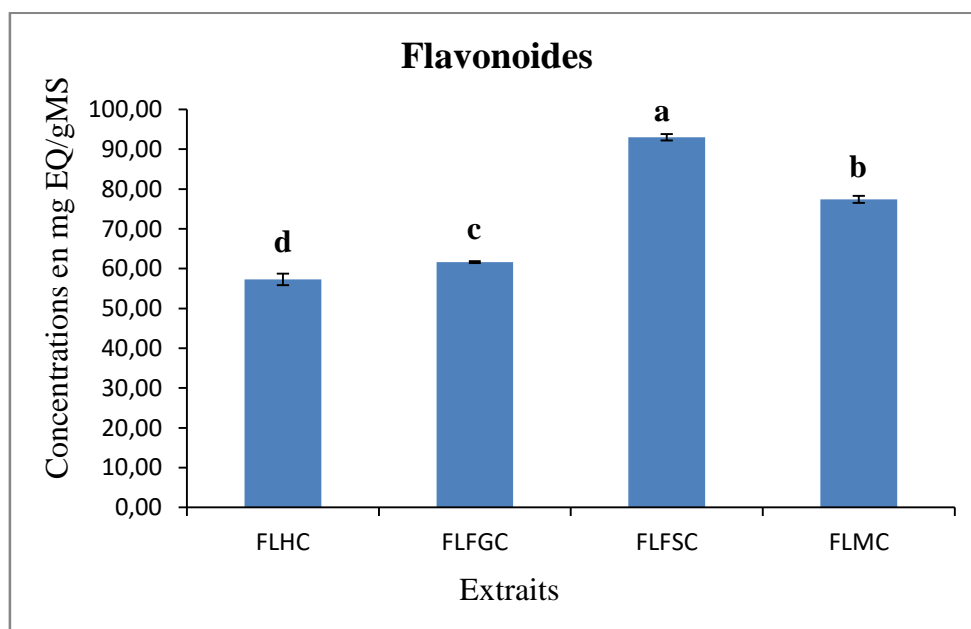


Figure n°13. Teneurs en flavonoïdes dans les quatre extraits des différentes fleurs de *Ceratonia siliqua* L. (FLHC : fleurs hermaphrodites cultivées ; FLFGC : fleurs femelles greffées cultivées ; FLFSC : fleurs femelles sauvages cultivées ; FLMC : fleurs males cultivées).

Comme pour les polyphénols totaux, ce sont les extraits des fleurs femelles sauvages (FLFSC) qui contient la plus grande valeur pour les flavonoïdes ($92,98 \pm 0,80$ mg EQ/g MS),

suivies par les fleurs mâles cultivées FLMC ($77,43 \pm 0,89$ mg EQ/g MS). Les concentrations plus faibles en flavonoïdes sont enregistrées dans les fleurs femelles sauvages (FLFGC = $61,67 \pm 0,25$ mg EQ/g MS) et ceux des fleurs hermaphrodites (FLHC = $57,27 \pm 1,45$ mg EQ/g MS).

Les différentes fleurs de *Ceratonia siliqua* L. (Fig. 19) sont plus riches en flavonoïdes par rapport aux fleurs de cinq variétés de *Clitoria ternatea* L. qui ont produit des teneurs en flavonoïdes allant du ($14,06 \pm 2,49$ mg EQ/g MS) à ($34,02 \pm 3,60$ mg EQ/g MS) (Buddhika et al. 2021), aux fleurs de *Crotalaria retusa* L. (Sinan et al., 2020); aux fleurs de fleurs de *Retama monosperma* ($17,42 \pm 0,02$ mg EQ/g MS) (Belmokhtar et Harche, 2014) et aux fleurs de six variétés de *Vigna unguiculata* ($2,00 \pm 0,58$ à $4,63 \pm 1,7$ mg EQ/g MS) (Alabi et al. 2011). De plus, nos résultats pour toutes les fleurs traitées sont supérieurs à ceux des fleurs de *Crotalaria retusa* L. analysées par Sinan et al. (2020) et à ceux de Topal et al. (2020) dans les fleurs de *Vicia faba* L. ($12,99$ mg EQ/g MS) et de Cherfia et al. (2017) dans les extraits d'acétate d'éthyle ($16,30 \pm 0,05$ mg EQ/g MS) et de N-butanol ($8,19 \pm 0,44$ mg EQ/g MS) des fleurs de *Calycotome spinosa* L. Par ailleurs, nos résultats sont inférieurs à ceux rapportés par Kuswandari et al. (2022) dans les fleurs de *Clitoria ternatea* ($1171,105 \pm 154,9483$ mg EQ/g MS).

II.3. Teneur en tanins condensés

La figure ci-dessous illustre les résultats du dosage des tanins condensés présents dans les extraits de fleurs de *Ceratonia siliqua* L.

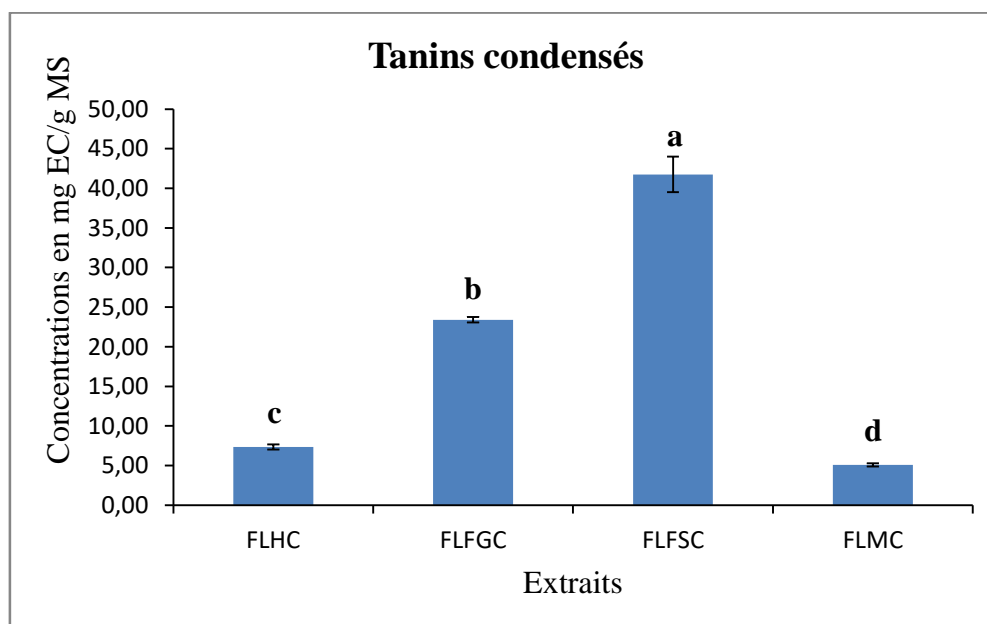


Figure n°14. Teneurs en tanins condensés dans les quatre extraits des différentes fleurs de *Ceratonia siliqua* L. (FLHC : fleurs hermaphrodites cultivées ; FLFGC : fleurs femelles greffées cultivées ; FLFSC : fleurs femelles sauvages cultivées ; FLMC : fleurs mâles cultivées).

Les résultats mentionnés dans la figure ci-dessus montrent que les tanins condensés sont plus concentrés dans les fleurs femelles sauvages (FLFSC = $41,75 \pm 2,25$ mg EC/g MS), puis les fleurs femelles greffées (FLFGC = $23,40 \pm 0,36$ mg EC/g MS). Les fleurs mâles enregistrent les faibles teneurs en tanins condensés (FLMC = $5,07 \pm 0,20$ mg EC/g MS). Avec la valeur de ($7,34 \pm 0,32$ mg EC/g MS) les fleurs hermaphrodites (FLHC) prennent la position intermédiaire entre les fleurs femelles et mâles.

Les teneurs en tanins condensé quantifiées dans les fleurs femelles et hermaphrodites de *Ceratonia siliqua* L. sont supérieures à celle rapportées par **Belmokhtar et Harche (2014)** dans les extraits méthanoliques des fleurs de *Retama monosperma* ($6,01 \pm 0,5$ mg EC/g MS). Néanmoins, cette dernière est supérieure à la concentration calculée pour les extraits des feuilles mâles de *Ceratonia siliqua* L. ($5,07 \pm 0,20$ mg EC/g MS). Ces derniers ainsi que ceux des fleurs hermaphrodites sont inférieurs à ceux des fleurs d'*Onobrychis viciifolia* ($23,7 \pm 1,06$ mg EC/g MS) analysées par **Butkute et al. (2018)**. En revanche, nos résultats pour les fleurs femelles (sauvages et cultivées) (Fig.20) sont supérieurs à ceux des fleurs d'*Onobrychis viciifolia*.

II.4. Teneur en tanins hydrolysables

Les résultats du dosage des tanins hydrolysables dans les extraits de fleurs de *Ceratonia siliqua* L., sont synthétisés dans la figure n°21.

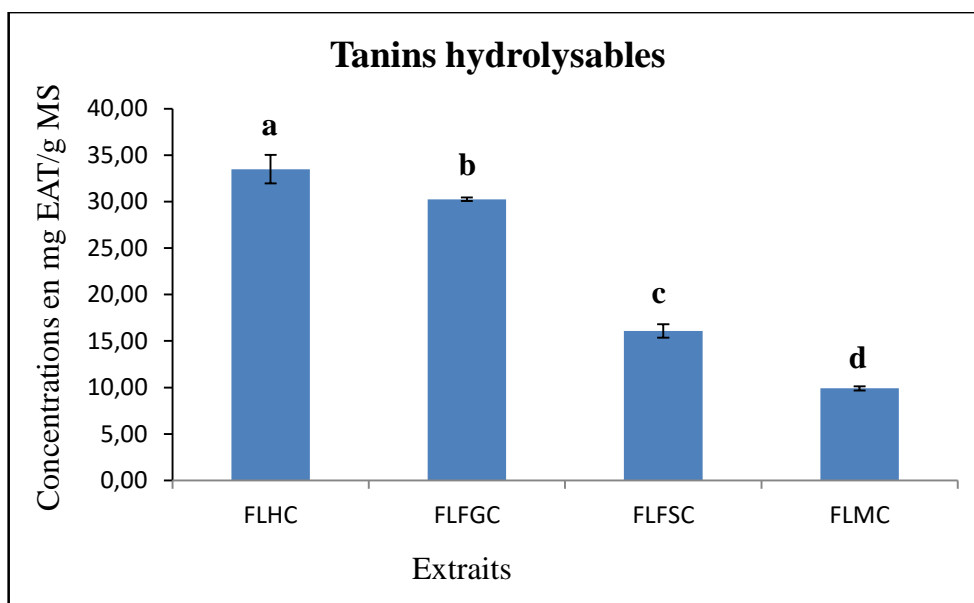


Figure n°15. Teneurs en tanins hydrolysables dans les quatre extraits des différentes fleurs de *Ceratonia siliqua* L. (FLHC : fleurs hermaphrodites cultivées ; FLFGC : fleurs femelles greffées cultivées ; FLFSC : fleurs femelles sauvages cultivées ; FLMC : fleurs males cultivées).

