



Université Mohamed Khider de Biskra  
Faculté des sciences de la nature et de la vie  
Département des sciences de la nature et de la vie  
Filière : Sciences biologiques

Référence ..... / 2025

# MÉMOIRE DE MASTER

Spécialité : Biochimie Appliquée

---

Présenté et soutenu par :

**DRAOU Djihad et DJEBABRA Khouloud**

Le : [Click here to enter a date.](#)

## **Activité antioxydante de la plante médicinale *Trigonella foenum-graecum* (fenugrec)**

---

### **Jury :**

Dr.	Absi Rima	MAA	Université de Biskra	Président
Pr.	Bouatrous Yamina	Pr	Université de Biskra	Rapporteur
Dr.	Medour Asma	MCB	Université de Biskra	Examineur

**Année universitaire : 2024/2025**

# Remerciements

Avant toute chose, nous rendons grâce à Allah, Le Tout-Puissant, qui nous a accordé la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadrante, Madame la Professeure **Yamina Bouatrous**, pour son accompagnement précieux, sa disponibilité, ses conseils avisés, ainsi que pour la confiance qu'elle nous a accordée tout au long de cette étude. Sa rigueur scientifique et son soutien constant ont grandement contribué à la réalisation de ce mémoire.

Nous exprimons notre sincère gratitude à Madame **ABSI Rima** et Madame **MEDOUR Asma**, membres du jury, pour l'honneur qu'elles nous font en évaluant notre travail, ainsi que pour leurs remarques constructives et leur précieuse contribution à l'enrichissement de ce mémoire.

Nous remercions également l'ensemble de nos enseignants pour les connaissances qu'ils nous ont transmises au cours de notre parcours universitaire,

Nous remercions également notre sœur **Aalima** pour son dévouement, son engagement et sa bienveillance, ainsi que pour tous les efforts qu'elle a fournis pour nous accompagner et nous soutenir dans notre parcours. Sa disponibilité et son soutien ont été précieux pour nous.

Nous remercions aussi **Bambra Moussa Abdrrazak** pour toute l'aide qu'il nous a apportée, pour sa patience, sa pédagogie et chaque mot qu'il a partagé avec nous, qui nous a guidés et motivés tout au long de cette expérience.

Ainsi que toutes les personnes qui nous ont soutenus de près ou de loin, avec une pensée particulière pour notre famille et nos amis, pour leur encouragement et leur présence bienveillante.

## Dédicaces

À tous ceux qui ont été des phares dans mon voyage, qui m'ont soutenu, encouragé, et qui ont cru en moi sans relâche, ce mémoire vous est dédié, avec toute la reconnaissance et l'amour que je porte en moi.

À mes parents, mes héros silencieux, dont l'amour inconditionnel et les sacrifices quotidiens m'ont toujours inspiré à aller de l'avant. Vous êtes la source de ma force, de ma détermination et de ma résilience. Votre soutien a été mon ancrage dans les moments de doute. Merci d'avoir toujours été là, même dans les moments où je n'étais pas sûr de moi.

À ma mère, "**Nadia**", pour ton amour incommensurable, ta douceur, et tes prières silencieuses qui m'ont toujours enveloppé. Tu as su trouver les mots, et parfois l'absence de mots, pour m'apporter la sérénité et la force nécessaires.

À mon père, "**Lahcen**", pour ton exemple de rigueur, d'endurance et de persévérance. Ta sagesse discrète m'a souvent guidé sans que tu en sois conscient. Ta présence a été un pilier invisible mais solide.

À mes sœurs "**Djamila, Imane, Amani, Nour El-Yakin**" et mes frères "**Ahmad Amine, Aymen**", pour votre amour fraternel et vos encouragements constants. Vos messages, même simples, ont été pour moi des sources infinies de réconfort. Vous êtes ma famille, mon soutien indéfectible.

À mes amis les plus chers **Samia** et **Lina**, compagnons de vie et de lutte, merci pour les moments de joie, les conseils bienveillants et votre capacité à me rappeler les petites choses simples qui rendent la vie plus légère, même quand le chemin semblait lourd.

Enfin, à moi-même, pour avoir persévéré, pour avoir cru que chaque effort a un but et que chaque obstacle franchi me rapprochait de mes rêves. À la patience que j'ai apprise et à la force intérieure que je n'aurais jamais imaginée posséder

**DJIHAD**

**Dédicace**

À ceux qui m'ont accompagné, soutenu, encouragé et aimé tout au long de ce parcours, je vous dédie ce mémoire avec tout mon cœur.

À mes parents, véritables piliers de ma vie, je rends hommage à votre force, votre sagesse et votre amour inépuisable. Merci pour les valeurs que vous m'avez transmises, pour vos sacrifices silencieux, et pour avoir toujours cru en moi, même quand moi-même j'en doutais.

À ma mère « **Nadia** », source de tendresse, de patience et de prières. Ton soutien m'a souvent porté plus que tu ne l'imagines.

À mon père « **Noureddine** », exemple de détermination et d'endurance. Ton regard bienveillant et discret a toujours été un repère.

À mes sœurs « **Lina, Amani, Maram** » et mon frère « **Iyad** », pour vos encouragements, vos mots simples mais puissants, et votre affection constante, même à distance.

À mes cousins et cousines, merci pour les moments partagés, les rires, le soutien, et cette chaleur familiale qui m'a tant apporté tout au long de ce parcours.

À mes amis, véritables compagnons de route, merci pour vos rires, vos conseils, vos présences discrètes mais précieuses, surtout quand les journées étaient longues et les nuits courtes.

Enfin, à moi-même, pour ne pas avoir abandonné, pour avoir persisté malgré les doutes, et pour avoir cru qu'au bout de l'effort, il y avait un sens

**Khouloud**

# Sommaire

## Première partie : Partie bibliographie

### Chapitre 01 : *Trigonella foenum-graecum* (fenugrec)

I.1. Description botanique de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. ....	3
I.2. Classification botanique .....	4
I.3. Répartition géographique .....	4
I.4. Composition biochimique .....	5
I.5. Les effets pharmaceutiques de <i>Trigonella foenum-graecum</i> .....	5
I.5.1. Effets antioxydants .....	6
I.6. Cycle de germination du fenugrec .....	6

### Chapitre 02 : Stress oxydatif

II.1. Stress oxydatif .....	8
II.2. Radicaux libres .....	8
II.3. Antioxydants .....	9
II.3.1. Les antioxydants enzymatiques .....	9
II.3.2. Les antioxydants non enzymatiques .....	10

## Deuxième partie : Partie expérimentale

### Chapitre 03 : Matériel et méthodes

III.1 Matériel végétal .....	13
III.1.1 Préparation des extraits .....	13
III.2. Méthodes .....	13
III.1.1 Protocole d'extraction acétonique .....	13
III.2.2 Dosage de polyphénols .....	13
III.2.3 Évaluation de l'activité antioxydante .....	14

### Chapitre 04 : Résultats et discussion

IV.1. Dosage de polyphénols .....	13
IV.2. Évaluation de l'activité antioxydante .....	15
Conclusion et perspectives .....	20

Références bibliographiques .....	22
Annexes .....	29
Résumé	

## Liste des tableaux

<b>Tableau 1.</b> La composition chimique de graine de <i>Trigonella foenum-graecum</i> . .....	5
<b>Tableau 2.</b> Radicaux libres du stress oxydant. ....	9
<b>Tableau 3.</b> Teneur de polyphénols totaux (exprimée en µg EAG/g d'extrait) dans les différents extraits de <i>Trigonella foenum-graecum</i> . ....	13
<b>Tableau 4.</b> Valeurs de l'IC <sub>50</sub> des extraits <i>Trigonella foenum-graecum</i> comparées à l'acide ascorbique.....	17
<b>Tableau 5.</b> Évaluation de l'EAA pour des extraits <i>Trigonella foenum-graecum</i> .....	19

## Liste des figures

<b>Figure 1.</b> Feuilles de <i>Trigonella foenum-graecum</i> . .....	3
<b>Figure 2.</b> Graine de <i>Trigonella foenum-graecum</i> . .....	4
<b>Figure 3.</b> Effets pharmaceutiques de <i>Trigonella foenum-graecum</i> . .....	6
<b>Figure 4.</b> Le premier port de croissance d'un plant de fenugrec ( <i>Trigonella foenum-graecum</i> ). .....	7
<b>Figure 5.</b> Courbe d'étalonnage de différentes concentrations d'acide gallique .....	13
<b>Figure 6.</b> Teneur de polyphénols totaux (exprimée en µg EAG/g d'extrait) dans les différents extraits de <i>Trigonella foenum-graecum</i> .....	14
<b>Figure 7.</b> Courbe de pourcentage d'inhibition (PI%) en fonction de la concentration de l'acide ascorbique.....	15
<b>Figure 8.</b> Courbe de pourcentage d'inhibition (PI%) en fonction de la concentration de de l'extrait de grain de <i>Trigonella foenum-graecum</i> . .....	16
<b>Figure 9.</b> Courbe de pourcentage d'inhibition (PI%) en fonction de la concentration de de l'extrait de plantule de 48h de <i>Trigonella foenum-graecum</i> . .....	16
<b>Figure 10.</b> Courbe de pourcentage d'inhibition (PI%) en fonction de la concentration de de l'extrait de plantule de 5j de <i>Trigonella foenum-graecum</i> . .....	16
<b>Figure 11.</b> Courbe de pourcentage d'inhibition (PI%) en fonction de la concentration de de l'extrait de plantule de 7j de <i>Trigonella foenum-graecum</i> . .....	17
<b>Figure 12.</b> Évaluation d'IC50 de l'acide ascorbique et les quatre extraits étudiés. ....	17

## Liste des abréviations

- APG** : Angiosperm Phylogeny Group.
- Cj** : cinquième jour de germination .
- CAT** : catalase .
- Dj** : deuxième jour de germination .
- DPPH** : 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle.
- EAA** : Equivalent Acide Ascorbique
- EAG** : Équivalent d'acide gallique.
- ERO** : Espèces réactives de l'oxygène.
- Gr**: graines .
- GPx**: Glutathion peroxydase.
- HPLC** : Chromatographie Liquide à Haute Performance (équivalent anglais d'ERO High Performance Liquid Chromatography).
- PI%** : pourcentage d'inhibition.
- ROS** : *Reactive Oxygen Species* (équivalent anglais d'ERO).
- Sj** : Septième jour de germination.
- SOD**: Superoxyde dismutase.
- TFC** : teneur totale en flavonoïdes.
- TPC** : teneur totale en composés phénoliques.

