



République Algérienne Démocratique et Populaire



Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

UNIVERSITE ABOU BEKR BELKAID DE TLEMCCEN

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et Sciences de la Terre et de l'Univers

**Département de Biologie**

# MEMOIRE

Présenté par :

**GUENNOUN Hind**

**DJILALI Bouchra**

*En vue de l'obtention du*

**Diplôme de MASTER**

En microbiologie fondamentale

**Thème :**

**Extraction, caractérisation et évaluation de l'activité antifongique de mucilage  
extrait de graines de *Trigonella Foenum-graecum L.***

Soutenue le 29 juin 2020 devant le jury composé de :

**Président**                      **Mme BOUALI.W**                      **MCB**                      **Université de Tlemcen**

**Encadreur**                      **Mme MKEDDER. I**                      **MCB**                      **Université de Tlemcen**

**Examineur**                      **Mme BELLIFA. S**                      **MCB**                      **Université de Tlemcen**

**Année Universitaire : 2019/2020**

# *Remerciements*

Nous remercions Dieu le tout puissant pour nous avoir donné le courage et la volonté pour achever ce modeste travail.

Nous exprimons d'abord nos profonds remerciements à notre encadreur, Dr. MKEDDER Ilham, Maitre de conférence B au département Biologie, faculté SNV-STU à l'Université de Tlemcen, pour avoir accepté de diriger et de suivre ce travail avec disponibilité, patience et bienveillance. Ses critiques et ses conseils nous sont d'ores et déjà précieux. Qu'elle trouve ici l'expression de toute notre reconnaissance et notre profond respect.

Nous remercions vivement Mme BOUALI Waffa, Maitre de conférences B à l'Université de Tlemcen, pour son aimable compréhension et pour avoir accepté de présider le jury.

Nous nous faisons un devoir d'adresser nos remerciements à l'examinatrice de ce travail, Dr. BELLIFA Samia, Maitre de conférence B au département de biologie, Université Abou Bekr Belkaïd Tlemcen, pour son aimable compréhension et l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant de faire partie de ce jury.

On remercie également toute l'équipe de nous avoir accueillir dans leur laboratoire, pour leur esprit, et aussi pour leur aide précieuse.

*Merci*



## *Dédicace*

Je dédie ce travail a mes chers "*Parents*", qu'ils trouvent ici le témoignage de ma profonde gratitude pour leur sacrifices, amour, encourage et leur soutien tout le long de mes études, que DIEU les bénisse.

A mon chère léo et a toute ma famille.

A mon fiancé "*Hichem*" pour son soutien moral et sa patience.

A mes très chères copines "*Hind*" et "*Nousra*" pour tout l'amour qu'elles me portent et j'espère que leurs bénédictions m'accompagnent toujours.

A tous mes professeures et enseignants.

A toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

*Bouchra*



## *Dédicace*

Je dédie ce travail :

A mes très chers « *Parents* » pour leur amour, leur soutien et leur encouragement durant mes études, puisse ALLAH vous accorder longue vie et beaucoup de santé et de bonheur.

A mes chers et adorables « *Frères* », source de joie et de bonheur, que DIEU le tout puissant vous protège et vous garde.

A mes très chers copines « *Bouchra* » et « *Yousra* » pour leur amour, leur soutien et pour tout les beaux souvenirs que nous avons passés ensemble, avec mes souhaits de bonheur de santé et de réussite dans leur vie.

A tous mes professeurs et enseignants.

A tout mes amies surtout de notre promotion de Master « *Microbiologie Fondamentale* ».

A toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce mémoire.

*Hind*

## Liste des abréviations :

**CuSO<sub>4</sub>** : Sulfate de cuivre.

**CMI** : Concentration minimal inhibitrice.

**FeCl<sub>3</sub>** : chlorure de fer.

**HCl** : Acide chlorhydrique.

**Hg** : L'hémoglobine glyquée

**I<sub>2</sub>** : Le diiode.

**KI** : Iodure de potassium.

**NaOH** : Hydroxyde de sodium.

**SAB** : Albumine de Sérum Bovin.

**°C**: Degré Celsius.

**%** : Pourcentage.

## **Liste des tableaux**

**Tableau 1** : Microorganismes utilisés pour l'évaluation de l'activité antifongique .....**17**

**Tableau 2** : Dosage de sucre et de protéine réalisé sur les graines de fenugrec .....**21**

**Tableau 3** : Tests phytochimiques réalisés pour le mucilage de graines de fenugrec .....**22**

## Liste des figures

|  |           |
|--|-----------|
| <b>Figure 1:</b> Plante de fenugrec .....  | <b>2</b>  |
| <b>Figure 2 :</b> Graines de fenugrec.....   | <b>2</b>  |
| <b>Figure 3 :</b> Les différentes parties de <i>Trigonella foenum-graecum L</i> .....                | <b>3</b>  |
| <b>Figure 4 :</b> Graines de <i>Trigonella foenum-graecum L</i> .....                                | <b>13</b> |
| <b>Figure 5 :</b> Extrait brute de mucilage .....  | <b>20</b> |
| <b>Figure 6 :</b> Zone d'inhibition par les extraits d'éther de pétrole de graines de fenugrec ..... | <b>26</b> |

