

*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 Sciences Alimentaires  
Spécialité Contrôle de Qualité et Analyses des Aliments



Réf :.....

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

**MASTER**

*Thème*

Evaluation du potentiel antioxydant de  
quelques plantes médicinales utilisées pour le  
traitement du diabète

Présenté par :

**BADAOUI Djobrane**

Soutenu le : **19 Septembre 2024**

Devant le jury composé de :

Mr BOUDRIES Hafid	Professeur	Président
Mr BACHIR BEY Mostapha	Professeur	Encadreur
Mme OUKIL Dahbia	Professeur	Examinatrice

**Année universitaire : 2023 / 2024**

## Remerciements

*Nous débutons en exprimant notre profonde reconnaissance à Dieu pour nous avoir accordé le courage, la patience et la force nécessaires à la réalisation de ce travail. À l'issue de cette étude, nous souhaitons exprimer notre sincère gratitude à notre encadreur, Monsieur Bachir Bey Mostapha, pour son expertise, ses conseils avisés et son soutien constant tout au long de ce travail.*

*Nous adressons également nos remerciements à Monsieur Boudérias Hafid pour avoir accepté, avec bienveillance, de présider notre jury, ainsi qu'à Madame Oukil Dahbia pour avoir examiné notre travail avec attention.*

*Nous tenons aussi à exprimer notre profonde gratitude à tous les membres des laboratoires pédagogiques de biochimie alimentaire et physico-chimie des aliments, ainsi qu'au Laboratoire de Recherche de Biochimie Appliquée. Leur expertise technique, leur disponibilité et leur soutien ont été d'une aide précieuse dans la réalisation de la partie pratique de ce mémoire.*

*Enfin, nous remercions tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de ce travail de recherche. Leur collaboration et leur soutien ont été des facteurs déterminants dans l'accomplissement de ce projet.*

## Dédicaces

*Ce mémoire est dédié en premier lieu à mes oncles Laid et Dalila, dont le soutien indéfectible tout au long de mon parcours académique a été une source d'inspiration constante.*

*À mes parents, que le bon Dieu les protège, pour leur soutien inébranlable et leurs encouragements tout au long de cette aventure. Leur amour et leur soutien ont été des piliers essentiels dans la réalisation de ce mémoire.*

*Je voudrais remercier chaleureusement ma précieuse amie Hayat, dont le soutien indéfectible, les encouragements constants et les précieux conseils ont été d'une grande aide tout au long de ce travail. Sa présence à mes côtés m'a permis de surmonter les moments difficiles et de garder la motivation nécessaire pour mener à bien cette étude.*

*À mon petit frère Ziryab, ainsi qu'à mes sœurs Tina et Ramane, pour leur soutien moral et leur compréhension tout au long de mes études. Leur présence et leur soutien ont été une source de réconfort et de motivation.*

*À mon chère ami Wahab, ainsi qu'à mes amis Chawi, Kapina, Massi, Minou, Oussama, Foufou, Omar, Moh48 et Yahia, je dédie ce mémoire. Leur amitié sincère, leurs encouragements constants et leur soutien indéfectible ont enrichi mon parcours académique d'une manière inestimable.*

*À mon chère binôme Moh28 et toute la promotion de CQAA(2023/2024)*

**DJOBANE**

# Table des matières

## Liste des figures et Tableaux

## Liste des abréviations

<b>Introduction .....</b>	<b>1</b>
---------------------------	----------

## Synthèse bibliographique

### Chapitre 1 : Généralités sur le diabète

1.1. Définition du diabète .....	3
1.2. Classification du diabète .....	3
1.2.1. Diabète de type I.....	3
1.2.2. Diabète de type II .....	4
1.2.3. Diabète gestationnel .....	5
1.2.4. Diabète secondaire.....	5
1.3. Facteurs de risque du diabète .....	5
1.4. Symptômes du diabète .....	7
1.5. Complications du diabète .....	7
1.5.1. Complications aiguës.....	7
1.5.1.1. Acidocétose diabétique.....	7
1.5.1.2. Etat hyperosmolaire non cétonique .....	7
1.5.2. Complication chronique .....	8
1.5.2.1. Complications microvasculaires.....	8
1.5.2.2. Complications macrovasculaires .....	8
1.6. Traitement et gestion du diabète.....	8
1.6.1. Mesures hygiéno-diététiques.....	8
1.6.1.1. Alimentation et activité physique .....	9
1.6.1.2. Prévention et gestion générale.....	9
1.6.2. Traitements médicamenteux .....	9
1.6.2.1. Médicaments oraux .....	9
1.6.2.2. Insulinothérapie .....	9
1.6.2.3. Appareil pancréas artificiel .....	10
1.6.3. Traitement par les plantes médicinales .....	10

### Chapitre 2 : Plantes médicinales

2.1. Définition des plantes médicinales.....	11
2.2. Plantes médicinales antidiabétiques .....	11
2.2.1. Description de quelques plantes médicinales antidiabétiques.....	11
2.2.1.1. Armoise ( <i>Artemisia herba-alba</i> ) .....	12
2.2.1.2. Lupin blanc ( <i>Lupinus albus</i> ).....	13

2.2.1.3. Germandrée tomenteuse ( <i>Teucrium polium</i> ).....	14
2.2.1.4. Fenugrec ( <i>Trigonella foenum-graecum</i> ).....	15
2.2.1.5. Anvillea rayonnante ( <i>Anvillea radiata</i> ).....	16
2.2.2. Mécanismes d'action des plantes médicinales antidiabétiques .....	17
2.2.3. Principes actifs à effets antidiabétiques.....	18
2.2.3.1. Polyphénols .....	18
2.2.3.2. Flavonoïdes.....	19
2.2.3.3. Anthocyanines .....	20
2.2.3.4. Flavonols .....	20
2.2.3.5. Alcaloïdes .....	20

## Partie expérimentale

### 1. Matériel et méthodes

1.1. Échantillonnage.....	21
1.2. Préparation des échantillons.....	21
1.3. Extraction des composés phénoliques.....	21
1.4. Détermination des teneurs en composés bioactifs.....	22
1.4.1. Dosage des composés phénoliques.....	22
1.4.2. Dosage des flavonoïdes .....	22
1.4.3. Dosage des anthocyanines et des flavonols.....	22
1.5. Évaluation de l'activité antioxydante .....	23
1.5.1. Mesure de l'activité anti-radical DPPH.....	23
1.5.2. Activité anti-radical ABTS .....	23
1.5.3. Pouvoir réducteur .....	23
1.6. Analyse statistique.....	24

### 2. Résultats et discussion

2.1. Teneurs des composés phénoliques.....	25
2.2. Teneurs des flavonoïdes .....	27
2.3. Teneurs en anthocyanines et en flavonols.....	29
2.3. Activité antioxydante .....	32
2.3.1. Activité anti-radical DPPH.....	32
2.3.2. Activité anti-radical ABTS .....	35
2.3.3. Pouvoir réducteur .....	37

<b>Conclusion.....</b>	<b>40</b>
------------------------	-----------

### Références bibliographiques

#### Annexe

#### Résumé

## Liste des figures

<b>Figure 1</b> : <i>Artemisia herba-alba</i> (armoise).....	13
<b>Figure 2</b> : <i>Lupinus albus</i> (lupin blanc) .....	14
<b>Figure 3</b> : <i>Teucrium polium</i> (germandrée tomenteuse) .....	15
<b>Figure 4</b> : <i>Trigonella foenum-graecum</i> (fenugrec).....	16
<b>Figure 5</b> : <i>Anvillea radiata</i> (anvillée rayonnante) .....	17
<b>Figure 6</b> : Teneurs en composés phénoliques des plantes étudiées.....	25
<b>Figure 7</b> : Teneurs en flavonoïdes des plantes étudiées .....	27
<b>Figure 8</b> : Teneurs en anthocyanines des plantes étudiées .....	30
<b>Figure 9</b> : Teneurs en flavonols des plantes étudiées .....	31
<b>Figure 10</b> : Activité anti-radical DPPH des plantes étudiées .....	33
<b>Figure 11</b> : Activité anti-radical ABTS des plantes étudiées .....	35
<b>Figure 12</b> : Pouvoir réducteur des plantes étudiées.....	38

## Liste des tableaux

<b>Tableau I</b> : Facteurs de risque des différents types du diabète .....	6
<b>Tableau II</b> : Plantes et parties utilisées dans l'étude.....	21

## Liste des abréviations

- ANOVA** : Analysis of Variance (Analyse de Variance)
- DPP-4**: Dipeptidyl Peptidase-4
- DT1** : Diabète de Type 1
- DT2** : Diabète de Type 2
- EC3G** : Catéchine 3-Gallate
- ECyG** : Cyanidine 3-Glucoside
- EQG** : Quercétine Glucoside
- GAD** : Glutamate Décarboxylase (Décarboxylase du Glutamate)
- GLP-1**: Glucagon-Like Peptide-1
- HPLC-DAD** : High-Performance Liquid Chromatography with Diode-Array Detection  
(Chromatographie Liquide à Haute Performance avec Détection à Réseau de Diodes)
- LC-MS/MS** : Liquid Chromatography with Tandem Mass Spectrometry  
(Chromatographie Liquide avec Spectrométrie de Masse en Tandem)
- LSD** : Least Significant Difference (Différence Significative Minimale)
- MHC**: Major Histocompatibility (Complexe Majeur d'Histocompatibilité)
- MMR** : Rougeole, Oreillons, Rubéole (Measles, Mumps, Rubella)
- MODY**: Maturity Onset Diabetes of the Young (Diabète Monogénique)
- MS** : Matière Sèche
- OMS** : Organisation Mondiale de la Santé
- ROS** : Reactive Oxygen Species (Espèces Réactives de l'Oxygène)
- SGLT2**: Sodium-Glucose Co-Transporter 2
- TE** : Trolox

# **Introduction**



## Introduction

Le **diabète**, une maladie chronique en forte expansion, constitue un défi majeur pour la santé publique mondiale. Sa prévalence a augmenté de 125% au cours des dernières décennies, faisant de cette pathologie une crise sanitaire mondiale. En 2019, environ 425 millions de personnes étaient touchées, et les projections estiment que ce chiffre pourrait atteindre 693 millions d'ici 2045, plaçant le diabète comme la septième cause de mortalité mondiale avec 1,6 million de décès directement attribuables à cette maladie (Rais *et al.*, 2022).

En **Algérie**, le diabète est la deuxième maladie non infectieuse la plus fréquente après l'hypertension et représente la deuxième cause de mortalité dans le pays. Actuellement, 7,4 % des adultes âgés de 20 à 79 ans sont affectés. L'Algérie figure parmi les dix premiers pays mondiaux en termes de nouveaux cas diagnostiqués et d'enfants atteints de diabète (Lounis, 2024).

Les complications associées au diabète, telles que les maladies cardiovasculaires, les neuropathies et la rétinopathie, nécessitent une gestion proactive pour éviter des issues graves comme la néphropathie diabétique, qui peut conduire à une insuffisance rénale terminale. Une gestion efficace de la glycémie, ainsi que le contrôle de la pression artérielle et des lipides, est cruciale pour minimiser ces risques. L'adoption de traitements spécialisés et une surveillance continue permettent d'améliorer la qualité de vie des patients et de ralentir la progression de la maladie. Ainsi, une approche précoce et rigoureuse dans la prise en charge du diabète est fondamentale pour préserver la santé globale et réduire les complications à long terme (Yamazaki *et al.*, 2021).

La prise en charge du diabète implique un traitement combinant médicaments, régime **alimentaire**, exercice physique et suivi glycémique régulier. Toutefois, les effets secondaires des médicaments synthétiques, leur coût élevé et leur disponibilité limitée posent des défis importants. Dans ce contexte, les remèdes naturels, notamment les plantes médicinales, apparaissent comme des alternatives prometteuses. Utilisées depuis l'Antiquité dans diverses traditions médicinales, telles que l'Ayurveda, ces plantes offrent une approche complémentaire qui pourrait réduire la dépendance aux médicaments synthétiques et leurs effets indésirables (Anjana *et al.*, 2017 ; Naveen *et al.*, 2021).

L'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) soutient l'exploration des traitements à base de plantes médicinales pour leur potentiel antioxydant et thérapeutique, qui pourrait offrir une nouvelle voie dans la gestion du diabète (Eminian *et al.*, 2011).

C'est dans ce contexte que s'inscrit cette étude, dont l'objectif est d'évaluer l'activité antioxydante de cinq plantes médicinales antidiabétiques utilisées par la population algériennes (*Artemisia herba-alba*, *Lupinus albus*, *Teucrium polium*, *Trigonella foenum-graecum* et *Anvillea radiata*) afin d'identifier et de valider de nouvelles options thérapeutiques pour améliorer la gestion du diabète et optimiser la qualité de vie des patients. Cette recherche se divise en deux principales sections : une revue bibliographique qui explore les concepts généraux sur le diabète et les plantes médicinales, suivie d'une partie expérimentale détaillant le matériel et les méthodes d'analyse utilisés, ainsi que l'analyse et la discussion des résultats obtenus.

# **Synthèse bibliographique**

# **Chapitre 1 :**

## **Généralités sur le diabète**

# Chapitre 1 : Généralités sur le diabète

## 1.1. Définition du diabète

Le diabète est un ensemble de troubles métaboliques variés caractérisés par une hyperglycémie chronique, qui résulte de défauts dans la sécrétion et/ou l'action de l'insuline. Cette condition peut découler d'une destruction ou d'un dysfonctionnement des cellules  $\beta$  pancréatiques, ou encore d'anomalies dans les mécanismes hormonaux complexes régulant le métabolisme des glucides, des graisses et des protéines. Les facteurs responsables de la dégradation des cellules  $\beta$  comprennent des anomalies génétiques, des processus épigénétiques, la résistance à l'insuline, l'auto-immunité, l'inflammation, ainsi que divers facteurs environnementaux. Les symptômes du diabète varient selon le type et la durée de la maladie et peuvent inclure une soif excessive, une augmentation de l'appétit, des troubles urinaires et une perte de poids (Colagiuri, 2021 ; Antar *et al.*, 2023).

## 1.2. Classification du diabète

Le diabète présente une pathogenèse complexe et une diversité clinique, ce qui rend sa classification essentielle pour une gestion appropriée. Actuellement, il est divisé en quatre principales catégories : le diabète de type 1 (DT1), le diabète de type 2 (DT2), le diabète gestationnel (DG), et le diabète secondaire lié à diverses conditions ou traitements. Cette classification, fondée sur l'étiologie et la pathogenèse, est cruciale pour guider le diagnostic et les choix thérapeutiques (Banday *et al.*, 2020 ; Holt et Flyvbjerg, 2024).

### 1.2.1. Diabète de type I

Le diabète de type 1 (DT1) est une maladie chronique auto-immune caractérisée par la destruction progressive des cellules  $\beta$  du pancréas, responsables de la production d'insuline. Cette destruction est causée par une réponse immunitaire anormale, ce qui entraîne une incapacité du corps à produire suffisamment d'insuline. L'insuline est essentielle au métabolisme des glucides, des lipides, des protéines et des minéraux, ainsi qu'à la croissance. En conséquence, le DT1 se manifeste principalement par une hyperglycémie persistante (Popoviciu *et al.*, 2023).

Les preuves de l'origine auto-immune du DT1 comprennent l'infiltration lymphocytaire dans les îlots pancréatiques, la présence d'autoanticorps dirigés contre les autoantigènes des îlots, ainsi que l'implication de gènes de susceptibilité liés et non liés au complexe majeur

d'histocompatibilité (MHC) (Popoviciu *et al.*, 2023). En fonction du taux de destruction des cellules bêta, le DT1 peut être classé en trois sous-types : le DT1 fulminant, le DT1 à apparition aiguë et le DT1 lentement progressif (Kawasaki *et al.*, 2023).

Les patients atteints de DT1 nécessitent un traitement par insuline tout au long de leur vie, dès le diagnostic. Actuellement, de nombreuses options d'insuline sont disponibles pour le traitement du DT1, y compris les insulines humaines et les analogues de l'insuline (Janež *et al.*, 2020).

### 1.2.2. Diabète de type II

Le diabète de type 2 (DT2) est une affection chronique caractérisée par un défaut variable dans la sécrétion et l'action de l'insuline. Il représente la forme de diabète la plus courante, constituant plus de 90 % des cas de diabète. Contrairement au diabète de type 1 qui résulte d'une destruction auto-immune absolue des cellules bêta du pancréas entraînant une carence totale en insuline, le DT2, est marqué par une sécrétion insuffisante d'insuline due à un dysfonction des cellules bêta, et une résistance à son action, mais avec une présence résiduelle d'insuline (Hurtado et Vella, 2019).

- a) **Résistance à l'insuline** : C'est un état où les cellules des tissus périphériques (notamment les muscles, le foie et le tissu adipeux) montrent une réponse réduite ou une sensibilité diminuée à l'insuline, une hormone clé pour la régulation du glucose sanguin. Cette résistance entraîne une diminution de l'efficacité de l'insuline à abaisser les niveaux de glucose dans le sang (Banday *et al.*, 2020).
- b) **Dysfonction des cellules pancréatiques  $\beta$**  : En réponse à la résistance accrue à l'insuline, les cellules bêta du pancréas, qui produisent l'insuline, augmentent leur sécrétion pour compenser la diminution de la sensibilité à l'insuline. Cependant, cette compensation n'est pas éternelle. Avec le temps, la fonction des cellules bêta se détériore, réduisant leur capacité à produire suffisamment d'insuline pour maintenir une glycémie normale, ce qui conduit finalement à l'hyperglycémie (Banday *et al.*, 2020).

Le diabète de type 2 résulte d'une interaction complexe entre prédispositions génétiques (comme les prédispositions polyéniques) et facteurs environnementaux. Les principaux risques comprennent l'âge avancé, l'obésité abdominale, l'inactivité physique, des antécédents familiaux de diabète, ainsi que des conditions pathophysiologiques telles que l'hypertension et la dyslipidémie (Banday *et al.*, 2020). L'environnement, notamment

l'alimentation, le niveau d'activité physique, le stress, et l'exposition aux polluants, influence également le développement du DT2 (Riddle *et al.*, 2022).

### 1.2.3. Diabète gestationnel

Le diabète gestationnel (DG) est un trouble caractérisé par une intolérance au glucose de sévérité variable, entraînant une hyperglycémie, qui commence ou est nouvellement diagnostiqué durant la grossesse, indépendamment des interventions nécessaires et de l'évolution postpartum. Ce trouble englobe à la fois le diabète gestationnel proprement dit et le diabète de type 2 (DT2) diagnostiqué pendant la grossesse, selon les critères de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) (Barbach *et al.*, 2023). Cette condition se caractérise par des niveaux de glucose sanguin élevés qui peuvent entraîner des complications pour la mère et le bébé, notamment des risques accrus de pré-éclampsie, de macrosomie fœtale, de naissance prématurée et d'hypoglycémie néonatale. Cette maladie peut être due aux différents facteurs tels que l'obésité, les antécédents familiaux de diabète et l'âge maternel avancé (Karkia *et al.*, 2023).

### 1.2.4. Diabète secondaire

Outre le DT1, le DT2 et le DG, le diabète sous diverses autres formes, bien que dans des pourcentages plus faibles par rapport au scénario global d'incidence du diabète, s'est avéré associé à certaines conditions spécifiques, notamment diverses pathologies et/ou plusieurs troubles. Les plus importants parmi ces types de diabète comprennent le diabète résultant de défauts monogéniques de la fonction des cellules  $\beta$  et ceux dus à des anomalies génétiques de l'action de l'insuline, tels que MODY qui est un diabète apparaissant tôt dans la vie, caractérisé par une sécrétion d'insuline altérée avec peu ou pas de défauts dans l'action de l'insuline et il est causé par une mutation dans un seul gène. Et ceux dus aux endocrinopathies (peuvent entraîner le diabète en raison de l'activation excessive de certaines hormones qui antagonisent l'action de l'insuline), aux pathologies pancréatiques exocrines (telles que la pancréatite chronique, le traumatisme...) et à plusieurs autres affections spécifiques (Puchulu, 2018 ; Banday *et al.*, 2020).