# **Introduction**

Depuis des millénaires, les êtres humains puisent dans les richesses de la nature, en particulier les plantes, afin de se soigner et de combattre de nombreuses affections.

Depuis les premiers temps, l'homme a utilisé les plantes pour se soigner. Grâce à l'observation et à l'expérience, il a peu à peu compris leurs effets bénéfiques. Ces connaissances, transmises au fil des générations, ont permis d'identifier les composants actifs responsables de leurs propriétés médicinales.

Les plantes médicinales sont des végétaux connus pour leurs pouvoirs bienfaiteurs. On les utilise souvent pour la phytothérapie. La phytothérapie est le traitement (médecine parallèle ou traditionnelle) par les plantes, c'est-à-dire par la consommation ou l'utilisation en voie externe, de produits préparés à partir de plantes, sans passer par une étape de sélection des molécules ; on ne consomme donc pas que le principe actif, mais tout ce que contient la plante. Les plantes médicinales disposent de nombreuses vertus curatives. Parmi ces substances, on peut citer les flavonoïdes, connus pour leur rôle bénéfique sur la circulation sanguine, ainsi que les principes actifs amers, qui facilitent le processus digestif (Abdelkader et al., 2009).

L'Algérie, grâce à l'étendue de son territoire et à la richesse de ses paysages, abrite une grande diversité de plantes. On y trouve environ 4 000 espèces réparties dans 917 genres et 131 familles. Son histoire, influencée par de nombreuses civilisations, a aussi favorisé le développement de connaissances traditionnelles en phytothérapie (Belhouala & Benarba, 2021).

Parmi les plantes médicinales les plus réputées, le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.) occupe une place importante. Cette plante est utilisée aussi bien en alimentation qu'en médecine traditionnelle et en cosmétique, sous différentes formes telles que la poudre des graines, l'huile ou encore l'infusion.

Malgré l'intérêt croissant pour les propriétés médicinales du fenugrec, peu d'études se sont spécifiquement intéressées à l'effet de la plantule sur son activité antioxydante.

Dès lors, une question essentielle se pose : Quelle est la différence de l'activité antioxydante entre les graines germées (plantules) et les graines de *Trigonella foenum-graecum* L. ?

Le présent travail porte sur l'étude de l'activité antioxydante des graines et de la plante de *Trigonella foenum-graecum* L. Il est structuré en deux grandes parties :

Une première partie consacrée à l'étude bibliographique, subdivisée en deux chapitres

Le premier chapitre traite de la description botanique de *Trigonella foenum-graecum* L., de sa classification botanique, de sa répartition géographique, de sa composition biochimique, de ses effets pharmacologiques, ainsi que du cycle de germination du fenugrec. Et le deuxième chapitre est dédié au stress oxydatif, aux radicaux libres et aux antioxydants.

La seconde partie s'intéresse aux méthodes d'évaluation de l'activité antioxydante, ainsi qu'à la discussion de nos résultats en les comparant aux travaux et études antérieurs.

**Première partie**  
**Partie bibliographique**

# **Chapitre 1**

*Trigonella foenum-  
graecum*

### I.1. Description botanique de *Trigonella foenum-graecum* L.

Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.) est une plante herbacée annuelle de la famille des Fabacées (Rahmani et al., 2015).

En grec, il est connu sous le nom de "*fenugrec*", tandis qu'en médecine traditionnelle, notamment selon les écrits d'Avicenne, il porte le nom d'« *Holba* ». Il est aussi appelé "*shambala*", "*helba*", "*hilbe*", "*mithi*" ou "*chaman*" selon les régions (Kaysarov & Mardonov, 2023).

Les variétés de fenugrec présentent une diversité génétique importante qui se manifeste à travers des différences morphologiques (nombre de gousses par plante, nombre de graines par gousse), physiologiques (tolérance au stress) et biochimiques (teneur en saponines, flavonoïdes, etc.) (Kena & Latera, 2025).

*Trigonella foenum-graecum* se caractérise par des tiges droites, qui peuvent mesurer entre 20 et 230 cm, parfois ramifiées, creuses et teintées d'anthocyanines. Ses feuilles, riches en nutriments tels que les minéraux et vitamines, présentent des stipules poilues et des pétioles cartilagineux. Les fleurs, généralement en grappes axillaires, arborent une corolle de couleur jaune pâle, parfois teintée de lilas. Les gousses, mesurant de 10 à 18 cm, sont courbées et renferment de 10 à 20 graines, dont la forme varie de rectangulaire à arrondie, et la couleur oscille entre le gris et le brun. Les graines sont particulièrement riches en protéines (notamment la lysine et le L-tryptophane), en fibres mucilagineuses, ainsi qu'en plusieurs composés bioactifs tels que les saponines, la coumarine et la trigonelline, qui leur confèrent des propriétés thérapeutiques (Petit-Aldana et al., 2014).



**Figure 1.** Feuilles de *Trigonella foenum-graecum* (Bahmani et al., 2016).

## I.2. Classification botanique

Selon la classification **APG** 2016 le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) appartient à la classification suivante (Mahbub et *al.*, 2018).

**Règne** : Plantae (Plantes)

**Clade** : Angiosperme (Plantes à fleurs)

**Clade** : Eudicotylédones

**Clade** : Rosidées

**Ordre** : Fabales

**Famille** : Fabaceae

**Sous famille** : Faboideae

**Trib** : Trigolieae

**Genre** : *Trigonella*

**Espèce** : *Trigonella foenum-graecum*.



**Figure2.** Graines de *Trigonella foenum-graecum* (Bahmani et *al.*, 2016).

## I.3. Répartition géographique

Les espèces de *Trigonella* se retrouvent principalement dans les régions arides entourant la Méditerranée, ainsi que dans l'Asie de l'Ouest, l'Europe, l'Afrique du Nord et du Sud, l'Amérique du Nord et l'Australie méridionale. Le nombre exact d'espèces et la classification du genre ont été au centre de nombreuses discussions et débats (Petit-Aldana et *al.*, 2014).

#### 1.4. Composition biochimique

Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) est une plante médicinale dont les graines sont riches en composés bioactifs tels que des saponines, des alcaloïdes, des mucilages, des flavonoïdes, des protéines et des huiles. Cette composition lui confère de nombreuses propriétés bénéfiques pour la santé, comme présenté dans le tableau ci-dessous.

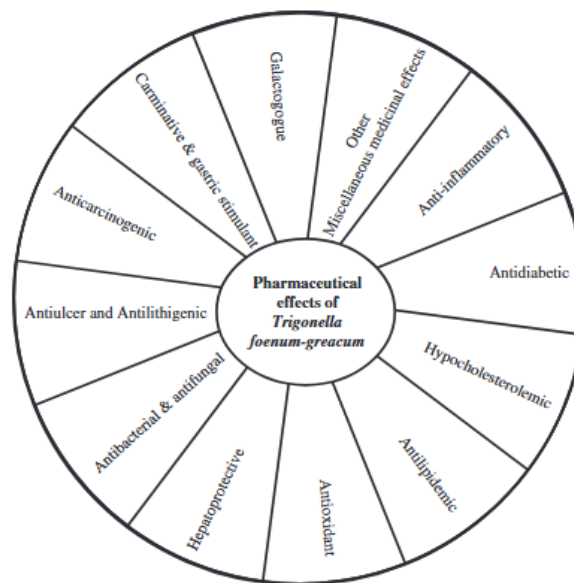
**Tableau 1.** La composition chimique de graine de *Trigonella foenum-graecum* (Bahmani et al., 2016).

Composant	Description
<b>Saponines Stéroïdiennes</b>	Diosgénine (0,1 % à 2,2 %), yamogénine, tigogénine, gitogénine, sarsapogénine, yuccagénine, smilagénine, fenugréquine.
<b>Alcaloïdes</b>	Trigonelline (jusqu'à 36 %), gentanine, carpaïne cholinique.
<b>Huiles</b>	Huiles fixes contenant des acides gras insaturés (6 % à 10 %), propriétés antimicrobiennes. Ingrédients aromatiques (N-Alcènes, sesquiterpènes)
<b>Mucilage</b>	Galactomannane, xylène, capacité de rétention d'eau, effets laxatifs, propriétés émulsifiantes et de suspension.
<b>Composés Protéiques</b>	Riche en lysine, arginine, tryptophane (22 % à 25 %), faible en acides aminés soufrés, et geline.
<b>Glucides</b>	Environ 8 % de glucides, composés inhibiteurs de protéinase.
<b>Minéraux et Vitamines</b>	Fer, phosphate, calcium, vitamines B1, C, A, D et acide nicotinique.
<b>Flavonoïdes</b>	Glycosides, orientine, isoorientine, vitexine, épigénine, quercétine.
<b>polyphenol</b>	Acide gallique, acides phenoliques
<b>Coumarines</b>	Acide cinnamique, lactone ortho-dihydroxy et scopoléline.
<b>Autres Substances</b>	Tanins et composés caroténoïdes.