# Table des matières

**Introduction générale** .....1

## Première partie : Synthèse bibliographiques

### Chapitre 1 : *Trigonella Foenum-graecum L.*

1. Description de la plante : .....2

2. Habitat et distribution géographique : .....4

3. Composition chimique de fenugrec : .....4

    3.1 Métabolites primaires et secondaires : .....4

        3.1.1 Métabolites primaires : .....4

        3.1.2 Métabolites secondaires : .....5

            Les composés phénoliques : .....5

            Les alcaloïdes: .....6

4. Utilisations du fenugrec : .....7

    4.1 Activité antidiabétique : .....8

    4.2 Activité antilipidémique : .....8

    4.3 Activité anticarcinogène : .....8

    4.4 Activité antioxydante : .....8

    4.5 Activité antimicrobienne : .....9

    4.6 Activité anti-inflammatoire : .....9

    4.7 Fenugrec et l'obésité : .....9



|     |   |    |
|-----|---|----|
| 4.8 | Effet gastro-protecteur : .....         | 10 |
| 4.9 | Le fenugrec dans l'hypertension : ..... | 10 |
| 5.  | Applications de mucilage .....          | 10 |

## **Deuxième partie : Expérimentale**

### **Chapitre 1 : Matériels et Méthodes**

|       |  |    |
|-------|--|----|
| 1.    | Objectif : .....   | 12 |
| 2.    | Extraction de mucilage: .....  | 12 |
| 2.1   | Matériel végétal : .....   | 12 |
| 2.2   | Préparation d'extrait brute : .....  | 13 |
| 2.2.1 | Extraction brute de mucilage .....   | 13 |
| 2.2.2 | Calcul de rendement : .....  | 14 |
| 2.3   | Tests de caractérisation des mucilages : .....                               | 14 |
| 2.3.1 | Dosages des sucres : .....   | 14 |
| 2.3.2 | Dosages des protéines : .....  | 15 |
| 2.3.3 | Tests phytochimiques : .....   | 16 |
|       | Flavonoïdes : .....  | 16 |
|       | Tanins : .....   | 16 |
|       | Amidon : .....   | 16 |
|       | Acides aminés : .....  | 17 |
| 3.    | Evaluation de l'activité antifongique de l'extrait brute de mucilage : ..... | 17 |
| 3.1   | Microorganismes : .....  | 17 |
| 3.2   | Evaluation de l'activité antifongique vis-à-vis des levures : .....          | 18 |
| 3.2.1 | Méthode de diffusion sur gélose (méthode de puits) : .....                   | 18 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 3.2.2 | Méthode de détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) sur milieu solide :..... | 19 |
|-------|---|----|

## **Chapitre 2 : Résultats et interprétations**

|                                    |   |           |
|------------------------------------|---|-----------|
| 1.                                 | Extraction :.....                             | 20        |
| 2.                                 | Tests de caractérisation des mucilages :..... | 21        |
| 2.1                                | Dosage de sucres et de protéines :.....       | 21        |
| 2.2                                | Tests phytochimiques :.....                   | 22        |
| <b>Discussion</b>                  | .....   | <b>24</b> |
| <b>Conclusion générale</b>         | .....   | <b>27</b> |
| <b>Références bibliographiques</b> | .....   | <b>28</b> |

## الملخص:

*Trigonella foenum-graecum L* معروف بأنه نبات طبي له خصائص بيولوجية متعددة ، مرتبط بثرائه في المستقلبات الثانوية مثل الصمغ وبسبب اهتماماته جذب هذا النبات انتباهنا.

هذا العمل هو جزء من دراسة الامكانيات المضادة للفطريات (مستخلص خام) المستخرجة من بذور الحلبة *Trigonella foenum-graecum L*

سمح استعمال الماء الساخن باستخراج خلاصة الصمغ الخام بعائد 1.2% كما كشفت الاختبارات الكيماوية النباتية النوعية عن وجود السكريات والتانينات وغياب مركبات الفلافونويد والبروتينات والأحماض الأمينية والنشا.

و في الأخير نقترح بروتوكولاً لتقييم النشاط المضاد للفطريات لهذا الصمغ.

**الكلمات المفتاحية:** *Trigonella foenum-graecum L* ، صمغ، مستخلص خام، الاختبارات الكيماوية ،التانينات ، الفلافونويد، النشاط المضاد للفطريات.

## Résumé :

*Trigonella foenum-graecum L.* est connu comme étant une plante médicinale ayant des propriétés biologiques multiples, liées à sa richesse en métabolite secondaires tel que le mucilage, et en raison de ses intérêts cette plante a suscité notre attention.

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'étudier les potentiels antifongiques de mucilage (extrait bruts) obtenu à partir de graines de fenugrec, *Trigonella foenum-graecum L.*

L'extraction à l'eau chaude a permis de récupérer un extrait brut de mucilage avec un rendement de 1.2%. Les tests phytochimiques qualitatifs ont révélé la présence des sucres et tanins, et l'absence des flavonoïdes, protéines, acides aminés, et l'amidon.

Nous nous proposons par la suite un protocole pour évaluer l'activité antifongique de ce mucilage.

**Mots clés :** mucilage, extrait bruts, *Trigonella foenum-graecum L.*, tanins, flavonoïdes, l'activité antifongique.

## **Abstract:**

*Trigonella foenum-graecum L.* is known as a medicinal plant with multiple biological properties, linked to its richness in secondary metabolites such as mucilage, and Because of its interests, this plant has attracted our attention.