## 1.3. Facteurs de risque du diabète

Les facteurs de risque du diabète varient en fonction du type de diabète concerné, chacun présentant ses propres déterminants spécifiques. Le Tableau I illustre la majorité des facteurs de risque associés à chaque type de diabète, fournissant une vue d'ensemble des

influences clés qui peuvent aider à orienter les stratégies de prévention et les approches de gestion appropriées (Alam *et al.*, 2021; Yaping *et al.*, 2021 ; Fu *et al.*, 2024).

**Tableau I** : Facteurs de risque des différents types du diabète (Alam *et al.*, 2021; Yaping *et al.*, 2021 ; Fu *et al.*, 2024)

Type du diabète	Facteurs de risque
Diabète de Type 1	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Auto-immunité</b> : due à la : Destruction des cellules <math>\beta</math> pancréatiques par une réaction auto-immune activée par les lymphocytes T. Présence d'autoanticorps contre la décarboxylase du glutamate (GAD).</li> <li>• <b>Infections virales</b> : tels que Coxsackievirus, rotavirus, cytomégalovirus. MMR (rougeole, oreillons, rubéole) contribuant à la production d'autoanticorps</li> </ul>
Diabète de Type 2	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Obésité et Surpoids</b> : Excès de poids, particulièrement l'obésité abdominale.</li> <li>• <b>Syndrome métabolique</b> : Dyslipidémie, Insulinorésistance et hyperinsulinisme.</li> <li>• <b>Mode de Vie et Habitudes Alimentaires</b> : Mode de vie sédentaire. Régime alimentaire pauvre en fibres et riche en index glycémique élevé.</li> <li>• <b>Facteurs endocriniens</b> : Augmentation des adipokines et des résistines dues à l'excès de tissu adipeux.</li> <li>• <b>Stress oxydatif</b> : Accumulation de ROS et état pro-oxydant de l'acide urique. Altération de la fonction endothéliale et réponse inflammatoire.</li> <li>• <b>Effets des Médicaments</b> : Certains médicaments comme les antipsychotiques, diurétiques, immunosuppresseurs, et bêta-bloquants peuvent induire le diabète.</li> </ul>
Diabète gestationnel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Mode de Vie et Habitudes Alimentaires</b></li> <li>• L'obésité et la graisse abdominale sont des facteurs de risque importants.</li> <li>• Manque l'activité physique</li> <li>• Les troubles hypertensifs de la grossesse.</li> <li>• L'âge avancé,</li> <li>• Les parents diabétiques,</li> <li>• L'hypertension gestationnelle</li> <li>• Le nombre d'avortements</li> </ul>



## 1.4. Symptômes du diabète

Le diabète est associé à plusieurs symptômes :

- Perte de poids inexplicée ;
- Fatigue fréquente ;
- Irritabilité ;
- Infections répétées notamment au niveau des zones génitales, des voies urinaires, de la peau, de la cavité buccale, retard de cicatrisation des plaies ;
- Bouche sèche ;
- Douleur, engourdissement des pieds ;
- Démangeaison ;
- Hypoglycémie réactive ;
- Diminution de la vision ;
- Impuissance ou dysfonction érectile ;
- Présence de taches sombres et veloutées sur le cou, l'aisselle et l'aîne, ce qui est un indicateur de résistance à l'insuline (Ramachandran, 2014).

## 1.5. Complications du diabète

### 1.5.1. Complications aiguës

De nombreuses complications aiguës sont associées au diabète.

#### 1.5.1.1. Acidocétose diabétique

Principalement observée chez les personnes atteintes de diabète de type 1, elle se caractérise par une carence en insuline combinée à un excès d'hormones contre-régulatrices telles que le glucagon, les catécholamines, le cortisol et l'hormone de croissance. Ce déséquilibre hormonal entraîne une production excessive de corps cétoniques et d'acides gras libres, provoquant une cétose. Les symptômes de cette complication incluent des nausées, des vomissements, de la léthargie et, dans les cas graves, un coma, avec un risque particulier d'œdème cérébral chez les enfants (Tripathi et Srivastava, 2006).

#### 1.5.1.2. Etat hyperosmolaire non cétonique

Il survient principalement chez les personnes âgées atteintes de diabète de type 2. Cette condition est due à une déficience en insuline associée à un apport insuffisant de liquides, ce qui entraîne une hyperglycémie sévère et une déplétion du volume sanguin. Les symptômes

incluent une polyurie, une hypotension orthostatique, ainsi qu'une variété de manifestations neurologiques telles qu'un état mental altéré, de la léthargie, des convulsions, et éventuellement un coma (Tripathi et Srivastava, 2006).

### **1.5.2. Complication chronique**

Les complications chroniques associées au diabète sont :

#### **1.5.2.1. Complications microvasculaires**

Les complications microvasculaires telles que la néphropathie diabétique (caractérisée par des lésions des reins, souvent menant à une protéinurie et une perte progressive de la fonction rénale), la neuropathie diabétique (touche les nerfs périphériques, se manifeste par des symptômes tels que la douleur, l'engourdissement et une altération de la sensation) et la rétinopathie diabétique (se développe en raison de l'accumulation de produits de glycation avancée, des altérations du flux sanguin rétinien, et des anomalies dans la signalisation des facteurs de croissance) (Papatheodorou *et al.*, 2018 ; Rangel *et al.*, 2019).

#### **1.5.2.2. Complications macrovasculaires**

Les complications macrovasculaires, telles que la douleur ischémique chronique et la cardiomyopathie diabétique, affectent les grands vaisseaux sanguins et le cœur. La douleur ischémique chronique, souvent liée à l'artériopathie périphérique, est fréquente chez les patients diabétiques. La cardiomyopathie diabétique se caractérise par des modifications de la structure cardiaque, telles que l'expansion de la matrice extracellulaire (Papatheodorou *et al.*, 2018).

### **1.6. Traitement et gestion du diabète**

Pour prévenir les complications aiguës et chroniques du diabète, il est crucial de maintenir une glycémie bien contrôlée. Quelle que soit la forme de diabète, le traitement repose principalement sur des mesures hygiéno-diététiques, qui comprennent une alimentation adaptée et une hygiène de vie appropriée pour le patient diabétique. En complément, des traitements médicamenteux peuvent être nécessaires. Un régime alimentaire équilibré est donc absolument essentiel pour les personnes diabétiques (Kasangana, 2018).

#### **1.6.1. Mesures hygiéno-diététiques**

Ces mesures se concentrent sur les ajustements du mode de vie et de l'alimentation pour contrôler la glycémie.

### 1.6.1.1. Alimentation et activité physique

- Comptage des glucides, graisses et protéines : Permet une meilleure gestion des niveaux de sucre dans le sang.
- Exercice régulier et maintien d'un poids corporel sain : Améliore la sensibilité à l'insuline et aide à contrôler la glycémie.
- Modification du régime alimentaire et augmentation de l'activité physique pendant la grossesse pour gérer la glycémie (Suryasa *et al.*, 2021).

### 1.6.1.2. Prévention et gestion générale

- Surveillance stricte des niveaux de glucose pendant la grossesse
- Détection précoce : Identification et gestion du diabète et du prédiabète pour éviter les complications.
- Éducation et sensibilisation : Promotion d'un mode de vie sain et éducation sur les meilleures pratiques pour la gestion du diabète (Dwivedi et Pandey, 2020).

## 1.6.2. Traitements médicamenteux

### 1.6.2.1. Médicaments oraux

Une fois les mesures hygiéno-diététiques n'apportent aucun effet sur l'homéostasie glycémique, l'introduction d'un traitement médicamenteux devient nécessaire. Et parmi les médicaments les plus utilisés au monde, on trouve :

- Metformine : Souvent le médicament de première ligne ;
- Sulfonylurées : Stimule la production d'insuline par le pancréas ;
- Méglitinides : similaires aux sulfonylurées, mais agissent plus rapidement ;
- Thiazolidinediones : Augmente la sensibilité à l'insuline ;
- Inhibiteurs de la DPP-4 : Aident à réguler les niveaux de glucose ;
- Agonistes des récepteurs GLP-1 : Stimulent la sécrétion d'insuline et réduisent l'appétit ;
- Inhibiteurs de SGLT2 : Aident à éliminer le glucose par les reins (Nathan, 2015 ; Blahova *et al.*, 2021 ; PAGT, 2024).

### 1.6.2.2. Insulinothérapie

L'insulinothérapie est un traitement essentiel pour les personnes atteintes de diabète de type 1, et parfois pour celles avec un diabète de type 2 lorsque les médicaments oraux ne sont pas suffisants. Elle consiste en l'administration de différentes formes d'insuline pour

compenser l'absence ou l'insuffisance de production naturelle d'insuline par le pancréas. Les types d'insuline utilisés incluent l'insuline à action rapide, intermédiaire, prolongée et courte (Marín-Peñalver *et al.*, 2016).

### **1.6.2.3. Appareil pancréas artificiel**

Dispositif qui relie un moniteur de glucose continu à une pompe à insuline, ajustant automatiquement les doses d'insuline (Dwivedi et Pandey, 2020).

### **1.6.3. Traitement par les plantes médicinales**

Le traitement du diabète par des plantes médicinales se révèle souvent plus avantageux que les médicaments synthétiques, qui sont associés à divers effets indésirables tels que nausées, vomissements, dysenterie, bouffées de chaleur liées à l'alcool, migraines, œdèmes, anémie maligne et évanouissements. En comparaison, les plantes médicinales présentent des effets secondaires et indésirables réduits, offrant ainsi une alternative plus sûre et souvent moins coûteuse pour la gestion du diabète. De plus, diverses études cliniques ont confirmé que les extraits de plantes médicinales présentent une activité antidiabétique, contribuent à restaurer l'action des cellules  $\beta$  pancréatiques et assurent la régulation de la glycémie dans le corps, ce qui renforce leur efficacité dans le traitement du diabète (Verma *et al.*, 2018 ; Mohammed, 2023).

# **Chapitre 2 :**

# **Plantes médicinales**

## Chapitre 2 : Plantes médicinales

### 2.1. Définition des plantes médicinales

Les plantes médicinales sont des végétaux qui possèdent des propriétés thérapeutiques et sont utilisées traditionnellement pour prévenir, traiter ou guérir diverses affections, tant chez les humains que chez les animaux. Elles constituent un patrimoine précieux, surtout dans les pays en développement, où elles sont souvent employées en raison de l'absence de médicaments essentiels, des coûts élevés des traitements modernes, et des habitudes socioculturelles. Ces plantes sont intégrées dans des pratiques de médecine traditionnelle transmises oralement de génération en génération par des praticiens de santé traditionnels et des herboristes. Leur utilisation est également motivée par la diversité des espèces disponibles et la nécessité de répondre à la résistance croissante aux médicaments modernes (Miara *et al.*, 2019 ; Iwaka *et al.*, 2022).

### 2.2. Plantes médicinales antidiabétiques

Les plantes médicinales antidiabétiques sont des végétaux utilisés pour leurs propriétés thérapeutiques dans la gestion du diabète. Elles contiennent divers composés bioactifs, notamment des flavonoïdes, des coumarines, des terpénoïdes et des composés phénoliques, qui sont essentiels pour réduire le stress oxydatif. Ce stress oxydatif, associé à des dommages cellulaires et à des complications diabétiques, peut être atténué par ces composés, qui neutralisent les réactifs de l'oxygène (ROS) et renforcent le système antioxydant de l'organisme (Kifle *et al.*, 2022).

En réduisant les niveaux de glucose sanguin et en minimisant les complications liées au diabète, ces plantes offrent une alternative thérapeutique efficace. Elles sont souvent considérées comme moins toxiques et plus économiques que les traitements conventionnels (Pant *et al.*, 2021).

#### 2.2.1. Description de quelques plantes médicinales antidiabétiques

Les plantes médicinales sont depuis longtemps reconnues pour leur rôle dans la gestion du diabète, en particulier dans les zones où les traitements modernes sont moins accessibles. Ces plantes contiennent divers composés bioactifs, comme les flavonoïdes et les polyphénols, qui peuvent améliorer la régulation du glucose sanguin et la sensibilité à l'insuline. Parmi les plantes antidiabétiques les plus utilisées en Algérie, on retrouve l'armoise (*Artemisia herba-*

*alba*), le lupin blanc (*Lupinus albus*), la germandrée tomenteuse (*Teucrium polium*), le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*), et l'anvillea rayonnante (*Anvillea radiata*), toutes connues pour leurs effets bénéfiques dans la médecine traditionnelle pour la gestion du diabète.

### 2.2.1.1 Armoise (*Artemisia herba-alba*)

*A. herba-alba* (armoise), également connue sous le nom d'absinthe des déserts, est une herbe aromatique et médicinale (Bourgou *et al.*, 2017). Elle est répandue dans la région méditerranéenne en Afrique du Nord, en Espagne, dans les déserts de la péninsule du Sinaï, au Moyen-Orient, dans l'Himalaya du Nord-Ouest, et en Inde. Cette espèce, qui pousse principalement dans les steppes argileuses et les pâturages rocaillieux, est caractérisée par ses capitules paniculés, généralement homogames, et ses fleurs hermaphrodites. La plante présente des tiges nombreuses, tomenteuses, de 30 à 35 cm de hauteur, et des feuilles courtes, pubescentes, argentées et pinnatipartites (Figure 1). Les capitules sont souvent sessiles ou subsessiles, généralement constitués de 2 à 5 fleurs, et entourés de bractées externes orbiculaires opaques et pubescentes, tandis que les bractées internes sont oblongues, brillantes et glanduleuses (Fenardji *et al.*, 1974 ; Tilaoui *et al.*, 2015).

Cette plante est reconnue pour ses propriétés analgésiques, antibactériennes, antispasmodiques, antidiabétiques, et hémostatiques. En plus de ses applications médicinales, cette plante est considérée comme un fourrage important pour les moutons et le bétail en Algérie (Benkhaira *et al.*, 2021).

#### ❖ Classification taxonomique

- Règne : Plantae (Plantes),
- Division : Magnoliophyta (Angiospermes),
- Classe : Magnoliopsida (dicotylédones),
- Famille : Asteraceae,
- Genre : Artemisia
- Espèce : *Artemisia herba-alba* L. (Lichtfouse, 2020).



**Figure 1 :** *Artemisia herba-alba* (armoise) (Messai et Belkacemi, 2011).

### 2.2.1.2. Lupin blanc (*Lupinus albus*)

*L. albus* (lupin blanc) est principalement distribué autour de la Méditerranée et le long de la vallée du Nil, où il est cultivé depuis plusieurs millénaires. Sa présence s'étend également à la péninsule Ibérique, aux Balkans, en Turquie, en Italie, ainsi qu'aux Açores (Huyghe, 1997).

C'est une plante herbacée annuelle, érigée, ramifiée et plus ou moins pubescente, mesurant entre 30 et 150 cm de hauteur. Elle possède une racine pivotante avec des nodules. Les stipules sont persistantes, aciculaires, subulées et fusionnées avec les pétioles sur plus d'un tiers de leur longueur. Les feuilles sont alternes, composées numériquement avec 5 à 9 folioles. Les folioles sont oblongues ou obovées, mesurant 2 à 6 cm par 0,5 à 2 cm, avec une base cunéiforme, un sommet arrondi et mucroné, glabres au-dessus, et villosés en dessous, et les bords ciliés (Figure 2) (Lim, 2012). Cultivé pour ces graines comestibles qui sont épaisses, blanches à l'extérieur et jaunes à l'intérieur, de forme globulaire et dures, et présentent un goût amer. Connues sous le nom de lupin doux, elles offrent un potentiel nutritionnel élevé grâce à la haute biodisponibilité de leur protéine, qui sont considérées comme détergentes, anti-inflammatoires et un moyen thérapeutique pour le diabète (Akbar et Akbar, 2020).

#### ❖ Classification taxonomique

- Règne: Plantae
- Division: Magnoliophyta
- Classe: Magnoliopsida
- Famille: Fabaceae (ou Leguminosae)



- Genre: *Lupinus*
- Espèce: *Lupinus albus* (Lim, 2012).



Figure 2 : *Lupinus albus* (lupin blanc) (Lim, 2012).

### 2.2.1.3. Germandrée tomenteuse (*Teucrium polium*)

*T. polium*, communément appelé germandrée tomenteuse, est une espèce de plante distribuée en Afrique, en Europe du Nord et en Asie du Sud-Ouest, avec une présence générale en Turquie (Pulat *et al.*, 2024). Il appartient à la section Polium, qui est un arbuste pérenne mesurant de 20 à 50 cm de hauteur qui se caractérise par une base ligneuse et des branches supérieures denses et velues. Cette plante est un arbuste nain, pubescent, et aromatique, possédant des inflorescences denses de petites fleurs blanches (Figure 3). Les fleurs, qui varient du rose au blanc, sont regroupées en grappes et ne possèdent pas la lèvre supérieure de la corolle. Les feuilles, linéaires ou oblongues, mesurent environ 10 mm de long et 2,5-3 mm de large, avec des marges plus ou moins fortement enroulées et rarement plates. Sa période de floraison s'étend de mai à juin (Iswarya *et al.*, 2012).

Cette plante est utilisée en médecine traditionnelle grâce à ces propriétés thérapeutiques, telles qu'antifongique, antispasmodique, antibactérien, antidiabétique et anticancéreux (Rahmouni *et al.*, 2021).

#### ❖ Classification taxonomique

- Règne : Plantae,
- Division : Magnoliophyta,

- Classe : Magnoliopsida,
- Famille : Lamiacéa,
- Genre : *Teucrium*,
- Espèce : *Teucrium polium* (Iswarya *et al.*, 2012).



**Figure 3 :** *Teucrium polium* (germandree tomenteuse) (Khazaei *et al.*, 2018).

#### **2.2.1.4. Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*)**

*T. foenum-graecum*, également connu sous le nom de fenugrec, est une plante originaire du Proche-Orient et des régions méditerranéennes. Cette espèce est cultivée principalement dans le sous-continent indien, le nord de l'Afrique, l'Allemagne, la France, la Russie, la Turquie et le Moyen-Orient (McCormick *et al.*, 2009). Cette herbe nommée en arabe "Hulbah" atteint une hauteur de 30 à 60 cm et produit des graines contenues dans des gousses longues et étroites en forme de faucille. Ses feuilles, de couleur jaune-vert, sont pétiolées et mesurent généralement de 2 à 5 cm de long, pouvant atteindre jusqu'à 10 cm. Elles sont de forme ovée et profondément divisées. Les fleurs sont blanches ou jaunâtres, tandis que les graines sont rhomboïdales, de couleur jaune profond, comprimées et tronquées aux deux extrémités. Elles mesurent entre 3 et 7 mm de longueur, 2,8 à 4,0 mm de largeur, et 2,2 à 2,5 mm d'épaisseur (Figure 4). La testa des graines est lisse, avec une odeur âcre et piquante, et elles sont difficiles à briser (Khan *et al.*, 2015).

Il est utilisé pour traiter une variété de troubles médicaux, incluant les problèmes digestifs (perte d'appétit, gastrite, constipation), le diabète, les douleurs menstruelles, les problèmes hormonaux, et les maladies cardiovasculaires comme l'athérosclérose. Il aide

également avec les troubles inflammatoires, les infections, et les problèmes dermatologiques tels que l'eczéma) (Yadav *et al.*, 2019).

❖ **Classification taxonomique**

- Règne : Plantae,
- Division : Magnoliophyta,
- Classe : Magnoliopsida,
- Famille : Fabaceae (Légumineuses),
- Genre : Trigonella,
- Espèce : *Trigonella foenum-graecum* (Yadav *et al.*, 2019).



**Figure 4 :** *Trigonella foenum-graecum* (fenugrec) (Branch, 2013).

#### 2.2.1.5. Anvillée rayonnante (*Anvillea radiata*)

*A. radiata* (anvillée rayonnante) est une plante de la famille des Asteraceae, qui se trouve principalement en Afrique du Nord, notamment au Maroc et en Algérie (Lakhdar *et al.*, 2013). C'est un petit arbuste ligneux mesurant entre 20 et 50 cm de hauteur avec densément ramifiés avec des feuilles vert-grisâtre, petites et triangulaires, dotées d'un grand pétiole et de bords fortement dentelés. Ses grandes inflorescences solitaires, de 3 à 5 cm de diamètre, présentent des ligules longues et des fleurs jaune orangé (Figure 5), les ligules extérieures mesurant environ 25 mm. *A. radiata* fleurit généralement au printemps, mais peut également fleurir tout au long de l'année (Belakredar *et al.*, 2021).