D'après la figure, nous constatons que ce sont les fleurs hermaphrodites qui contiennent les teneurs les plus élevées de tanins hydrolysables ($33,49 \pm 1,53$ mg EAT/g

MS) suivies des fleurs femelles greffées ($30,25 \pm 0,18$ mg EAT/g MS) puis les fleurs femelles sauvages ($16,07 \pm 0,72$ mg EAT/g MS). Enfin, les feuilles mâles FLMC fournissent la concentration la plus basse en tanins hydrolysables ($9,90 \pm 0,23$ mg EAT/g MS).

Nos résultats pour les extraits des fleurs hermaphrodites et femelles sont supérieurs à ceux décelé par **Al-Huqail et al. (2019)** dans les extraits aqueux des fleurs d'*Acacia saligna* L. ($12,17$ mg EAT/g MS) et ceux rapportés par **Ibrahim et al. (2015)** dans les extraits des fleurs de *Securigera securidaca* L. ($13,47 \pm 3,9$ mg EAT/g MS). Toutefois, les résultats des deux études sont supérieurs à ceux trouvés dans les extraits des fleurs mâles ($9,90 \pm 0,23$ mg EAT/g MS) de *Ceratonia siliqua* L. du présent travail.

II.5. Teneur en anthocyanes

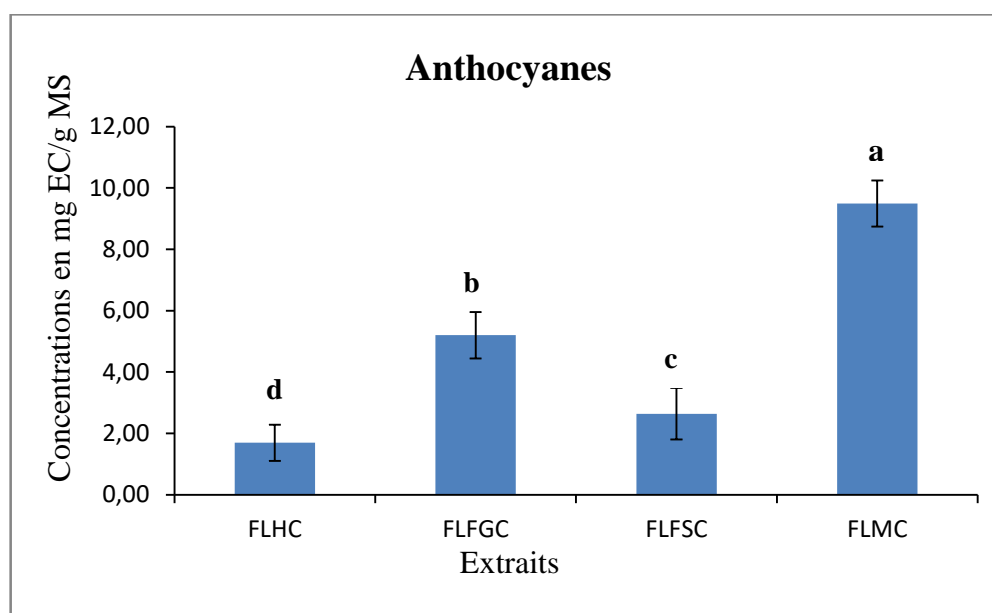


Figure n°16. Teneurs en anthocyanes dans les quatre extraits des différentes fleurs de *Ceratonia siliqua* L. (**FLHC** : fleurs hermaphrodites cultivées ; **FLFGC** : fleurs femelles greffées cultivées ; **FLFSC** : fleurs femelles sauvages cultivées ; **FLMC** : fleurs males cultivées).

Dans ce groupe de métabolites secondaires, ce sont les fleurs mâles qui ont notés les grandes teneurs d'anthocyanes ($9,50 \pm 0,75$ mg EC/ g MS), suivies par les fleurs femelles greffées ($5,20 \pm 0,76$ mg EC/ g MS) puis les fleurs femelles sauvages ($2,64 \pm 0,84$ mg EC/ g MS). Les fleurs hermaphrodites enregistrent les concentrations les plus faibles ($1,69 \pm 0,59$ mg EC/ g MS) en anthocyanes (Fig.22).

Les résultats obtenus pour les fleurs du caroubier (Fig.22) sont inférieurs à ceux détectés par Kuswandari **et al. (2022)** dans les fleurs de *Clitoria ternatea* L. ($122,79 \pm 84,25$ mg EC/g MS) et ceux rapporté par **Minh Thuy et al. (2021)** dans les fleurs de *Clitoria ternatea* L. ($39,89$ mg d'EC/g de MS).

Les résultats statistiques qui ont mis en évidence l'effet du sexe et le type du cultivar sur les teneurs des cinq métabolites dans les extraits des fleurs du caroubier sont résumés dans le tableau VII. A partir duquel, nous avons constaté que le sexe de la plante (femelle et mâle), ainsi que le type du cultivar ont un effet significatif sur la teneur de l'ensemble des molécules dosées dans les fleurs. Cependant, aucune différence significative n'a été marquée entre les fleurs hermaphrodites et les fleurs (greffés et sauvages) au niveau des polyphénols totaux et d'anthocyanes respectivement, et entre les fleurs hermaphrodites et les fleurs mâles au niveau des tanins condensés (Tab.VII).

Tableau VII. Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur les teneurs en composés phénoliques.

Facteurs de variation	Echantillons de feuilles	PPT	FLAV	TCO	THY	ANTH
Hermaphrodites et mâles	FLHC vs FLMC	(***)	(***)	///	(***)	(***)
Hermaphrodites et femelles	FLHC vs FLFSC	(***)	(***)	(***)	(***)	///
	FLHC vs FLFGC	////	(**)	(***)	(**)	(**)
Femelles et mâles	FLFSC vs FLMC	(***)	(***)	(***)	(***)	(**)
	FLFGC vs FLMC	(***)	(***)	(***)	(***)	(**)
Femelles sauvage et greffées dans la station cultivée.	FLFGC vs FLFSC	(***)	(***)	(***)	(***)	(***)

PPT: polyphénols totaux; **FLAV:** flavonoïdes; **TCO:** tanins condensés; **THY:** tanins hydrolysables; **ANTH:** anthocyanes.

Au niveau de signe de signification $\alpha=0.05$ où [(***) : très hautement significatif (<0.001); (**): hautement significatif (<0.01); (*): significatif (<0.05); (///): non significatif].

III. Résultats de l'évaluation des activités biologiques

III.1. Résultats de l'activité antioxydants des feuilles

Le diagramme en batonnets illustré dans la figure n°23 représente le pourcentage d'inhibition des radicaux (DPPH et ABTS) des extraits de feuilles du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.).

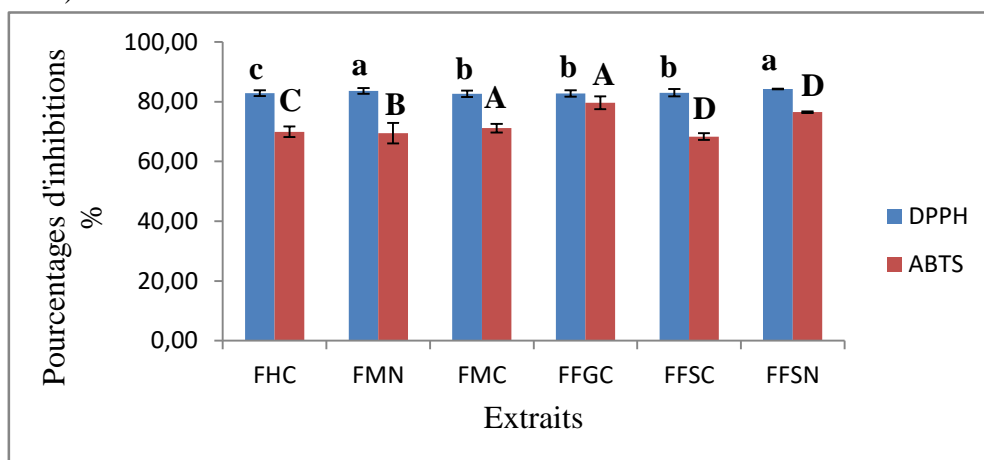


Figure n°17. Pourcentages d'inhibition (DPPH et ABTS) des différents extraits de feuilles de *Ceratonia siliqua* L. (**FHC** : feuilles hermaphrodites cultivés, **FMN** : feuilles mâles naturelles,

FMC : feuilles mâles cultivées, **FFGC** : feuilles femelles greffées cultivées, **FFSC** : feuilles femelles sauvages cultivées, **FFSN** : feuilles femelles sauvages naturelles).

Les résultats de l'activité antioxydante mentionnés dans la figure ci-dessus indiquent que pour le test du DPPH ce sont les extraits des feuilles sauvages naturelles, d'abord les feuilles femelles (FFSN= $84.24 \pm 0.11\%$) ensuite les feuilles mâles (FMN= $83.65 \pm 0.96\%$) qui ont fournis les pourcentages d'inhibition les plus élevés par rapport aux extraits des feuilles mâles, femelles et hermaphrodites cultivées du caroubier, ces derniers ont exprimé des pourcentages d'inhibition très proches qui sont de l'ordre de 82 %.

En ce qui concerne les résultats de l'ABTS, le pourcentage d'inhibition le plus élevé est enregistré par les extraits des feuilles femelles greffées cultivées (FFGC = $79,69 \pm 2,15\%$), suivies par les feuilles femelles sauvages ($76,50 \pm 0,25\%$) puis les feuilles mâles cultivées (FMC = $71,16 \pm 1,45\%$) et les feuilles hermaphrodites cultivées (FHC = $69,93 \pm 1,74\%$).

Afin d'évaluer la capacité antioxydante des extraits des feuilles du caroubier, nous avons comparé leurs pourcentages d'inhibition à la même concentration avec celle des standards synthétiques. Les résultats sont rapportés dans la figure n°24.

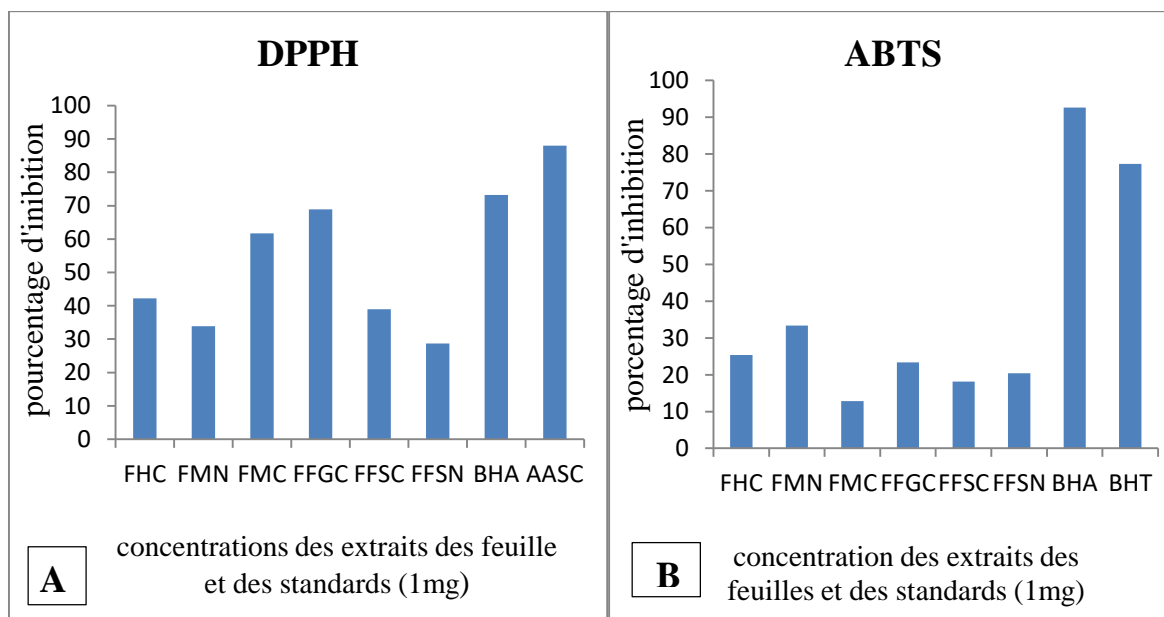


Figure n°18. Comparaison des pourcentages d'inhibition (A: DPPH; B : ABTS) fournis par les extraits des feuilles de caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) avec la même concentration que celles des deux standards (DPPH : BHA et AASC ; ABTS : BHA et BHT) (FHC : feuilles hermaphrodites cultivés, FMN : feuilles mâles naturelles, FMC : feuilles mâles cultivées, FFGC : feuilles femelles greffées cultivées, FFSC : feuilles femelles sauvages cultivées, FFSN : feuilles femelles sauvages naturelles).