This work is part of a study of the antifungal potential of mucilage (crude extract) obtained from seeds of fenugreek, *Trigonella foenum-graecum L.*

Hot water extraction allowed recovering a crude mucilage extract with a yield of 1.2%. Qualitative phytochemical tests revealed the presence of sugars and tannins, and the absence of flavonoids, proteins, amino acids, and starch.

We then propose a protocol to evaluate the antifungal activity of this mucilage.

**Keywords** : mucilage, crude extract, *Trigonella foenum-graecum L.*, tannins, flavonoids, antifungal activity.

# *Introduction général*

Les matériaux végétaux sont utilisés depuis l'antiquité par les humains pour la nourriture, le traitement de certaines maladies comme l'inflammation, les diarrhées, ... (Seid et Tsegay, 2011; Aggarwal et al., 2012).

Les plantes à mucilage, ont gagné une attention accrue au cours des décennies en raison de leurs propriétés médicinales (Wadhwa et al., 2013). Et de nos jours il existe un intérêt croissant pour ces plantes (Petropoulos, 2002).

Les mucilages, ce sont des polysaccharides hydrophiles, ramifiés, de structures chimiques variables (Kulkarni et al., 2005). Ils sont produits dans les cellules épidermiques du tégument de plusieurs familles de plantes (Linaceae, Brassicaceae, Solanaceae, et Plantaginaceae) (Banker et Anderson, 1987).

Ce sont des substances collantes (Medina-Torres al., 2000), qui ont la capacité de former des gels une fois placée dans l'eau (Singh et al., 2007). Cette particularité leur confère de nombreuses applications industrielles dans le secteur des biomatériaux, de la cosmétique et de l'alimentaire (Zabeirou, 2001), également dans textiles, peintures et fabrication de papier (Jani et al., 2009).

Le présent travail, s'inscrit dans le cadre de caractériser le mucilage extrait des graines du fenugrec (*Trigonella foenum-graecum L.*), et de proposer un protocole pour évaluer son activité antifongique.

*Première partie :*  
*Synthèse bibliographique*



# Chapitre 1 :

*Trigonella Foenum-graecum L.*

### 1. Description de la plante :

Le Fenugrec ou *Trigonella Foenum-graecum L.* est une légumineuse qui compte parmi les plus anciennes plantes médicinales, ses graines se révèlent être d'une grande valeur alimentaire grâce à sa composition chimique (**Harchane et al., 2012**), ont un aspect rhomboïdales solides, de 3 à 5 mm de long, de 2 mm d'épaisseur et sont dur, semblable à un galet, ont une couleur brune jaunâtre ou brune clair, une odeur épicée et un goût amer (**Ghosh et al., 2015**).

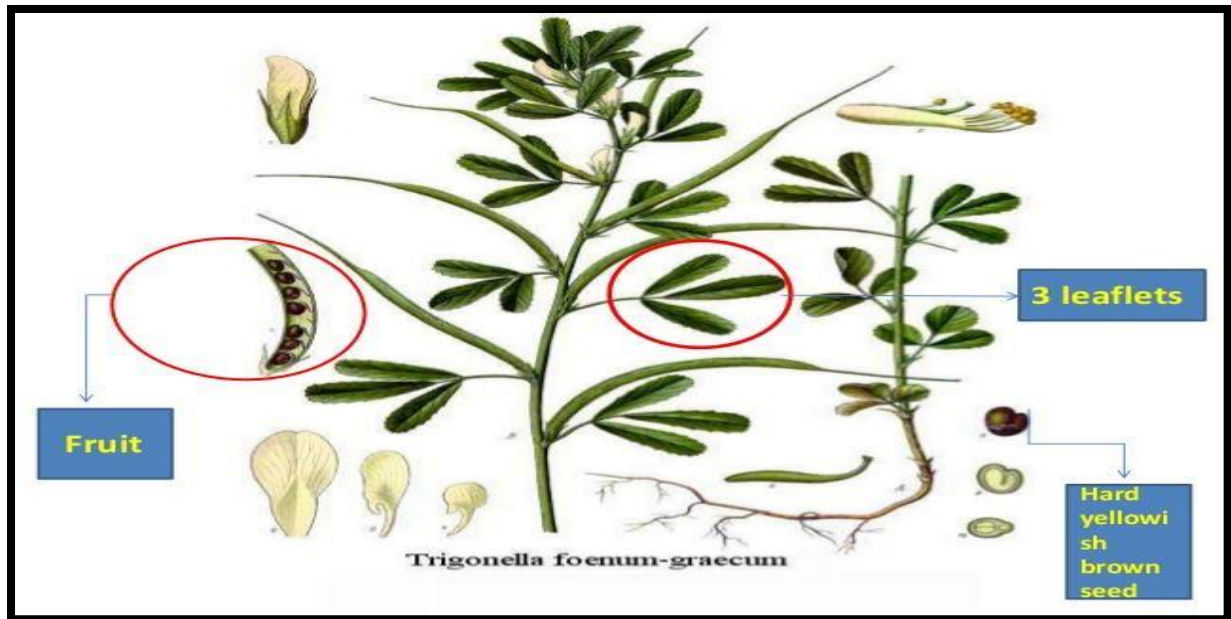


**Figure N°1** : Plante de fenugrec



**Figure N°2** : graines de fenugrec

C'est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille des fabacées, caractérisée par un pied qui peut atteindre une hauteur de 60 cm, cette dernière possède de nombreuses ramifications au niveau de sa tige dressée, ces feuilles pétiolées sont de forme ovale composées de trois folioles ovales. La couleur de ces fleurs est blanche jaunâtres de forme triangulaire (d'où le nom de trigonelle), donnant le fruit sous forme d'une gousse ayant une longueur de 20 cm qui renferme les graines, avec un sillon délimitant ces deux parties.