Cette plante est largement utilisée dans la médecine traditionnelle pour traiter de la gastroentérite, des spasmes, des coliques, de l'hépatite, de l'arthrite et du rhumatisme, ainsi que pour soulager l'indigestion, les maladies pulmonaires, l'obésité et présente également une activité hypoglycémique (Hebi et Eddouks, 2018).

❖ **Classification taxonomique**

- Règne : Plantae,
- Division : Magnoliophyta,
- Classe : Magnoliopsida,
- Famille : Asteraceae,
- Genre : Anvillea,
- Espèce : *Anvillea radiata* (Quézel et Santa 1963).



**Figure 5 :** *Anvillea radiata* (anvilléa rayonnante) (Jamal et Laila, 2014).

### 2.2.2. Mécanismes d'action des plantes médicinales antidiabétiques

Les plantes contiennent divers principes actifs qui influencent l'organisme de multiples façons, en particulier dans le traitement du diabète. Elles exercent des effets hypoglycémiant variés, dont les mécanismes et les principes actifs responsables diffèrent selon la plante. Les parties de plantes utilisées incluent les fleurs, les fruits, les graines, les feuilles, les baies, l'écorce et les racines (Boussaid *et al.*, 2014 ; Abu-Odeh et Talib, 2021).

Ces plantes peuvent être administrées soit directement, dans leur forme naturelle ou modifiée, soit sous forme de produits fonctionnels comme des compléments alimentaires ou des aliments adaptés aux personnes ayant des niveaux élevés de glucose (Przeor, 2022).

Les mécanismes d'action des plantes antidiabétiques incluent :

- Altération du métabolisme du glucose par : l'inhibition de la réabsorption rénale du glucose, inhibition de  $\beta$ -galactosidase, inhibition de  $\beta$ -glucosidase, inhibition de la  $\alpha$ -amylase, stimulation de la glycogénèse et de la glycolyse hépatique, inhibition de la conversion de l'amidon en glucose.
- Stimulation de la Sécrétion d'insuline et réduction de la résistance à l'insuline

- Protection contre le stress oxydatif en capturant les radicaux libres et réduction de la formation de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Okoduwa *et al.*, 2024).
- La régénération et la protection des cellules β du pancréas, l'augmentation du nombre ou de la taille des cellules des îlots de Langerhans.
- Modification de l'expression des gènes et l'activité d'hormones impliquées dans la digestion.
- Réduction de la peroxydation lipidique.
- Diminution des activités du cortisol.
- Traitement des complications du diabète telles que les complications vasculaires (Jarald *et al.*, 2015 ; Przeor, 2022).

### 2.2.3. Principes actifs à effets antidiabétiques

Les plantes synthétisent une large gamme de composés, incluant les métabolites primaires indispensables à leurs fonctions essentielles, ainsi que les métabolites secondaires, qui jouent un rôle dans des fonctions spécifiques. Ces métabolites secondaires sont produits et stockés dans des parties spécifiques de la plante (Tousignant, 2022).

Les plantes médicinales jouent un rôle significatif dans le traitement du diabète, en raison de leurs principes actifs diversifiés (métabolites secondaires) qui régulent la glycémie. Ces composés bioactifs (antioxydants), tels que, les protéines similaires à l'insuline, les saponines, les alcaloïdes, les polyphénols, les flavonoïdes, les anthocyanines.... agissent par plusieurs mécanismes : ils stimulent la sécrétion d'insuline, améliorent la sensibilité à l'insuline, et réduisent l'absorption du glucose par l'intestin (Malviya *et al.*, 2010 ; Tran *et al.*, 2020).

#### 2.2.3.1. Polyphénols

Les polyphénols sont des composés chimiques naturellement présents dans les plantes, connus pour leurs propriétés antioxydantes et leurs divers effets bénéfiques sur la santé. Ils se trouvent principalement dans les fruits, légumes, grains entiers, thé et café. Ce sont des substances organiques à faible poids moléculaire contenant un ou plusieurs cycles aromatiques (benzène ou phénol) avec un ou plusieurs groupes hydroxyles dans leurs structures. Ils peuvent se présenter sous forme de composés simples ou de polymères complexes. Ces composés sont classés en 5 groupes (les acides phénoliques, les flavonoïdes, les anthocyanes, les flavanes et les tannins), et leur classification dépend de la structure chimique, du nombre de cycles phénoliques, de la position des groupes fonctionnels, ou du squelette carboné (Belščak-Cvitanović *et al.*, 2018 ; Zagoskina *et al.*, 2023).

Les polyphénols possèdent des propriétés antioxydantes significatives grâce à leur structure chimique, qui leur permet de neutraliser les radicaux libres et les espèces réactives de l'oxygène (ROS) dans les cellules. Ils interagissent avec les ROS, comme les radicaux hydroxyles ( $^{\circ}\text{OH}$ ) et les radicaux superoxydes ( $^{\circ}\text{O}_2$ ), qui provoquent le stress oxydatif. Ils possèdent également des propriétés antimicrobiennes et antivirales, aidant à combattre diverses infections, y compris celles causées par des coronavirus. En améliorant la santé cardiovasculaire, les polyphénols réduisent le risque de maladies cardiaques et d'athérosclérose (Zagoskina *et al.*, 2023). Leur consommation prolongée est associée à une diminution du risque de certains cancers, en raison de leurs effets anti-inflammatoires et modulateurs sur les mécanismes biologiques (Abbas *et al.*, 2017).

Ils exercent un effet antidiabétique en protégeant les cellules  $\beta$  du pancréas contre le stress oxydatif et en réduisant la toxicité induite par le glucose. Ils inhibent l'activité des enzymes digestives comme la  $\alpha$ -amylase et le  $\alpha$ -glucosidase, ce qui diminue l'absorption du glucose dans le tractus gastro-intestinal. De plus, les polyphénols régulent la libération de glucose par le foie et favorisent l'absorption du glucose par les tissus périphériques. En protégeant contre les dommages oxydatifs et en influençant les voies de signalisation de l'insuline, ils contribuent à une meilleure régulation de la glycémie (Abbas *et al.*, 2017 ; Kanner, 2023).

### 2.2.3.2. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont les polyphénols les plus répandus dans le règne végétal, responsables de la coloration des fleurs, des fruits et parfois des feuilles (Pourcel *et al.*, 2007 ; Morgane, 2020). Ce sont des métabolites secondaires des plantes caractérisés par une structure à deux cycles aromatiques (A et B) reliés par un cycle hétérocyclique (C). Ils se divisent en plusieurs classes, telles que les flavonols, et les flavan-3-ols, et peuvent subir diverses modifications comme l'hydroxylation et la glycosylation, ce qui contribue à leur diversité. Ces composés jouent des rôles essentiels dans la protection des plantes contre les radiations ultraviolettes, les agents pathogènes et les herbivores. En outre, les flavonoïdes possèdent des propriétés biologiques significatives pour la santé humaine, notamment en tant qu'antioxydants, en neutralisant les radicaux libres et en prévenant le stress oxydatif. L'oxydation des flavonoïdes peut renforcer ces effets antioxydants et conférer des propriétés antibactériennes supplémentaires (Pourcel *et al.*, 2007).

### 2.2.3.3. Anthocyanines

Les anthocyanines sont des pigments polyphénoliques appartenant au groupe des flavonoïdes, responsables des couleurs allant du rouge-orangé au bleu-violet dans les fruits, les fleurs et les feuilles des plantes (Kammerer, 2024). Plus de 700 dérivés structuraux de ces pigments ont été identifiés, la plupart étant sous forme de glycoside, où l'anthocyanidine est attachée à un ou plusieurs sucres. Ces composés, bien que faiblement biodisponibles (moins de 1% en général), sont associés à divers bienfaits pour la santé, tels que la protection cardiovasculaire, la neuroprotection, l'amélioration de la vision, ainsi que des propriétés antidiabétiques et anti-obésité, anti-inflammatoires, et potentiellement protectrices contre le cancer. La biodisponibilité varie selon la structure des anthocyanines, avec la cyanidine-3-glucoside montrant une biodisponibilité relativement plus élevée (Wallace et Giusti, 2015).

### 2.2.3.4. Flavonols

Les flavonols, tels que la myricétine, la quercétine et le kaempférol, sont des flavonoïdes ayant des propriétés antioxydantes significatives (Ronsisvalle *et al.*, 2020). Leur structure de base permet une grande diversité de motifs de substitution dans les cycles benzéniques A et B. Les flavonols, avec d'autres flavonoïdes comme les flavones, les catéchines et les anthocyanidines, ont montré dans de nombreuses études leur capacité à inhiber et parfois à induire diverses enzymes mammaliennes impliquées dans la régulation de la division cellulaire, la prolifération, l'agrégation plaquettaire, ainsi que dans les processus de détoxification et de réponse inflammatoire et immunitaire. Les propriétés antioxydantes des flavonols sont particulièrement notables, car elles pourraient protéger les tissus contre les dommages causés par les radicaux libres, qui sont associés à des maladies telles que l'athérosclérose, le cancer, le diabète et les inflammations chroniques (Hollman et Katan, 1999).

### 2.2.3.5. Alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des bases organiques, naturellement présentes dans les plantes et reconnues pour leurs diverses propriétés biologiques. Ces substances organiques de petite taille possèdent une structure hétérocyclique et contiennent souvent une ou plusieurs bases azotées. Ils proviennent majoritairement des acides aminés et se caractérisent par leurs propriétés basiques. Les structures des alcaloïdes sont à la fois diverses et complexes (Bush et Fannin, 2009 ; Dey *et al.*, 2020). Traditionnellement, les alcaloïdes végétaux ont joué un rôle crucial dans les médecines traditionnelles en tant que purgatifs, antitussifs, sédatifs et traitements pour diverses maladies. Récemment, plusieurs alcaloïdes sont devenus des modèles pour les médicaments modernes et sont utilisés en pharmacologie, avec des exemples notables tels que la codéine, la brucine, la morphine, l'éphédrine et la quinine (Gutiérrez-Grijalva *et al.*, 2020).

# **Partie expérimentale**



# **1. Matériel et méthodes**

## 1. Matériel et méthodes

### 1.1. Échantillonnage

L'étude porte sur cinq plantes médicinales antidiabétiques : l'armoise (*Artemisia herba-alba*), le lupin blanc (*Lupinus albus*), la germandrée tomenteuse (*Teucrium polium*), le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) et l'anvillea rayonnante (*Anvillea radiata*). Les échantillons ont été achetés chez des herboristes en 2024 et ont été conservés et transportés au laboratoire de Biochimie Alimentaire. Les plantes et les parties utilisées dans cette étude sont regroupées dans le Tableau II.

**Tableau II** : Plantes et parties utilisées dans l'étude

Plante	Espèce	Partie utilisée
Armoise	<i>Artemisia herba-alba</i>	Parties aériennes
Lupin blanc	<i>Lupinus albus</i>	Fruit
Germandrée tomenteuse	<i>Teucrium polium</i>	Parties aériennes
Fenugrec	<i>Trigonella foenum-graecum</i>	Parties aériennes
Anvillea rayonnante	<i>Anvillea radiata</i>	Graine

### 1.2. Préparation des échantillons

Pour préparer les échantillons des plantes médicinales, nous avons utilisé les parties spécifiques, selon les utilisations traditionnelles, de chaque plante : les parties aériennes de l'armoise (*A. herba-alba*), de la germandrée tomenteuse (*T. polium*), et du fenugrec (*T. foenum-graecum*), les fruits du lupin blanc (*Lupinus albus*), et les graines de l'anvillea rayonnante (*A. radiata*). À l'aide d'un broyeur électrique, les échantillons ont été broyés en une poudre fine. Les poudres ont été tamisées et les poudres de diamètre inférieures à 500 µm ont été conservées dans des récipients fermés hermétiquement.

### 1.3. Extraction des composés phénoliques

Pour extraire les composés phénoliques des parties spécifiques des plantes étudiées, une méthode d'extraction solide-liquide a été appliquée. Une aliquote de 200 mg de poudre de chaque partie des plantes a été placée dans un tube à essai, suivie de l'ajout de 10 ml de solvant (méthanol). L'extraction a été réalisée par agitation magnétique pendant 30 minutes. Les extraits ont ensuite été récupérés par centrifugation à 5000 tours par minute pendant 10 minutes. Après centrifugation, les extraits ont été filtrés et conservés au réfrigérateur jusqu'à leur utilisation pour les analyses ultérieures.

## 1.4. Détermination des teneurs en composés bioactifs

Plusieurs composés sont mesurés dans les cinq plantes médicinales étudiées.

### 1.4.1. Dosage des composés phénoliques

La teneur en composés phénoliques a été évaluée selon la méthode de [Singleton et Rossi \(1965\)](#). Brièvement, un volume de 200  $\mu\text{l}$  d'extrait a été mélangé avec 750  $\mu\text{l}$  du réactif de Folin-Ciocalteu et 400  $\mu\text{l}$  de carbonate de sodium à 7,5%. Le mélange a été incubé pendant 60 minutes, puis l'absorbance a été mesurée à 720 nm. Les teneurs en composés phénoliques ont été déterminées en se référant à la courbe d'étalonnage établie avec l'acide gallique (Figure 1, Annexe). Enfin, les résultats ont été exprimés en mg équivalent d'acide gallique par g de matière sèche (mg EAG/g MS).

### 1.4.2. Dosage des flavonoïdes

La teneur en flavonoïdes a été déterminée en suivant la méthode décrite par [Djeridane et al. \(2006\)](#). Pour cela, un volume d'extrait a été mélangé à un volume égal de solution de chlorure d'aluminium à 2 % dans le méthanol. Après une incubation de 10 minutes, l'absorbance a été mesurée à 430 nm. Les concentrations en flavonoïdes ont été calculées en se basant sur une courbe d'étalonnage obtenue avec la quercétine (Figure 2, Annexe). Les résultats ont été exprimés en mg équivalent de quercétine par g de matière sèche (mg EQ/g MS).

### 1.4.3. Dosage des anthocyanines et des flavonols

La détermination des teneurs en anthocyanines et en flavonols des échantillons a été réalisée selon la méthode de [Hrazdina et al. \(1982\)](#). Pour les anthocyanines, 900  $\mu\text{l}$  d'extrait ont été mélangés avec 900  $\mu\text{l}$  de méthanol-HCl (0,1 N). La couleur rougeâtre obtenue a permis de quantifier les anthocyanines en mesurant l'absorbance à 530 nm. La teneur en anthocyanines a été calculée en appliquant la loi de Beer-Lambert, en utilisant le coefficient d'extinction molaire de la cyanidine 3-glucoside (PM = 449,2 g/mol ;  $\epsilon = 26\,900$  l/mol/cm). Les résultats ont été exprimés en mg équivalent cyanidine 3-glucoside par g de matière sèche (mg ECyG/g MS). Quant aux flavonols, leur teneur a été déterminée par spectrophotométrie à 360 nm en utilisant le même mélange réactionnel. Les concentrations ont été calculées selon la loi de Beer-Lambert, en utilisant la quercétine 3-glucoside comme standard (PM = 464,38 g/mol ;  $\epsilon = 20\,000$  l/mol/cm). Les teneurs en flavonols ont été exprimées en mg équivalent quercétine 3-glucoside par g de matière sèche (mg EQG/g MS).

## 1.5. Évaluation de l'activité antioxydante

### 1.5.1. Mesure de l'activité anti-radical DPPH

La mesure de l'activité anti-radical DPPH a été réalisée selon la méthode décrite par [Shimada \*et al.\* \(1992\)](#). Pour chaque échantillon, 200 µl d'extrait ont été ajoutés à 1 ml de solution de DPPH à 60 µmol/l dans le méthanol. La décoloration de la solution, induite par l'extrait, a été quantifiée à l'aide d'un spectrophotomètre à 517 nm. Les résultats ont été exprimés en mg équivalent d'acide gallique par g de matière sèche (mg EAG /g MS), en se basant sur une courbe d'étalonnage tracée avec différentes concentrations d'acide gallique (Figure 3, Annexe).

### 1.5.2. Activité anti-radical ABTS

L'activité anti-radical ABTS a été déterminée en suivant la méthode décrite par [Ré \*et al.\* \(1999\)](#). Tout d'abord, les solutions d'ABTS et de persulfate de potassium ont été préparées à des concentrations respectives de 7 mmol/l et 2,4 mmol/l. Ensuite, pour activer le radical ABTS, des volumes égaux des deux solutions ont été mélangés, puis incubés à température ambiante pendant 12 heures. Après cette incubation, la solution a été diluée en mélangeant 1 ml de la solution d'ABTS avec de l'éthanol jusqu'à obtenir une absorbance de 0,70 à 734 nm. La décoloration de la solution d'ABTS en présence de l'extrait a été mesurée à 734 nm. Enfin, les résultats ont été déterminés en se référant à la courbe d'étalonnage réalisée avec le trolox (Figure 4, Annexe), et les valeurs ont été exprimées en milligrammes équivalent trolox par g de matière sèche (mg TE/g MS).

### 1.5.3. Pouvoir réducteur

Le pouvoir réducteur a été évalué selon la méthode décrite par [Yildirim \*et al.\* \(2001\)](#). Un volume de 1 ml d'extrait a été mélangé avec 2,5 ml de tampon phosphate (0,2 mol/l, pH 6,6) et 2,5 ml de ferricyanure de potassium (1%). Après cette étape, 2,5 ml d'acide trichloracétique (10%) ont été ajoutés au mélange, puis l'ensemble a été incubé à 50°C pendant 20 minutes. Ensuite, 2,5 ml de ce mélange ont été transférés dans un tube à essai, auxquels ont été ajoutés 2,5 ml d'eau distillée et 0,5 ml de chlorure ferrique (0,1%). L'absorbance du mélange a été mesurée à 700 nm. Les résultats ont été déterminés en se référant à la courbe d'étalonnage réalisée avec l'acide gallique (Figure 5, Annexe) et exprimés en milligrammes d'équivalent acide gallique par g de matière sèche (mg EAG/g MS).

## **1.6. Analyse statistique**

Toutes les expériences ont été réalisées en triplicata et les résultats sont exprimés sous forme de moyenne  $\pm$  écart-type. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide du logiciel STATISTICA version 7.1 (StatSoft Inc., Tulsa, USA). Les différences significatives entre les moyennes ont été déterminées à l'aide de l'analyse de variance (ANOVA) suivie du test de comparaison multiple de Fisher LSD (Least Significant Difference). Un seuil de signification statistique a été fixé à  $p < 0,05$ . Les graphiques ont été réalisés à l'aide de Microsoft Excel 2021.

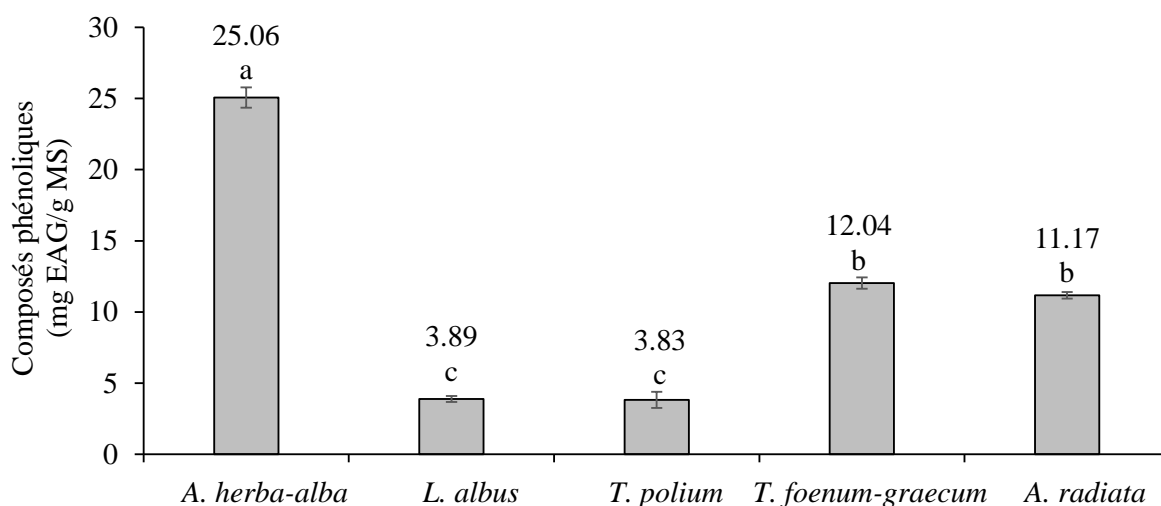
## **2. Résultats et discussion**

## 2. Résultats et discussion

### 2.1. Teneurs des composés phénoliques

Les résultats des teneurs en composés phénoliques des plantes étudiées (Figure 6) sont exprimés en milligrammes équivalents d'acide gallique par gramme de matière sèche, calculés à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage (Annexe).