D'une manière générale, les différents extraits testés dans le présent travail présentent une activité inférieure à celle des standards de référence, notamment dans le test de l'ABTS, dans lequel les standards utilisés BHA et BHT ont réduit le radical DPPH à 92,6 % et

77,3% respectivement. Alors que les extraits des feuilles, à la même concentration que celle des standards, ont fournis des pourcentages d'inhibition allant du 12,82 % à 33,37 % qui correspondent respectivement aux feuilles mâles cultivées et aux feuilles mâles naturelles. Néanmoins, dans le cas du DPPH, les feuilles femelles greffées cultivées ont réduit le radical à 68,90 % un pourcentage qui est comparable à celui de BHA (73,25%) mais loin de celui de l'Acide ascorbique (88 %).

Les résultats de l'inhibition de l'activité du DPPH obtenus dans les extraits des feuilles femelles sauvages naturelles ($84,24 \pm 0,11\%$) sont supérieurs à ceux rapportés par **Ghanemi et Belarbi (2021)** qui ont estimé des pourcentages de $70,29 \pm 0,56 \%$; de $81,26 \pm 0,11\%$ et de $83,70 \pm 0,10\%$ dans les extraits des feuilles de *Ceratonia siliqua* L. de Tunisie récoltées dans trois sites différents. Néanmoins, les résultats trouvés par les auteurs dans les feuilles du troisième site est supérieur à ceux des cinq autres extraits des feuilles testés dans notre travail (Fig.24), les résultats de ces derniers sont aussi inférieurs à celui révélé par **Abidar et al. (2020)** dans les extraits des feuilles ($84,65 \pm 0,01\%$) de *Ceratonia siliqua* du Maroc, un pourcentage qui est comparable à celui enregistré dans notre extrait des feuilles femelles sauvages naturelles ($84,24 \pm 0,11\%$).

Toutefois, nos résultats sont supérieurs à ceux estimés par **El Hajaji et al. (2010)** dans les extraits des feuilles (femelles greffées, femelles sauvages et mâles sauvages) du caroubier du Maroc où le pourcentage d'inhibition le plus élevé dans leur étude est de (61,17%). Les auteurs ont montré aussi que la meilleure activité est observée dans les extraits des feuilles femelles sauvages puis les mâles sauvages, ceci a été aussi constaté dans le présent travail.

En ce qui concerne la comparaison des résultats de l'inhibition du radical d'ABTS, nos résultats se situent dans l'intervalle (de $68,4 \pm 6,8 \%$ à $85,4 \pm 3,6\%$) estimé par **Custodio et al. (2011)** dans les extraits de graines et des gousses matures de *Ceratonia siliqua* L. du Portugal.

Mais ils sont inférieurs à ceux trouvés par **Ben ayache et al. (2020)** dans les extraits aqueux des graines (95,8 %) et de pulpe (90,9 %) du caroubier de Tunisie. Par ailleurs, les résultats du présent travail sont supérieurs à ceux décrits par **Jules et al. (2020)** dans les extraits des feuilles de *Dalbergia hostilis* ($39,87 \pm 2,51\%$) (Fabaceae).

Les résultats statistiques ont révélé la présence des différences significatives entre les feuilles hermaphrodites et toutes les feuilles des deux sexes (mâles et femelles) pour les deux tests de l'activité antioxydante (Tab.VII) ceci montre l'effet du sexe des feuilles sur l'activité antioxydante. Cependant, dans les cinq comparaisons entre les feuilles mâles et femelles,

nous avons constaté que les feuilles mâles naturelles ne présentaient aucune différence significative avec les feuilles femelles cultivées (Tab.VIII).

De point de vue type du cultivar, le test du Tukey indique que l'effet est significatif pour les deux tests de l'activité (Tab.VIII). Par ailleurs, à l'intérieur de la même station, l'effet de la variété est significatif seulement pour le test de l'ABTS (Tab.VIII)

Tableau VIII. Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur l'activité antioxydante des feuilles.

Facteurs de variation	Echantillons de feuilles	DPPH	ABTS
Hermaphrodites et mâles	FHC vs FMC	(***)	(***)
	FHC vs FMN	(***)	(**)
Hermaphrodites et femelles	FHC vs FFSC	(***)	(**)
	FHC vs FFGC	(**)	(***)
	FHC vs FFSN	(***)	(***)
Femelles et mâles	FFSC vs FMC	(*)	(***)
	FFGC vs FMC	(***)	(***)
	FFSN vs FMC	(***)	(***)
	FFSC vs FMN	(***)	///
	FFGC vs FMN	///	(***)
	FFSN vs FMN	(*)	(***)
Feuilles mâles cultivée et naturelles	FMN vs FMC	(***)	(**)
Feuilles femelles cultivée et naturelles	FFSN vs FFSC	(**)	(***)
	FFSN vs FFGC	(**)	(***)
Femelles sauvage et greffées dans la station cultivée.	FFGC vs FFSC	///	(***)

Au niveau de signe de signification $\alpha= 0.05$ où [(***) : très hautement significatif (<0.001) ; (**) : hautement significatif (<0.01) ; (*) : significatif (<0.05) ; (///) : non significatif].

III.2. Résultats de l'activité antioxydante des fleurs

Le diagramme en batonnets illustré dans la figure ci-dessous représente les pourcentages d'inhibition de l'activité anti-radicalaire du DPPH et d'ABTS des extraits de fleurs des différents sexes du caroubier cultivé.

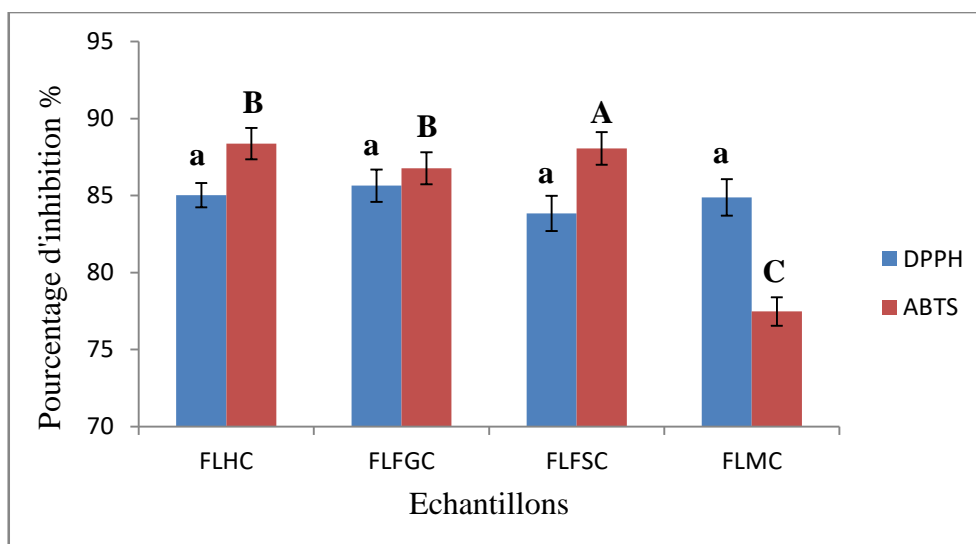


Figure n°19. Pourcentages d'inhibitions de DPPH et ABTS pour chaque échantillon des fleurs de caroubier (**FLHC** : fleurs hermaphrodites cultivées, **FLFGC** : fleurs femelles greffées cultivées, **FLFSC** : fleurs femelles sauvages cultivées, **FLMC** : fleurs mâles cultivées).

Les résultats de l'activité dans les extraits des fleurs indiquent que les pourcentages d'inhibition pour le DPPH varient entre 83,85% et 85,64 % enregistrés respectivement dans les extraits des fleurs femelles sauvages et ceux des fleurs femelles greffées.

Avec des valeurs plus élevées, les extraits des fleurs dans l'activité du piégeage du radical ABTS ont fourni des pourcentages d'inhibition allant du 77,48% à 88,37 % évalués respectivement dans les extraits des fleurs mâles et ceux des fleurs hermaphrodites.

De la figure n° nous constatons aussi que trois extraits (FLHC ; FLFGC ; FLFSC) avaient réduit le radical ABTS plus que le DPPH, mis à part les fleurs mâles qui ont présenté une meilleure activité dans le test du DPPH ($84,88 \pm 1,18$ %).

Si on compare entre le cultivar sauvage et cultivé, la figure n°25 révèle que les fleurs des femelles greffées ($86,78 \pm 1,04$ %) et sauvages ($88,06 \pm 1,06$ %) ont bien réduit l'ABTS par rapport au DPPH.

Nous avons comparé, à la même concentration, les pourcentages fournis par les quatre extraits de fleurs à ceux des standards synthétiques à savoir le BHA et l'Acide ascorbique pour le test du DPPH et le BHT et BHA pour le test d'ABTS. Les résultats obtenus sont montrés dans la figure n°26.

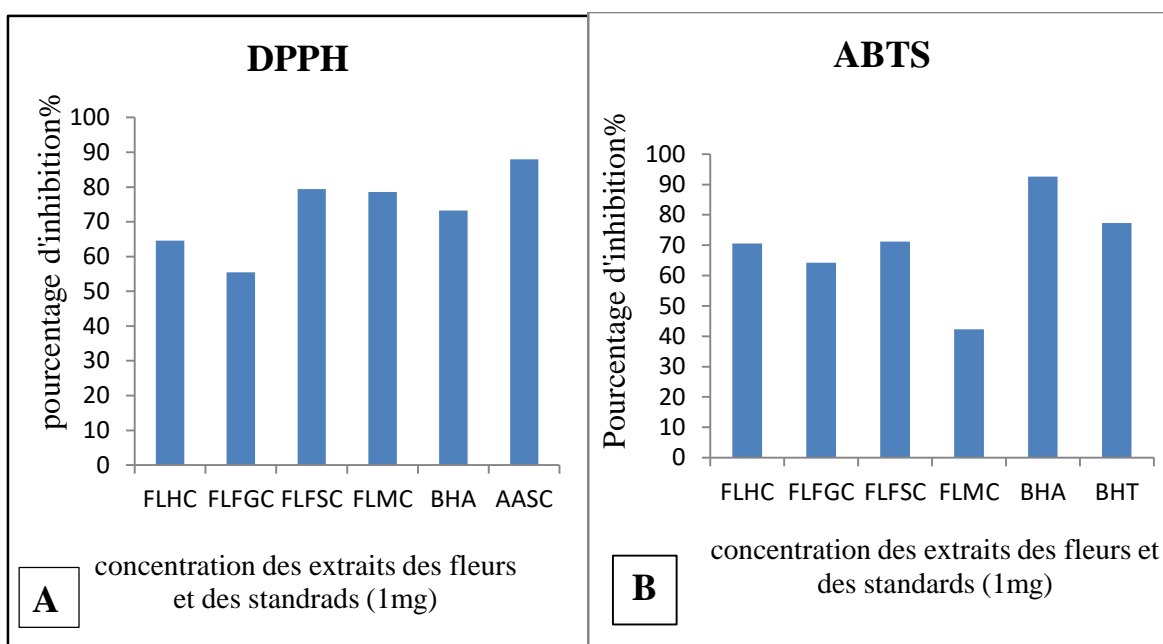


Figure n°20. Comparaison des pourcentages d'inhibition (A: DPPH; B: ABTS) fournis par les extraits des fleurs de caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) avec la même concentration que celles des deux standards (DPPH : BHA et AASC ; ABTS : BHA et BHT) **FLHC** : fleurs hermaphrodites cultivées, **FLFGC** : fleurs femelles greffées cultivées, **FLFSC** : fleurs femelles sauvages cultivées, **FLMC** : fleurs mâles cultivées).