**Figure N°3** : les différentes parties de *Trigonella Foenum-graecum L.*

Cette plante présente la systématique suivante : (Yadav et al., 2014).

**Règne** : *Plantae*.

**Sous-règne**: *Tracheobionta*.

**Division** : *Magnoliophyta*.

**Classe** : *Magnoliopsida*.

**Sous-classe** : *Rosidae*.

**Ordre** : *Fabales*.

**Famille** : *Fabaceae*.

**Genre** : *Trigonella*.

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

**Nom binomial** : *Trigonella foenum-graecum*.

### 2. Habitat et distribution géographique :

Le Fenugrec est originaire de l'Afrique du Nord, car il pousse aisément en région méditerranéenne, et du Moyen-Orient et d'Inde, sa culture ne nécessite qu'une terre calcaïque et un peu d'humidité (Moradi Kor et al., 2013). Aujourd'hui il est cultivé dans plusieurs régions dans le monde (El Nasri et El Tinay, 2007 ; Feyzi et al., 2015 ; Sheicklar, 2013).

### 3. Composition chimique de fenugrec :

Le fenugrec est une épice ayant une très importante qualité nutritive, la variété de ses constituants lui a attribué une meilleure activité biologique et pharmacologique.

#### 3.1 Métabolites primaires et secondaires :

Le Fenugrec est connu comme toute plante médicinale a des propriétés thérapeutiques multiples liées à sa richesse en composés actifs tel que les polyphénols, les acides gras, les protéines, Alcaloïdes, Saponines, Flavonoïdes, Fibres, Lipides (Chatterjee et al., 2010), et les mucilages (Yadav et al., 2011).

Ces molécules groupées sous le nom de métabolites sont largement recherchées pour leurs fonctions variées dans la plante, certaines molécules peuvent avoir des applications thérapeutiques. On distinguera :

##### 3.1.1 Métabolites primaires :

Sont des composés indispensables à la vie de toutes les plantes, ils participent à toutes réactions essentielles : la photosynthèse, la respiration, la croissance et le développement (Croteau et al., 2000). Ils rassemblent les glucides, les lipides et les acides aminés et protéines (Krief, 2003).

Ces mêmes molécules confèrent aussi d'intéressantes propriétés thérapeutiques ils sont par exemple employés comme excipients dans la fabrication des médicaments à partir de ceux-ci les métabolites secondaires sont formés, par différentes réactions chimiques (Akula et Ravishankar, 2011).

### 3.1.2 Métabolites secondaires :

Sont des composés synthétisés naturellement par les végétaux (**Laitinen et al., 2000**), ils sont spécifiques aux familles, ordres, et espèces (**Rhodes, 1994**).

Ils assurent des fonctions indirectement importantes à la survie des plantes, ils participent au maintien de leurs adaptations, tolérances et résistances aux diverses variations biotiques et abiotiques qu'ils peuvent subir (**Akula et Ravishankar, 2011**). De plus ils sont impliqués dans les réactions écologiques entre la plante et son environnement (**Macheix et al., 2005**).

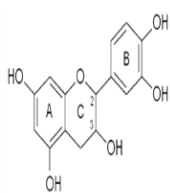
La nature chimique différentes de ces derniers leur attribue des propriétés odoriférantes ou colorantes, ainsi que de leurs vertus thérapeutiques connues depuis des temps reculés. Ils présentent des sources uniques de produits pharmaceutiques, d'arômes, d'additifs alimentaires, et de produits biochimiques d'importance industrielle (**Thomas, 2011**).

Les principales familles de ces composés sont : les composés phénoliques, les alcaloïdes, et les terpènes (**Wilfred et Nicholson, 2006**).

#### a) Les composés phénoliques :

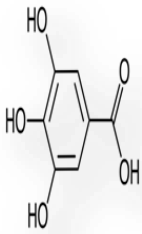
Sont présents dans les parties supérieures des végétaux, notamment les graines. Ils se caractérisent par la présence d'un cycle aromatique, qui porte des groupements hydroxyles soit libres soit liés à un glucide (**Boizot et Charpentier, 2006**). Leurs structures sont variées, on trouve des molécules simples comme les acides phénoliques, des molécules les plus hautement polymérisées comme les flavonoïdes et tanins (**Macheix et al., 2005**).

Les polyphénols en général montrent des activités anti-inflammatoires (**Rock, 2003**), antibactériens (**Vanvuuren, 2008**), antiviraux, anti-thrombotiques, analgésiques anticancéreux (**Babar et al., 2007**), anti-allergènes, vasodilatateurs (**Falleh et al., 2008**), et antioxydants (**Gomez et al., 2006**).



**Les flavonoïdes:** sont des polyphénols complexes formés d'un squelette de base à 15 atomes de carbone, dont la structure est constituée de deux noyaux aromatiques (noyaux A et B) et d'un hétérocycle oxygéné, cycle C (**Harborne et Williams, 2000**). Et sont connus par une myriade d'activités

biologiques, notamment des propriétés antioxydantes, vasculoprotectrices, anti-hépatotoxiques, anti-allergiques, anti-inflammatoires, antiulcéreuses (**Ghedira, 2005**).