Les teneurs révèlent que l'armoise (*A. herba-alba*) est la plante la plus riche en composés phénoliques avec un taux de 25,06 mg EAG/g MS, suivie du fenugrec et de l'anthyllide rayonnante avec des concentrations similaires. À l'inverse, le lupin blanc tomenteux et la germandrée en contiennent beaucoup moins, avec un taux moyen de 3,86 mg EAG/g MS.



**Figure 6 :** Teneurs en composés phénoliques des plantes étudiées.

Les résultats avec des lettres différentes sont significativement différents (ANOVA, test LSD,  $p < 0.05$ ,  $a > b > c$ ).

La teneur en polyphénols d'*A. herba-alba* observée dans notre étude est proche de celle obtenue par [Younsi et al. \(2016\)](#) pour une armoise du centre de la Tunisie (Kairouan), qui est de 27,65 mg EAG/g. En revanche, elle est supérieure aux concentrations trouvées par [Bourgou et al. \(2016\)](#) pour des variétés tunisiennes, qui varient de 9 à 18 mg EAG/g.

Pour *L. albus* (lupin blanc), la concentration en polyphénols mesurée dans notre étude est alignée avec celle trouvée par [Ferchichi et al. \(2021\)](#) pour une variété française, qui affiche 3,2 mg EAG/g. Elle est supérieure à la concentration de 0,0163 mg EAG/g rapportée par [Cammilleri et al. \(2023\)](#) pour une variété italienne. De même, elle est supérieure à ceux

observés par Ruiz-López *et al.* (2019) pour des variétés mexicaines, où les concentrations varient entre 2,12 et 2,7 mg EAG/g.

Le *T. polium* (germandrée tomenteuse) étudié présente une teneur en composés phénoliques qui se situe entre les valeurs observées dans diverses études. En effet, cette teneur est comparable à celle trouvée par Djordjevic *et al.* (2018) pour une variété serbe, qui est de 8,1 mg EAG/g. Cependant, elle est inférieure à la concentration rapportée par Sharifi-Rad *et al.* (2022), qui est de 72,4 mg EAG/g. En revanche, elle est nettement supérieure à celle enregistrée par Farahbakhsh *et al.* (2021), qui est de seulement 0,04 mg EAG/g. Ainsi, les résultats montrent une variation significative des teneurs en composés phénoliques parmi les différentes études, due à la variété analysée, à la région géographique, et aux conditions environnementales de culture des plantes.

La valeur des polyphénols du *T. foenum-graecum* (fenugrec) mesurée dans notre étude est proche de celle rapportée par Saxena *et al.* (2011) pour une variété indienne, qui présente une teneur de 16,07 mg EAG/g. En revanche, elle est inférieure à la concentration élevée de 106,316 mg EAG/g observée par Kenny *et al.* (2013). Toutefois, elle dépasse les valeurs enregistrées par Hafeez *et al.* (2023) pour des variétés pakistanaises de fenugrec, dont les teneurs fluctuent entre 5,74 et 6,23 mg EAG/g.

Pour l'*A. Radiata* (anvilléa rayonnante), la teneur observée est similaire à celle obtenue par Djeridane *et al.* (2010) pour une variété de la wilaya de Laghouat en Algérie, soit 14,36 mg EAG/g. Cependant, elle est inférieure à la valeur de 114,45 mg EAG/g trouvée par Belakredar *et al.* (2021) pour une plante de Tamanrasset. En revanche, elle dépasse celle rapportée par Saoud *et al.* (2019) pour une variété de Djelfa, où les valeurs varient de 5,14 à 6 mg EAG/g.

La différence entre nos résultats et ceux trouvés dans la littérature peut s'expliquer par plusieurs facteurs. Selon Konieczynski *et al.* (2016), les variations dans les concentrations en polyphénols des plantes sont principalement attribuées à des facteurs génétiques, c'est-à-dire aux différentes espèces botaniques des échantillons étudiés, chaque variété de plantes possédant naturellement une teneur en composés phénoliques qui lui est propre. En outre, Estivi *et al.* (2023) affirment que les conditions de culture, y compris le sol et le climat, jouent un rôle significatif en affectant l'adaptation génétique des plantes et la concentration des composés phénoliques. Ils trouvent également que les techniques de traitement thermique, telles que le séchage, ainsi que les méthodes, le solvant et les paramètres d'extraction,

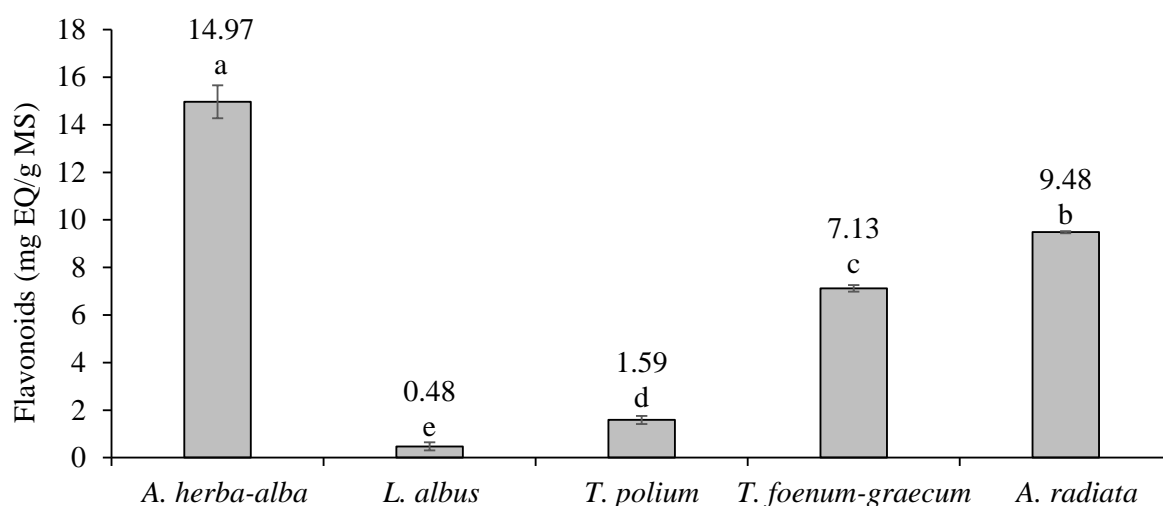


affectent le contenu en composés phénoliques. D'après [Eddine \*et al.\* \(2016\)](#), le degré de maturité des graines et des plantes influencent leur teneur en polyphénols.

[Ayad \*et al.\* \(2022\)](#) soulignent que le moment de la récolte influence la quantité des composés phénoliques, qui varie selon le stade physiologique de la plante. Les concentrations tendent à être plus élevées à certaines périodes de l'année, comme pendant la phase végétative ou la floraison. Selon [Park et Cha \(2003\)](#), les maladies peuvent altérer la teneur en polyphénols des plantes en perturbant leur métabolisme et en modifiant leur réponse biologique. Certaines infections peuvent entraîner une augmentation des polyphénols comme défense, tandis que d'autres peuvent réduire leur concentration en affectant la synthèse des métabolites. [Herrera-Pool \*et al.\* \(2021\)](#) trouvent que le choix du solvant d'extraction joue un rôle crucial ; les solvants plus polaires, tels que le méthanol, sont plus efficaces pour extraire les polyphénols comparés aux solvants moins polaires comme l'hexane et l'acétate d'éthyle.

## 2.2. Teneurs des flavonoïdes

Les flavonoïdes sont la principale classe de composés phénoliques présents de manière ubiquitaire dans les plantes, connus pour leurs propriétés antioxydantes et leurs effets bénéfiques sur la santé. Les teneurs en flavonoïdes des plantes étudiées sont exprimées en milligrammes équivalents de quercétine par gramme de matière sèche (Figure 7). Calculés à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage (Annexe 2).



**Figure 7 :** Teneurs en flavonoïdes des plantes étudiées.

Les résultats avec des lettres différentes sont significativement différents (ANOVA, test LSD,  $p < 0.05$ ,  $a > b > c > d > e$ ).

Les résultats en flavonoïdes des plantes étudiées montrent des variations significatives des teneurs, qui varient entre 0,48 mg EQ/g pour *L. albus* (lupin blanc) et 14,97 mg EQ/g pour *A. herba-alba* (armoise).

L'*A. herba-alba* présente une teneur en flavonoïdes proche de celle trouvée par [Laouini et al. \(2018\)](#) pour une variété d'El Oued en Algérie, avec une concentration de 15,51 mg EQ/g. Elle est cependant inférieure à celle observée par [Bourgou et al. \(2016\)](#) pour une variété tunisienne (44 mg EQ/g), tout en étant supérieure à celle rapportée par [Souhila et al. \(2019\)](#) pour une variété de Djelfa en Algérie (8,3 mg EQ/g).

La teneur en flavonoïdes du *L. albus* (lupin blanc) étudié est comparable à celle trouvée par [Bednarek et al. \(2003\)](#) pour une plante d'un échantillon polonais, qui est de 0,59 mg EQ/g. En revanche, elle est inférieure à la quantité de 37,64 mg EQ/g rapportée par [Zornoza et al. \(2010\)](#).

Pour *T. polium*, la concentration en flavonoïdes mesurée dans notre étude dépasse la quantité de 0,125 mg EQ/g pour une variété de Macédoine du Nord ([Stefkov et al., 2011](#)). Toutefois, elle est inférieure à celle trouvée en Iran, avec 189,74 mg EQ/g ([Esmaeili et al., 2009](#)).

Concernant le *T. foenum-graecum* étudié, la teneur en flavonoïdes est proche de celle observée par [Gikas et al. \(2011\)](#) avec 7,6 mg EQ/g pour une plante de Grèce. Cependant, elle est inférieure à celle trouvée par [Das \(2013\)](#) pour une variété indienne (26,22 mg EQ/g), mais elle dépasse la concentration de 0,8 mg EQ/g rapportée par [Sambandam et al. \(2016\)](#) pour une autre variété indienne.

Pour l'*A. radiata*, la teneur en flavonoïdes est comparable à celle trouvée par [Teggar et Guessoum \(2019\)](#) pour une plante de Ghardaïa, qui est de 16,37 mg EQ/g. Cependant, elle est inférieure à celles obtenues par [Lakhdar et al. \(2013\)](#) pour des variétés du Sud-Ouest de l'Algérie, qui varient de 45,83 à 70 mg EQ/g, mais elle est supérieure à celle rapportée par [Benslama et al. \(2019\)](#) pour une variété algérienne (0,05 mg EQ/g).

Les différences de teneur en flavonoïdes peuvent être attribuées à divers facteurs. La nature et les composants du sol influencent la composition chimique des plantes. De plus, la température et l'altitude modifient la concentration et la diversité des flavonoïdes en fonction des conditions climatiques spécifiques. La culture des plantes dans des conditions de température ou d'altitude extrêmes peut induire des changements dans la production de

flavonoïdes, permettant ainsi aux plantes de s'adapter à leur environnement (Benyahia *et al.*, 2021).

Le stress abiotique, tel que le stress hydrique, la sécheresse, la salinité et les variations du pH du sol, modifie également la composition chimique des plantes en affectant la concentration des métabolites secondaires, notamment les flavonoïdes. Ces conditions influencent les processus physiologiques et biochimiques des plantes, ainsi que la synthèse des composés chimiques. Les carences en nutriments et les facteurs biotiques, tels que les pathogènes et les pesticides, exacerbent ces changements en induisant un stress oxydatif et cytotoxique (Yaldiz et Camlica, 2021).

La teneur en flavonoïdes dans les extraits de plantes est également influencée par le type de solvant utilisé lors de l'extraction. Les solvants polaires, tels que le méthanol et l'éthanol mélangés à l'eau, sont particulièrement efficaces pour extraire les flavonoïdes, car ces composés se dissolvent mieux dans des milieux polaires (Sambandam *et al.*, 2016). Enfin, la méthode analytique utilisée joue un rôle crucial dans la détermination de la teneur en flavonoïdes. Des techniques comme la HPLC-DAD et la LC-MS/MS permettent une identification précise et une quantification fiable des flavonoïdes grâce à leur haute résolution et sensibilité, même à de faibles concentrations (Fatima *et al.*, 2022).

### 2.3. Teneurs en anthocyanines et en flavonols

Les teneurs en anthocyanines et en flavonols des plantes dans notre étude sont calculées en appliquant la loi de Beer-Lambert. Les résultats sont exprimés en mg équivalent par gramme de matière sèche. Les Figures 8 et 9 montrent les teneurs en anthocyanines et flavonols des plantes étudiées. Les teneurs en anthocyanines des plantes étudiées varient de 0,04 mg EC3G/g pour *L. albus* et *T. polium* à 0,31 mg EC3G/g pour *A. herba-alba* (Figure 8).

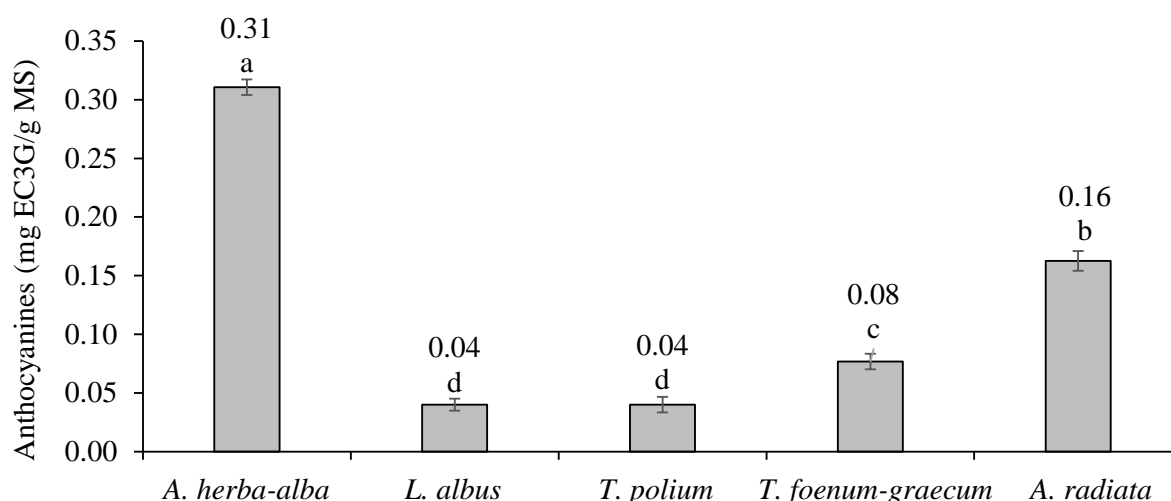
La teneur en anthocyanines d'*A. herba-alba* (armoïse) dans notre étude est similaire à certaines valeurs trouvées par Mazandarani *et al.* (2012) pour une variété iranienne, variant de 0,03 à 3,59 mg EC3G/g. Cependant, elle reste en deçà de la concentration de 4,8 mg EC3G/g rapportée par Laouini *et al.* (2018) pour une variété d'El Oued, bien qu'elle surpasse les niveaux de 0,089 mg EC3G/g trouvés par Mohebbi (2018).

Pour *L. albus* (lupin blanc), notre mesure de la concentration en anthocyanines est en ligne avec celle de 0,11 mg EC3G/g obtenue par Ben Hassine *et al.* (2021) pour une variété tunisienne. Elle est nettement plus élevée que la valeur de 0,007 mg EC3G/g pour une variété

portugaise trouvée par [Guilengue et al. \(2020\)](#). Toutefois, elle est inférieure à la concentration de 0,42 mg EC3G/g observée par [Zornoza et al. \(2010\)](#) pour une variété espagnole.

Concernant *T. polium* (germandrée tomenteuse), la teneur en anthocyanines mesurée se situe entre les résultats de diverses études. Elle est proche des valeurs de 0,01 à 0,04 mg EC3G/g rapportées par [Meguellati et al. \(2022\)](#) pour une variété de Ghardaïa en Algérie, mais elle est inférieure à la concentration de 4,26 mg EC3G/g trouvée par [Saghafi et al. \(2013\)](#) pour une variété iranienne.

Pour *T. foenum-graecum* (fenugrec), la concentration en anthocyanines de 0,04 mg EC3G/g dans notre étude est identique à celle trouvée par [Kamalvand et al. \(2022\)](#). Elle est en revanche inférieure à la concentration élevée de 2,81 mg EC3G/g observée par [Yousefi et al. \(2015\)](#), mais dépasse la valeur de 0,002 mg EC3G/g notée par [Qader et Yaman \(2022\)](#) pour une variété indienne. La concentration en anthocyanines pour *A. radiata* (anvilléa rayonnante) correspond à celle de 0,01 mg EC3G/g mentionnée par [Marrelli et al. \(2020\)](#) pour une variété italienne.



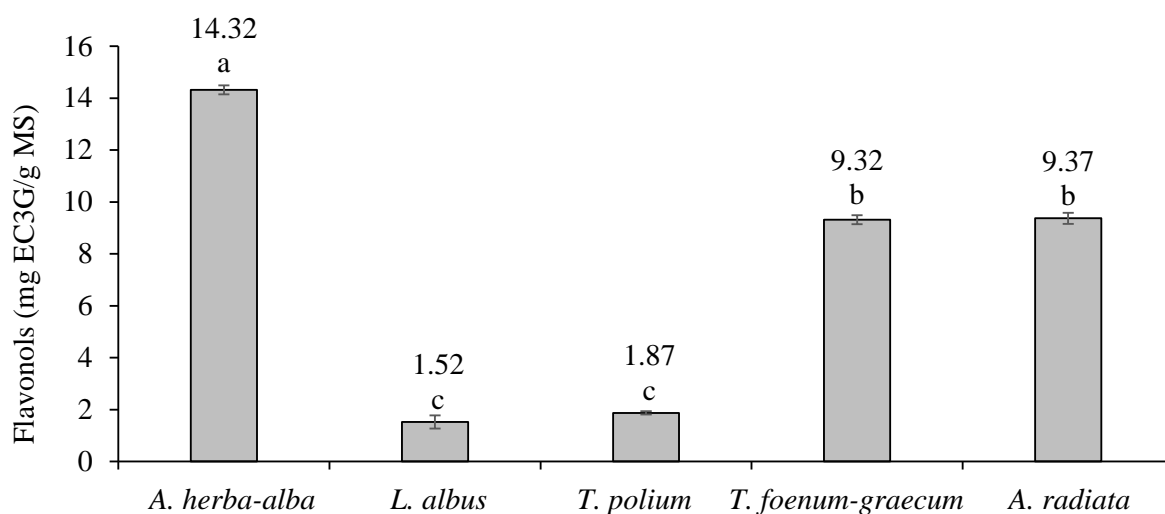
**Figure 8 :** Teneurs en anthocyanines des plantes étudiées.

Les résultats avec des lettres différentes sont significativement différents (ANOVA, test LSD,  $p < 0.05$ ,  $a > b > c > d$ ).

Les résultats de la figure 9 révèlent que les teneurs en flavonols des plantes étudiées varient entre 52 mg EQ3G/g pour *L. albus* et 14,31 mg EQ3G/g pour *A. herba-alba*. *T. foenum-graecum* et *A. radiata* présentent des teneurs intermédiaires similaires, avec 9,35 mg EQ3G/g.

La teneur en flavonols d'*A. herba-alba* dans notre étude est inférieure à la concentration de 32,85 mg EQ3G/g rapportée par [El Hajli et al. \(2024\)](#) pour une variété marocaine, mais elle dépasse le niveau de 0,085 mg EQ3G/g trouvé par [Younsi et al. \(2018\)](#) pour une variété tunisienne.