A partir de la figure ci-dessus, nous remarquons que l'activité antioxydante des standards de référence, que ce soit pour le DPPH (73,25% pour le BHA et 88 le %AASC) ou pour l'ABTS (92,6% pour le BHA et 77,3% pour le PHT), est plus importante que celle des extraits des fleurs femelles sauvages, à la même concentration. Au niveau de ces derniers, la meilleure activité du piégeage des deux radicaux a été observée. Les fleurs mâles enregistrent le faible pourcentage (42,26%), parmi les échantillons, dans le test de l'ABTS tandis que dans le test du DPPH ce sont les fleurs femelles greffées qui ont présenté le pourcentage le moins élevé (55,46%).

Compte tenu du manque d'études concernant l'évaluation de l'activité antioxydante dans les fleurs de *Ceratonia siliqua* L. par le test du piégeage des radicaux libres DPPH et ABTS, nous avons comparé les résultats avec ceux obtenus pour d'autres organes et d'autres espèces appartenant à la famille des Fabacées.

Nos résultats, pour le DPPH, surpassent ceux obtenus par **Jakubczyk et al. (2021)** dans leur étude sur l'activité antioxydante des fleurs de trèfle blanc (*Trifolium repens*) et de trèfle rouge (*Trifolium pratense*) où ils ont rapporté une activité de ($3,86 \pm 0,16$ %) pour le trèfle blanc et de ($4,48 \pm 0,21$ %) pour le trèfle rouge. De plus, une étude menée par **Kamkaea et Wilkinsonn (2009)** a examiné l'activité antioxydante des fleurs de *Clitoria ternatea*. Ils ont observé un taux d'inhibition estimé à (34%) à une concentration de (0,5

mg/ml), leurs résultats sont beaucoup inférieurs à ceux enregistrés dans tous nos extraits de fleurs.

Par ailleurs, les résultats du présent travail sont inférieurs à ceux obtenus par **Topal et al. (2020)** lorsqu'ils ont évalué l'activité antioxydante des fleurs de *Vicia faba* L. (Fabacées). Ils ont observé un taux d'inhibition significatif, estimé à (90%).

Nos résultats, pour l'ABTS, sont légèrement inférieurs à ceux trouvés par **Amessis-Ouchmoukh et al. (2017)**, qui ont testé l'activité antioxydante des extraits des gousses (81,51%) du caroubier de Béjaïa. Cependant, nos résultats sont supérieurs à ceux trouvés par **Jules et al. (2020)**, qui ont évalué l'activité anti radicalaire de l'ABTS dans les extraits de racines de *Pseudarthria hookeri* (37,50 ± 0,13%) de Cote d'Ivoire.

Selon **Amessis-Ouchmoukh et al. (2014)**, la variation de l'activité antioxydante peut s'expliquer par plusieurs facteurs, notamment la solubilité des composés phénoliques, qui est directement liée au type du solvant utilisé. Aussi bien peut être influencer par la variété de l'arbre (**El Hajaji et al., 2010**), les différences du sexe, le cultivar et également la région de récolte (**Custodio et al., 2011**), la partie de la plante et la solubilité de ses composés biologiquement actifs dans le solvant (**Al-azzawi et Al-azzawi, 2023**), aussi l'influence peut dépendre de la méthode d'extraction (**El Mansouri et al., 2022**).

La recherche de l'effet du sexe et de type du cultivar, sur l'activité antioxydante des fleurs par le test du Tukey, a montré que les deux facteurs de variation n'ont aucun effet sur le pouvoir antioxydant exprimé par le piégeage du DPPH (Tab.IX). En revanche, pour l'activité anti-radicalaire, hormis la non signification constatée entre les fleurs hermaphrodites et les fleurs femelles greffées, l'inhibition de l'activité du radical ABTS est influencée significativement (***) par le type du sexe et du cultivar (Tab.IX).

Tableau IX. Résultats de l'effet du sexe et le type du cultivar sur l'activité antioxydante des fleurs.

Facteurs de variation	Echantillons de fleurs	DPPH	ABTS
Hermaphrodites et mâles	FLHC vs FLMC	/////	(***)
Hermaphrodites et femelles	FLHC vs FLFSC	/////	(***)
	FLHC vs FLFGC	/////	/////
Femelles et mâles	FLFSC vs FLMC	/////	(***)
	FLFGC vs FLMC	/////	(***)
Femelles sauvage et greffées dans la station cultivée.	FLFGC vs FLFSC	/////	(***)

Au niveau de signe de signification $\alpha = 0.05$ où [(***) : très hautement significatif (<0.001) ; (**) : hautement significatif (<0.01) ; (*) : significatif (<0.05) ; (///) : non significatif].

III.3. Résultats de l'activité antibactérienne des feuilles

Les résultats de l'activité antibactérienne des extraits des feuilles, des différents sexes et cultivars, en utilisant la méthode des disques, vis-vis de deux souches bactériennes sont synthétisés dans le tableau X.

L'échelle de résistance basée sur le diamètre de la zone d'inhibition pour les deux bactéries établis par le Clinical and Laboratoire Standards Institute (CLSI) :

Pour *Escherichia coli* : résistant : zone d'inhibition <14 mm ; intermédiaire : la zone d'inhibition entre 14 mm et 18 mm ; sensible : zone d'inhibition > 18 mm.

Pour *Staphylococcus aureus* : résistant : zone d'inhibition <20 mm ; intermédiaire : la zone d'inhibition entre 20 mm et 24 mm ; sensible : zone d'inhibition > 24 mm.

Tableau X. Résultats de l'activité antibactérienne des extraits de feuilles de *Ceratonia siliqua* L.

Extraits	Diamètre de zone d'inhibition (en mm)	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>
FHC	8,0±0,6	4,5±0,2
FMN	4,1±0,4	0,6±0,2
FMC	3,5±0,5	0,3±0,1
FFGC	9,3±0,5	3,5±0,2
FFSN	0,2±0,3	1,1±0,4
FFSC	4,5± 0,2	1,1±0,4

Les résultats du diamètre d'inhibition contre la croissance de la souche *Staphylococcus aureus*, montrent que la meilleure activité antibactérienne contre les deux souches est enregistrée par les extraits des feuilles femelles greffées cultivées ($9,3 \pm 0,5$ mm), suivies par les extraits des feuilles hermaphrodites ($8,0 \pm 0,6$ mm) puis ceux des feuilles femelles sauvages cultivées ($4,5 \pm 0,2$ mm). Tandis que le faible diamètre d'inhibition est calculé pour les extraits des feuilles femelles sauvages naturelles ($0,2 \pm 0,3$ mm) (Annexe 02).

Quant à *Escherichia coli*, sa croissance a été fortement inhibée par les extraits des feuilles hermaphrodites cultivées ($4,5 \pm 0,2$ mm), puis par les extraits des feuilles femelles greffées cultivées ($3,5 \pm 0,2$ mm). Le plus faible diamètre a été fourni par les extraits des feuilles mâles cultivées ($0,3 \pm 0,1$ mm) (Annexe 02).

Nos résultats de l'activité antibactérienne, vis- à vis les deux souches, sont inférieurs à ceux rapportés par **Elbouzidi et al. (2023)** dans les extraits éthanoliques des feuilles ($21 \pm 1,5$ mm contre *Staphylococcus aureus* et ($28 \pm 0,33$ mm) contre l'*Escherichia coli*) du

caroubier du Maroc et ils sont aussi inférieurs à ceux trouvés par **Al-azzawi et Al-azzawi (2023)** dans les extraits des feuilles de *Ceratonia siliqua* (19 mm pour les deux souches). De plus, ils sont trop inférieurs à ceux évalués dans l'étude de **Yahiaoui et al. (2020)**, qui ont testé l'activité antibactérienne des extraits des feuilles greffées (146,6±21,8 mm contre *Staphylococcus aureus* et 206,3 ± 8,8 mm contre l'*Escherichia coli*) et ceux des feuilles sauvages ou spontanées 166,3 ± 6,3 mm contre *Staphylococcus aureus* et 218,3 ± 9,3 mm contre l'*Escherichia coli*) de *Ceratonia siliqua* de Lakhdaria (Bouira). Par ailleurs, ils sont supérieurs à ceux décrit par **Attia et al. (2014)** et **Kivçak et al. (2002)** qui n'ont observé aucune activité bactérienne dans les extraits éthanoliques des gousses et des feuilles du caroubier vis-à-vis *Escherichia coli*.

III.4. Résultats de l'activité antibactérienne des fleurs

Les résultats des diamètres d'inhibition développés par les extraits des fleurs des différents sexes et cultivars, du caroubier de Bejaia, sont mentionnés dans le tableau XI.

Tableau XI. Résultats de l'activité antibactérienne des extraits des fleurs de *Ceratonia siliqua* L.

Extraits	Diamètre de zone d'inhibition (en mm)	
	<i>Staphylococcus aureus</i>	<i>Escherichia coli</i>
FLHC	0	3,0±0,2
FLFGC	0	2,5±0,2
FLFSC	0	1,0±0,2
FLMC	0	0,5±0,2

Les résultats indiquent que tous les échantillons testés n'ont montré aucune activité contre la bactérie *Staphylococcus aureus* (0 mm). En revanche, ils ont enregistré une activité contre *Escherichia coli* où nous avons noté des diamètres d'inhibition variant du 0,5 mm à 0,3 mm dont la meilleure activité a été observée chez les fleurs hermaphrodites cultivées (3,0 ± 0,2 mm), suivies par les fleurs femelles greffées cultivées (2,5 ± 0,2 mm), puis les fleurs mâles cultivées (1,0 ± 0,2 mm). Enfin, les fleurs femelles sauvages cultivées ont enregistré la plus faible activité (0,5 ± 0,2 mm) (Annexe 02).