**Les Tanins:** sont des substances non azotés, solubles dans l'eau, mais insolubles dans l'alcool ou les solvants organiques. Ayant la capacité de se fixer sur plusieurs molécules comme les protéines (**Hedqvist, 2004**). Les tanins possèdent des propriétés antibactériennes, antifongiques et antivirales.

### b) Les alcaloïdes:

Sont des produits organiques, azoté, relativement stables, issue de métabolisme secondaire des plante (**Paris et Hurabielle, 1981**), qui présentent avec près de 10 000 à 12 000 de structures différentes (**Donatien, 2009**). Ils agissent comme Régulateurs de croissance et substance de réserve et protecteurs contre les agents pathogènes (**Singla et al., 2010**).

Les graines de Fenugrec sont d'une composition hétérogène de substances variées, elles constituent une source de lipides, protéines, fibres, vitamines, et des minéraux. (**El Nasri et El Tinay, 2007 ; Feyzi et al., 2015**).

Elles sont riches en hydrates de carbone (45 à 60%), principalement des fibres mucilagineuses, (20-30%) de protéines (riches en lysine et tryptophane), (5 à 10%) de lipides, les alcaloïdes (pyridine principalement trigonelline )(0,2-0,38%), la choline (0,5%), les flavonoïdes (apigénine, lutéoline, orientine, quercétine, vitexine et isovitexine), des acides aminés libres tels que la 4-hydroxy-isoleucine (0,09%), le calcium et le fer, les saponines (0.6- 1.7%), le cholestérol, les vitamines A, B1, C et 0,015% d'huiles volatiles (les sesquiterpènes) (**Mehrafarin et al., 2010**).

Ces dernières sont très riches en mucilages, ce sont des substances végétales constituées de polysaccharides, qui gonflent au contact de l'eau (**Singh et al., 2007**).

## 4. Utilisations du fenugrec :

Le fenugrec est l'un des plantes médicinales et culinaires les plus anciennement utilisées par les humains, grâce aux composés chimique de ses graines il se révèle être d'une grande valeur alimentaire (**Harchane et al., 2012**).

Il a été aussi utilisé pour stimuler l'appétit, traiter les constipations, les flatulences, améliorer la croissance des cheveux et soigner leurs couleurs, apaiser la peau irritée par l'eczéma (Aher et al., 2016).

Grace à la texture gélatineuse de ses graines, il aide à réduire la quantité d'oxalate de calcium dans les reins, qui provoque des calculs rénaux (Aher et al., 2016), soigner les blessures cutanées et les douleurs rhumatismales (Yadav et al., 2014).

De même, l'extrait de *Trigonella Foenum-graecum L.* stimule les fonctions immunitaires en augmentant l'indice phagocytaire et la capacité phagocytaire des macrophages (Al-asadi et al., 2014). Il a de bons effets bénéfiques pour augmenter le Hg sanguin par des moyens naturels. (Bahmani et al., 2016)

Nous citons quelques utilisations thérapeutiques de fenugrec :

### **4.1 Activité antidiabétique :**

La saponine et la diosgénine présente dans le fenugrec est responsable d'action antidiabétique. (Aher et al., 2016)

La présence des fibres solubles dans le fenugrec ralentisse la digestion et l'absorption des glucides ce qui augmente l'action de l'insuline donc il joue le rôle d'un hypoglycémiant (Hannan et al., 2007 ; Ramulu et al., 2011).

### **4.2 Activité antilipidémique :**

Les graines de fenugrec présentent des effets hypocholestérolémiques, en réduisant le cholestérol, et les triglycérides et les lipoprotéines (Olaiya et al., 2014).

### **4.3 Activité anticarcinogène :**

Le fenugrec a montré une efficacité vis-à-vis des patients cancéreux sous interventions chimiothérapeutiques (Aher et al., 2016). Sa consommation entraîne la diminution des polyamines contenus dans le tissu tumoral, de plus une capacité à inhiber La croissance des cellules cancéreuses sans nuire aux cellules saines du corps (Al-asadi et al.,2014).

#### **4.4 Activité antioxydante :**

Le fenugrec contient des composés phénoliques et flavonoïdes doués d'activité antioxydante (Olaiya et al., 2014).

Les composés polyphénoliques ont montré des effets protecteurs contre l'oxydation en protégeant les érythrocytes de l'hémolyse et de la peroxydation lipidique. (Aher et al., 2016).

Grâce à ses propriétés anti-oxydantes, la plante a montré expérimentalement un effet protecteur contre la cataracte. (Bahmani et al., 2016).

#### **4.5 Activité antimicrobienne :**

Les graines de Fenugrec ont montré des activités antimicrobiennes avec un spectre d'action large, en produisant des huiles à propriétés toxiques empêchant la croissance de bactéries (Thomas et al., 2006).

Des facteurs inhibiteurs de l' $\alpha$ -amylase contenu dans l'extrait de fenugrec interagissent probablement avec les sites actifs d'enzyme spécifique au substrat. Pour inhiber la croissance de *Pseudomonas spp.*, *Escherichia coli*, *Shigella dysenteriae* et *Salmonella typhi* (Aher et al., 2016).

Il a été signalé que l'huile grasse de graines de fenugrec présentait une activité antimycotique très importante contre *Aspergillus niger* et *Aspergillus fumigatus* (Al-asadi et al., 2014).