#### 1.5. Les effets pharmaceutiques de *Trigonella foenum-graecum*

Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) est une plante aux nombreuses propriétés médicinales, utilisée pour ses effets antioxydants, hypoglycémiant, anticancéreux, antilipémiques et anti-inflammatoires. Il contribue à la réduction du stress oxydatif en activant certaines enzymes protectrices et limite les complications liées au diabète en améliorant la sensibilité à l'insuline et en régulant la glycémie. Ses composés bioactifs, notamment les polyphénols et la diosgénine, jouent un rôle dans l'inhibition de la croissance des cellules cancéreuses et le renforcement des défenses de l'organisme. Il participe également à l'équilibre lipidique en abaissant le cholestérol et les triglycérides, tout en possédant des propriétés antimicrobiennes contre divers agents pathogènes. En parallèle, il protège le foie, favorise la digestion et soutient la santé cardiovasculaire. Toutefois, bien que ses bienfaits soient reconnus, une consommation excessive peut entraîner des effets indésirables,

notamment digestifs et hypoglycémiants, nécessitant des recherches supplémentaires pour optimiser son usage thérapeutique (Yadav & Baquer, 2014).



**Figure 2.** Effets pharmaceutiques de *Trigonella foenum-graecum* (Yadav & Baquer, 2014).

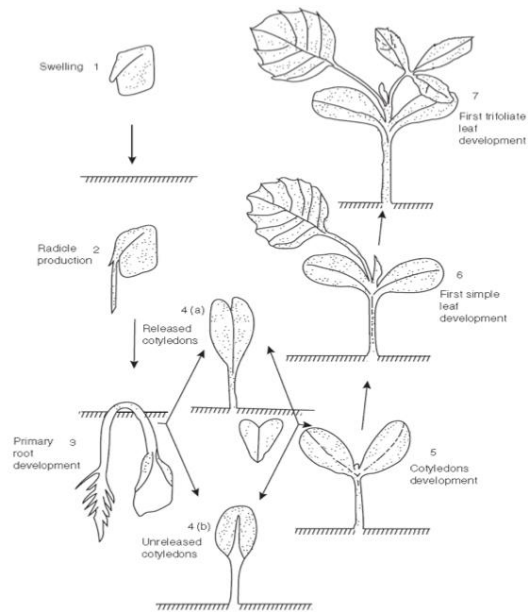
### I.5.1. Effets antioxydants

Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) possède des propriétés antioxydantes qui aident à combattre le stress oxydatif, un facteur clé de nombreuses maladies, notamment le diabète. Des études ont montré que les graines et les feuilles de fenugrec améliorent l'activité des enzymes antioxydantes (SOD, catalase, GPx) et réduisent la peroxydation lipidique dans divers tissus (cœur, foie, reins, cerveau). La germination des graines renforce ces effets en améliorant la digestibilité des protéines et l'absorption des lipides. De plus, l'extrait aqueux de fenugrec protège contre les lésions rénales et hépatiques induites par le diabète ou l'alcool. Ses effets bénéfiques sont attribués à ses flavonoïdes et polyphénols, bien que leur mécanisme exact reste à élucider (Yadav & Baquer, 2014).

### I.6. Cycle de germination du fenugrec

Le temps de germination dans le sol varie généralement de 3 à 10 jours. Six à dix jours après la germination du fenugrec, les plantules produisent leur première feuille, qui est généralement simple ; il n'y a toujours pas d'épicotyle visible, car la première feuille trifoliée se forme après 5 à 8 jours supplémentaires. La croissance est plus lente dans des conditions plus fraîches et humides, et de longues périodes sous ces conditions peuvent empêcher la maturation des plantes pour la récolte des graines.

Le taux de croissance du fenugrec est lent au début de la saison de croissance, et le développement des feuilles est dépendant de la température. Dawidar et Fayez ont étudié la composition en sapogénines de la plante à différents stades de croissance ainsi que dans différentes parties des graines. Ils ont révélé que les plantules possèdent la plus forte teneur en diosgénine (et autres sapogénines stéroïdiennes) par rapport à tous les autres stades de croissance (Mehrafarin et *al.*, 2011).



**Figure 3.** Le premier port de croissance d'un plant de fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) (Mehrafarin et *al.*, 2011).

# **Chapitre 2**

## **Stress oxydatif**

### II.1. Stress oxydatif

Le stress oxydant, tout comme l'inflammation, joue un rôle central dans l'apparition et les complications de nombreuses pathologies chroniques (Zbadi *et al.*, 2018).

Stress oxydatif se définit comme une perturbation de l'équilibre pro-oxydant et antioxydant en faveur du premier (Sies *et al.*, 2017).

Un pro-oxydant désigne toute substance capable de favoriser un processus d'oxydation, soit en inhibant les mécanismes de défense antioxydants, soit en produisant des espèces réactives de l'oxygène ou de l'azote, telles que les radicaux libres (Leroy, 2016).

Normalement, les radicaux libres sont produits en quantités contrôlées pour des fonctions physiologiques (métabolisme énergétique, défense cellulaire), mais lorsqu'ils deviennent excessifs (intoxications, radiations, carences nutritionnelles) ou que les systèmes antioxydants (enzymes, vitamines) sont déficients, ce déséquilibre provoque des dommages cellulaires (oxydation des lipides, protéines et ADN). Le stress oxydant, souvent localisé à des tissus spécifiques, joue un rôle clé dans le vieillissement et diverses pathologies (Favier, 2003).

### II.2. Radicaux libres

Un radical libre est une molécule ou un atome portant un électron non apparié sur sa couche externe, ce qui le rend hautement réactif et instable. Lorsque cet électron célibataire se trouve sur un atome d'oxygène, l'espèce est alors qualifiée d'espèce réactive de l'oxygène (ERO) ou réactive oxygène spécifs (ROS) en anglais (Durand *et al.*, 2013).

Les Espèces Réactives de l'Oxygène (ERO) sont des molécules oxygénées bien plus réactives que le dioxygène ( $O_2$ ). Elles incluent à la fois des radicaux libres – comme l'anion superoxyde ( $O_2 \cdot^-$ ), le radical hydroxyle ( $\cdot OH$ ) et l'oxyde nitrique ( $NO\cdot$ ) – et des composés non radicalaires tels que le peroxyde d'hydrogène ( $H_2 O_2$ ), l'oxygène singulet ( $^1O_2$ ) et le peroxydinitrite ( $ONOO^-$ ). Si le superoxyde et l'hydroxyle sont extrêmement instables,  $H_2 O_2$ , en revanche, diffuse facilement et persiste plus longtemps, ce qui lui confère un rôle clé dans la signalisation cellulaire et les dommages oxydatifs (Costantino *et al.*, 2011).

**Tableau 2** .Radicaux libres du stress oxydant (Gauche & Hausswirth, 2006).

Symbole	Nom du radical
$O_2 \bullet^-$	Radical superoxyde
$HO_2 \bullet$	Radical perhydroxyle
$\bullet OH$	Radical hydroxyle
$RO_2 \bullet$	Radical peroxyde
$RO\bullet$	Radical alkoxyde

Le point (•) indique la présence d'un électron non apparié caractéristique des radicaux libres, le signe (-) sur  $O_2 \bullet^-$  indique qu'il s'agit d'un anion, (R) représente un groupement organique.

### II.3. Antioxydants

Un antioxydant est une molécule capable d'inhiber l'oxydation d'une autre molécule. Il interrompt la chaîne de réactions des radicaux libres en sacrifiant ses propres électrons pour alimenter les radicaux libres, sans devenir eux-mêmes des radicaux libres (Sunitha, 2016).

Pour évaluer le profil antioxydant des extraits obtenus, plusieurs indices ont été utilisés, notamment la teneur totale en composés phénoliques (TPC), la teneur totale en flavonoïdes (TFC), l'activité de piégeage du radical DPPH (1,1-diphényl-2-picrylhydrazyle), le test de blanchiment du  $\beta$ -carotène, le pouvoir réducteur du fer (FRAP) ainsi que le test ABTS (2,2'-azino-bis (3-éthylbenzothiazoline-6-sulfonique)). Par ailleurs, une caractérisation des extraits par chromatographie liquide à haute performance (HPLC) a été réalisée afin d'estimer la teneur en composés actifs (Hameed et al., 2019).

D'un point de vue fonctionnel, les antioxydants peuvent être classés en deux grandes catégories : enzymatiques et non enzymatiques (Birben et al., 2012).

#### II.3.1. Les antioxydants enzymatiques

Les enzymes antioxydants, également appelées antioxydants endogènes (El-Missiry, 2012), telles que la superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT), la glutathion peroxydase (GPx) et la DT-diaphorase jouent un rôle fondamental dans la défense cellulaire contre le stress oxydatif. La SOD catalyse la conversion des radicaux superoxydes en peroxyde d'hydrogène, lequel est ensuite transformé en eau et en oxygène grâce à l'action de la catalase ou de la GPx. La SOD, qui nécessite des métaux comme cofacteurs, est considérée comme

l'enzyme de détoxification la plus puissante de la cellule. La catalase, localisée principalement dans les peroxysomes, est extrêmement efficace pour éliminer le  $H_2 O_2$  généré, notamment lors de l'oxydation des acides gras. Quant à la GPx, elle est une enzyme intracellulaire dépendante du sélénium, qui intervient dans la réduction du  $H_2 O_2$  et des peroxydes lipidiques, en particulier dans les mitochondries et le cytosol. Parmi les différentes formes de GPx, la GPx1 est la plus abondante et protège les cellules contre la peroxydation lipidique, contribuant ainsi à la prévention de nombreuses maladies, dont les cancers et les pathologies cardiovasculaires. Enfin, la DT-diaphorase participe à la réduction des composés de type quinone. La production de ces enzymes est régulée par l'ADN, soulignant leur importance vitale dans le maintien de l'équilibre cellulaire (Santos-Sánchez et *al.*, 2019).

### II.3.2. Les antioxydants non enzymatiques

Les antioxydants non enzymatiques, également appelés antioxydants exogènes (El-Missiry, 2012), comprennent des composés capables de piéger et de neutraliser les radicaux libres (FR) en cédant des électrons, limitant ainsi leur réactivité. Bien que ces antioxydants deviennent eux-mêmes des radicaux après cette action, ils restent beaucoup moins agressifs et peuvent à leur tour être désactivés par d'autres antioxydants. Ce système repose sur une diversité de molécules naturelles, telles que les vitamines E et C, les carotènes, le glutathion réduit (GSH), la ferritine, la céruloplasmine, la coenzyme Q, la mélatonine, ainsi que certains oligoéléments comme le zinc, le sélénium et le manganèse. Les flavonoïdes alimentaires, en particulier, jouent un double rôle en capturant directement les espèces réactives ou en agissant comme co-substrats dans les réactions enzymatiques antioxydants. Ce réseau complexe permet de préserver l'équilibre oxydatif au sein des cellules (Santos-Sánchez et *al.*, 2019).