Les résultats de notre étude sont inférieurs à ceux obtenus dans l'étude réalisée par **Cherfia et al. (2017)** concernant l'activité antibactérienne des extraits du n-butanol des fleurs de *Calycotome spinosa* L. (9,0 ± 0,58 mm) contre *Staphylococcus aureus*. Nous n'avons enregistré aucune activité antibactérienne contre cette bactérie. Ils sont aussi inférieurs à ceux de **Bhat et al. (2024)**, qui ont évalué l'activité antibactérienne des extraits méthanoliques des fleurs de *Indigofera heterantha* à différentes concentrations contre

l'*Escherichia coli* où ils ont enregistré une valeur minimale de diamètre de zone d'inhibition environ de (12 mm). Aussi bien contre *Staphylococcus aureus* (12 mm). De plus, les résultats de **Pulipati et al. (2012)**, de l'activité antibactérienne des extraits de différents solvants des fleurs de *Caesalpinia pulcherrima* L., sont supérieurs à ceux trouvés dans notre travail. Les différences pourraient être dues au choix du solvant selon **Meziani et al. (2014)**. Aussi à la sensibilité des bactéries selon **Correia et al. (2001)**.

Conclusion et perspectives

L'objectif de notre étude était d'analyser l'influence du sexe et du type de cultivar sur la teneur en composés phénoliques ainsi que sur certaines activités biologiques des extraits de feuilles et de fleurs femelles, mâles et hermaphrodites de *Ceratonia siliqua* prélevés dans différentes stations de la région de Béjaïa (Parc National de Gouraya et Taghzouit). Nos résultats indiquent que les feuilles et les fleurs présentent des teneurs élevées en polyphénols et en flavonoïdes, des quantités moyennes de tanins hydrolysables et condensés et faibles d'anthocyanes.

En comparaison avec les fleurs, les feuilles présentent des niveaux les plus élevés de composés phénoliques. Plus précisément, les feuilles femelles sauvages de la station Gouraya ou naturelle ont présenté une teneur considérable en polyphénols totaux (255,65 mg EAG/g MS). Tandis que les feuilles hermaphrodites de la station Taghzouit sont riches en flavonoïdes (126,26mg EQ/ g MS). Concernant les fleurs, ce sont les fleurs femelles sauvages de la station cultivée ou Taghzouit qui ont enregistré des valeurs élevées en polyphénols totaux (192,40mg EAG/g MS) et en flavonoïdes (92,98mg EQ/ g MS) comparativement à leurs homologues de la station naturelle. De plus, les feuilles et les fleurs de la station cultivée enregistrent les grandes valeurs pour les tanins (30,77mg EAT/g MS; 33,49mg EAT/g MS respectivement) et les anthocyanes.

Les résultats de l'activité antioxydante indiquent que les feuilles femelles et mâles sauvages de Gouraya présentent une forte capacité de piégeage du radical DPPH. En revanche, les feuilles femelles et hermaphrodites de Taghzouit ont mieux piégé le radical ABTS par rapport à leurs homologues de Gouraya. En ce qui concerne les fleurs où uniquement la station de Taghzouit qui est concernée, les fleurs femelles sauvages et hermaphrodites ont bien réduit le DDPH par contre les fleurs mâles et femelles étaient efficaces pour la réduction de l'ABTS.

À propos de l'activité antibactérienne, les échantillons greffés et hermaphrodites ont montré une capacité d'inhiber la croissance des deux souches bactériennes *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli* pour les feuilles et uniquement *Escherichia coli* pour les fleurs. La souche *Escherichia coli* était très résistante aux extraits des fleurs des différents sexes du caroubier.

Les analyses statistiques (ANOVA et test du Tukey) ont bien mis en évidence l'effet significatif du sexe des feuilles et des fleurs du caroubier des deux stations (naturelle et cultivée) sur la teneur en composés phénoliques ainsi que sur les activités biologiques testées dans le présent travail.

Pour mieux développer la présente contribution, il serait souhaitable de compléter ultérieurement les résultats par :

- Des études approfondies sur des différences entre les sexes (mâles, femelles et hermaphrodites) du caroubier en ce qui concerne les teneurs en composés phénoliques.
- Des études concentrées sur l'identification et la sélection de cultivars spécifiques qui présentent des niveaux élevés de composés phénoliques et des activités biologiques optimales.
- Des études sur comment les facteurs environnementaux tels que le climat et le sol, ainsi que les pratiques agricoles telles que l'irrigation et la fertilisation, affectent la concentration en composés phénoliques et les activités biologiques chez les différents sexes et cultivars du caroubier.
- La détermination du mécanisme d'action de ces composés bioactifs.

Références bibliographiques

- Abera B. (2014). Medicinal plants used in traditional medicine by Oromo people, Ghimbi District, Southwest Ethiopia. *Journal Of Ethnobiology And Ethnomedicine*, 10(1).
- Abidar S., Boiangiu R., Dumitru G., Todirascu-Ciornea E., Amakran A., Cioanca O., Hritcu, L. and Nhiri, M. (2020). The Aqueous Extract from *Ceratonia siliqua* Leaves Protects against 6-Hydroxydopamine in Zebrafish: Understanding the Underlying Mechanism. *Antioxidants*, 9(4) :304.
- Addisu Sh. (2016). Effect of dietary tannin source feeds on Ruminant fermentation and production of cattle; a review. *Online J. Anim. Feed Res*, 6(2): 45-56.
- Agwu E., Ezihe C. and Kaigama G. (2023). Antioxidant Roles/Functions of Ascorbic Acid (Vitamin C). In: *IntechOpen eBooks*.
- Ait Chitt M., Belmir H. And Lazrak A. (2007). Production de plants sélectionnés et greffés de caroubier. *Bulletin mensuel d'information et de liaison du pntta mapm/derd*, 153: 1-4.
- Al Qaraleh S. and Tarawneh K.A. (2016). Antioxidant Activity of Methanolic Extracts of *Aloysia triphylla*, *Ceratonia siliqua*, *Cupressus sempervirens* and *Punica granatum* Selected from Karak Region-Jordan. *American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci.*, 16 (3): 479-486.
- Alali F. Q., Tawaha K., El-Elimat T., Syouf M., El-Fayad M., Abulaila K. and Oberlies N. H. (2007). Antioxidant activity and total phenolic content of aqueous and methanolic extracts of Jordanian plants : an ICBG project. *Natural Product Research*, 21(12), 1121-1131.
- Alamzeb M., Khan B., Ullah I., Omer M. and Adnan N. (2023). Natural Antioxidants: an update. In: *IntechOpen eBooks*.
- Al-Azzawi S. M. M. and Al-Azzawi, M. M. N. A. (2023). Evaluation of the Inhibitory and Antioxidant Activity of *Ceratonia siliqua* Leaf and Seed Extract. IOP Conference Series. *Earth And Environmental Science*, 1213(1), 012063.
- Albanell E. (1990). Caracterización morfológica, composición química y valor nutritivo de distintas variedades de garrofa (*Ceratonia siliqua* L.) cultivadas en España. PhD, Barcelona University, Spain.
- Al-Huqail A., Behiry S., Salem M., Ali H., Siddiqui M. and Salem, A. (2019). Antifungal, Antibacterial, and Antioxidant Activities of *Acacia Saligna* (Labill.) H. L. Wendl. Flower Extract : HPLC Analysis of Phenolic and Flavonoid Compounds. *Molecules/Molecules Online/Molecules Annual*, 24(4), 700.
- Amessis-Ouchemoukh N., Ouchemoukh S., Meziant N., Idiri Y., Hernanz D., Stinco C. M., Rodríguez-Pulido F. J., Heredia F. J., Madani K., et al. (2017). Bioactive metabolites involved in the antioxidant, anticancer and anticalpain activities of *Ficus carica* L., *Ceratonia siliqua* L. and *Quercus ilex* L. extracts. *Industrial Crops And Products*, 95, 6-17.
- AndarwulannN., Batari R., Sandrasari D. A., Bolling B. and Wijaya, H. (2010). Flavonoid content and antioxidant activity of vegetables from Indonesia. *Food Chemistry*, 121(4), 1231-1235.
- Anwar H., Hussain G. and Mustafa I. (2018). Antioxidants from Natural Sources. In : *InTech eBooks*.
- Assefi M., Lewandrowski K.U., Nankali S. and Sharafshah A. (2023). Antioxidants sources. In : *Biochemistry*.
- Atasoy N. and Yücel U.M. (2021). Antioxidants from Plant Sources and Free Radicals. In : *Biochemistry*.
- Attia N.Y.A., Abd El - Aleem I.M., El Tobgy K.M.K. and Mohamed H.F. (2014). Biochemical Studies on Carob. *Annals of Agric. Sci.*, Moshtohor. 52(4) :469-480
- Avallone R., Plessi M. and Baraldi M, Monzani A. (1997). Determination of Chemical Composition of Carob (*Ceratonia siliqua*) : Protein, Fat, Carbohydrates, and Tannins. *Journal Of Food Composition And Analysis*, 10(2) : 166-172.
- Ayad R., Ayad R., Zineddine L. and Berghida, N. E. H. (2023). Algerian wild green carob (*Ceratonia siliqua* L.) : Physicochemical characteristics and antioxidant potency. *Bulletin Of The Chemical Society Of Ethiopia*, 38(1), 187-198.
- Aydin C. and Seyidoglu N. (2021). Natural Antioxidants to the Rescue? In : *IntechOpen eBooks*.
- Azab A. (2022). Carob Antioxidants in Human Health: From Traditional Uses to Modern Pharmacology. *Journal Of Biomedical Research & Environmental Sciences*, 3(8), 953-973.