La concentration en flavonols de *L. albus* est en accord avec les valeurs obtenues par [Ranilla et al. \(2009\)](#) pour une variété brésilienne (1,3 mg EQ3G/g). Cependant, elle est nettement supérieure à la valeur de 0,29 mg EQ3G/g observée pour une variété tunisienne ([Ben Hassine et al. 2021](#)), bien qu'elle soit inférieure à la concentration de 6,1 mg EQ3G/g trouvée par [Ranilla et al. \(2009\)](#) pour une autre variété brésilienne.



**Figure 9 :** Teneurs en flavonols des plantes étudiées.

Les résultats avec des lettres différentes sont significativement différents (ANOVA, test LSD,  $p < 0.05$ ,  $a > b > c$ ).

Concernant *T. polium*, la teneur en flavonols est proche de la concentration de 4,32 mg EQ3G/g décrite par [Alghazeer et al. \(2021\)](#) pour une variété libyenne. Néanmoins, elle est inférieure à la valeur de 73,34 mg EQ3G/g trouvée par [Stefkov et al. \(2012\)](#) pour une variété bulgare, tout en étant supérieure à la valeur de 0,45 mg EQ3G/g observée par [Roukia et al. \(2013\)](#) pour une variété de Ouargla, en Algérie.

Pour *T. foenum-graecum*, notre valeur de 9,35 mg EQ3G/g est comparable aux 8,46 mg EQ3G/g mentionnés par [Al-Maamari et al. \(2016\)](#) pour une plante d'Oman. Cependant, elle est inférieure à la concentration élevée de 91,08 mg EQ3G/g observée par [Uras Güngör et al. \(2014\)](#) pour une variété turque, mais dépasse la valeur de 0,703 mg EQ3G/g notée par [Nagulapalli Venkata et al. \(2017\)](#) pour une variété américaine.

Enfin, la concentration en flavonols pour *A. radiata* est de 9,35 mg EQ3G/g, ce qui est inférieur à la valeur de 102,31 mg EQ3C/g trouvée par [Kandouli et al. \(2022\)](#) pour une variété de Ghardaïa.

Selon [García-Pérez et al. \(2021\)](#), la teneur en anthocyanines dans les plantes peut être influencée par la composition du sol. Lorsque les plantes sont cultivées dans un sol pauvre en macronutriments, comme l'azote, le phosphore ou le potassium, elles subissent un stress nutritionnel, ce qui peut stimuler la production d'anthocyanines comme mécanisme de défense. De plus, les conditions climatiques influencent également les concentrations de ces composés actifs. [Djellouli et al. \(2013\)](#) ont constaté que les flavonoïdes, notamment les anthocyanines et les flavanols, sont influencés par les méthodes d'extraction. La préparation des extraits, qu'elle soit aqueuse ou à base de solvants organiques, peut moduler la concentration des flavonoïdes obtenus.

D'autre part, [Sultana et Anwar \(2008\)](#) affirment que la concentration des anthocyanines et des flavonols varie considérablement selon la partie de la plante. En général, les feuilles contiennent des niveaux beaucoup plus élevés que les racines ou l'écorce, en raison de leur rôle crucial dans la photosynthèse et la production de composés secondaires. Les conditions de croissance, telles que la lumière, la température et la disponibilité des nutriments, influencent également ces niveaux, entraînant des concentrations plus élevées dans les parties aériennes des plantes.

## 2.3. Activité antioxydante

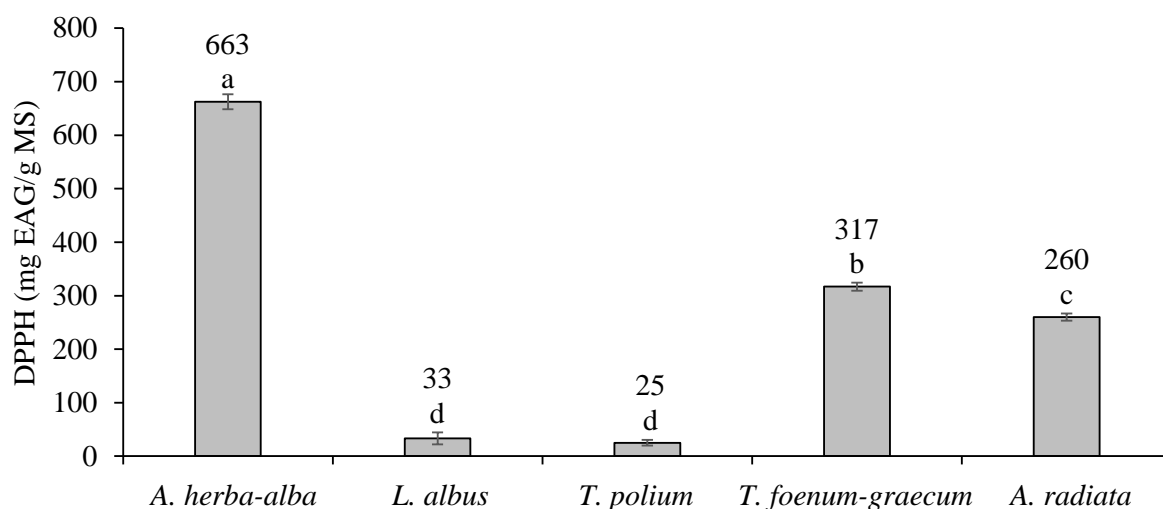
### 2.3.1. Activité anti-radical DPPH

Le DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) est un radical libre stable qui, en présence d'antioxydants, subit une réduction de sa couleur violette, indiquant la neutralisation du DPPH. L'activité anti-radicalaire DPPH des plantes étudiées est exprimée en mg équivalent d'acide gallique par gramme de matière sèche. Calculés à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage (Annexe 3). La Figure 10 montre les résultats de l'activité anti-radicalaire DPPH des plantes étudiées.

Les résultats de notre étude révèlent que *T. polium* affiche la plus faible activité antiradicalaire DPPH avec une valeur de 25 mg EAG/g, suivi par *L. albus* à 33 mg EAG/g. En revanche, *A. radiata* et *T. foenum-graecum* présentent des activités antiradicalaires

intermédiaires. Cependant, *A. herba-alba* se distingue nettement avec la valeur la plus élevée (663 mg EAG/g), soulignant ainsi son potentiel exceptionnel en tant qu'antioxydant.

L'activité anti-radicalaire DPPH d'*A. herba-alba* (armoise) observée dans notre étude est proche de celle obtenue par [Younsi et al. \(2016\)](#) pour une variété tunisienne, qui est de 503 mg EAG/g. Cependant, cette valeur dépasse celle rapportée par [Ahmed-Laloui et al. \(2022\)](#) pour une variété du sud-est de l'Algérie (Hoggar), qui s'élève à 72,07 mg EAG/g, tout en restant inférieure à la valeur de 900 mg EAG/g trouvée par [Akrouit et al. \(2009\)](#) pour une autre variété tunisienne.



**Figure 10 :** Activité anti-radicalaire DPPH des plantes étudiées.

Les résultats avec des lettres différentes sont significativement différents (ANOVA, test LSD,  $p < 0.05$ ,  $a > b > c > d$ ).

Pour *L. albus* (lupin blanc), l'activité anti-radicalaire DPPH mesurée dans notre étude est proche de celle trouvée par [Dalaram \(2017\)](#) pour une variété slovaque (19,21 mg EAG/g). Elle est supérieure à 1,92 mg EAG/g rapportée par [Ben Hassine et al. \(2021\)](#) pour une variété tunisienne. En revanche, elle est inférieure à la valeur observée par [Abd El Mohsen et Soliman \(2021\)](#) pour une variété égyptienne (96,3 mg EAG/g).

Le *T. polium* (germandrée tomenteuse) étudié présente une activité anti-radicalaire DPPH comparable à celle observée par d'[Abrosca et al. \(2013\)](#) pour une variété italienne, avec 24,41 mg EAG/g. Toutefois, elle reste inférieure à la valeur trouvée par [Kadifkova Panovska \(2005\)](#) pour une variété macédonienne, qui atteint 70 mg EAG/g, tout en étant nettement supérieure à celle trouvée par [Stankovic et al. \(2012\)](#) pour une variété du Monténégro (2,19 mg EAG/g).

La valeur de l'activité anti-radicalaire DPPH de *T. foenum-graecum* (fenugrec) mesurée dans notre étude est proche de celle obtenue par [Kenny et al. \(2013\)](#) pour une variété irlandaise, avec une activité de 353,38 mg EAG/g. Cependant, elle est inférieure à 541,7 mg EAG/g observée par El [Yaacoubi et al. \(2021\)](#), tout en dépassant largement la valeur mesurée par [Godebo et al. \(2019\)](#) pour une variété éthiopienne de fenugrec (0,29 mg EAG/g).

Pour *A. radiata* (anvilléa rayonnante), l'activité anti-radicalaire DPPH observée est similaire à celle trouvée par [Mohamed et al. \(2015\)](#) pour une variété du Maroc, soit 265,52 mg EAG/g. Cependant, elle est inférieure à la valeur de 114,45 mg EAG/g mentionnée par [Youl et al. \(2023\)](#) pour une plante du Burkina Faso, tout en dépassant celle rapportée par [Mahdjar et al. \(2019\)](#) pour une variété de la Wilaya de Ouargla, où la valeur est de 0,2 mg EAG/g.

Les écarts entre nos résultats et ceux rapportés dans la littérature peuvent être attribués à plusieurs facteurs. L'activité antioxydante évaluée par la méthode DPPH est fortement influencée par plusieurs paramètres cruciaux. [Bouguerra et al. \(2020\)](#) mentionnent dans leur étude que la diversité et la concentration des composés phénoliques présents dans les extraits de plantes jouent un rôle majeur dans la variation de cette activité. En effet, les différences dans la structure et la concentration de ces composés peuvent modifier leur capacité à neutraliser les radicaux libres, ce qui est également prouvé dans notre étude, où les résultats de l'activité anti-radicalaire DPPH sont en accord avec le contenu total en polyphénols des plantes. [Elazzouzi et al. \(2022\)](#) indiquent que la qualité chimique des composés est également cruciale ; la structure des composés phénoliques et leurs interactions peuvent influencer de manière significative l'efficacité antioxydante. La présence de groupes fonctionnels spécifiques et la configuration spatiale des molécules phénoliques affectent leur capacité à piéger les radicaux libres. De plus, les interactions entre les différents composés phénoliques peuvent moduler leur activité antioxydante globale, rendant ainsi la composition chimique un facteur clé dans l'évaluation de leur potentiel antioxydant.

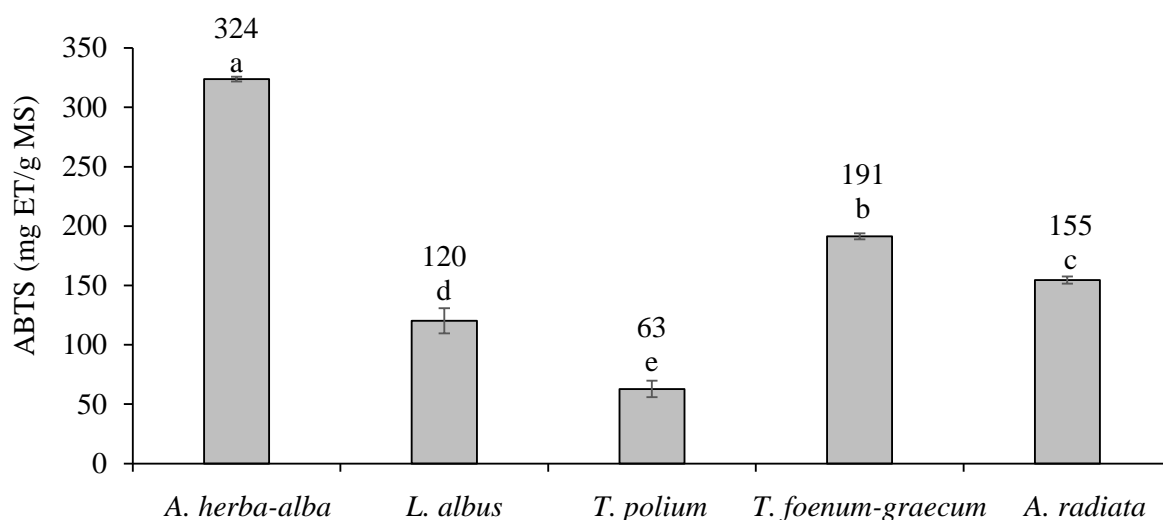
Selon [Kebbab et al. \(2024\)](#), la polarité du solvant utilisé pour l'extraction joue un rôle important dans l'activité antioxydante. De plus, le type d'extrait joue un rôle clé ; les extraits bruts présentent souvent des niveaux plus élevés de phénols et flavonoïdes, et une activité antioxydante plus élevée comparée aux fractions obtenues par fractionnement.



### 2.3.2. Activité anti-radical ABTS

Les résultats de l'activité anti-radical ABTS des plantes étudiées (Figure 11) sont déterminés en se référant à la courbe d'étalonnage réalisée avec le Trolox, et les valeurs sont exprimées en mg équivalent Trolox par gramme de matière sèche. Calculés à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage (Annexe 4).

Les résultats montre que les plantes *L. albus*, *A. radiata* et *T. foenum-graecum* expriment des activités antiradicalaires ABTS médianes. *T. polium* présente la plus faible activité antiradicalaire ABTS, avec seulement 63 mg ET/g. En revanche, la valeur la plus élevée est attribuée à *A. herba-alba*, qui affiche une impressionnante activité de 324 mg ET/g.



**Figure 11** : Activité anti-radical ABTS des plantes étudiées.

Les résultats avec des lettres différentes sont significativement différents (ANOVA, test LSD,  $p < 0.05$ ,  $a > b > c > d > e$ ).

L'activité antiradicalaire ABTS d'*A. herba-alba* (armoise) observée dans notre étude est comparable à celle rapportée par [Al Jahid et al. \(2016\)](#) pour une variété marocaine, avec une valeur de 123,9 mg ET/g, et elle est significativement plus élevée que celle trouvée par [Laouini et al. \(2018\)](#) pour une variété du sud-est de l'Algérie (El Oued) avec 24,55 mg ET/g. Cependant, elle reste inférieure à la valeur maximale de 591,23 mg ET/g observée par [Neagu et al. \(2023\)](#).

Concernant *L. albus* (lupin blanc), l'activité antiradicalaire ABTS mesurée dans notre étude correspond étroitement à celle rapportée par [Estivi et al. \(2022\)](#) pour une variété péruvienne (123,9 mg ET/g). Cette valeur est nettement supérieure à celle rapportée par [Ben Hassine et al. \(2021\)](#) pour une variété tunisienne (17,58 mg ET/g), mais inférieure à celle

mesurée par [Kaska et al. \(2023\)](#) pour une variété turque, atteignant 217,11 mg ET/g, indiquant des différences géographiques marquées.

Pour *T. polium* (germandrée tomenteuse), l'activité antiradicalaire ABTS se situe dans la plage observée par [Abrosca et al. \(2013\)](#) pour des variétés italiennes, comprise entre 34,08 et 65,87 mg ET/g. Toutefois, cette valeur reste inférieure à celle de 239,6 mg ET/g trouvée par [Tarawneh et al. \(2008\)](#) pour une variété jordanienne, mais elle est largement supérieure à la valeur très basse de 0,042 mg ET/g rapportée par [Noumi et al. \(2020\)](#) pour une variété tunisienne. Ces variations importantes mettent en lumière l'influence des facteurs écophysiologiques et phytogéographiques.

Pour *T. foenum-graecum* (fenugrec), la valeur d'activité antiradicalaire ABTS mesurée dans notre étude est en accord avec celle observée par [Akbari et al. \(2019\)](#) pour une variété malaisienne (161,3 mg ET/g). Néanmoins, elle est inférieure à la valeur élevée de 782,2 mg ET/g rapportée par [El Yaacoubi et al. \(2021\)](#). D'autre part, elle surpasse de manière significative la faible activité de 0,96 mg ET/g mesurée par [Priya et al. \(2011\)](#) pour une variété indienne.

Enfin, pour *A. radiata* (anvillée rayonnante), l'activité antiradicalaire ABTS relevée est similaire à celle rapportée par [Kandouli et al. \(2022\)](#), soit 641,3 mg ET/g. Toutefois, elle est supérieure à la valeur de 104 mg ET/g observée par [Youl et al. \(2023\)](#) pour une plante du Burkina Faso, tout en dépassant largement les 0,351 mg ET/g mesurés par [Mahamat et al. \(2021\)](#) pour une variété sénégalaise, reflétant à nouveau une variabilité significative entre les régions.

Plusieurs études montrent que l'activité antiradicalaire ABTS peut être conditionnée par divers paramètres. [Angelino et al. \(2024\)](#) trouvent que le temps d'incubation joue un rôle crucial dans l'évaluation de l'activité antioxydante. Un temps d'incubation adéquat permet aux composés actifs d'interagir pleinement avec les radicaux ABTS, assurant une mesure précise de leur efficacité. Un temps trop court peut limiter cette interaction, tandis qu'un temps excessif peut entraîner des interactions non spécifiques ou une dégradation des composés.

Le rendement d'extraction des composés est un autre facteur influent. Selon [Ickovsk et al. \(2020\)](#), un rendement d'extraction plus élevé peut entraîner une quantité accrue de composés actifs, ce qui peut, à son tour, influencer positivement l'activité antioxydante des extraits. La technique d'extraction elle-même est également déterminante, comme le souligne

Hanania *et al.* (2018). Chaque méthode d'extraction libère et concentre les antioxydants de manière différente, ce qui peut affecter l'efficacité finale des extraits.

Aussi, la partie de la plante d'où provient l'extrait joue un rôle considérable dans son activité antioxydante. Les analyses révèlent que les extraits des parties aériennes des plantes, telles que les feuilles, présentent une activité antioxydante supérieure par rapport à ceux des racines (Trifan *et al.*, 2022).

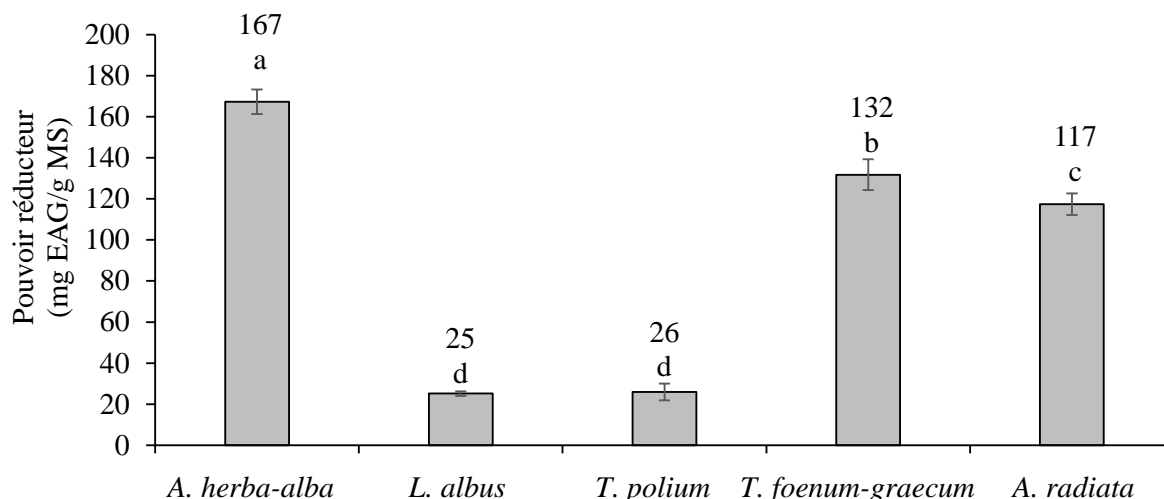
Erel *et al.* (2012) démontrent que l'origine géographique des plantes a un impact significatif sur leur composition chimique, ce qui peut moduler l'activité antioxydante, notamment l'activité antiradicalaire ABTS et DPPH des extraits. Les conditions de croissance et la localisation des plantes influencent donc leur potentiel antioxydant.

Enfin, le degré de polymérisation des antioxydants joue un rôle crucial. Chaouche *et al.* (2013) notent que les antioxydants polymérisés, avec leur structure plus complexe, peuvent interagir avec plusieurs radicaux libres simultanément, augmentant ainsi leur activité antiradicalaire (ABTS et DPPH).