#### **4.6 Activité anti-inflammatoire :**

La propriété anti-inflammatoire du fenugrec est probablement due à la présence de flavonoïdes qui agissent comme antioxydants et inhibiteurs potentiels de la cyclooxygénase, de la lipoxigénase et de l'oxyde nitrique synthase (Aher et al., 2016).

#### **4.7 Fenugrec et l'obésité :**

Certaines recherches et études montrent que la supplémentation en extraits de graines de fenugrec entraîne une perte de poids (Aher et al., 2016).



Les graines de fenugrec contiennent environ 40 % de fibres solubles. Ces derniers forment une structure gélatineuse qui peut avoir un effet de ralentissement de l'absorption et digestion des aliments dans l'intestin et va créer une sensation de satiété et diminue ainsi l'appétit et favorise la perte de poids (Aher et al., 2016).

#### **4.8 Effet gastro-protecteur :**

Des dérivés gélatineux de graines sont efficaces sur l'ulcère gastrique, en comparaison à l'oméprazole (Aher et al., 2016 ; Al-asadi et al., 2014).

#### **4.9 Le fenugrec dans l'hypertension :**

L'huile essentielle obtenue à partir du fenugrec en combinaison avec d'autres huiles essentielles a été utilisée pour réduire la pression artérielle chez le rat spontanément hypertendu (Aher et al., 2016).

### **5. Applications de mucilage**

Le mucilage de fenugrec comme dans de nombreuses autres espèces est une substance collante (Medina-Torres et al., 2000), qui a la capacité de former des gels une fois placée dans l'eau (Singh et al., 2007). Cette particularité leur confère de nombreuses applications industrielles dans le secteur des biomatériaux, du cosmétique et de l'alimentaire (Zabeirou, 2001), également dans textiles, peintures et fabrication de papier (Jani et al., 2009).

Des études ont montré que l'ingestion de ces derniers, produits de nombreux effets bénéfiques sur le tube digestif comme : la régulation de la fonction intestinale, l'amélioration de la tolérance au glucose chez les diabétiques (Pins et al., 2002 ; Ajila et Prasada, 2013)

Il est efficace dans les cas de constipation car il va se lier à une grande quantité de liquide intestinal, ce qui permet d'humidifier les selles (Lefebvre et Thebaudin, 2002), ce qui réduit le temps de transit du côlon (Ötles et Ozgoz, 2014), et prévient la constipation (Gibson, 2004).

Les mucilages ont suscité un énorme intérêt car il l'excipient le plus couramment disponibles (Prajapati et al., 2013).

Vu la variété de ces propriétés pharmaceutiques (**Jani et al., 2009**). Il est utilisé comme adjuvants (**Sangwan et al., 2011**) avec un large éventail d'application par exemple comme un agent gélifiant en gels (**Zatz et Kushla, 1989**), en raison de sa non-toxicité, de sa nature non irritante (**Kumar et al., 2009**), et comme Agent de liaison dans la formulation des comprimés et cette propriété a été évalué dans les mucilages de *Trigonella Foenum-graecum L.* (**Kulkarni et al., 2002**).

Sur la base des capacités de mucilage de maintien, ainsi que de ses propriétés, sa valeur thérapeutique a été étendue à la cicatrisation des plaies, et à l'immunostimulation, au cancer (**Wadhwa et al., 2013**).

*Deuxième partie :*  
*Partie expérimentale*

# **Chapitre 1 :**

## **Matériels et méthodes**

## 1. Objectif :

Ce travail a été réalisé en deux parties. La première partie phytochimique a été effectuée au niveau du laboratoire pédagogique, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, des Sciences de Terre et de l'Univers. Université Abou Bekr Belkaïd de Tlemcen. Et la deuxième partie concernant l'étude de l'activité biologique des extraits de fenugrec au niveau du laboratoire de Microbiologie Appliquée à l'Agroalimentaire au Biomédecine et à l'Environnement "LAMAABE".

Ce travail a pour objectif :

- Extraire et caractériser de mucilage extrait des graines de *Trigonella foenum-graecum L.*
- Proposer un protocole pour évaluer son activité antifongique vis-à-vis de quelques souches de levures.

## 2. Extraction de mucilage:

### 2.1 Matériel végétal :

Le matériel végétal utilisé dans notre étude est les graines de Fenugrec (**Figure N°4**), qui sont obtenues auprès d'un herboriste, selon ce dernier ces graines sont cultivées en Algérie.



**Figure N°4** : les graines de *Trigonella foenum-graecum L.*

## 2.2 Préparation d'extrait brute :

Le but de cette étape est d'extraire les mucilages contenus dans les graines de *Trigonella foenum-graecum L.*

### 2.2.1 Extraction brute de mucilage

L'extraction de mucilage a été réalisé selon le protocole décrit par **Verma et al., (2014)** avec quelques modifications :

- Dans un erlenmeyer, mélanger 25 g de matériel végétale (graines) avec 200 ml d'eau distillée.
- Chauffer le mélange à 70°C pendant 15 min.
- Filtrer le mélange sur une mousseline et récupérer le filtrat.
- Laisser le filtrat récupéré se refroidir au réfrigérateur pendant 24h.
- Ajouter 121 ml d'éthanol à 121 ml de filtrat. L'éthanol permet de précipiter le mucilage.
- Centrifuger le mélange à 3500 tours/min pendant 10 min afin de récupérer le culot.
- Sécher le culot à 45°C.
- La poudre obtenue est l'extrait bruts des mucilages

### 2.2.2 Calcule de rendement :

- Le rendement est calculé par la formule suivante:

$$\text{Rendement } \% = \frac{m_0}{m_1} \times 100$$

$m_0$  : Masse en gramme de l'extrait brut séché.