- Aziz M.A., Diab A.S. and Mohammed A.A. (2019). Antioxidant Categories and Mode of Action. In: *IntechOpen eBooks*.
- Baba Ahmed S., Mohammed A.S. and Lahfa, I. (2023). Effect of extraction solvents on polyphenol content and antioxidant activity of carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) leaves. *Current Perspectives On Medicinal And Aromatic Plants*.
- Basharat Z., Afzaal M., Saeed F., Islam F., Hussain M., Ikram A., Pervaiz M.U and Awuchi G. C. (2023). Nutritional and functional profile of carob bean (*Ceratonia siliqua*): a comprehensive review. *International Journal of Food Properties*, 26(1): 389-413.
- Battle I. and Tous J. (1997). Carob tree. *Ceratonia siliqua* L. Promoting the conservation and use of underutilized and neglected crops. Rome : *International Plant Genetic Resources Institute*, 92.
- Bektas T., Dimitra D., Atalay S., Munevver S. and Moschos P. (2005). Antimicrobial and antioxidant activities of essential oil and various extracts of *Salvia tomentosa* Miller. *Food Chemistry*, 90: 333-340.
- Belmokhtar Z. and Harche, M. K. (2014). In vitro antioxidant activity of *Retama monosperma* (L.) Boiss. *Natural Product Research*, 28(24), 2324-2329.
- Ben Ayache S., Reis F. S., Dias M. I., Pereira C., Glamočlija J., Soković M., Saafi E.B., Ferreira I. C. F. R., Barros L. and Achour, L. (2021). Chemical characterization of carob seeds (*Ceratonia siliqua* L.) and use of different extraction techniques to promote its bioactivity. *Food Chemistry*, 351, 129263.
- Ben Ayache S., Saafi E. B., Emhemmed F., Flamini G., Achour L. and Muller C. D. (2020). Biological Activities of Aqueous Extracts from Carob Plant (*Ceratonia siliqua* L.) by Antioxidant, Analgesic and Proapoptotic Properties Evaluation. *Molecules/Molecules Online/Molecules Annual*, 25(14), 3120.
- Ben Hsouna A., Mohamed T., Raoudha M. J., Mohamed D. and Samir, J. (2015). Identification of phenolic compounds by high performance liquid chromatography/mass spectrometry (HPLC/MS) and in vitro evaluation of the antioxidant and antimicrobial activities of *Ceratonia siliqua* leaves extracts. *Journal Of Medicinal Plant Research*, 9(14), 479-485.
- Ben Othmen K., Elfalleh W., Lachiheb N. and Haddad, M. (2019). Evolution of phytochemical and antioxidant activity of Tunisian carob (*Ceratonia siliqua* L.) pods during maturation. *The Eurobiotech Journal*, 3(3), 135-142.
- Benchikh Y., Ghoul M., Charbonnel C. and Louaileche, H. (2016). Comparative characterization of green and ripe carob (*Ceratonia siliqua* L.): physicochemical attributes. *ResearchGate*.
- Benmahioul B., Kaid-Harche M. et Daguin F. (2011). Le caroubier une espèce méditerranéenne à usage multiples. *Forêt méditerranéenne*, 32: 51-58.
- Bhat S. A., Zargar M. I., Wani S. U. D., Mohiuddin I., Masoodi M. H., Shakeel F., Ali M., Mehdi S. (2024). In-vitro evaluation of *Indigofera heterantha* extracts for antibacterial, antifungal and anthelmintic activities. *Journal of Pharmaceutical Health Care and Sciences*, 10(1).
- Biaye M. (2002). Action pharmacologique des tanins. Thèse de Doctorat. *Université Cheikh Anta Diop de DAKAR*. 57 P.
- Boudy P. (1950). Economie forestière Nord-africaine - Tome 2: monographies et traitements des essences forestières. Paris: E. larose, 878.
- Brassescio M. E., Brandão T. R., Silva C. L. And Pintado M. (2021). Carob bean (*Ceratonia siliqua* L.): A new perspective for functional food. *Trends In Food Science & Technology*, 114, 310-322.
- Buddhika H.D.K, Dharmadasa RM, Arawwawala LDKM, Pakeerathan K. (2021). Phytochemical properties of *Clitoria ternatea* L. (Fabaceae)—A distinct flower morphometric plant available in Sri Lanka. *Proceedings* 68(x): 1-7
- Burle S.S., Gupta K.R., Lade S.N., Rangari S.W. and Umekar MJ. (2023). Antioxidants Obtained from the Natural Sources: Importance in Human Health. In: *Biochemistry*.
- Butkutė B., Padarauskas A., Cesevičienė J., Taujenis L. and Norkevičienė, E. (2018). Phytochemical composition of temperate perennial legumes. *Crop & Pasture Science*, 69(10), 1020-1030.
- Çalışkan B. and Çalışkan AC. (2021). Antioxidant and Oxidative Stress. In: *IntechOpen eBooks*.

- Calixto F.S. and Cañellas J. (1982). Components of nutritional interest in carob pods (*Ceratonia siliqua*). *J. Sci. Food Agric.* 33 : 1319-1323.
- Cardoso J. C., Da Bs de Oliveira M. E. and De C Cardoso, F. (2019). Advances and challenges on the in vitro production of secondary metabolites from medicinal plants. *Horticultura Brasileira*, 37(2), 124-132.
- Cegledi E., Dobroslavić E., Zorić Z., Repajić M. and Garofulić, I. E. (2024). Antioxidant Activity of Carob Tree (*Ceratonia siliqua* L.) Leaf Extracts Obtained by Advanced Extraction Techniques. *Processes*, 12(4), 658.
- Chang C.C., Yang M.H., Wen H.M. and Chern J.C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*. 10: 178-182.
- Cherfia R., Ali M. K., Talhi I., Benaissa A. and Chaouche, N. K. (2017). Phytochemical analysis, antioxidant and antimicrobial activities of leaves and flowers ethyl acetate and n-butanol fractions from an Algerian endemic plant *Calycotome spinosa* (L.) Link. *Journal of Pharmacognosy and Phytotherapy*, 9(12), 185-196.
- Chew Y. L., Chan E. W. L., Tan P. L., Lim Y. Y., Stanslas J. and Goh, J. K. (2011). Assessment of phytochemical content, polyphenolic composition, antioxidant and antibacterial activities of Leguminosae medicinal plants in Peninsular Malaysia. *BMC Complementary And Alternative Medicine*, 11(1).
- Correia M. J., Coelho D., David M. M. (2001) Response to seasonal drought in three cultivars of *Ceratonia siliqua*: leaf growth and water relations. *Tree Physiology*. 21(10), 645-653.
- Cronquist A. (1981). *An Integrated System of Classification of Flowering Plants*. Columbia: Columbia University Press, 1262.
- Custódio L., Escapa A.L., Fernandes E., Fajardo A., Aligué R., Alberício F., Neng N., Florêncio Nogueira J.M. and Romano A. (2011). Phytochemical Profile, Antioxidant and Cytotoxic Activities of the Carob Tree (*Ceratonia siliqua* L.) Germ Flour Extracts. *Plant Foods For Human Nutrition*, 66(1): 78-84.
- Custódio L., Fernandes E. and Romano, A. (2009a). QUANTIFICATION OF POLYPHENOLS IN CAROB TREE (*CERATONIA SILIQUA* L.) FRUITS AND LEAVES IN PORTUGUESE CULTIVARS. *Acta Horticulturae*, 841, 503-506.
- Custódio L., Fernandes E., Escapa A. L., López-Avilés S., Fajardo A., Aligué R., Alberício F. and Romano, A. (2009b). Antioxidant activity and in vitro inhibition of tumor cell growth by leaf extracts from the carob tree (*Ceratonia siliqua*). *Pharmaceutical Biology*, 47(8), 721-728.
- Dahmani W., Elaoui N., Abousalim A., Akissi Z. L. E., Legssyer A., Ziyat A. and Sahpaz, S. (2023). Exploring Carob (*Ceratonia siliqua* L.): A Comprehensive Assessment of Its Characteristics, Ethnomedicinal Uses, Phytochemical Aspects, and Pharmacological Activities. *Plants*, 12(18), 3303.
- Dallali Sana & Aloui, Foued & Selmi, Houcine. (2018). Comparison of the chemical composition and the antioxidant activity of the leaves of Carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) collected in three sites of Djebel Zaghouan (Tunisia), *Journal of new sciences*, 21. 3429-3438.
- De Falco B., Grauso L., Fiore A., Bonanomi G. and Lanzotti, V. (2022). Metabolomics and chemometrics of seven aromatic plants: Carob, eucalyptus, laurel, mint, myrtle, rosemary and strawberry tree. *Phytochemical Analysis*, 33(5), 696-709.
- Deshpande S.S., Cheryan M., Salunkhe D.K. et Luh B.S. (1986). Tannin analysis of food products. *Critical Reviews in Food Science & Nutrition*. 24(4): 401-449.
- Ebrahimi S. N., Hadian J., Mirjalili M. H., Sonboli A. and Yousefzadi, M. (2008). Essential oil composition and antibacterial activity of *Thymus caramanicus* at different phenological stages. *Food chemistry*, 110(4), 927-931.
- El Bouzdoudi B., Ammouri N., Joly N., Martin P., Rabah S., Ansari Z. N. E., Bouras M., Badoc, A. and Lamarti, A. (2017). Total Polyphenols and Gallic Acid Contents in Domesticated Carob (*Ceratonia siliqua* L.) Pods and Leaves. *International Journal Of Pure And Applied Bioscience*, 5(4), 22-30.
- El Bouzdoudi B., Ansari Z. N. E., Mangalagiu I., Mantu D., Badoc A. and Lamarti, A. (2016). Determination of Polyphenols Content in Carob Pulp from Wild and Domesticated Moroccan Trees. *American Journal Of Plant Sciences*, 07(14), 1937-1951.

El Guiche R., Tahrouch S., Amri O., El Mehrach Kh. And Hatimie Ab. (2015). Antioxidant Activity and Total Phenolic and Flavonoid Contents of 30 Medicinal and Aromatic Plants Located in the South of Morocco. *International Journal of New Technology and Research*, 1(3): 7-11.

Elbouzidi A., Taibi M., Ouassou H., Ouahhoud S., Ou-Yahia D., Loukili E. H., Aherkou M., Mansouri F., Bencheikh N., and al. (2023). Exploring the Multi-Faceted Potential of Carob (*Ceratonia siliqua* var. Rahma) Leaves from Morocco: A Comprehensive Analysis of Polyphenols Profile, Antimicrobial Activity, Cytotoxicity against Breast Cancer Cell Lines, and Genotoxicity. *Pharmaceuticals*, 16(6), 840.

Elfalleh W., Tlili N., Nasri N., Yahia Y., Hannachi H, Chaira N., Ying M. and Ferchichi A. (2011). Antioxydant Capacities of Phenolic Coumpounds and Tocopherols from Tunisian Pomegranate (*Punica granatum*) Fruits. *Journals of Food Science*. 76: 707-713.

El-Hajaji H., Lachkar N., Alaoui K., Cherrah Y., Farah A., Ennabili A., El-Bali B. and Lachkar M. (2010). Antioxidant Properties and Total Phenolic Content of Three Varieties of Carob Tree Leaves from Morocco. *Records Of Natural Produc*, 4(4), 193-204.

El-Mansouri F., Silva JCGE., Cacciola F., Asraoui F., Tayeq H., Mttougui Ben Amar Y., Lovillo M.P., Chouaibi N. and Brigui J. (2022). Evaluation of Different Extraction Methods on the Phenolic Profile and the Antioxidant Potential of *Ceratonia siliqua* L. Pods Extracts. *Molecules/Molecules Online/Molecules Annual*, 27(19): 6163.

Engwa G.A. (2018). Free Radicals and the Role of Plant Phytochemicals as Antioxidants Against Oxidative Stress-Related Diseases. In: *InTech eBooks*.

Fadel F., Fattouch S., Tahrouch S., Lahmar R., Benddou A. and Hatimi A. (2011). The phenolic compounds of *ceratonia siliqua* pulps and seeds (Les composés phénoliques des pulpes et des graines de ceratonia siliqua). *J Mater Environ Sci*, 2(3): 285-292.

Ghanemi F. Z., Belarbi M., Fluckiger A., Nani A., Dumont A., De Rosny C., Aboura I., Khan A. S., Murtaza B., et al. (2017). Carob leaf polyphenols trigger intrinsic apoptotic pathway and induce cell cycle arrest in colon cancer cells. *Journal Of Functional Foods*, 33, 112-121.

Ghanemi N. F. Z. and Belarbi N. M. (2021). Phytochemistry and Pharmacology of *Ceratonia siliqua* L. leaves. *Journal Of Natural Product Research And Applications*, 1(01), 69-82.

Gharnit N., Mtili N.E., Ennabili A. and Sayah F. (2006). Importance socio-économique du caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) dans la Province de Chefchaouen (nord-ouest du Maroc). *Le Journal de Botanique*, 33(1), 43-48.

Gioxari A., Amerikanou C., Nestoridi I., Gourgari E., Pratsinis H., Kalogeropoulos N., Andrikopoulos N K. and Kaliora A C. (2022). Carob : A Sustainable Opportunity for Metabolic Health. *Foods*, 11(14) : 2154.