**Deuxième partie**  
**Partie expérimentale**

# **Chapitre 03**

## **Matériel et méthodes**

### **III.1 Matériel végétal**

Le matériel végétal utilisé dans cette étude est constitué de *Trigonella foenum-graecum* L. (fenugrec), sous forme de graines sèches ainsi que de plantules récoltées à différents stades de germination. Les graines ont été collectées en 2023 dans la région de Zeribet El Oued (Biskra, Algérie).

#### **III.1.1 Préparation du matériel végétal**

Les graines de fenugrec ont été broyées à l'aide d'un broyeur électrique pour obtenir une poudre fine. La mise en germination a été réalisée en plaçant les graines sur un support humidifié et en les exposant à température ambiante et à l'obscurité. Les graines ont été récoltées à trois stades différents de germination : après 48 heures, 5 jours et 7 jours.

### **III.2. Méthodes**

#### **III.1.1 Protocole d'extraction acétonique**

L'extraction des composés phénoliques a été effectuée à l'aide d'un solvant acétonique. Pour cela, 1 g de matière végétale (poudre ou plantules) a été introduit dans 100 mL d'un mélange acétone/eau à 70 :30 (v/v). Le mélange a été chauffé à ébullition sous reflux pendant 20 minutes, puis filtré, et le résidu séché à l'étuve à 40 °C. L'extrait sec obtenu a été repris dans 10 mL d'eau distillée, puis conservé à 4 °C.

#### **III.2.2 Dosage des polyphénols**

La teneur en composés phénoliques totaux a été déterminée selon la méthode de Folin-Ciocalteu (Pérez et *al.*, 2023).

Une aliquote de 100µL d'extrait ou de solution étalon d'acide gallique (préparée à différentes concentrations) a été mélangée avec 500 µL de réactif de Folin-Ciocalteu, puis incubée pendant 4 minutes. Ensuite, 400 µL de Na<sub>2</sub> CO<sub>3</sub> à 7 % ont été ajoutés. Le mélange a été incubé pendant 2 heures à température ambiante, à l'abri de la lumière. L'absorbance a été mesurée à 765 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

La quantification des polyphénols a été réalisée à partir d'une courbe d'étalonnage obtenue avec l'acide gallique, et les résultats ont été exprimés en microgramme d'équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait (µg EAG/g d'extrait).

### III.2.3 Évaluation de l'activité antioxydante

Selon la méthode de (Brand-Williams et *al.*, 1995), l'activité antioxydante des extraits a été évaluée à l'aide du test DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle). Ce test repose sur la capacité des antioxydantes à réduire le radical libre DPPH, de couleur violette, en une forme non radicalaire de couleur jaune pâle.

Une solution de DPPH a été préparée en dissolvant 1 mg de DPPH dans 25 mL de méthanol. Pour chaque essai, 1,35 mL de cette solution a été mélangé à 150 µL d'extrait. Le mélange a été incubé à température ambiante, à l'abri de la lumière, pendant 30 minutes. L'absorbance a ensuite été mesurée à 517 nm.

Un contrôle négatif, constitué de la solution de DPPH seule, a été utilisé comme référence pour mesurer l'absorbance maximale. Un blanc (sans DPPH) a également été préparé afin de corriger toute interférence due à la coloration naturelle des extraits. Chaque concentration a été testée en duplicata afin d'assurer la fiabilité des résultats.

Le pourcentage d'inhibition (PI%) des radicaux libres a été calculé selon la formule suivante (Ismaili et *al.*, 2017):

$$PI (\%) = [(AC - AE) / AC] \times 100$$

AE : absorbance de l'échantillon.

AC : absorbance contrôle négatif.

L'activité antioxydante a été exprimée en termes de concentration inhibitrice moyenne ( $IC_{50}$ ), définie comme la concentration de l'extrait nécessaire pour inhiber 50 % des radicaux DPPH initiaux.

L'expérience sera répétée en double pour chaque échantillon pour le dosage des polyphénols et l'évaluation de l'activité antioxydante, et l'analyse statistique des données sera effectuée à l'aide du logiciel statistique Minitab.

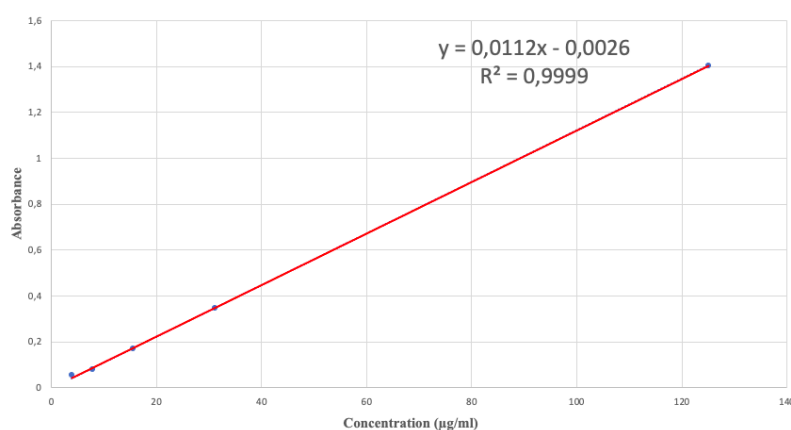
# **Chapitre 04**

## **Résultats et discussions**

### IV.1. Dosage de polyphénols

Le dosage des composés phénoliques totaux a été réalisé selon la méthode de Folin-Ciocalteu, une technique classique et rapide reposant sur la réaction du réactif de Folin-Ciocalteu avec les polyphénols présents dans l'extrait. Cette réaction entraîne la formation d'un complexe coloré bleu, dont l'intensité est proportionnelle à la concentration en polyphénols, et peut être mesurée par spectrophotométrie.

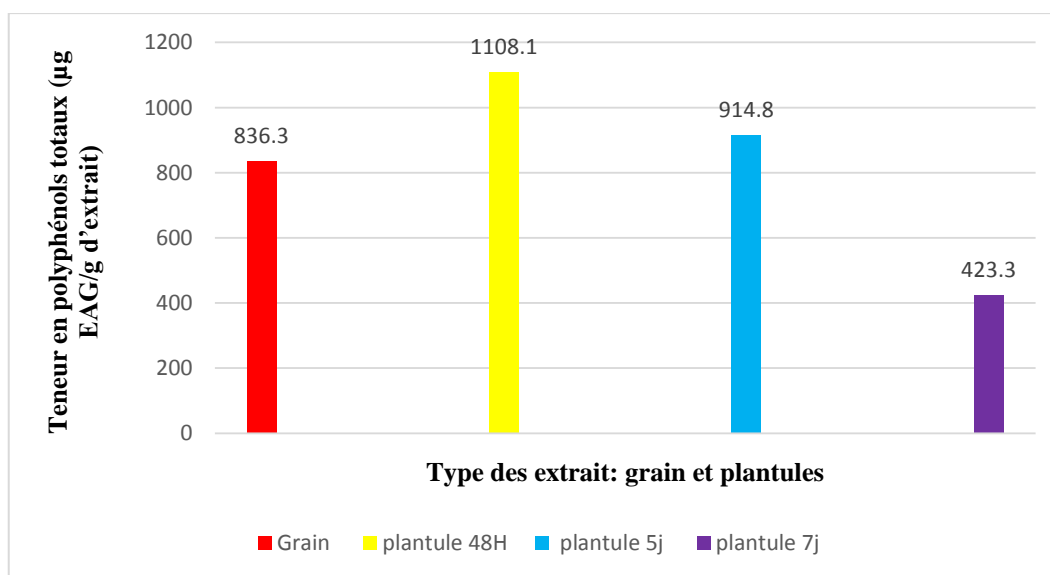
La quantification a été effectuée à l'aide d'une courbe d'étalonnage établie à partir de différentes concentrations d'acide gallique. À partir de l'équation de régression obtenue (voir figure 5), les teneurs en polyphénols totaux des extraits ont été calculées et exprimées en microgramme d'équivalents d'acide gallique par gramme d'extrait sec ( $\mu\text{g EAG/g}$ ).



**Figure 4.** Courbe d'étalonnage de différentes concentrations d'acide gallique

**Tableau 3.** Teneur de polyphénols totaux (exprimée en  $\mu\text{g EAG/g}$  d'extrait) dans les différents extraits de *Trigonella foenum-graecum*.

Extraits	Absorbance	Teneur ( $\mu\text{g EAG/g}$ )
Grain	0,934	$836.3 \pm 3.03$
Plantule 48h	1,239	$1108.1 \pm 3.47$
Plantule 5j	1,022	$914.8 \pm 2.90$
Plantule 7j	0,472	$423.3 \pm 3.22$



**Figure 5.** Teneur de polyphénols totaux (exprimée en µg EAG/g d'extrait) dans les différents extraits de *Trigonella foenum-graecum*

Dans le cadre de cette étude, l'extrait acétonique des graines de *Trigonella foenum-graecum* a révélé une teneur en polyphénols totaux de  $836.3 \pm 3,04$  µg EAG/g d'extrait. Cette concentration est relativement faible comparée à certaines références bibliographiques qui ont travaillé de la même plante (*Trigonella foenum-graecum*). Notamment, (Bukhari et al., 2008) illustrent une teneur inférieure, de l'ordre de  $4,04$  µg EAG/g. D'autres études rapportent des teneurs bien plus élevées, comme celle de (Osman Magdoleen G et al., 2020), qui ont marqué  $176\,200$  µg EAG/g, ou celle de (Kenny et al., 2013), dont les extraits affichaient  $106\,316$  µg EAG/g. Ces variations peuvent s'expliquer par plusieurs facteurs, tels que les conditions agro-climatiques, la variété de la plante, le type de solvant, ou encore la méthode d'extraction utilisée. Ainsi, même si la valeur obtenue dans cette étude est relativement faible, elle reste révélatrice de la présence de composés phénoliques aux propriétés antioxydantes potentielles.