$m_1$  : Masse en gramme de la matière végétale initiale sèche.

## 2.3 Tests de caractérisation des mucilages :

A fin de caractériser les mucilages obtenus, une série de tests qualitatifs est réalisée.

## 2.3.1 Dosages des sucres :

- **Principe :**

La méthode de **Dubois et al., (1956)** permet de doser les oses en utilisant le phénol et l'acide sulfurique concentré. En présence de ces deux réactifs, les oses donnent une couleur jaune-orange dont l'intensité est proportionnelle à la concentration des glucides. La densité optique est déterminée entre 450 à 550 nm.

- **Dosage :**

**Etape 1** : préparation d'extrait brute.

- Solubiliser 0.1g d'extrait brute dans 10ml d'eau distillé à 60°C puis agiter au vortex.

**Etape 2** : préparation de 5 ml d'acide sulférique.

**Etape 3** : préparation de phénol à 5%.

- Peser 0.05g de phénol.
- Ajouter 1ml d'eau distilé puis mélanger.

**Etape 4** : dosage.

- Mélanger 1ml de la solution Obtenue avec 1ml de phénol à 5% et 5ml d'acide sulfurique pur. Laisser agir pendant 30min.

## 2.3.2 Dosages des protéines :

- **Principe :**

Le dosage des proteines se fait par la methode de Biuret selon **Henry et al., (1974)**. En solution alcaline les proteines forment un complexe colore d'absorbance mesurée à 540 nm avec les ions cuivriques. La determination des differentes concentrations se fait à l'aide d'une droite d'étalonnage du serum albumine bovine (SAB).

- **Dosage :**

**Etape 1**: préparation du réactif de biuret pour 250 ml d'eau distillée.

- Solubiliser 11,5g de NaOH dans 150ml d'eau distillée.

- Ajouter les réactifs suivant successivement au mélange précédent : 0,28g de  $\text{CuSO}_4$ , 0,25g de KI et 1,48g de tartrate double sodium potassium.
- Ajuster le volume à 250ml par l'eau distillée.

**Etape 2** : préparation de la SAB.

- Peser 0,2g de la SAB dans 20ml d'eau distillée.
- Réaliser des dilutions en cascade.

**Etape 3** : préparation d'extrait.

- Solubiliser 0.1g d'extrait brute dans 10ml d'eau distillé à 60°C puis agiter au vortex.

**Etape 4**: dosage.

- Préparer une série de tubes, extraits, blanc et SAB. Prévoir 3 tubes (essais) pour chaque extrait ou la SAB.
- Dans les tubes, mettre 100  $\mu\text{l}$  de la solution à doser (extrait ou SAB) et 1ml du réactif de biuret.
- Le réactif de biuret est utilisé comme blanc pour calibrer le spectrophotomètre.
- Les tubes sont incubés à l'ombre pendant 30min puis l'absorbance est lue à 540nm.

### 2.3.3 Tests phytochimiques :

#### a) Flavonoides :

Mélanger 5 ml d'extrait brut avec quelques gouttes de HCl concentré. Puis, ajouter une quantité de tournures de magnésium  $\text{MgI}_2$  et laisser le mélange agir. La présence des flavonoïdes est confirmée par l'apparition d'une couleur rouge orange (**Karumi et al., 2004**).

#### b) Tanins :

Mélanger 0.04g de  $\text{FeCl}_3$  dans 2 ml d'eau distilé pour obtenir une solution de  $\text{FeCl}_3$  (2%), puis Ajouter 2 à 3 gouttes de cette solution à 2ml d'extrait brute et laisser reposer quelques minutes. La présence de tanins donne une coloration bleue-noire et un précipité (**Karumi et al., 2004**).



## c) Amidon :

Préparation du réactif d'amidon : solubiliser 0.6g d'I<sub>2</sub> et 1.25g de KI dans 250 ml d'eau distillée. Ajouter le réactif préparé à 2ml d'extrait. La présence d'amidon donne une couleur bleue violacée (Benmehdi, 2000).

## d) Acides aminés :

Préparation de la solution de ninhydrine : solubiliser 0.02g de ninhydrine avec 2ml d'éthanol.

Mélanger 1ml d'extrait à tester avec 1ml de la solution préparée, puis chauffer dans un bain marie en observant le changement de couleur. La présence des acides aminés donne une couleur violette (Harbone, 1998).

### 3. Evaluation de l'activité antifongique de l'extrait brute de mucilage :

Afin d'évaluer l'activité antifongique de mucilage, nous utilisons un protocole :

#### 3.1 Microorganismes :

Pour l'évaluation de l'activité antifongique d'extrait brute de mucilage, nous utilisons des levures appartenant toutes au genre espèce *Candida albicans*. (Tableau N°1).

**Tableau N°1** : microorganismes utilisés pour l'évaluation de l'activité antifongique (Feuillade et al., 2002).

| Microorganisme |                         | Pouvoir pathogène chez l'homme   |
|----------------|-------------------------|--|
| Levure         | <i>Candida albicans</i> | Candidose bucal et digestive.<br>Candidose génitale.<br>Intertrigos candidosique.<br>Candidose de phanère.<br>Candidose cutanée congénitale. |

## 3.2 Evaluation de l'activité antifongique vis-à-vis des levures :

Nous souhaitons tester l'activité antifongique de mucilage à différentes concentrations vis-à-vis de levures.