### 2.3.3. Pouvoir réducteur

Les résultats du pouvoir réducteur exprimés en milligrammes équivalent d'acide gallique par un gramme de matière sèche. La figure 12 montre les résultats du pouvoir réducteur des plantes étudiées. Calculés à partir de l'équation de régression de la courbe d'étalonnage (Annexe 5).

Les résultats de l'évaluation du pouvoir réducteur des plantes étudiées montrent des variations significatives. *L. albus* et *T. polium* affichent les teneurs les plus faibles. *A. radiata* et *T. foenum-graecum* montrent des valeurs intermédiaires. Le pouvoir réducteur le plus élevé est enregistré pour *A. herba-alba* (167 mg EAG/g).



**Figure 12 :** Pouvoir réducteur des plantes étudiées.

Les résultats avec des lettres différentes sont significativement différents (ANOVA, test LSD,  $p < 0.05$ ,  $a > b > c > d$ ).

Le pouvoir réducteur d'*A. herba-alba* (armoise) observé dans notre étude est comparable à celui rapporté par [Mohammed et al. \(2021\)](#) pour une variété originaire du centre de l'Inde, qui est de 160 mg EAG/g. Toutefois, cette valeur demeure inférieure à celle rapportée par [Ayad et al. \(2022\)](#) pour une variété de la Wilaya de Tiaret en Algérie, avec une concentration de 249,88 mg EAG/g. À l'inverse, elle excède les valeurs obtenues par [Kadri et al. \(2011\)](#) pour des variétés tunisiennes, qui oscillent entre 5 et 70 mg EAG/g.

Pour *L. albus* (lupin blanc), le pouvoir réducteur mesuré dans notre étude est similaire à celui rapporté par [Hanania et al. \(2019\)](#) pour une variété palestinienne, soit 20,24 mg EAG/g. Cette valeur est nettement supérieure à celle observée par Ben [Hassine et al. \(2021\)](#) pour une variété tunisienne, qui est de 4,11 mg EAG/g.

Concernant *T. polium* (germandrée tomenteuse), le pouvoir réducteur déterminé dans notre étude se situe dans l'intervalle des valeurs observées dans d'autres travaux. Il est comparable à celui rapporté par [El-Guourrami et al. \(2023\)](#) pour une variété marocaine (29,632 mg EAG/g), mais inférieur à celui obtenu par [Alghazeer et al. \(2021\)](#) pour une variété libyenne (100 mg EAG/g). Toutefois, il est significativement supérieur à la valeur de 2,31 mg EAG/g rapportée par [El Atki et al. \(2020\)](#).

Le pouvoir réducteur de *T. foenum-graecum* (fenugrec) mesuré dans notre étude est en accord avec celui rapporté par [El Yaacoubi et al. \(2021\)](#), qui est de 108,33 mg EAG/g. Cependant, il est inférieur à la valeur de 773,5 mg EAG/g observée par [Kenny et al. \(2013\)](#)

pour une variété irlandaise, mais dépasse la concentration très faible rapportée par [Godebo et al. \(2019\)](#) pour une variété éthiopienne (0,89 mg EAG/g).

Pour *A. radiata* (anvillée rayonnante), le résultat observé dans notre étude est proche des 109,7 mg EAG/g rapportés par [Mohamed et al. \(2015\)](#). Cependant, il est inférieur à la valeur de 358,58 mg EAG/g obtenue par [Mahdjar et al. \(2019\)](#) pour une variété de la Wilaya de Ouargla, mais excède celle de 2,5 mg EAG/g rapportée par [Mahamat et al. \(2021\)](#) pour une variété sénégalaise.

Les variations des résultats du pouvoir réducteur des différentes plantes dans diverses études peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs. Selon [Wahnou et al. \(2024\)](#), les techniques d'extraction influencent la composition des extraits, affectant ainsi leur efficacité antioxydante. En parallèle, la présence et la concentration des composés phénoliques et des flavonoïdes dans les extraits contribuent de manière significative à leur pouvoir antioxydant.

Le pouvoir réducteur de l'espèce est directement influencé par le nombre de groupes hydroxyles que les composés phénoliques contiennent. Un nombre plus élevé de groupes OH dans ces composés renforce leur capacité à agir comme donneurs d'électrons. Cela permet aux composés phénoliques d'augmenter leurs propriétés réductrices et antioxydantes ([Sousa et al., 2008](#) ; [Bougandoura et Bendimerad, 2012](#)).

[Ayad et al. \(2022\)](#) démontrent dans leur étude que la capacité réductrice des extraits est influencée par le solvant d'extraction et les antioxydants de référence utilisés. Les solvants méthanoliques et éthanoïques offrent généralement une meilleure capacité réductrice que les solvants aqueux. De plus, la performance antioxydante des extraits peut varier en fonction des antioxydants standards de comparaison, tels que l'acide gallique, la quercétine et l'acide ascorbique.

# **Conclusion**

## Conclusion

Cette étude s'est focalisée sur l'évaluation de l'activité antioxydante de cinq plantes médicinales antidiabétiques couramment utilisées par la population algérienne : *Artemisia herba-alba*, *Lupinus albus*, *Teucrium polium*, *Trigonella foenum-graecum* et *Anvillea radiata*. Les composés phénoliques, flavonoïdes, flavonols et anthocyanines présents dans ces plantes ont été extraits et dosés, tandis que l'activité antioxydante a été évaluée par trois méthodes différentes : l'inhibition des radicaux libres DPPH et ABTS, ainsi que le test du pouvoir réducteur.

Les résultats révèlent qu'*Artemisia herba-alba* se distingue comme la plante la plus riche en composés bioactifs, avec des teneurs de 25,06 mg EAG/g en polyphénols, 14,97 mg EQ/g en flavonoïdes, 0,31 mg EC3G/g en anthocyanines, et 14,32 mg EC3G/g en flavonols. En termes d'activité antioxydante, *Artemisia herba-alba* a également montré les meilleures performances parmi les plantes étudiées, avec une activité antiradicalaire DPPH de 663 mg EAG/g, une activité ABTS de 324 mg ET/g et un pouvoir réducteur de 167 mg EAG/g. Ces résultats confirment son potentiel thérapeutique exceptionnel.

Les tests ont également mis en évidence des niveaux significatifs d'activité antioxydante pour *Trigonella foenum-graecum*, *Anvillea radiata*, *Lupinus albus*, et *Teucrium polium*, bien que ces valeurs restent inférieures à celles observées pour *Artemisia herba-alba*. Cette étude souligne les variations importantes dans la teneur en composés bioactifs et l'activité antioxydante entre les différentes plantes étudiées.

Ainsi, *Artemisia herba-alba* émerge comme une option thérapeutique prometteuse pour la gestion du diabète, en raison de ses propriétés antioxydantes remarquables. Les résultats obtenus renforcent également la valeur des autres plantes étudiées et suggèrent que des recherches futures pourraient optimiser leur utilisation dans des approches thérapeutiques complémentaires. Cette recherche ouvre la voie à de nouvelles alternatives naturelles pour améliorer la gestion du diabète et la qualité de vie des patients.

# **Références Bibliographiques**



## Références bibliographiques

- Abbas, M., Saeed, F., Anjum, F. M., Afzaal, M., Tufail, T., Bashir, M. S., & Suleria, H. A. R. (2017). Natural polyphenols: An overview. *International Journal of Food Properties*, 20(8), 1689-1699.
- Abd El Mohsen, M. S., & Soliman, S. S. In Vitro Antioxidant and Cytotoxic Evaluation of Lupinus Albus ethanol Extract towards Hepatic Cancer Cell Line (2021).
- Abu-Odeh, A. M., & Talib, W. H. (2021). Middle East medicinal plants in the treatment of diabetes: a review. *Molecules*, 26(3), 742.
- Ahmed-Laloui, H., Zaak, H., Rahmani, A., Kashi, I., Chemat, S., Miara, M. D., & Derdour, M. (2022). Assessment of artemisinin and antioxidant activities of three wild Artemisia species of Algeria. *Natural Product Research*, 36(24), 6344-6352.
- Akbar, S., & Akbar, S. (2020). Lupinus albus L. (Fabaceae/Leguminosae) (Syn.: L. termis Forssk.). *Handbook of 200 Medicinal Plants: A Comprehensive Review of Their Traditional Medical Uses and Scientific Justifications*, 1123-1128.
- Akbari, S., Abdurahman, N. H., Yunus, R. M., Alara, O. R., & Abayomi, O. O. (2019). Extraction, characterization and antioxidant activity of fenugreek (*Trigonella-foenum graecum*) seed oil. *Materials Science for Energy Technologies*, 2(2), 349-355.
- Akrout, A., El Jani, H., Amouri, S., & Neffati, M. (2009). Screening of antiradical and antibacterial activities of essential oils of *Artemisia campestris* L., *Artemisia herba-alba* asso, & *thymus capitatus* hoff. Et link. Growing wild in the southern of Tunisia. *Recent Research in Science and Technology*, 2(1).
- Al Jahid, A., Essabaq, S., Elamrani, A., Blaghen, M., & Jamal Eddine, J. (2016). Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of the essential oil and the hydro-alcoholic extract of *Artemisia campestris* L. leaves from southeastern Morocco. *Journal of Biologically Active Products from Nature*, 6(5-6), 393-405.
- Alam, S., Hasan, M. K., Neaz, S., Hussain, N., Hossain, M. F., & Rahman, T. (2021). Diabetes Mellitus: insights from epidemiology, biochemistry, risk factors, diagnosis, complications and comprehensive management. *Diabetology*, 2(2), 36-50.
- Alghazeer, R., Elgahmasi, S., Abdullah, E., Ahtiwesh, O., Althaluti, E., Shamlan, G., & Eskandrani, A. A. (2021). Elucidation of nutritional, phytochemical and pharmacological activities of *Teucrium polium* L. grown in Libya. *JAPS: Journal of Animal & Plant Sciences*, 31(5).
- Al-Maamari, I. T., Khan, M. M., Ali, A., Al-Sadi, A. M., Waly, M. I., & Al-Saady, N. A. (2016). Diversity in phytochemical composition of Omani fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) accessions. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 53(4).
- Angelino, D., D'Antonio, V., Ramal-Sanchez, M., & Serafini, M. (2024). Antioxidant and Anti-inflammatory Properties of Aqueous Extract and Digested Samples of Lupins (*Lupinus albus*) in Different In Vitro Cell Models. *Current Developments in Nutrition*, 8.
- Antar, S. A., Ashour, N. A., Sharaky, M., Khattab, M., Ashour, N. A., Zaid, R. T., & Al-Karmalawy, A. A. (2023). Diabetes mellitus: Classification, mediators, and complications; A gate to identify potential targets for the development of new effective treatments. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 168, 115734.
- Ayad, N., Benaraba, R., Hemida, H., & Abdellah, F. (2022). Biological activities of phenolic extracts from *Artemisia herba-alba* Asso grown in western Algeria. *European Journal of Biological Research*, 12(1), 46-61.
- Ayad, N., Benaraba, R., Hemida, H., & Abdellah, F. (2022). Biological activities of phenolic extracts from *Artemisia herba-alba* Asso grown in western Algeria. *European Journal of Biological Research*, 12(1), 46-61.

- Banday, M. Z., Sameer, A. S., & Nissar, S. (2020). Pathophysiology of diabetes: An overview. *Avicenna journal of medicine*, 10(04), 174-188.
- Barbach, Abdelhaq, Anas Ansari Chenguiti, Yahya Charrah, and Amina Barkat. Gestational diabetes: A review. *Biomedical and Pharmacology Journal* 16, no. 2 (2023): 673-686.
- Bednarek, P., Kerhoas, L., Einhorn, J., Frański, R., Wojtaszek, P., Rybus-Zajac, M., & Stobiecki, M. (2003). Profiling of flavonoid conjugates in *Lupinus albus* and *Lupinus angustifolius* responding to biotic and abiotic stimuli. *Journal of Chemical Ecology*, 29, 1127-1142.
- Belakredar, A., Hachem, K., Boudou, F., & Benabdesslem, Y. (2021). Polyphenol content and antioxidant activity of an endemic plant of Algerian Sahara: *Anvillea radiata*. *Polish Journal of Natural Sciences*, 36(1), 25-36.
- Belščak-Cvitanović, A., Durgo, K., Huđek, A., Bačun-Družina, V., & Komes, D. (2018). Overview of polyphenols and their properties. In *Polyphenols: Properties, recovery, and applications* (pp. 3-44). Wood head Publishing.
- Ben Hassine, A., Rocchetti, G., Zhang, L., Senizza, B., Zengin, G., Mahomoodally, M. F., & El-Bok, S. (2021). Untargeted phytochemical profile, antioxidant capacity and enzyme inhibitory activity of cultivated and wild lupin seeds from Tunisia. *Molecules*, 26(11), 3452.
- Benkhaira, N., Ech-Chibani, N., & Fikri-Benbrahim, K. (2021). Ethnobotanical survey on the medicinal usage of two common medicinal plants in Taounate Region: *Artemisia herba-alba* Asso and *Ormenis mixta* (L.) Dumort. *Ethnobotany Research and Applications*, 22, 1-19.
- Benslama, A., Harrar, A., Gül, F., & Demirtaş, I. (2019). In vitro antioxidant, antibacterial activities and HPLC-TOF/MS analysis of *Anvillea radiata* (Asteraceae) extracts. *Current Nutrition & Food Science*, 15(4), 376-383.
- Benyahia, A., El-Kadi, F. Z., Khedoudja, K., Touati, R., Boumaza, D., & Lamri, M. (2021). Contribution to the phytochemical study of the *Artemisia herba alba* species (white wormwood) from the Naama region (eastern Algeria).
- Blahova, J., Martiniakova, M., Babikova, M., Kovacova, V., Mondockova, V., & Omelka, R. (2021). Pharmaceutical drugs and natural therapeutic products for the treatment of type 2 diabetes mellitus. *Pharmaceuticals*, 14(8), 806.
- Bougandoura N. & Bendimerad N., 2012 : Evaluation de l'activité antioxydante des extraits aqueux et méthanolique de *Satureja calamintha* ssp. *Nepeta* (L.) Briq. *Nature & Technologie* (9), 14 – 17
- Bouguerra, A., Djebili, S., Zouaoui, N., & Barkat, M. (2020). Evaluation of phenolic contents and antioxidant activities of some medicinal plants growing in Algerian Aurès Mountains. *Acta Scientifica Naturalis*, 7(2), 15-30. Bouguerra, A., Djebili, S.,
- Boukhenoufa, A., Benmagnia, S., Maizi, Y., Touil, A. M. T., & Meddah, B. (2021). Antifungal and antioxidant activities of *Artemisia herba-alba* Asso. *European Journal of Biological Research*, 11(4), 493-500.
- Bourgou, S., Rebey, I. B., Mkadmini, K., Isoda, H., Ksouri, R., & Ksouri, W. M. (2017). LC-ESI-TOF-MS and GC-MS profiling of *Artemisia herba-alba* and evaluation of its bioactive properties. *Food Research International*, 99, 702-712.
- Bourgou, S., Tammar, S., Salem, N., Mkadmini, K., & Msaada, K. (2016). Phenolic composition, essential oil, and antioxidant activity in the aerial part of *Artemisia herba-alba* from several provenances: A comparative study. *International Journal of Food Properties*, 19(3), 549-563.
- Boussaid I, Bouzenir D, Boulaiche S. (2014). Diabète de type 2 et phytothérapie: plantes hypoglycémiantes les plus utilisée par des sujet diabétiques. Université Canstantine 1, 101 p.
- Branch, S. (2013). Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) as a valuable medicinal plant. *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research*, 1, 922-931.
- Bush, L., & Fannin, F. F. (2009). Alkaloids. *Tall Fescue for the Twenty-first Century*, 53, 229-249.

- Cammilleri, G., Calabrese, V., Pantano, L., Brunone, M., Galluzzo, F. G., Pulvirenti, A., ... & Ferrantelli, V. (2023). Polyphenols of white lupin (*Lupinus albus* L.) seeds cultivated in Southern Italy by a LC-HRMS method. *Natural Product Research*, 1-5.
- Chaouche, T. M., Haddouchi, F., Ksouri, R., Medini, F., & Atik-Bekara, F. (2013). Évaluation in vitro de l'activité antioxydante d'extraits hydro-méthanoliques de *Juniperus oxycedrus* subsp. *oxycedrus*. *Phytothérapie*, 11, 244-249.
- Colagiuri, S. (2021). Definition and classification of diabetes and prediabetes and emerging data on phenotypes. *Endocrinology and Metabolism Clinics*, 50(3), 319-336.
- Craig, M. E., Jefferies, C., Dabelea, D., Balde, N., Seth, A., & Donaghue, K. C. (2014). Definition, epidemiology, and classification of diabetes in children and adolescents. *Pediatric diabetes*, 15.
- D'Abrosca, B., Pacifico, S., Scognamiglio, M., D'Angelo, G., Galasso, S., Monaco, P., & Fiorentino, A. (2013). A new acylated flavone glycoside with antioxidant and radical scavenging activities from *Teucrium polium* leaves. *Natural Product Research*, 27(4-5), 356-363.
- Dalaram, I. S. (2017). Evaluation of total polyphenol content and antioxidant capacity of different variety lupin seeds. *Slovak Journal of Food Sciences/Potravinarstvo*, 11(1).
- Das, S. (2013). Optimization of ultrasound-assisted extraction of total flavonoids and antioxidant properties from *Trigonella foenum-graecum* seeds with response surface methodology. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 4(11), 4308.
- Djellouli, M., Moussaoui, A., Benmehdi, H., Ziane, L., Belabbes, A., Badraoui, M., & Hamidi, N. (2013). Ethnopharmacological study and phytochemical screening of three plants (Asteraceae family) from the region of South West Algeria. *Asian journal of natural & applied sciences*, 2, 59-65
- Djeridane, A., Yousfi, M., Brunel, J. M. and Stocker, P. (2010). Isolation and characterization of a new steroid derivative as a powerful antioxidant from *Cleome arabica* in screening the *in vitro* antioxidant capacity of 18 Algerian medicinal plants, *Food and Chemical Toxicology*, 48(10): 2599-2606.
- Djeridane, A., Yousfi, M., Nadjemi, B., Boutassouna, D., Stocker, P., & Vidal, N. (2006). Antioxidant activity of some Algerian medicinal plants extracts containing phenolic compounds. *Food chemistry*, 97(4), 654-660.
- Djordjevic, O. M., Jakovljevic, M. R., Markovic, A., Stankovic, M., Ciric, A., Marinkovic, D., & Grujicic, D. (2018). Polyphenolic contents of *Teucrium polium* L. and *Teucrium scordium* L. associated with their protective effects against MMC-induced chromosomal damage in cultured human peripheral blood lymphocytes. *Turkish Journal of Biology*, 42(2), 152-162.
- Dwivedi, M., & Pandey, A. R. (2020). Diabetes mellitus and its treatment: an overview. *J Adv Pharmacol*, 1(1), 48-58
- Eddine, L. S., Redha, O. M., & Ladjel, S. (2016). Influence of solvent extraction on phenolic content, antioxidant and anti-inflammatory activities of aerial parts extract from Algerian *Artemisia Herba-alba*. *Journal of Pharmacy Research*, 10(1), 58-64.
- El Atki, Y., Aouam, I., El Kamari, F., Taroq, A., Lyoussi, B., Oumokhtar, B., & Abdellaoui, A. (2020). Phytochemistry, antioxidant and antibacterial activities of two Moroccan *Teucrium polium* L. subspecies: preventive approach against nosocomial infections. *Arabian Journal of Chemistry*, 13(2), 3866-3874.
- EL Hajli, F., Kachmar, M. R., Assouguem, A., Ullah, R., Bari, A., Hammani, K., & Echchgadda, G. (2024). Phytochemical analysis, in vitro antioxidant and antifungal activities of extracts and essential oil derived from *Artemisia herba-alba* Asso. *Open Chemistry*, 22(1), 20230200.
- El Yaacoubi, A., Ainane, A., & Ainane, T. Antimicrobial and antioxidant activities of *Trigonella foenum-graecum* essential oil from the region of Settat (Morocco) (2021).