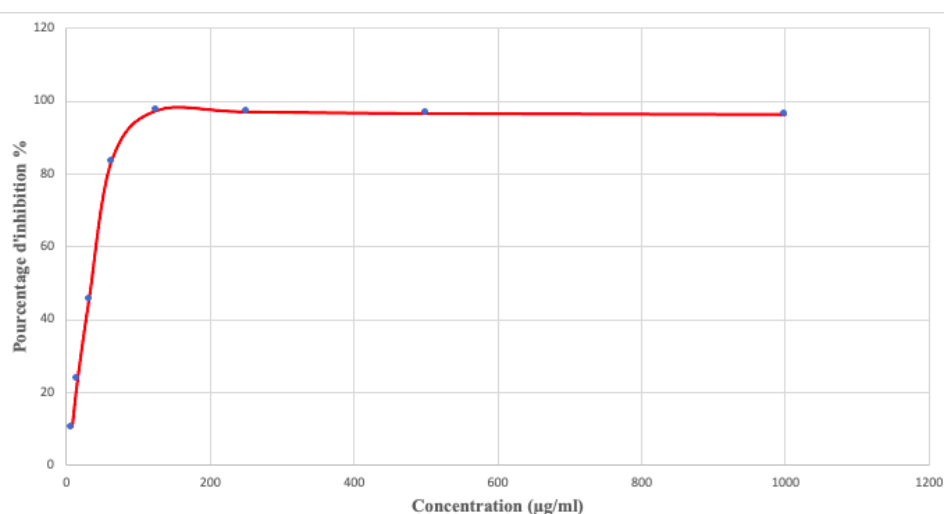
Par ailleurs, l'évolution de la teneur en polyphénols au cours de la germination montre une dynamique caractéristique. La plantule 48 heures présente une teneur maximale de  $1108.1 \pm 3,47$  µg EAG/g, suivie d'une légère baisse à  $914.8 \pm 2,90$  µg EAG/g au 5<sup>e</sup> jour, puis à  $423.3 \pm 3,22$  µg EAG/g au 7<sup>e</sup> jour. Cette diminution progressive peut être attribuée à l'utilisation des polyphénols dans les processus métaboliques actifs ou à leur dégradation enzymatique au cours du développement et mécanisme de résistance et anti ravageur. Ces résultats suggèrent que la germination courte (48 h) permet de maximiser l'enrichissement en composés phénoliques, offrant ainsi une opportunité pour valoriser les graines de fenugrec dans une perspective nutritionnelle ou fonctionnelle.

L'analyse de variance à un facteur (ANOVA), réalisée à l'aide du logiciel Minitab, a permis d'évaluer l'effet du stade de développement (sd) sur la teneur en polyphénols totaux (poly). Les résultats ont montré un effet hautement significatif de ce facteur sur le stade de développement sur la variable teneur de polyphénols :  $p(0,000) < 0,001$ .

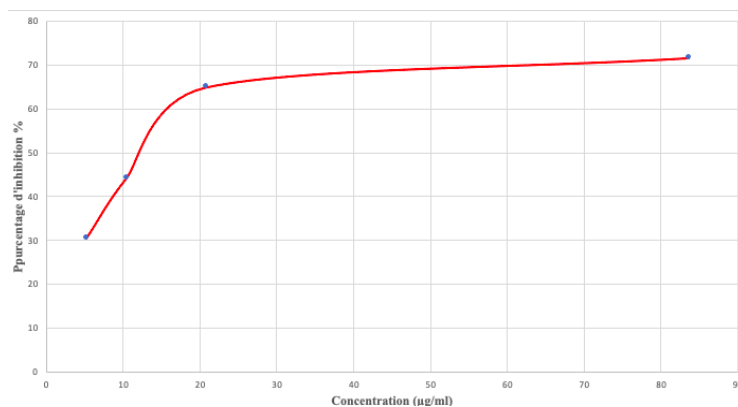
Les teneurs moyennes en polyphénols étaient de  $110.81 \mu\text{g/mL}$  pour le groupe deuxième jour (dj),  $91.48 \mu\text{g/mL}$  pour cinquième jour (cj),  $83.63 \mu\text{g/mL}$  pour graines (gr), et  $42.33 \mu\text{g/mL}$  pour septième jour (sj). L'intervalle de confiance indique que les groupes deuxième jour (dj) et graines (gr) se superposent partiellement, tandis que septième jour (sj) est distinct, traduisant une teneur significativement plus faible (Annexe 1).

#### IV.2. Évaluation de l'activité antioxydante

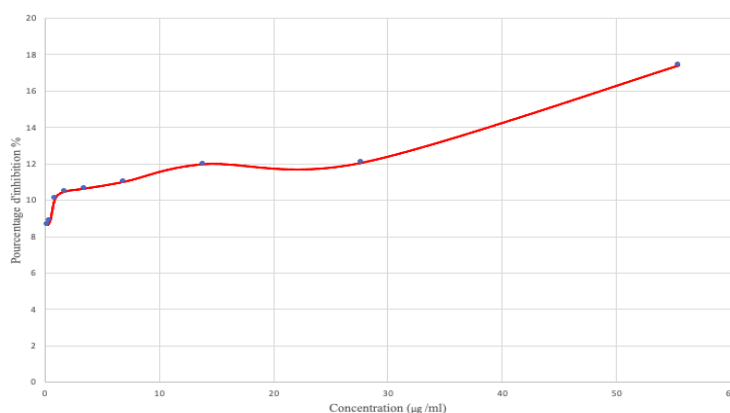
L'activité antioxydante de l'acide ascorbique a été évaluée à l'aide du radical libre DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle). Les résultats obtenus indiquent une augmentation du pourcentage d'inhibition en fonction de la concentration. La valeur de l' $IC_{50}$ , représentant la concentration requise pour inhiber 50 % des radicaux libres. L'acide ascorbique (vitamine C) est utilisé comme composé de référence dans cette étude (Figure 6), en raison de ses propriétés antioxydantes bien établies. Cette valeur servira de base de comparaison pour évaluer l'efficacité antioxydante des extraits analysés par la suite.



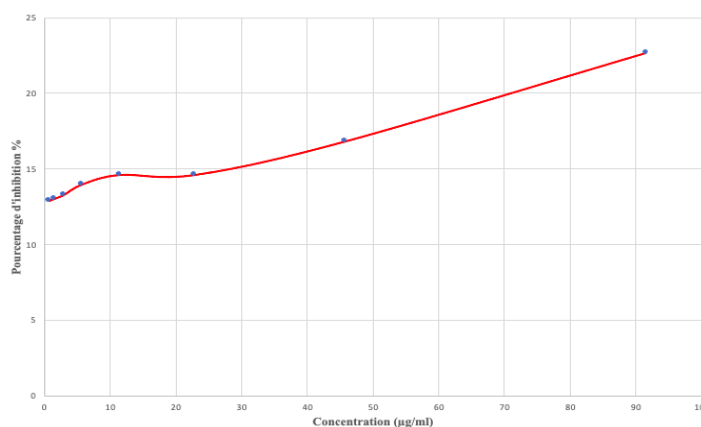
**Figure 6.** Courbe de pourcentage d'inhibition (PI%) en fonction de la concentration de l'acide ascorbique.



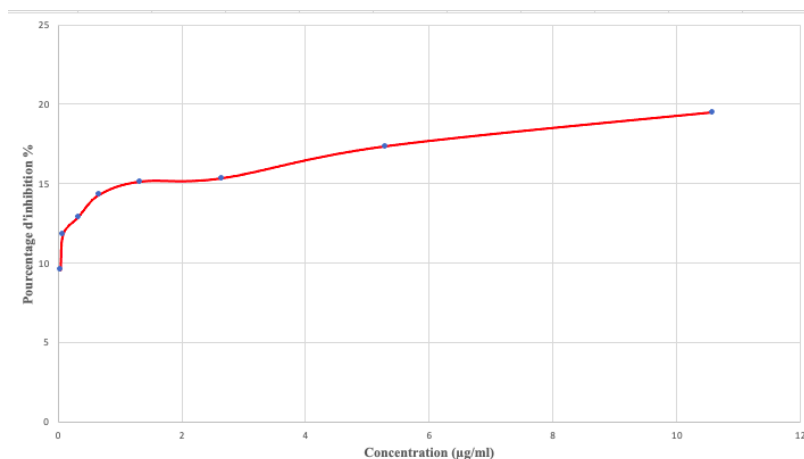
**Figure 7.** Courbe de pourcentage d'inhibition (PI%) en fonction de la concentration de de l'extrait de grain de *Trigonella foenum-graecum*.



**Figure 8.** Courbe de pourcentage d'inhibition (PI%) en fonction de la concentration de de l'extrait de plantule de 48h de *Trigonella foenum-graecum*.