Goh B. L. A., Nanti G. G. C. G., Zahoui S. O., Nene-Bi S. A. and Traore, F. (2022). Assessment of the effects of an aqueous extract of the leaves, flowers, and seeds of *Crotalaria retusa* L (Fabaceae) on the glycemia in rats. *European Journal Of Pharmaceutical Research*, 2(3), 6-10.

Gomes A. F., Almeida M. P., Leite M. F., Schwaiger S., Stuppner H., Halabalaki M., Amaral, J. G. and David, J. M. (2019). Seasonal variation in the chemical composition of two chemotypes of *Lippia alba*. *Food Chemistry*, 273, 186-193.

Harborne J.B. and Williams C.A. (2000). Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*, 55: 481-504.

Hornedo-Ortega R., Rasines-Perea Z., Cerezo AB., Teissedre P.L. and Jourdes M. (2022). Anthocyanins: Dietary Sources, Bioavailability, Human Metabolic Pathways, and Potential Anti-Neuroinflammatory Activity. In: *Biochemistry*.

Hussein R. A. and El-Anssary A. A. (2019). Plants Secondary Metabolites: The Key Drivers of the Pharmacological Actions of Medicinal Plants. *Dans IntechOpen eBooks*.

Ibrahim R M., El-Halawany A. M., Saleh D. O., Naggari E. M. B. E., El-Shabrawy A. E. O. and El-Hawary, S. S. (2015). HPLC-DAD-MS/MS profiling of phenolics from *Securigera securidaca* flowers and its anti-hyperglycemic and anti-hyperlipidemic activities. *Revista Brasileira de Farmacognosia*, 25(2), 134-141.

Jaiswal Y.S., Guan Y., Moon K.H. and Williams L.L. (2019). Anthocyanins: Natural Sources and Traditional Therapeutic Uses. In: *IntechOpen eBooks*.

- Jakubczyk K., Łukomska A., Gutowska I., Kochman J., Janił J. and Janda, K. (2021). Edible Flowers Extracts as a Source of Bioactive Compounds with Antioxidant Properties—In Vitro Studies. *Applied Sciences*, 11(5), 2120.
- Jules K. N., Aubin K. K., Constant A. A. R., Konan Y., Yao K., George M. B. and Witabouna K. M. (2020). Activité antioxydante et teneur en flavonoïdes de cinq plantes de la famille des fabaceae utilisées contre de l'ostéoporose au centre de la côte d'ivoire. *European Scientific Journal, ESJ*, 16(3), 84.
- Kaderi M., Hamouda GB., Zaeir H., Hanana M. and Hamrouni L. (2014). Notes ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Ceratonia siliqua* (L.). *Phytothérapie*, 13(2): 144-147.
- Kamkaen N. and Wilkinson J. M. (2009). The antioxidant activity of Clitoria ternatea flower petal extracts and eye gel. *PTR. Phytotherapy Research*, 23(11), 1624–1625.
- Katiki L. M., Ferreira J. F., Gonzalez J. M., Zajac A. M., Lindsay D. S., Chagas A. C. S. and Amarante, A. F. (2013). Anthelmintic effect of plant extracts containing condensed and hydrolyzable tannins on *Caenorhabditis elegans*, and their antioxidant capacity. *Veterinary Parasitology*, 192(1-3), 218-227.
- Khoddami A., Wilkes MA. And Roberts TH. (2013). Techniques for Analysis of Plant Phenolic Compounds. *Molecules/Molecules Online/Molecules Annual*, 18(2): 2328-2375.
- Kiremitli T., Kiremitli S., Erel O., Oguz E., Dinc K., Nayki U., Nayki C., Turkler C. and Kirkinci A. (2021). Dynamic thiol/disulphide homeostasis and ischemic modified albumin levels in isolated oligohydramnios. *Taiwanese Journal Of Obstetrics And Gynecology*, 60(6) : 1038-1042.
- Kivçak B., Mert T., Öztürk H. Tansel (2002). Antimicrobial and Cytotoxic Activities of *Ceratonia siliqua* L. Extracts," *Turkish Journal of Biology* : Vol. 26: No. 4.
- Kobus-Cisowska J., Dzedziński M., Szczepaniak O., Kusek W., Kmiecik D., Ligaj M., Telichowska A., Byczkiewicz, S., Szulc, P. and Sz wajgier, D. (2020). Phytocomponents and evaluation of acetylcholinesterase inhibition by *Ginkgo biloba* L. leaves extract depending on vegetation period. *CYTA: Journal Of Food/CyTA: Journal Of Food*, 18(1), 606-615.
- Kouki M. and Manetas, Y. (2002). Resource availability affects differentially the levels of gallotannins and condensed tannins in *Ceratonia siliqua*. *Biochemical Systematics And Ecology*, 30(7), 631-639.
- Li Y., Kong D., Fu Y., Sussman M. R. and Wu, H. (2020). The effect of developmental and environmental factors on secondary metabolites in medicinal plants. *Plant Physiology And Biochemistry*, 148, 80-89.
- Linskens H.F. and Scholten W. (1980). The flower of carob. *Portug. Acta Biol*, 4 : 95-102.
- Madi A., Maameri Z., Halmi S., Zeghad N., Noui A. and Belkhiri, A. (2022). Phytochemical Investigation of Algerian *Ceratonia siliqua* L. Leaves Extract, by Evaluation of Antioxidants, and Analgesic Effects. *Egyptian Journal Of Chemistry*.
- Makhaik MS, Shakya AK. and Kale R. (2021). Dietary Phytochemicals: As a Natural Source of Antioxidants. In: IntechOpen eBooks.
- Makris D. P. and Kefalas P. (2004). Carob pods (*Ceratonia siliqua* L.) as a source of polyphenolic antioxidants. *Food Technology and Biotechnology*, 42(2), 105-108.
- Maskovic P., Ac M., Pavlovic M., Vujosevic M., Blagojevic J., Djuric M., Moracanin S. and Djukic, D. (2022). *Revista de Chimie*.
- Mecheix J, Fleuriet A. and Jay-Allemand C. (2005). Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importances économique. EPFL Press.
- Meziani S., Oomah B. D., Zaidi F., Simon-Levert A., Bertrand C. and Zaidi-Yahiaoui, R. (2015). Antibacterial activity of carob (*Ceratonia siliqua* L.) extracts against phytopathogenic bacteria *Pectobacterium atrosepticum*. *Microbial Pathogenesis*, 78, 95-102.
- Miele S, Tegli S, Izquierdo CG, Cerboneschi M. and Bargiacchi E. (2019). Hydrolysable Tannins in Agriculture. In: IntechOpen eBooks.
- Mikail H. G., Mohammed M., Umar H. D. and Suleiman, M. M. (2022). Secondary metabolites: the natural Remedies. Dans IntechOpen eBooks.
- Miliauskas G., Venskutonis P. R. and Van Beek, T. A. (2004). Screening of radical scavenging activity of some medicinal and aromatic plant extracts. *Food chemistry*, 85(2), 231-237.

Naghiloo S, Dadpour MR. and Movafeghi A. (2011). Floral ontogeny in *Astragalus compactus* (Leguminosae : Papilionoideae : Galegeae) : variable occurrence of bracteoles and variable patterns of sepal initiation. *Planta*. 235(4) : 793-805.

Naghiloo S., Movafeghi A., Delazar A., Nazemiyeh H., Asnaashari S. and Dadpour, M. R. (2012). Ontogenetic Variation of Total Phenolics and Antioxidant Activity in Roots, Leaves and Flowers of *Astragalus compactus* Lam. (Fabaceae). *DOAJ (DOAJ : Directory Of Open Access Journals)*.

Nguinambaye MM, Nana R, Djinet IA. and Tamini Z. (2020). Quelques paramètres physiologiques et constituants biochimiques des organes de la lentille de terre *Macrotyloma geocarpum* en conditions de stress hydrique. *International Journal Of Biological And Chemical Sciences*. 14(4) : 1228-1240.

Onalapo MC, Nzekwe SC, Olabisi LO, Amos VO, Ajayi OH. and Ajayi AF. (2022). Importance of Oxidative Stress Mechanism in Reproductive Functions and Infertility. In: *Biochemistry*.

Oomah B.D., Corbé A. and Balasubramanian P. (2011). Antioxydant and anti-inflammatoire activities of bean hulls. *Journal of agricultural and food chemistry*. 58: 8225-8230.

Orphanos P I. and Papaconstantinou J. (1969). The carob varieties of Cyprus. Tech. Bull. 5. Cyprus Agricultural Research Institute. *Ministry of Agriculture and Natural Resources*. Nicosia.

Pulipati S., Pallavi G., Sujan B., Babu A.K. and Babu P. S. (2012). Evaluation of antibacterial activity of fresh and dry flower extracts of *Caesalpinia pulcherrima* L. / *International Journal of Biological & Pharmaceutical Research*. 3(3): 360-365.

Quettier-Deleu C., Gressier B., Vasseur J., Dine T., Brunet C., Luyckx M., Cazin M., Cazin J.C., Bailleul F. and Trotin F. (2000). Phenolic compounds and antioxydant activities of buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) hulls and flour. *Journal of Ethnopharmacology*. 72: 35-42.

Quézel P. and Santa S. (1962). Nouvelle Flore de l'Algérie et Des Régions Désertiques Méridionales. Paris: Centre National de la recherche scientifique, 557.

Quézel P. and Santa S. (1963). Nouvelle flore de l'Algerie et des regions desertiques meridionales. Paris: Centre National de la Recherche Scientifique, 600.

Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., YANG M. and Rice-Evans C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology & medicine*. (26):1231-1236.

Rejeb M N. (1995). Le Caroubier en Tunisie : Situations et Perspectives d'Amélioration - Quel Avenir pour l'Amélioration des Plantes, John Libbey Eurotext, 79 : 8-5.

Richane A., Ben Mansour R., Megdiche Ksouri W., Ksouri R., Attia K., Moujahed N. and Ben Ismail, N. (2022). Variability of phenolic compounds and antioxidant activities of ten *Ceratonia siliqua* L. provenances. *Biochemical Systematics And Ecology*, 104, 104486.

Rico D., Martín-Diana A., Martínez-Villaluenga C., Aguirre L., Silván J., Dueñas M., De Luis D. and Lasa, A. (2019). In vitro approach for evaluation of carob by-products as source bioactive ingredients with potential to attenuate metabolic syndrome (MetS). *Heliyon*, 5(1), e01175.

Saci F., Bey M. B., Louaileche H., Gali L. and Bensouici, C. (2019). Changes in anticholinesterase, antioxidant activities and related bioactive compounds of carob pulp (*Ceratonia siliqua* L.) during ripening stages. *Journal Of Food Measurement And Characterization*, 14(2), 937-945.

Saha B., Panda P., Patra P. S., Panda R., Kundu A., Roy A. S. and Mahato, N. (2017). Effect of Different levels of Nitrogen on Growth and Yield of Rice (*Oryza sativa* L.) Cultivars under Terai-agro Climatic Situation. *International Journal Of Current Microbiology And Applied Sciences*, 6(7), 2408-2418.

Sakihama Y, Yamasaki H. (2021). Phytochemical Antioxidants: Past, Present and Future. In: *IntechOpen eBooks*.

Salminen J p, Ossipov V, Loponen J, Haukioja E. and Pihlaja K. (1999). Characterisation of hydrolysable tannins from leaves of *Betula pubescens* by high-performance liquid chromatography–mass spectrometry. *Journal Of Chromatography A/Journal Of Chromatography*, 864(2): 283-291.