- Elazzouzi, H., Zekri, N., Zair, T., & El Belghiti, M. A. (2022). Total phenolic and flavonoid contents of *Artemisia ifranensis* J. Didier plant extracts and their antioxidant activity. *Journal of Medical Pharmaceutical and Allied Sciences*, 11(1), 4419-4423.
- El-Guourrami, O., Elbouny, H., Benlabchir, A. A., Drioua, S., Ouahzizi, B., Alem, C., & Benzeid, H. (2023). Phytochemical analysis, antioxidant, and antihyperlipidemic activities of *teucrium takoumitense*. *Journal of Taibah University Medical Sciences*, 18(6), 1557.
- Eminian, S., Nguyen, S., Gana, K., & Ruiz, J. (2011). Quels sont les bénéfices d'un cours d'éducation au diabète, pour le patient et pour le médecin?. *Médecine des maladies Métaboliques*, 5(4), 431-435.
- EREL, Ş. B., Reznicek, G., Şenol, S. G., Yavaşoğlu, N. Ü. K., Konyalioğlu, S., & Zeybek, A. U. (2012). Antimicrobial and antioxidant properties of *Artemisia* L. species from western Anatolia. *Turkish Journal of Biology*, 36(1), 75-84.
- Esmaeili, M. A., Zohari, F., & Sadeghi, H. (2009). Antioxidant and protective effects of major flavonoids from *Teucrium polium* on  $\beta$ -cell destruction in a model of streptozotocin-induced diabetes. *Planta medica*, 75(13), 1418-1420.
- Estivi, L., Brandolini, A., Gasparini, A., & Hidalgo, A. (2023). Lupin as a Source of Bioactive Antioxidant Compounds for Food Products. *Molecules*, 28(22), 7529.
- Estivi, L., Grassi, S., Briceño-Berrú, L., Glorio-Paulet, P., Camarena, F., Hidalgo, A., & Brandolini, A. (2022). Free phenolic compounds, antioxidant capacity and FT-NIR survey of debittered *Lupinus mutabilis* seeds. *Processes*, 10(8), 1637.
- Farahbakhsh, J., Najafian, S., Hosseinfarahi, M., & Gholipour, S. (2021). Essential oil composition and phytochemical properties from leaves of felted germander (*Teucrium polium* L.) and spearmint (*Mentha spicata* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 24(1), 147-159.
- Fatima, H., Shahid, M., Pruitt, C., Pung, M. A., Mills, P. J., Riaz, M., & Ashraf, R. (2022). Chemical fingerprinting, antioxidant, and anti-inflammatory potential of hydroethanolic extract of *Trigonella foenum-graecum*. *Antioxidants*, 11(2), 364.
- Fenardji, F., Klur, M., Fourlon, C., & Ferrando, R. (1974). Contribution à l'étude de l'armoise blanche (*Artemisia herba alba* L.). *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, 27(2), 203-206.
- Ferchichi, N., Toukabri, W., Vrhovsek, U., Nouairi, I., Angeli, A., Masuero, D., & Trabelsi, D. (2021). Proximate composition, lipid and phenolic profiles, and antioxidant activity of different ecotypes of *Lupinus albus*, *Lupinus luteus* and *Lupinus angustifolius*. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 15, 1241-1257.
- Fu, Q., Chen, R., Xu, S., Ding, Y., Huang, C., He, B., ... & Li, S. (2024). Assessment of potential risk factors associated with gestational diabetes mellitus: evidence from a Mendelian randomization study. *Frontiers in Endocrinology*, 14, 1276836.
- García-Pérez, P., Ayuso, M., Lozano-Milo, E., Pereira, C., Dias, M. I., Ivanov, M., & Gallego, P. P. (2021). Phenolic profiling and in vitro bioactivities of three medicinal Bryophyllum plants. *Industrial Crops and Products*, 162, 113241.
- Gikas, E., Bazoti, F. N., Papadopoulos, N., Alesta, A., Economou, G., & Tsarbopoulos, A. (2011). Quantitation of the Flavonols Quercetin and Kaempferol in the Leaves of *Trigonella foenum-graecum* by High-Performance Liquid Chromatography–Diode Array Detection. *Analytical letters*, 44(8), 1463-1472.
- Godebo, D. D., Dessalegn, E., & Nigusse, G. (2019). Evaluation of Phytochemical Content and Antioxidant Capacity of Processed Fenugreek (*Trigonella foenum-graecu* L.) Flour Substituted Injera. *Evaluation*, 92.
- Greco, E., Calanducci, M., Nicolaidis, K. H., Barry, E. V., & ILIODROMITI, S. (2023). Gestational diabetes mellitus and adverse maternal and perinatal outcomes in twin and singleton

- pregnancies: a systematic review and meta-analysis. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*.
- Guilengue, N., Neves-Martins, J., & Talhinhos, P. (2020). Response to anthracnose in a tarwi (*Lupinus mutabilis*) collection is influenced by anthocyanin pigmentation. *Plants*, 9(5), 583.
- Gutiérrez-Grijalva, E. P., López-Martínez, L. X., Contreras-Angulo, L. A., Elizalde-Romero, C. A., & Heredia, J. B. (2020). Plant alkaloids: Structures and bioactive properties. *Plant-derived bioactives: chemistry and mode of action*, 85-117.
- Hafeez, J., Naem, M., Ali, T., Sultan, B., Hussain, F., Ur Rashid, H., & Shirzad, I. (2023). Comparative study of antioxidant, antidiabetic, cytotoxic potentials, and phytochemicals of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) and ginger (*Zingiber officinale*). *Journal of Chemistry*, 2023(1), 3469727.
- Hanania, M., Radwan, S., & Karmi, E. (2018). Extraction method and evaluation of phenolics, flavonoids, antioxidant activity, antimicrobial activity and minerals of bitter *Lupinus albus* in Palestine. *Journal of Biologically Active Products from Nature*, 8(2), 137-143.
- Hanania, M., Radwan, S., Abu Odeh, S., & Qumber, A. (2019). Determination of minerals, total phenolic content, flavonoids, antioxidants and antimicrobial activities of ethanolic extract of sweet *Lupinus angustifolius* of Palestine.
- Hebi, M., & Eddouks, M. (2018). Glucose lowering activity of *anvillea radiat* across & durieu in diabetic rats. *Cardiovascular & Haematological Disorders-Drug Targets (Formerly Current Drug Targets-Cardiovascular & Hematological Disorders)*, 18(1), 71-80.
- Herrera-Pool, E., Ramos-Díaz, A. L., Lizardi-Jiménez, M. A., Pech-Cohuo, S., Ayora-Talavera, T., Cuevas-Bernardino, J. C., ... & Pacheco, N. (2021). Effect of solvent polarity on the Ultrasound Assisted extraction and antioxidant activity of phenolic compounds from habanero pepper leaves (*Capsicum chinense*) and its identification by UPLC-PDA-ESI-MS/MS. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76, 105658.
- Hollman, P. C., & Katan, M. B. (1999). Health effects and bioavailability of dietary flavonols. *Free Radical Research*, 31(sup1), 75-80.
- Holt, R. I., & Flyvbjerg, A. (Eds.). (2024). *Textbook of diabetes*. John Wiley & Sons.
- Hrazdina, G., Marx, G. A., & Hoch, H. C. (1982). Distribution of secondary plant metabolites and their biosynthetic enzymes in pea (*Pisum sativum* L.) leaves: anthocyanins and flavonol glycosides. *Plant physiology*, 70(3), 745-748.
- Hurtado, M. D., & Vella, A. (2019). What is type 2 diabetes?. *Medicine*, 47(1), 10-15.
- Huyghe, C. (1997). White lupin (*Lupinus albus* L.). *Field Crops Research*, 53(1-3), 147-160.
- Ickovski, J. D., Mitić, M., Stojković, M., & Stojanović, G. (2020). Comparative analysis of HPLC profiles and antioxidant activity of *Artemisia alba* Turra from two habitats in Serbia. *Chemia Naissensis*, 3(2), 89-95.
- Iswarya, V., Mythili, S., & Sathiavelu, A. (2012). A Pharmacoreview of *Teucrium polium* L. *International Journal of Life Sciences and Technology*, 5(2), 8.
- Iwaka, C., Azando, E. V. B., Hountondji, F. C. C., Worogo, H. S. S., Attakpa, E. Y., Olounlade, P. A., & Hounzangbe-Adote, M. S. (2022). Medicinal plants of the African traditional pharmacopoeia in the management of bovine trypanosomosis: A review. *Journal of Medicinal Plants Research*, 16(6), 214-229.
- Jamal, I., & Laila, N. (2014). Activité antibactérienne (in vitro) de l'extrait aqueux des feuilles d'*Anvillea radiata* (Coss. & Dur.) sur des bactéries multirésistantes à des antibiotiques.
- Janež, A., Guja, C., Mitrakou, A., Lalic, N., Tankova, T., Czupryniak, L., & Smircic-Duvnjak, L. (2020). Insulintherapy in adults with type 1 diabetes mellitus: a narrative review. *Diabetes Therapy*, 11, 387-409.

- Jarald, E., Joshi, S.B., Jain, D. C.(2015). Diabetes and Herbal Medicines. *Iranian journal of pharmacology and therapeutic*, 7 ,102-103
- Kadifkova Panovska, T. A. T. J. A. N. A., Kulevanova, S., & Stefova, M. (2005). In vitro antioxidant activity of some *Teucrium species* (Lamiaceae). *Acta Pharmaceutica*, 55(2), 207-214.
- Kadri, A., Chobba, I. B., Zarai, Z., Békir, A., Gharsallah, N., Damak, M., & Gdoura, R. (2011). Chemical constituents and antioxidant activity of the essential oil from aerial parts of *Artemisia herba-alba* grown in Tunisian semi-arid region. *African Journal of Biotechnology*, 10(15), 2923-2929.
- Kamalvand, A. A., Hosseini Sarghein, S., & Karamian, R. (2022). Impact of cadmium stress on growth and physiological responses of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Journal of Plant Physiology and Breeding*, 12(1), 51-65.
- Kammerer, D. R. (2024). Anthocyanins. In *Handbook on natural pigments in food and beverages* (pp. 127-146). Woodhead Publishing.
- Kandouli, C., Leulmi, Z., Bahri, L., Oufroukh, K., Abdessemed, A., & Mechakra, A. (2022). Phytochemical Composition, Antioxidant Potential and a-Amylase Inhibitory Activity of Different Extracts from *Aaronsohnia pubescens* (Desf.). *Jordan Journal of Biological Sciences*, 15(4).
- Kanner, J. (2023). Food polyphenols as preventive medicine. *Antioxidants*, 12(12), 2103.
- Karkia, R., Giacchino, T., Shah, S., Gough, A., Ramadan, G., & Akolekar, R. (2023). Gestational Diabetes Mellitus: Association with Maternal and Neonatal Complications. *Medicina*, 59(12), 2096.
- Kasangana, P. B. (2018). Recherche des molécules bioactives antidiabétiques dans les extraits d'écorces de racines de *Myrianthus arboreus*. (Thèse de doctorat, Université Laval Canada).
- Kaska, A., & Seçme, M. (2023). The antioxidant potential, phenolic compounds, cytotoxic activity and mineral element analysis of *Gentiana septemfida* Pallas and its antiproliferative effect on HT-29 cell line. *European Journal of Integrative Medicine*, 59, 102240.
- Kawasaki, E. (2023). Anti-isletautoantibodies in type 1 diabetes. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(12), 10012.
- Kebbab, R., Boussebaa, W., Nabti, E., & Houali, K. (2024). Optimization of Antioxidant and Antimicrobial Activities by Fractionation of *Artemisia judaica* subsp. sahariensis Crude Extract from Ahaggar (Algerian Arid Region): UPLC-ESI-MS/MS Analysis of Fractions. *Current Bioactive Compounds*, 20(1), 53-67.
- Kenny, O., Smyth, T. J., Hewage, C. M., & Brunton, N. P. (2013). Antioxidant properties and quantitative UPLC-MS analysis of phenolic compounds from extracts of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) seeds and bitter melon (*Momordi cacharantia*) fruit. *Food chemistry*, 141(4), 4295-4302.
- Khan, Q. A., Khan, A. A., Ansari, S., & Jahangir, U. (2015). Hulbah (*Trigonella foenum-graecum*): A review. *IJP*, 2(7), 315-319.
- Khazaei, M., Nematollahi-Mahani, S. N., Mokhtari, T., & Sheikhabaei, F. (2018). Review on *Teucrium polium* biological activities and medical characteristics against different pathologic situations. *Journal of Contemporary Medical Sciences*, 4(1).
- Kifle, Z. D., Abdelwuhab, M., Melak, A. D., Meseret, T., & Adugna, M. (2022). Pharmacological evaluation of medicinal plants with antidiabetic activities in Ethiopia: A review. *Metabolism open*, 13, 100174.
- Konieczynski, P., Arceusz, A., & Wesolowski, M. (2016). Essential elements and their relations to phenolic compounds in infusions of medicinal plants acquired from different European regions. *Biological trace element research*, 170, 466-475.

- Lakehal, S., Chaouia, C., & Benrebiha, F. Z. (2017). Chemical composition and antibacterial activity of the essential oil of *Artemisia herba-alba* Asso. from Djelfa.
- Lakhdar, M., Meriem, K. H., Larbi, B., Amina, R., & Aicha, S. (2013). *Anvillea radiata* as a source of natural antifungal compounds. *IN: Academic journals*, 3.
- Lakhdar, M., Meriem, K. H., Larbi, B., Amina, R., & Aicha, S. (2013). Phytochemical analysis and antifungal activity of *Anvillea radiata*. *World Applied Sciences Journal*, 26(2), 165-171.
- Laouini, S. E., Kelef, A., & Ouahrani, M. R. (2018). Free radicals scavenging activity and phytochemical composition of *Artemisia herba-alba* extract growth in Algeria. *Journal of Fundamental and Applied Sciences*, 10(1), 268-280.
- Lichtfouse E. Sustainable Agriculture Reviews 39. Springer Nature; 2020
- Lim, T. K., & Lim, T. K. (2012). *Lupinus albus*. *Edible Medicinal And Non-Medicinal Plants: Volume 2, Fruits*, 763-769.
- Lounis, M. (2024). Assessment of diabetes related-knowledge and practice among Algerian university students: a cross-sectional survey. *Discover Public Health*, 21(1), 66.
- Mahamat, S. A., Lahat, N., Cyrille, A. N., Mady, C., & Mar, D. C. (2021). Phytochemical screening, total phenolic and antioxidant activity of numerous extracts from leaves and bark of *Bauhinia rufescens* Lam. *Food and Nutrition Sciences*, 12(6), 544-556.
- Mahdjar, S., dendougui, H., & hadjadj, M. (2019). Antioxidant Activities, Phenolic, Flavonoid and Tannin Contents and Antibacterial Activity of *Anvillea radiata* (Coss. & Dur.) Flowers from Southeast Algeria. *Asian Journal of Chemistry*, 31(7), 1569-1573.
- Malviya, N., Jain, S., & Malviya, S. A. P. N. A. (2010). Antidiabetic potential of medicinal plants. *Acta polpharm*, 67(2), 113-118.
- Marín-Peñalver, J. J., Martín-Timón, I., Sevillano-Collantes, C., & delCañizo-Gómez, F. J. (2016). Update on the treatment of type 2 diabetes mellitus. *World journal of diabetes*, 7(17), 354.
- Marrelli, M., Statti, G., & Conforti, F. (2020). A review of biologically active natural products from Mediterranean wild edible plants: Benefits in the treatment of obesity and its related disorders. *Molecules*, 25(3), 649.
- Mazandarani, M., Majidi, Z., Zarghami-Moghaddam, P., Abrodi, M., Hemati, H., & Fathiazad, F. (2012). Essential oil composition, total phenol, flavonoid, anthocyanin and antioxidant activities in different parts of *Artemisia annua* L. in two localities (North of Iran). *Journal of Medicinal plants and By-Products*, 1(1), 13-21.
- McCormick, K. M., Norton, R. M., & Eagles, H. A. (2009). Phenotypic variation within a fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) germplasm collection. I. Description of the collection. *Genetic resources and crop evolution*, 56, 639-649.
- Meguellati, H., Ouafi, S., Saad, S., Harchaoui, L., & Djemouai, N. (2022). Somatic embryogenesis and evolution of phenolic compounds production in *Teucrium polium* L. subsp. *geyrii* Maire cell suspensions. *Research Journal of Biotechnology Vol*, 17, 9.
- Messai, L., & Belkacemi, D. (2011). Etude phytochimique d'une plante medicinale de l'est Algerien.
- Miara, M. D., Bendif, H., Rebbas, K., Rabah, B., Hammou, M. A., & Maggi, F. (2019). Medicinal plants and their traditional uses in the highland region of Bordj Bou Arreridj (Northeast Algeria). *Journal of Herbal Medicine*, 16, 100262.
- Modzelewski, R., Stefanowicz-Rutkowska, M. M., Matuszewski, W., & Bandurska-Stankiewicz, E. M. (2022). Gestational diabetes mellitus—recent literature review. *Journal of Clinical Medicine*, 11(19), 5736.

- Mohamed, B., Khalid, S., Tariq, B. E. D., Amine, D., Jamal, I., & Laila, N. (2015). Bioactivity of *Anvillea radiata* Coss& Dur. Collected from the southeast of Morocco. *European Scientific Journal*, 11(21).
- Mohammed, K. A. (2023). Traditional methods of diabetes mellitus treatment. *World Journal of Experimental Biosciences (ISSN: 2313-3937)*, 1-6.
- Mohammed, M. J., Anand, U., Altemimi, A. B., Tripathi, V., Guo, Y., & Pratap-Singh, A. (2021). Phenolic composition, antioxidant capacity and antibacterial activity of white wormwood (*Artemisia herba-alba*). *Plants*, 10(1), 164.
- Mohebbi Pour, L. (2018). *Study on quality of essential oil and some secondary metabolites of white wood (Artemisia herba-alba)* (Doctoral dissertation, university of zabol).
- Morgane B. (2020). Potentiel antidiabétique de métabolites de polyphénols les urolithines. l'Université de Montpellier- France, 199p.
- Nagulapalli Venkata, K. C., Swaroop, A., Bagchi, D., & Bishayee, A. (2017). A small plant with big benefits: Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* Linn.) for disease prevention and health promotion. *Molecular nutrition & food research*, 61(6), 1600950.
- Nathan, D. M. (2015). Diabetes: advances in diagnosis and treatment. *Jama*, 314(10), 1052-1062.
- Naveen, Y. P., Urooj, A., & Byrappa, K. (2021). A review on medicinal plants evaluated for anti-diabetic potential in clinical trials: Present status and future perspective. *Journal of Herbal Medicine*, 28, 100436.
- Neagu, E., Paun, G., Albu, C., Apreutesei, O. T., & Radu, G. L. (2023). In Vitro Assessment of the Antidiabetic and Anti-Inflammatory Potential of *Artemisia absinthium*, *Artemisia vulgaris* and *Trigonella foenum-graecum* Extracts Processed Using Membrane Technologies. *Molecules*, 28(20), 7156.
- Noumi, E., Snoussi, M., Anouar, E. H., Alreshidi, M., Veetil, V. N., Elkahoui, S., & Badraoui, R. (2020). HR-LCMS-based metabolite profiling, antioxidant, and anticancer properties of *Teucrium polium* L. methanolic extract: Computational and in vitro study. *Antioxidants*, 9(11), 1089.
- Okoduwa, S. I., Mhya, D. H., Abdulwaliyu, I., Igiri, B. E., Okoduwa, U. J., Arthur, D. E., & Nathyns-Pepple, E. (2024). Phytomedicine approach for management of diabetes mellitus: an overview of scientifically confirmed medicinal plants with hypoglycemic properties and their probable mechanism of action. *Phytochemistry Reviews*, 1-61.
- Oshkondali, S. T., Elshili, M. M., Almunir, N., Rashed, A., Kushlaf, N., EL-mahmoudy, A. M., & Mohamed, K. S. (2019). *Scholars Academic Journal of Pharmacy*.
- Pant, D. R., Aryal, B., Pun, D., Sharma, S., & Joshi, G. P. (2021). Inhibition of  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase activities in vitro by extracts of selected medicinal plants. *Biodiversitas: Journal of Biological Diversity*, 22(3).
- Papatheodorou, K., Banach, M., Bekiari, E., Rizzo, M., & Edmonds, M. (2018). Complications of diabetes 2017. *Journal of diabetes research*, 2018.
- Park H J, Cha H C. (2003). Flavonoids from leaves and exocarps of the grape Kyoho. *Korean journal of biological society*, 7, 327-330 p.
- Popoviciu, M. S., Kaka, N., Sethi, Y., Patel, N., Chopra, H., & Cavalu, S. (2023). Type 1 diabetes mellitus and autoimmune diseases: acritical review of the association and the application of personalized medicine. *Journal of Personalized Medicine*, 13(3), 422.
- Pourcel, L., Routaboul, J. M., Cheynier, V., Lepiniec, L., & Debeaujon, I. (2007). Flavonoid oxidation in plants: from biochemical properties to physiological functions. *Trends in plant science*, 12(1), 29-36.