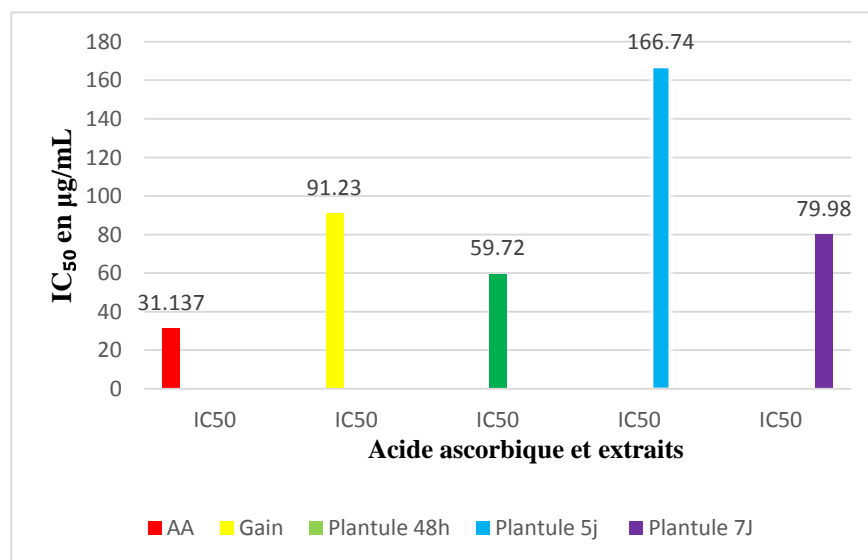
**Figure 9.** Courbe de pourcentage d'inhibition (PI%) en fonction de la concentration de de l'extrait de plantule de 5j de *Trigonella foenum-graecum*.



**Figure 10.** Courbe de pourcentage d’inhibition (PI%) en fonction de la concentration de de l’extrait de plantule de 7j de *Trigonella foenum-graecum*.

**Tableau 4.** Valeurs de l’IC<sub>50</sub> des extraits *Trigonella foenum-graecum* comparées à l’acide ascorbique.

Extraits	AA	Grain	Plantule 48h	Plantule 5j	Plantule 7j
IC <sub>50</sub> (µg/ml)	31.137	91.23	59.72	166.74	79.98



**Figure 11.** Évaluation d’IC<sub>50</sub> de l’acide ascorbique et les quatre extraits étudiés.

Les résultats relatifs à l’extrait de graines non germées, présentant une IC<sub>50</sub> de 91.23 µg/mL, traduisent une activité antioxydant modérée mais notable. Cette valeur reste inférieure à celles rapportées dans certaines études, comme celle de (Priya et al., 2011) qui a observé une IC<sub>50</sub> de 350 µg/mL, ou encore (Khenifi et al., 2023), dont les résultats indiquent une

IC<sub>50</sub> de  $556.6 \pm 9.87 \mu\text{g/mL}$ , suggérant une activité nettement plus faible. À l'inverse, des extraits issus de plantes très riches en antioxydants, tels que celui étudié par (Jayaraman & Ramasamy, 2024), ont montré une IC<sub>50</sub> très basse  $3,85 \mu\text{g/mL}$ , révélant une efficacité bien supérieure. Ces écarts reflètent l'influence de l'origine de la plante, de la méthode d'extraction et de la richesse en composés antioxydants sur l'efficacité globale.

L'évolution des valeurs d'IC<sub>50</sub> au cours de la germination met en évidence une variation significative de l'activité antioxydante selon le stade de développement des plantules. L'extrait issu des graines germées pendant 48 heures présente la meilleure activité antioxydante, avec une valeur d'IC<sub>50</sub> de  $59.72 \mu\text{g/mL}$ , proche de celle de l'acide ascorbique  $31.137 \mu\text{g/mL}$ , traduisant une forte efficacité à neutraliser les radicaux libres. Cette activité diminue de manière marquée au 5<sup>e</sup> jour, avec une IC<sub>50</sub> de  $166.74 \mu\text{g/mL}$ , suggérant une dégradation ou une utilisation des composés antioxydants au cours de la croissance active. À 7 jours, une amélioration partielle est observée IC<sub>50</sub> =  $79.98 \mu\text{g/mL}$ , indiquant une reprise possible de la biosynthèse de ces composés. Comparativement, la graine non germée affiche une IC<sub>50</sub> de  $91.23 \mu\text{g/mL}$ , ce qui confirme que la germination, notamment à court terme, peut considérablement améliorer le potentiel antioxydant des extraits.

Contrairement à certains extraits qui atteignent rapidement un plateau d'inhibition, le présent extrait a montré une augmentation progressive et continue de l'activité antioxydante en fonction de la concentration, sans stabilisation observable dans la gamme testée. Cette évolution peut s'expliquer par le fait que la saturation des radicaux libres n'a pas encore été atteinte, ou que le mélange contient plusieurs composés actifs, chacun contribuant à l'effet global à différents seuils de concentration. Ce comportement suggère une capacité antioxydante potentiellement élevée, nécessitant peut-être des concentrations plus élevées pour révéler l'efficacité maximale.

À la lumière des résultats obtenus, il convient de souligner que l'évaluation de l'activité antioxydante peut être influencée par plusieurs facteurs. Parmi les plus déterminants figurent la méthode d'extraction, le choix du solvant ainsi que l'origine géographique et botanique de la plante, qui peuvent significativement moduler les résultats des tests d'activité antioxydante (Falleh et al., 2021).

L'analyse de variance à un facteur (ANOVA), réalisée à l'aide du logiciel Minitab, a permis d'évaluer l'effet du stade de développement (sd) sur l'activité antioxydante (IC<sub>50</sub>). Les résultats ont montré un effet significatif de ce facteur stade de développement sur la variable IC<sub>50</sub> :  $p(0,004) < 0,005$ .

Les moyennes d'IC50 obtenues étaient de 59.72  $\mu\text{g}/\text{mL}$  pour deuxième jours (dj), 79.98  $\mu\text{g}/\text{mL}$  pour septième jour (sj), 91.23  $\mu\text{g}/\text{mL}$  pour graines (gr), et 166.74  $\mu\text{g}/\text{mL}$  pour cinquième jour (cj). Plus la valeur d'IC50 est faible, plus l'activité est élevée ; ainsi, deuxième jours (dj) présente l'activité antioxydante la plus forte, suivi par septième jour (sj), graines (gr) et cinquième jour (cj). L'intervalle de confiance indiquent que les groupes deuxième jours (dj) et graines (gr) et septième jour (sj) se superposent partiellement, tandis que cinquième jour (cj) est distinct, traduisant une activité significativement plus faible (Annexe 2).

L'évaluation de l'activité antioxydante par le test DPPH a été complétée par le calcul de l'Équivalent Acide Ascorbique (EAA). Cette approche permet de quantifier l'efficacité antioxydante d'un extrait en la comparant directement à celle d'un antioxydant de référence bien connu : l'acide ascorbique (vitamine C).

L'EAA est exprimé comme la concentration d'acide ascorbique (en  $\mu\text{g}/\text{mL}$ ) nécessaire pour produire le même pourcentage d'inhibition radicalaire que celui observé avec l'extrait testé. Cela offre un moyen simple et normalisé de comparer l'activité antioxydant des échantillons.

**Tableau 5.** Évaluation de l'EAA pour des extraits *Trigonella foenum-graecum*.

Extraits	Grain	Plantule 48h	Plantule 5j	Plantule 7j
EAA ( $\mu\text{g}/\text{ml}$ )	18.543	58.254	17.238	28.796

Les résultats montrent que l'extrait de graine a une activité antioxydante équivalente à 18,543  $\mu\text{g}/\text{mL}$  d'acide ascorbique, ce qui reflète une quantité modérée de composés antioxydants. Après 48 heures de germination, cette activité augmente nettement pour atteindre 58,254  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , ce qui indique une forte stimulation des défenses antioxydantes à ce moment.

Cependant, au cinquième jour, l'activité diminue fortement à 17,238  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , montrant une baisse du pouvoir antioxydant. Au septième jour, elle remonte légèrement à 28,796  $\mu\text{g}/\text{mL}$ , ce qui pourrait être dû à une reprise partielle de l'activité des enzymes ou à la production de nouveaux composés antioxydants.

Ces variations montrent que le stade de germination influence fortement le potentiel antioxydant des extraits de *Trigonella foenum-graecum*. L'utilisation de l'Équivalent Acide Ascorbique (EAA) a permis de mesurer précisément ces changements et de comparer les

extraits à une référence standard. Cette méthode s'avère donc utile pour suivre l'évolution de l'activité antioxydante dans le temps.

# Conclusion

### Conclusion et perspectives

Les plantes médicinales continuent de jouer un rôle fondamental dans le domaine de la santé humaine, en particulier grâce à leur richesse en composés bioactifs. Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*), échantillon de cette étude, illustre parfaitement cette valeur thérapeutique par ses propriétés antioxydantes remarquables.

Notre travail a porté sur l'évaluation de l'activité antioxydante des extraits acétoniques issus des graines de fenugrec et différents stades de germination par la méthode DPPH, un test colorimétrique basé sur la capacité des antioxydants à piéger le radical libre 2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle (DPPH). Les résultats ont révélé une variation significative de la teneur en polyphénols et de l'efficacité antioxydante selon le stade de développement de la plante. Notamment, les plantules de 48 heures ont montré une activité antioxydante supérieure, traduite par une  $IC_{50}$  plus faible, proche de celle de l'acide ascorbique. Cette amélioration pourrait être attribuée à une libération ou à une biosynthèse accrue de composés phénoliques durant les premiers jours de germination.

Sous le genre *Trigonella* il existe 130 espèces. Seule l'espèce *Trigonella foenum-graecum* est largement cultivée et utilisée pour ses propriétés médicinales, nutritionnelles et culinaires. Les autres espèces du genre *Trigonella* existent, mais elles sont peu exploitées ou à usage local uniquement.

Ces observations confirment l'intérêt de la germination courte comme méthode naturelle d'enrichissement en antioxydants. Toutefois, les variations observées selon le temps indiquent la nécessité d'une optimisation fine du processus pour maximiser les effets bénéfiques.

Sur la base de ces résultats, plusieurs perspectives s'ouvrent :

- Analyser la composition chimique détaillée des extraits les plus actifs afin d'identifier les molécules responsables de l'effet antioxydant par chromatographie liquide haute performance (HPLC), chromatographie en phase gazeuse (GC).
- Compléter l'évaluation par d'autres tests biologiques, notamment en conditions *in vivo*, pour confirmer l'activité antioxydante dans un modèle biologique complexe.

- Explorer d'autres propriétés pharmacologiques du fenugrec germé, comme ses effets anti-inflammatoires ou antimicrobiens, dans une logique de valorisation thérapeutique intégrée.