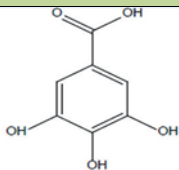
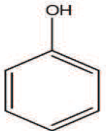
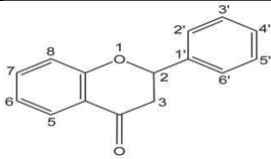
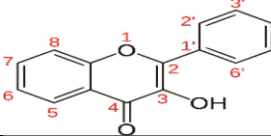
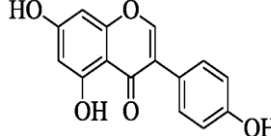
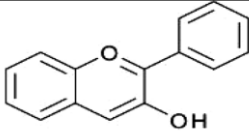
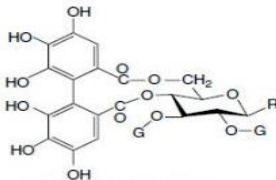
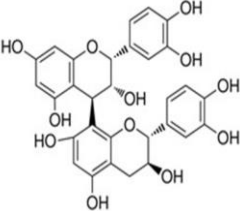
- Santos-Sánchez NF, Salas-Coronado R, Villanueva-Cañongo C. and Hernández-Carlos B. (2019). Antioxidant Compounds and Their Antioxidant Mechanism. In: IntechOpen eBooks.
- Sbay H. (2008). Le Caroubier au Maroc: Un Arbre D'avenir. Centre de Recherche Forestière du Haut-Commissariat aux Eaux et Forêts et à la Lutte contre la Désertification. Rabat. 47.
- Schofield P, Mbugua DM. and Pell AN. (2001). Analysis of condensed tannins: a review. *Animal Feed Science And Technology*, 91(1-2): 21-40.
- Silanikove N., Landau S., Or, D., Kababya D., Bruckental I. and Nitsan, Z. (2006). Analytical approach and effects of condensed tannins in carob pods (*Ceratonia siliqua*) on feed intake, digestive and metabolic responses of kids. *Livestock Science*, 99(1), 29-38.
- Sinan K. I., Saftić L., Peršurić Ž., Pavelić S. K., Etienne O. K., Picot-Allain M. C. N., Mahomoodally, M. F. and Zengin, G. (2020). A comparative study of the chemical composition, biological and multivariate analysis of *Crotalaria retusa* L. stem barks, fruits, and flowers obtained via different extraction protocols. *South African Journal Of Botany*, 128, 101-108.
- Singh AP., Kumar S. (2019). Applications of Tannins in Industry. In: IntechOpen eBooks.
- Singla RK., Dubey AK., Garg A., Sharma RK., Fiorino M., Ameen SM., Haddad MA, and Al-Hiary M. (2019). Natural Polyphenols: Chemical Classification, Definition of Classes, Subcategories, and Structures. *Journal Of AOAC International*, 102(5): 1397-1400.
- Skerget M., Kotnik P., Hadoline M., Rizner-Hras A., Simoncic M. and Knez Z. (2005). Phenols, proanthocyanidins, flavones and flavonols in some plant materials and their antioxidant activities. *Food chemistry*. 89: 191-198.
- Stavrou IJ., Christou A. and Kapnissi-Christodoulou CP. (2018). Polyphenols in carobs: A review on their composition, antioxidant capacity and cytotoxic effects, and health impact. *Food Chemistry*, 269: 355-374.
- Szwajkowska-Michalek L., Przybylska-Balcerek A., Rogoziński T. and Stuper-Szablewska K. (2020). Phenolic Compounds in Trees and Shrubs of Central Europe. *Applied Sciences*, 10(19): 6907.
- Taghavi N., Niven R.K., Paull D.J. and Kramer M. Groundwater vulnerability assessment : A review including new statistical and hybrid methods. *Science Of The Total Environment*. 2022 ; 822 : 153486.
- Thuy N. M., Ben T. C., Minh V. Q. and Van Tai N. (2021). Effect of extraction techniques on anthocyanin from butterfly pea flowers (*Clitoria ternatea* L.) cultivated in Vietnam. *Journal Of Applied Biology And Biotechnology*.
- Tiwari R., Rana C.S. (2015). Production of secondary metabolites and recent improvements of production. *International Journal of Engineering Research and General Science*, 7(5) : 661-667.
- Topal N., Bulduk I., Mut Z., Bozodlu H. and Tosun Y. K. (2020). Flowers, Pollen and Honey for Use in the Treatment of Parkinson`s Disease. *Revista de Chimie*, 71(9), 308-319.
- Torun H., Ayaz F.A, Colak N, Grúz J and Strnad M. (2013). Phenolic Acid Content and Free Radical-Scavenging Activity of Two Differently Processed Carob Tree (*Ceratonia siliqua* L.) Pod. *Food And Nutrition Sciences*, 04(05): 547-553.
- Turturică M., Oancea A.M., Râpeanu G. and Bahrim G. (2015). Anthocyanins: naturally occurring fruit pigments with functional properties. *DOAJ (DOAJ: Directory Of Open Access Journals)*, 39(1): 9-24.
- Vázquez-León L. A., Páramo-Calderón D.E., Robles-Olvera V. J., Valdés-Rodríguez, O. A., Pérez-Vázquez, A., García-Alvarado, M. A. and Rodríguez-Jimenes, G. C. (2017). Variation in bioactive compounds and antiradical activity of *Moringa oleifera* leaves: influence of climatic factors, tree age, and soil parameters. *European Food Research & Technology*, 243(9), 1593-1608.
- Yahiaoui K., Bouchenak O., Boumaza S., Toubal S., Blizak D., Nouani A. and Arab K. (2021). Characterization and assessment of the antimicrobial function of total polyphenol extracts from pulps, leaves and seeds of two *Ceratonia siliqua* L. varieties. *Algerian Journal Of Environmental Science And Technology*.
- Yazhen S., Wenju W., Panpan Z., Panpan Z., Yuanyuan Y., Panpan D., Wusen Z. and Yanling W. (2020). Anthocyanins: Novel Antioxidants in Diseases Prevention and Human Health. In: IntechOpen eBooks.

Ydjedd S., Chaalal M., Richard G., Kati D.E., López-Nicolás R., Fauconnier M.L. and Louaileche H. (2017). Assessment of antioxidant potential of phenolic compounds fractions of Algerian *Ceratonia siliqua* L. pods during ripening stages. *IFRJ*, 24(5): 2041-2049.

Zam W., Bashour G., Abdelwahed W. and Khayata W. (2013). Simple and fast method for the extraction of polyphenol and the separation of proanthocyanidins from carob pods. *Sch. Acad. J. Pharm*, 2(5):375-380.

Annexes

Annexe 01 : Tableau de classification des métabolites secondaires.

Classe	Exemple	Structure	Référence
Polyphénols	Acide phénolique (acide gallique)		(González Mera et al., 2019)
	Phénol simple		(Sobiesiak, 2017)
Flavonoïdes	Flavones		(Ruiz-Cruz et al., 2017)
	Flavonols		(Nabil-Adam et al., 2023)
	Isoflavones		(Rehan, 2021)
Anthocyanes	Anthocyanidines		(Singla et al., 2019)
Tanins	Tanins hydrolysables		(Hussein et El-Anssary, 2018)
	Tanins condensés (procyanidine B-2)		(Othman et al., 2019)

Annexe 02 : Résultats de l'activité antibactérienne des extraits de feuilles et de fleurs de *Ceratonia siliqua* L.



Résultats de l'activité antibactérienne des extraits de feuilles de *Ceratonia siliqua*. (**03**: FHC, **04** : FMN, **05**: FMC, **06**: FFGC, **08**: FFSC, **10** : FFSN).



Résultats de l'activité antibactérienne des extraits des fleurs de *Ceratonia siliqua* L. (**15**: FLHC, **16**: FLFGC, **17**: FLFSC, **18**: FLMC).

Résumé

Résumé

Le caroubier (*Ceratonia siliqua* L.) joue un rôle essentiel à la fois sur le plan écologique et économique.

L'objectif de notre étude était d'analyser l'influence du sexe et du type de cultivar sur la teneur en composés phénoliques ainsi que sur certaines activités biologiques des extraits de feuilles et de fleurs femelles et mâles de *Ceratonia siliqua* prélevés dans deux stations de la région de Bejaïa (Parc National de Gouraya et Taghzouit).

Les analyses de notre étude ont mis en évidence des quantités importantes en polyphénols totaux, et en flavonoïdes pour les deux extraits des feuilles et des fleurs femelles des deux régions et des quantités moyennes en tanins.

Les résultats de l'activité antioxydante réalisée par le test du piégeage d'ABTS indiquent que les extraits des fleurs hermaphrodites cultivées de la région de Taghzouit possèdent une activité anti-radicalaire importante.

L'évaluation de l'activité antibactérienne montre que les extraits des feuilles femelles greffées et hermaphrodites cultivées ont une capacité d'inhiber la croissance des deux souches bactériennes *Staphylococcus aureus* et *Escherichia coli*.

Mots clés : Caroubier, sexe, cultivars, composition phénoliques, activités biologiques.

Abstract

The carob tree (*Ceratonia siliqua* L.) plays an essential role both ecologically and economically.

The objective of our study was to analyze the influence of sex and type of cultivar on the content of phenolic compounds as well as on certain biological activities of extracts of leaves and female and male flowers of *Ceratonia siliqua* collected in two stations of the Bejaïa region (Gouraya and Taghzouit National Park).

The analyzes of our study revealed significant quantities of total polyphenols and flavonoids for both extracts from the leaves and female flowers of the two regions and average quantities of tannins.

The results of the antioxidant activity carried out by the ABTS trapping test indicate that the extracts of hermaphroditic flowers cultivated in the Taghzouit region have significant anti-radical activity.

The evaluation of the antibacterial activity shows that the extracts of the grafted female leaves and cultivated hermaphrodites have the capacity to inhibit the growth of the two bacterial strains *Staphylococcus aureus* and *Escherichia coli*.

Key words : Carob tree, sex, cultivars, phenolic composition, biological activities.

ملخص

تلعب شجرة الخروب (*Ceratonia siliqua* L.) دورًا أساسيًا بيئيًا واقتصاديًا. كان الهدف من دراستنا هو تحليل تأثير الجنس ونوع الصنف على محتوى المركبات الفينولية وكذلك على بعض الأنشطة البيولوجية لمستخلصات الأوراق والأزهار المؤنثة والمذكرة لنبات *Ceratonia siliqua* التي تم جمعها في محطتين بمنطقة بجاية (المنتزه الوطني قورايا وتغزويت).

كشفت تحاليل دراستنا عن كميات معنوية من إجمالي البوليفينول والفلافونيدات لكل من مستخلصات الأوراق والأزهار الأنثوية في المنطقتين وكميات متوسطة من العفص.

تشير نتائج النشاط المضاد للأوكسدة التي أجراها اختبار الاصطياد ABTS إلى أن مستخلصات الزهور الخنثى المزروعة بمنطقة تغزويت لها نشاط كبير ضد الجذور.

أظهر تقييم النشاط المضاد للبكتيريا أن مستخلصات الأوراق الأنثوية المطعمة والخنثى المزروعة لها القدرة على تثبيط نمو السلالتين البكتيريتين *Staphylococcus aureus* و *Escherichia coli*.

الكلمات المفتاحية: شجرة الخروب، الجنس، الأصناف، التركيب الفينولي، الأنشطة البيولوجية.