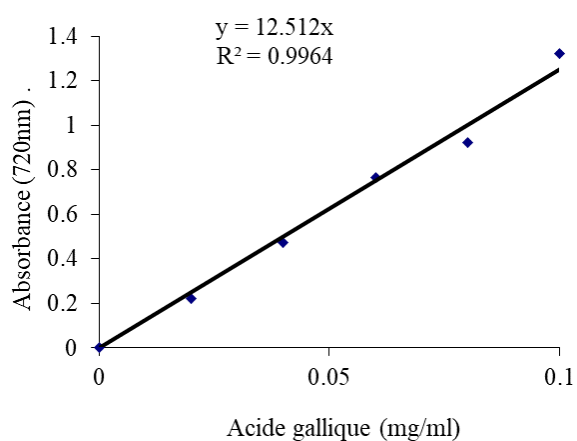
- Priya, V., Jananie, R. K., & Vijayalakshmi, K. (2011). Studies on anti-oxidant activity of *Trigonella foenum-graecum* seed using *in vitro* models. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 2(10), 2704.
- Przeor, M. (2022). Some common medicinal plants with antidiabetic activity, known and available in Europe (A Mini-Review). *Pharmaceuticals*, 15(1), 65.
- Puchulu, F. M. (2018). Definition, diagnosis and classification of diabetes mellitus. *Dermatology and Diabetes*, 7-18.
- Pulat, E., Yıldızbaş, A., & Yaman, B. (2024). Wood Anatomical Characteristics of Felty Germander (*Teucrium polium* L. subsp. *polium*) in Two Different Habitats. *Bartın Orman Fakültesi Dergisi*, 26(1), 110-118.
- Qader, A., & Yaman, M. (2022). Phytochemical Screening, Antioxidant Activity, and Chromatographic Fractionation of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) Seeds Extract. *Journal of Pharmaceutical Negative Results*, 2096-2101.
- Quézel, P. et Santa, S. (1963). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Volume 2. 15, suai Anatole, France. P 949
- Rahmouni, F., Saoudi, M., & Rebai, T. (2021). Therapeutics studies and biological properties of *Teucrium polium* (Lamiaceae). *Bio Factors*, 47(6), 952-963.
- Rais, M. A., Awad, A. K., Swed, S., Ali, H. T., & Kashyap, R. (2022). An alarming trend concerning diabetes mellitus in Algeria. *International Journal of Surgery*, 106, 106911.
- Ramachandran, A. (2014). Know the signs and symptoms of diabetes. *Indian Journal of Medical Research*, 140(5), 579-581.
- Rangel, É. B., Rodrigues, C. O., & De Sa, J. R. (2019). Micro-and macrovascular complications in diabetes mellitus: preclinical and clinical studies. *Journal of Diabetes Research*, 2019.
- Ranilla, L. G., Genovese, M. I., & Lajolo, F. M. (2009). Isoflavones and antioxidant capacity of Peruvian and Brazilian lupin cultivars. *Journal of food composition and analysis*, 22(5), 397-404.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237.
- Riddle, M. C., Cefalu, W. T., Evans, P. H., Gerstein, H. C., Nauck, M. A., Oh, W. K., & Twenefour, D. (2022). Consensus report: definition and interpretation of remission in type 2 diabetes. *The Journal of Clinical Endocrinology & Metabolism*, 107(1), 1-9.
- Ronsisvalle, S., Panarello, F., Longhitano, G., Siciliano, E. A., Montenegro, L., & Panico, A. (2020). Natural flavones and flavonols: Relationships among antioxidant activity, glycation, and metalloproteinase inhibition. *Cosmetics*, 7(3), 71.
- Roukia, H., Mahfoud, H. M., Farah, R., & Didi, O. M. (2013). Antimicrobial activity of phenolic extract from *Teucrium polium* Geyrii (Lamiaceae) plant. *Pharmacognosy Communications*, 3(3), 35.
- Ruiz-López, M. A., Barrientos-Ramírez, L., García-López, P. M., Valdés-Miramontes, E. H., Zamora-Natera, J. F., Rodríguez-Macias, R., & Vargas-Radillo, J. J. (2019). Nutritional and bioactive compounds in Mexican lupin beans species: A mini-review. *Nutrients*, 11(8), 1785.
- Saghafi, E., Mianabadi, M., & Hadadchi, G. (2013). Inhibition effects of *Teucrium polium* extract on gout. *Zahedan Journal of Research in Medical Sciences*, 15(11).
- Sambandam, B., Thiyagarajan, D. E. V. A. S. E. N. A., Ayyaswamy, A. R. I. V. A. R. A. S. A. N., Raman, P., Kulasekaran, J., & Venkatasamy, H. (2016). Extraction and isolation of flavonoid quercetin from the leaves of *Trigonella foenum-graecum* and their anti-oxidant activity. *Int J Pharm Pharm Sci*, 8(6), 120-4.

- Saoud, D. H., Jelassi, A., Hlila, M. B., Goudjil, M. B., Ladjel, S., & Jannet, H. B. (2019). Biological activities of extracts and metabolites isolated from *Anvillea radiata* Coss. & Dur.(Asteraceae). *South African Journal of Botany*, 121, 386-393.
- Saxena, S. N., Karwa, S., Saxena, R., Sharma, T., Sharma, Y. K., Kakani, R. K., & Anwer, M. (2011). Analysis of antioxidant activity, phenolic and flavanoids content of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) seed extracts. *Int J Seed Spices*, 1(1), 38-43.
- Sharifi-Rad, M., Pohl, P., Epifano, F., Zengin, G., Jaradat, N., & Messaoudi, M. (2022). *Teucrium polium* (L.): phytochemical screening and biological activities at different phenological stages. *Molecules*, 27(5), 1561.
- Shimada, K., Fujikawa, K., Yahara, K., & Nakamura, T. (1992). Antioxidative properties of xanthan on the autoxidation of soybean oil in cyclodextrin emulsion. *Journal of agricultural and food chemistry*, 40(6), 945-948.
- Singh, P., Vishwakarma, S. P., & Singh, R. L. (2014). Antioxidant, oxidative DNA damage protective and antimicrobial activities of the plant *Trigonella foenum-graecum*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(12), 2497-2504.
- Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.
- Souhila, T., Fatma Zohra, B., & Tahar, H. S. (2019). Identification and quantification of phenolic compounds of *Artemisia herba-alba* at three harvest time by HPLC–ESI–Q–TOF–MS. *International Journal of Food Properties*, 22(1), 843-852.
- Sousa A., Ferreira I. C., Barros L., Bento A., & Pereira J. A., 2008 : Effect of solvent and extraction temperatures on the antioxidant potential of traditional stoned table olives “alcaparras”. *LWT-Food Science and Technology*, 41(4), 739-745.
- Stankovic, M. S., Niciforovic, N., Mihailovic, V., Topuzovic, M., & Solujic, S. (2012). Antioxidant activity, total phenolic content and flavonoid concentrations of different plant parts of *Teucrium polium* L. subsp. *polium*. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 81(2).
- Stefkov, G., Karapandzova, M., Stefova, M., Bankova, V., & Kulevanova, S. (2012). HPLC and UV-spectrophotometry analysis of flavonoids in spray-dried and freeze-dried extracts of *Teucrium polium* L.(Lamiaceae). *Maced. pharm. bull*, 58, 39-44.
- Stefkov, G., Kulevanova, S., Miova, B., Dinevska-Kjovkarovska, S., Mølgaard, P., Jäger, A. K., & Josefsen, K. (2011). Effects of *Teucrium polium* spp. capitatum flavonoids on the lipid and carbohydrate metabolism in rats. *Pharmaceutical biology*, 49(9), 885-892.
- Sultana, B., & Anwar, F. (2008). Flavonols (kaempferol, quercetin, myricetin) contents of selected fruits, vegetables and medicinal plants. *Food chemistry*, 108(3), 879-884.
- Suryasa, I. W., Rodríguez-Gámez, M., & Koldoris, T. (2021). Health and treatment of diabetes mellitus. *International journal of health sciences*, 5(1), 1-5.
- Tarawneh, K. H., Omar, S. H., Twissi, M. O., Khleifat, K. H., Al-Mustafa, A., & Al-Sharafa, K. H. (2008). Antifungal and antioxidant effects of extracts of some medicinal plant species growing in south Jordan. *Egyptian Journal of Agricultural Sciences*, 59(3), 241-348.
- Teggar, M., & Guessoum, N. (2019). Activités antioxydantes, antibactériennes et anti- $\alpha$ -amylases de divers extraits d'*Anvillea radiata* récoltés dans la région de Ghardaïa
- Tilaoui, M., Ait Mouse, H., Jaafari, A., & Zyad, A. (2015). Comparative phytochemical analysis of essential oils from different biological parts of *Artemisia herba alba* and their cytotoxic effect on cancer cells. *PloS one*, 10(7), e0131799.
- Tran, N., Pham, B., & Le, L. (2020). Bioactive compounds in anti-diabetic plants: From herbal medicine to modern drug discovery. *Biology*, 9(9), 252.

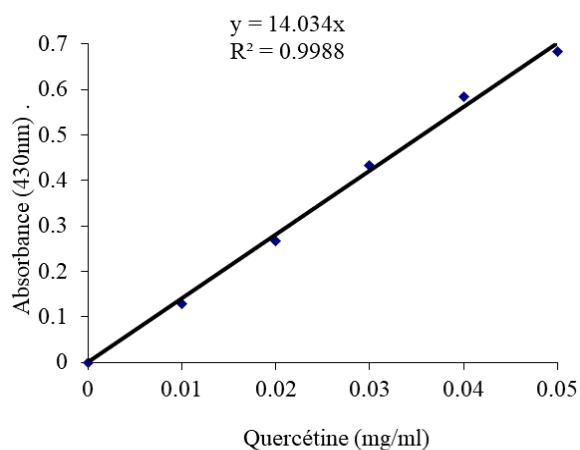
- Trifan, A., Zengin, G., Sinan, K. I., Sieniawska, E., Sawicki, R., Maciejewska-Turska, M., ... & Luca, S. V. (2022). Unveiling the phytochemical profile and biological potential of five *Artemisia* species. *Antioxidants*, 11(5), 1017.
- Tripathi, B. K., & Srivastava, A. K. (2006). Diabetes mellitus: complications and therapeutics. *Med Sci Monit*, 12(7), 130-47.
- Uras Güngör, Ş. S., Güzel, S., İlçim, A., & Kökdil, G. (2014). Total phenolic and flavonoid content, mineral composition and antioxidant potential of *Trigonella monspeliaca*.
- Verma, S., Gupta, M., Popli, H., & Aggarwal, G. (2018). Diabetes mellitus treatment using herbal drugs. *International Journal of Phytomedicine*, 10(1), 1-10.
- Wahnou, H., Ndayambaje, M., Ouadghiri, Z., Benayad, S., Elattar, H., Chgari, O., & Oudghiri, M. (2024). *Artemisia herba-alba*: antioxidant capacity and efficacy in preventing chronic arthritis in vivo. *Inflammopharmacology*, 32(3), 1855-1870.
- Wallace, T. C., & Giusti, M. M. (2015). Anthocyanins. *Advances in Nutrition*, 6(5), 620-622.
- Yadav, S. R., Biyani, D. M., & Umekar, M. J. (2019). *Trigonella foenum-graecum*: a herbal plant review. *World Journal of Pharmaceutical Research*, 8(12), 402-19.
- Yaldiz, G., & Camlica, M. (2021). Impact of various environmental stress factors on productivity, quality, and secondary metabolites of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.). *Fenugreek: Biology and applications*, 301-326.
- Yamazaki, T., Mimura, I., Tanaka, T., & Nangaku, M. (2021). Treatment of diabetic kidney disease: current and future. *Diabetes & metabolism journal*, 45(1), 11-26.
- Yaping, X., Chunhong, L., Huifen, Z., Fengfeng, H., Huibin, H., & Meijing, Z. (2021). Risk factors associated with gestational diabetes mellitus: a retrospective case-control study. *International Journal of Diabetes in Developing Countries*, 1-10.
- Yildirim, A., Oktay, M., & Bilaloğlu, V. (2001). The antioxidant activity of the leaves of *Cydonia vulgaris*. *Turkish Journal of Medical Sciences*, 31(1), 23-27.
- Youl, O., Moné Bassavé, B. R. H., Yougbaré, S., Yaro, B., Traoré, T. K., Boly, R., & Hilou, A. (2023). Phytochemical Screening and Biological Activities of *Opilia amentacea* Roxb.(Opiliaceae).
- Younsi, F., Trimech, R., Boulila, A., Ezzine, O., Dhahri, S., Boussaid, M., & Messaoud, C. (2016). Essential oil and phenolic compounds of *Artemisia herba-alba* (Asso.): Composition, antioxidant, ant acetylcholinesterase, and antibacterial activities. *International journal of food properties*, 19(7), 1425-1438.
- Yousefi, S., Emam-Djomeh, Z., Mousavi, M., Kobarfard, F., & Zbicinski, I. (2015). Developing spray-dried powders containing anthocyanins of black raspberry juice encapsulated based on fenugreek gum. *Advanced Powder Technology*, 26(2), 462-469.
- Zagoskina, N. V., Zubova, M. Y., Nechaeva, T. L., Kazantseva, V. V., Goncharuk, E. A., Katanskaya, V. M., ... & Aksenova, M. A. (2023). Polyphenols in plants: structure, biosynthesis, abiotic stress regulation, and practical applications. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(18), 13874.
- Zornoza, P., Sánchez-Pardo, B., & Carpena, R. O. (2010). Interaction and accumulation of manganese and cadmium in the manganese accumulator *Lupinus albus*. *Journal of Plant Physiology*, 167(13), 1027-1032.
- Zouaoui, N., & Barkat, M. (2020). Evaluation of phenolic contents and antioxidant activities of some medicinal plants growing in Algerian Aurès Mountains. *Acta Scientifica Naturalis*, 7(2), 15-30.

# **Annexe**

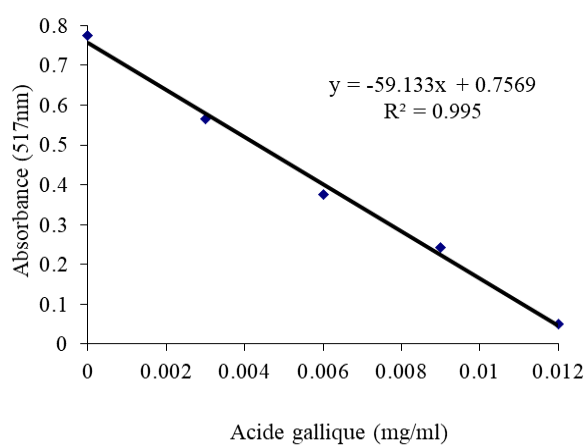
## Annexe



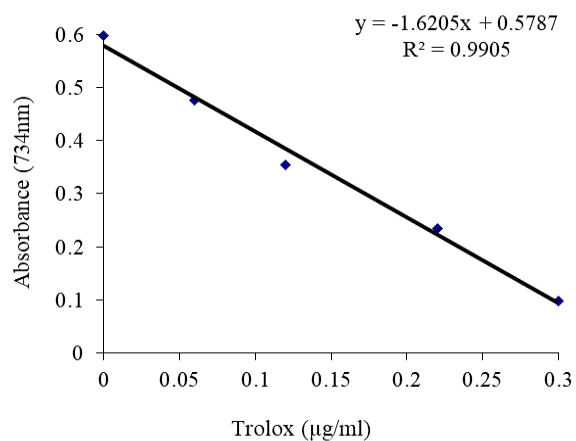
**Figure 1.** Courbe d'étalonnage des composés phénoliques.



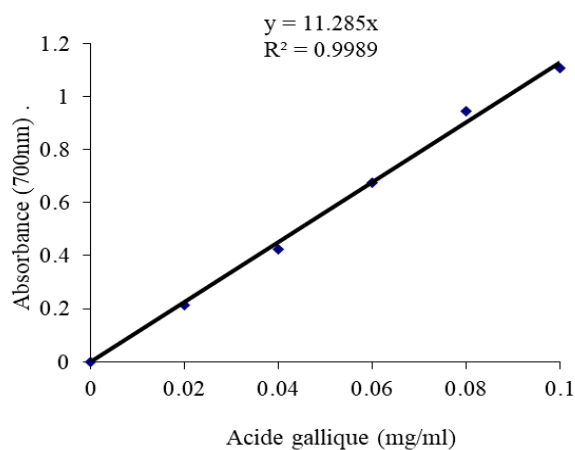
**Figure 2.** Courbe d'étalonnage des flavonoïdes.



**Figure 3.** Courbe d'étalonnage de l'activité antiradicalaire DPPH.



**Figure 4.** Courbe d'étalonnage de l'activité antiradicalaire ABTS.



**Figure 5.** Courbe d'étalonnage du pouvoir réducteur.

**Résumé :** Cette étude a évalué l'activité antioxydante de cinq plantes médicinales antidiabétiques algériennes : *Artemisia herba-alba*, *Lupinus albus*, *Teucrium polium*, *Trigonella foenum-graecum* et *Anvillea radiata*. Après extraction et dosage des composés phénoliques, flavonoïdes, flavonols et anthocyanines, il a été observé que *Artemisia herba-alba* est la plus riche en ces composés bioactifs et affiche la meilleure activité antioxydante, avec des résultats de 663 mg EAG/g pour le DPPH, 324 mg ET/g pour l'ABTS, et 167 mg EAG/g pour le pouvoir réducteur. En comparaison, bien que *Trigonella foenum-graecum*, *Anvillea radiata*, *Lupinus albus* et *Teucrium polium* présentent également une activité antioxydante significative, leurs valeurs sont inférieures à celles de *Artemisia herba-alba*. Ces résultats indiquent que l'activité antioxydante des plantes est influencée par des facteurs, notamment génétiques, qui gouvernent la composition chimique de la plante. Ainsi, *Artemisia herba-alba* se révèle comme une option thérapeutique prometteuse pour la gestion du diabète, tandis que les autres plantes pourraient offrir des perspectives intéressantes pour des traitements complémentaires.

**Mots clés :** Diabète, Plantes antidiabétiques, Activité antioxydante, Composés phénoliques, *Artemisia herba-alba*

**Abstract:** This study evaluated the antioxidant activity of five Algerian antidiabetic medicinal plants: *Artemisia herba-alba*, *Lupinus albus*, *Teucrium polium*, *Trigonella foenum-graecum*, and *Anvillea radiata*. After extraction and quantification of phenolic compounds, flavonoids, flavonols, and anthocyanins, it was observed that *Artemisia herba-alba* is the richest in these bioactive compounds and exhibits the highest antioxidant activity, with results of 663 mg GAE/g for DPPH, 324 mg TE/g for ABTS, and 167 mg GAE/g for reducing power. In comparison, although *Trigonella foenum-graecum*, *Anvillea radiata*, *Lupinus albus*, and *Teucrium polium* also show significant antioxidant activity, their values are lower than those of *Artemisia herba-alba*. These results suggest that the antioxidant activity of plants is influenced by factors, including genetic ones, that govern the plant's chemical composition. Thus, *Artemisia herba-alba* emerges as a promising therapeutic option for diabetes management, while the other plants could offer interesting perspectives for complementary treatments.

**Keywords:** Diabetes, Antidiabetic plants, Antioxidant activity, Phenolic compounds, *Artemisia herba-alba*