Ainsi, cette étude s'inscrit dans une dynamique de valorisation du patrimoine phytothérapeutique, en vue d'applications futures dans les domaines de la nutrition, des compléments alimentaires ou de la phytomédecine.

# **Liste des Références bibliographique**

## Références bibliographiques

Abdelkader, H. S., Touhami, L., Azzedine, I. M., & Batoul, B. S. E. (2009). Mise au point d'un logiciel compilant une base de données des plantes médicinales algériennes et les études de recherches réalisées sur ces plantes. *I*.

Antioxidant properties and quantitative UPLC-MS analysis of phenolic compounds from extracts of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*) seeds and bitter melon (*Momordica charantia*) fruit—PubMed.Consulte 25mai2025, à l'adresse

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23993618/>

Bahmani, M., Shirzad, H., Mirhosseini, M., Mesripour, A., & Rafieian-Kopaei, M. (2016). A Review on Ethnobotanical and Therapeutic Uses of Fenugreek (*Trigonella foenum-graceum* L). *Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine*, *21*(1), 53-62. <https://doi.org/10.1177/2156587215583405>

Birben, E., Sahiner, U. M., Sackesen, C., Erzurum, S., & Kalayci, O. (2012). Oxidative Stress and Antioxidant Defense. *World Allergy Organization Journal*, *5*(1), 9-19. <https://doi.org/10.1097/WOX.0b013e3182439613>

Brand-Williams, W., Cuvelier, M. E., & Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology*, *28*(1), 25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)

Bukhari, S. B., Bhangar, M. I., & Memon, S. (2008). *Antioxidative Activity of Extracts from a Fenugreek Seeds (Trigonella foenum-graecum)*. *9*(2).

Costantino, M., Coiro, V., Colutta, E., & Giampaolo, C. (2011). STRESS OXYDATIF & CRÉNOTHÉRAPIE SULFURÉE. *La Presse thermale et climatique*.

Durand, D., Damon, M., & Gobert, M. (2013). Le stress oxydant chez les animaux de rente : Principes généraux. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, *48*(5), 218-224. <https://doi.org/10.1016/j.cnd.2013.04.005>

El-Missiry, M. A. (2012). *Antioxidant Enzyme*. BoD – Books on Demand.  
Falleh, H., Hafsi, C., Mohsni, I., & Ksouri, R. (2021). Évaluation de différents procédés d'extraction des composés phénoliques d'une plante médicinale : *Verbena officinalis*.

*Biologie Aujourd'hui*, 215(3-4), Article 3-4. <https://doi.org/10.1051/jbio/2021009>  
Favier, A. (2003). Intérêt conceptuel et expérimental dans la compréhension des mécanismes des maladies et potentiel thérapeutique. *Actualité chimique*.  
Gauche, É., & Hausswirth, C. (2006). Stress oxydant, complémentation nutritionnelle en antioxydants et exercice. *Movement & Sport Sciences*, 58(2), 43-66.

<https://doi.org/10.3917/sm.058.66>

Hameed, S., Imran, M., Nisa, M. un, Arshad, M. S., Saeed, F., Arshad, M. U., & Khan, M. A. (2019). Characterization of extracted phenolics from black cumin (*Nigella sativa* linn), coriander seed (*Coriandrum sativum* L.), and fenugreek seed (*Trigonella foenum-graecum*). *International Journal of Food Properties*, 22(1).  
<https://doi.org/10.1080/10942912.2019.1599390>

Ismaili, R., Houbairi, S., Sanâa, L., Khadija, M., & Abdeslam, L. (2017). Etude De L'Activité Antioxydante Des Huiles Essentielles De Plantes Aromatiques Et Médicinales Marocaines. *European Scientific Journal, ESJ*, 13(12), 323.

<https://doi.org/10.19044/esj.2017.v13n12p323>

Jayaraman, S., & Ramasamy, T. (2024). Metabolomics and bioactive attributes of fenugreek microgreens: Insights into antioxidant, antibacterial and antibiofilm potential. *Food Bioscience*, 60, 104316. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.104316>

Kaysarov, V., & Mardonov, F. (2023). Morphoanatomic description of *Trigonella foenum-graecum* L. seeds. *E3S Web of Conferences*, 389, 03054.  
<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338903054>

Kena, K., & Latera, A. (2025). Evaluation of Fenugreek (*Trigonella Foenum-Graecum*) Varieties in Kellem Wollega Zone of Western Oromia. *Advances in Applied Physiology*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.11648/j.aap.20251001.11>

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 (*Momordica charantia*) fruit. *Food Chemistry*, 141(4), 4295-4302. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.07.016>

Khenifi, M. L., Serseg, T., Migas, P., Krauze-Baranowska, M., Özdemir, S., Bensouici, C., Alghonaim, M. I., Al-Khafaji, K., Alsalamah, S. A., Boudjeniba, M., Yousfi, M.,

Boufahja, F., Bendif, H., & Mahdid, M. (2023). HPLC-DAD-MS Characterization, Antioxidant Activity,  $\alpha$ -amylase Inhibition, Molecular Docking, and ADMET of Flavonoids from Fenugreek Seeds. *Molecules*, 28(23), Article 23.

<https://doi.org/10.3390/molecules28237798>

Leroy, P. (2016). Les composants du stress oxydant et les radicaux libres : *Hegel*, N° 2(2), 218-219. <https://doi.org/10.3917/heg.062.0218>

Mahbub, J., Mou, R., Sikta, S., Rahman, A., & Dash, P. (2018). Biological and medicinal significance of *Trigonella foenum-graecum*: a review. *International Journal of Life Sciences and Review*, 4, 15-26.

[https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.IJLSR.4\(2\).15-26](https://doi.org/10.13040/IJPSR.0975-8232.IJLSR.4(2).15-26)

Mehrafarin, A., Rezazadeh, S., Naghdi Badi, H., Noormohammadi, G., Zand, E., & Qaderi, A. (2011). A Review on Biology, Cultivation and Biotechnology of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) as a Valuable Medicinal Plant and Multipurpose. *Journal of Medicinal Plants*, 10(37), 6-24.

Mendame, W. L. M., Mintsá, B. A. E., Pambo-Pambo, A. B., & Yala, J.-F. (2022).

Composition phytochimique et propriété antioxydante de l'extrait aqueux de *Acalyphawilkesiana* (Euphorbiaceae) Müll. Arg. 9.

Osman Magdoleen G, Daffalla H M, Ahmad Magda M M, Ali Kauther Sir El-Khatim, Saleh Salma A, & Hamza Abdelhalim A. (2020). Total phenolic content, antioxidant and antimicrobial activities of seeds and callus of *Trigonella foenum-graecum* Linn. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*, 10(3), 001-009.

<https://doi.org/10.30574/gscbps.2020.10.3.0033>

Pérez, M., Dominguez-López, I., & Lamuela-Raventós, R. M. (2023). The Chemistry Behind the Folin-Ciocalteu Method for the Estimation of (Poly)phenol Content in Food: Total Phenolic Intake in a Mediterranean Dietary Pattern. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(46), 17543-17553. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.3c04022>

Petit-Aldana, J., Noguera-Savelli, E., Cetzal-Ix, W., & Infante-Cruz, A. (2014). Productive potential of fenugreek (*fabaceae: Trigonella foenum-graecum* L.) in venezuela. open access.

Priya, V., Jananie, R. K., & Vijayalakshmi, K. (2011). Studies on anti-oxidant activity of *Trigonella foenum graecum* seed using in vitro models. 2

Rahmani, M., Toumi-Benali, F., Hamel, L., & Dif, M. M. (2015). Aperçu ethnobotanique et phytopharmacologique sur *Trigonella foenum-graecum* L. *Phytothérapie*.

<https://doi.org/10.1007/s10298-015-0964-9>

Santos-Sánchez, N. F., Salas-Coronado, R., Villanueva-Cañongo, C., & Hernández- 25 Carlos, B. (2019). Antioxidant Compounds and Their Antioxidant Mechanism. In *Antioxidants*. IntechOpen.

<https://doi.org/10.5772/intechopen.85270>

Sies, H., Berndt, C., & Jones, D. P. (2017). Oxidative Stress. *Annual Review of Biochemistry*, 86(Volume 86, 2017), 715-748.

<https://doi.org/10.1146/annurev-biochem-061516-045037>

Sunitha, D. (2016). A review on antioxidant methods. *Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research*, 14.

<https://doi.org/10.22159/ajpcr.2016.v9s2.13092>

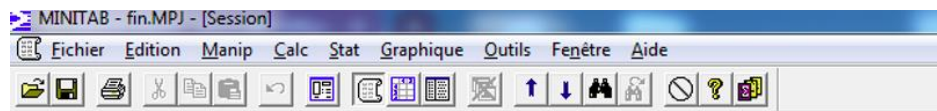
Yadav, U. C. S., & Baquer, N. Z. (2014). Pharmacological effects of *Trigonella foenum-graecum* L. in health and disease. *Pharmaceutical Biology*, 52(2), 243-254.

<https://doi.org/10.3109/13880209.2013.826247>

Zbadi, R., Mohti, H., & Moussaoui, F. (2018). *Stress oxydatif : Évaluation du pouvoir antioxydant de quelques plantes médicinales*.

# **Annexes**

## Annexes



————— 25-05-2025 13:50:35 —————

Bienvenue dans Minitab, appuyez sur F1 pour obtenir l'aide.

**ANOVA à un facteur contrôlé : poly en fonction de sd**

Analyse de variance pour poly

Source	DL	SC	CM	F	P
sd	3	4992.7	1664.2	166.27	0.000
Erreur	4	40.0	10.0		
Total	7	5032.7			

IC individuel à 95% pour la moyenne  
Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcartType	IC
cj	2	91.48	2.90	(--*-)
dj	2	110.81	3.47	(-*)
gr	2	83.63	3.03	(--*-)
sj	2	42.33	3.22	(--*-)

Ecart-type groupé = 3.16

**Annexe1** : ANOVA à un facteur contrôlé : polyphénols en fonction de stade de développement.

**ANOVA à un facteur contrôlé : ic50 en fonction de sd**

Analyse de variance pour ic50

Source	DL	SC	CM	F	P
sd	3	13104	4368	25.92	0.004
Erreur	4	674	169		
Total	7	13778			

IC individuel à 95% pour la moyenne  
Basé sur Ecart-type groupé

Niveau	N	Moyenne	EcartType	IC
cj	2	166.74	25.56	(----*----)
dj	2	59.72	4.43	(----*----)
gr	2	91.23	1.01	(----*----)
sj	2	79.98	0.20	(----*----)

Ecart-type groupé = 12.98

**Annexe2** : ANOVA à un facteur contrôlé : IC50 en fonction de stade de développement.

# Résumé

تحتوي مستخلصات (*Trigonella foenum-graecum* الحلبة) على مركبات فينولية متعددة معروفة بفوائدها الصحية. في هذه الدراسة، قمنا بتقييم النشاط المضاد للأكسدة للمستخلصات الأسيونوية المستخرجة من البذور ومن مراحل مختلفة من الإنبات (48 ساعة، 5 أيام، 7 أيام). أظهر تحليل البوليفينولات باستخدام طريقة فولين-سيوكالتيو أعلى تركيز في البادرات بعمر 48 ساعة ( $1108.1 \pm 3.47$  ميكروغرام مكافئ حمض الغاليك/غ)، تليها البادرات بعمر 5 أيام ( $914.8 \pm 2.90$  ميكروغرام/غ). أظهر اختبار DPPH أن مستخلص البذور يحتوي ( $IC_{50} = 91.23$  ميكروغرام/غ) في حين أن البادرة بعمر 48 ساعة يمتلك نشاطاً مضاداً للأكسدة عالياً ( $IC_{50} = 59.72$  ميكروغرام/مل)، قريب من نشاط حمض الأسكوربيك ( $31.137$  ميكروغرام/مل). ينخفض النشاط في عمر 5 أيام ( $IC_{50} = 165.235$  ميكروغرام/مل)، ثم يرتفع مرة أخرى في عمر 7 أيام ( $IC_{50} = 70.122$  ميكروغرام/مل). توضح هذه النتائج أن الإنبات، وخصوصاً على المدى القصير، يُحسن من القدرة المضادة للأكسدة للحلبة، مما يشير إلى إمكاناتها في التطبيقات الصحية والغذائية.

**الكلمات المفتاحية:** الحلبة، المركبات الفينولية، النشاط المضاد للأكسدة، المستخلصات الأسيونوية، مراحل الإنبات

## Résumé

Les extraits de *Trigonella foenum-graecum* contiennent divers composés phénoliques connus pour leurs effets bénéfiques. Dans cette étude, nous avons évalué l'activité antioxydante des extraits acétoniques obtenus à partir des graines et de leurs différents stades de germination (48h, 5 jours, 7 jours). Le dosage des polyphénols par la méthode de Folin-Ciocalteu a révélé une teneur maximale dans les plantules de 48h ( $1108.1 \pm 3.47$  µg EAG/g), suivie des plantules 5 jours ( $914.8 \pm 2.90$  µg EAG/g). L'évaluation antioxydante par le test DPPH a montré que l'extrait de grain possède une activité antioxydante ( $IC_{50} = 91.23$  µg/mL) alors que l'extrait de plantule de 48h possède une activité antioxydante élevée ( $IC_{50} = 59.72$  µg/mL), proche de celle de l'acide ascorbique  $31.137$  µg/mL, L'activité diminue à 5 jours ( $IC_{50} = 166.74$  µg/mL), puis remonte à 7 jours ( $IC_{50} = 79.98$  µg/mL). Ces résultats montrent que la germination, en particulier à court terme, améliore le pouvoir antioxydant du fenugrec, suggérant son potentiel pour des applications.

**Mot clé :** *Trigonella foenum-graecum*, composés phénoliques, activité antioxydante, extrait acétonique, stades de germination

## Abstract:

*Trigonella foenum-graecum* extracts contain various phenolic compounds known for their beneficial effects. In this study, we evaluated the antioxidant activity of acetonetic extracts obtained from the seeds and different germination stages (48h, 5 days, 7 days). The polyphenol content measured using the Folin-Ciocalteu method revealed a maximum concentration in the 48h seedlings ( $1108.1 \pm 3.47$  µg GAE/g), followed by the 5-day seedlings ( $914.8 \pm 2.90$  µg GAE/g). Antioxidant evaluation using the DPPH assay showed that the seed extract possesses antioxidant activity ( $IC_{50} = 91.23$  µg/mL), while the 48h seedling extract had high antioxidant activity ( $IC_{50} = 59.72$  µg/mL), close to that of ascorbic acid ( $31.137$  µg/mL). The activity decreased at 5 days ( $IC_{50} = 166.74$  µg/mL), then increased again at 7 days ( $IC_{50} = 79.98$  µg/mL). These results demonstrate that germination, especially in the short term, enhances the antioxidant potential of fenugreek, suggesting its promise for health-related applications.

**Key words:** *Trigonella foenum-graecum*, phenolic compounds, antioxidant activity, acetonetic extracts, germination stage





## Déclaration de correction de mémoire de master 2025

Référence du mémoire N°: ..... / 2025	PV de soutenance N°: ..... / 2025	
Nom et prénom(en majuscule) de l'étudiant (e) : Draou Djihad	Lقب و اسم الطالب(ة) : ذراعو محمد	
La mention التقدير .....	Note(./20) العلامة 12.33	L'intitulé de mémoire المذكرة عنوان المذكرة Activité autoaydante de la plante médicinale Trigonella foenum-graecum (fenugrec)

### تصريح وقرار الأستاذ المشرف : Déclaration et décision de l'enseignant promoteur

#### Déclaration :

Je soussigné (e), Dr. A. F. Bou. U. S. Hammou  
 (grade) prof à l'université  
 de Biskra, avoir examiné intégralement ce  
 mémoire après les modifications apportées par l'étudiant.

#### J'atteste que :

- \* le document a été corrigé et il est conforme au model de la forme du département SNV
- \* toutes les corrections ont été faites strictement aux recommandations du jury.
- \* d'autres anomalies ont été corrigées

#### تصريح :

أنا الممضي(ة) أسفله بوعنتوش محمد  
 (الرتبة) أستاذ بجامعة بسكرة  
مستشار مستشار  
 أصرح بأنني راجعت محتوى هذه المذكرة كليا مراجعة دقيقة  
 وهذا بعد التصحيحات التي أجراها الطالب بعد المناقشة، وعليه  
 أشهد بأن :  
 \* المذكرة تتوافق بشكلها الحالي مع النموذج المعتمد لقسم علوم  
 الطبيعة والحياة.  
 \* المذكرة صححت وفقا لكل توصيات لجنة المناقشة  
 \* تم تدارك الكثير من الإختلالات المكتشفة بعد المناقشة

#### Décision :

Sur la base du contenu scientifique, de degré de conformité  
 et de pourcentage des fautes linguistiques, Je décide que  
 ce mémoire doit être classé sous la catégorie

#### قرار :

اعتمادا على درجة مطابقتها للنموذج ، على نسبة الأخطاء اللغوية  
 وعلى المحتوى العلمي أقرر أن تصنف هذه المذكرة في الدرجة

مقبول acceptable	عادي ordinaire	حسن bien	جيد جدا très bien	ممتاز excellent	متميز exceptionnel
E	D	C	X B	A	A+



الأستاذ المشرف

التاريخ  
 2025 / 06 / 25



## Déclaration de correction de mémoire de master 2025

Référence du mémoire N°: ..... / 2025 PV de soutenance N°: ..... / 2025

Nom et prénom (en majuscule) de l'étudiant (e) : .....  
لقب و اسم الطالب (ة) : .....  
Djebbara Khouloud ..... جبارة كلود

La mention التقدير	Note (./20) العلامة	L'intitulé de mémoire المذكرة
.....	46.88	عنوان المذكرة
Activité antiparasitaire de la plante médicinale Trigonella foenum-graecum (fenugrec)		

### Déclaration et décision de l'enseignant promoteur : تصريح وقرار الأستاذ المشرف :

#### Déclaration :

Je soussigné (e), Abdelkader Yamani  
(grade) prof à l'université  
de Biskra, avoir examiné intégralement ce  
memoire après les modifications apportées par l'étudiant.

#### J'atteste que :

- \* le document a été corrigé et il est conforme au model de la forme du département SNV
- \* toutes les corrections ont été faites strictement aux recommandations du jury.
- \* d'autres anomalies ont été corrigées

#### تصريح :

أنا الممضي (ة) أسفله بو عبد الكادر يمني  
(الرتبة) أستاذ بجامعة  
بسكرة  
أصرح بأنني راجعت محتوى هذه المذكرة كليا مراجعة دقيقة  
وهذا بعد التصحيحات التي أجراها الطالب بعد المناقشة، وعليه  
أشهد بأن :

- \* المذكرة تتوافق بشكلها الحالي مع النموذج المعتمد لقسم علوم الطبيعة والحياة.
- \* المذكرة صحيحة وفقا لكل توصيات لجنة المناقشة
- \* تم تدارك الكثير من الإختلالات المكتشفة بعد المناقشة

#### Décision :

Sur la base du contenu scientifique, de degré de conformité  
et de pourcentage des fautes linguistiques, **Je décide** que  
ce mémoire doit être classé sous la catégorie

#### قرار :

اعتمادا على درجة مطابقتها للنموذج ، على نسبة الأخطاء اللغوية  
وعلى المحتوى العلمي أقرر أن تصنف هذه المذكرة في الدرجة

مقبول acceptable	عادي ordinaire	حسن bien	جيد جدا très bien	ممتاز excellent	تميز exceptionnel
E	D	C	A B	A	A+



الأستاذ المشرف  
[Signature]

التاريخ  
2025 / 06 / 05