L'étude sera réalisée par des techniques différentes et complémentaires :

- La technique de diffusion sur gélose (méthode de puits).
- Méthode de détermination des concentrations minimales inhibitrice (CMI) sur milieu solide.

### 3.2.1 Méthode de diffusion sur gélose (méthode de puits) :

C'est la technique de base utilisée pour étudier la capacité d'une substance à exercer un effet anti microbien, elle est aussi appelée : la technique de dilution en gélose pour la détermination des extraits actifs.

Des boites de Pétri contenant du milieu Sabouraud dextrose agar additionné de 2% de glucose sont ensemencées aseptiquement par une suspension de  $10^6$  cellules/mL qui provient d'une culture jeune de levures, l'ensemencement se fait par écouvillonnage.

Après le séchage des boites, la gélose est perforée au centre à l'aide de la partie supérieure d'une pipette Pasteur. Les cavités ainsi formées sont remplies de la solution aqueuse de mucilage à une concentration de 100g/L (environ 40  $\mu$ L par puits). Les boites sont mises à incubées dans une étuve à 30°C pendant 48h.

L'action inhibitrice se manifeste par la formation d'une auréole autour des puits, La lecture des résultats s'effectue par mesure des diamètres des zones d'inhibitions. Un produit est considéré actif, si le diamètre de la zone d'inhibition est supérieur à 8 mm (Ela et al., 1996).

### 3.2.2 Méthode de détermination des concentrations minimales inhibitrices (CMI) sur milieu solide :

Cette méthode permet la détermination de la CMI à partir d'une gamme de concentrations de la substance antimicrobienne en milieu solide. Les essais de détermination

de la CMI sont effectués selon la méthode de dilution standard sur la gélose Sabouraud supplémentée de glucose (2%).

Des séries de dilutions des solutions de mucilage (5, 10, 15, 20, 40 et 80%) sont réalisées. 1 mL de chaque dilution est ajouté à 19 mL des milieux gélosés maintenus en surfusion. Le mélange est immédiatement agité et versé dans la boîte Pétri et laissé à refroidir.

Des spots de 2  $\mu\text{L}$  d'un inoculum standardisé à  $10^8$  cellules/mL sont déposés sur la surface des boîtes Pétri qui contiennent les différentes concentrations. Les boîtes sont incubées pendant 24 h à 37°C. La CMI de l'extrait est définie à partir de la première boîte de la gamme dépourvue de croissance microbienne (NCCLS, 1999).

## **Chapitre 2 :**

# Résultats et interprétations

### 1. Extraction :

Parmi les méthodes les plus utilisées pour la libération du contenu en métabolites secondaires des plantes médicinales il y'a la méthode de l'extraction à l'eau chaude, qu'on a réalisée pour récupérer le mucilage à partir des graines de fenugrec. Le mélange a été précipité à l'éthanol, centrifugé et séché.

Un extrait brut de mucilage de couleur marron est obtenu (**Figure N°5**), le rendement de l'extraction est 1.2 %.



**Figure N°5** : Extrait brute de mucilage

Les extraits bruts des mucilages obtenus, ont été utilisés pour le dosage de certains composés.

**2. Tests de caractérisation des mucilages :**

A fin de caractériser les mucilages obtenus, une série de tests qualitatifs est réalisée.

**2.1 Dosage de sucres et de protéines :**

Les résultats obtenus sont illustrés dans le (Tableau N°2) ci-dessous :

**Tableau N°2 :** dosage de sucres et de protéines réalisé de graines de fenugrec (*Trigonella Foenum-graecum L.*).

| Tests     | Réactifs          | Résultats | Observations                      |
|-----------|-------------------|-----------|-----------------------------------|
| Sucres    | Phénol            | +         | virage de couleur en jaune orangé |
|           | Acide sulfurique  |           |                                   |
| Protéines | Réactif de biuret | -         | Pas de virage de couleur          |
|           | SAB               |           |                                   |

Nous avons constaté la présence des sucres, et l'absence de protéines dans l'extrait brute de mucilage.

2.2 Tests phytochimiques :

Les résultats de tests phytochimiques sont illustrés dans le (Tableau N°3) ci-dessous :

**Tableau N°3** : tests phytochimiques réalisés pour le mucilage de graines de fenugrec (*Trigonella Foenum-graecum L.*).

| Tests         | Réactifs          | Résultats | Observations                                       |
|---------------|-------------------|-----------|--|
| Flavonoides   | HCL               | -         | absence de virage en rouge orange                  |
|               | MgI <sub>2</sub>  |           |  |
| Tanins        | FeCl <sub>3</sub> | +         | le virage de couleur en bleu- noir et un précipité |
| Amidon        | I <sub>2</sub>    | -         | absence de virage en bleue violacée                |
|               | KI                |           |  |
| Acides aminés | Ninhydrine        | -         | absence de virage en violet                        |
|               | Ethanol           |           |  |

Selon les résultats mentionnés dans le tableau N°3, nous constatons l'absence des flavonoïdes, des acides aminés, protéines et amidon. Seuls les tanins sont présents dans l'extrait.

Les propriétés antifongiques de certains métabolites de fenugrec ont été évaluées *in vitro* sur plusieurs champignons phytopathogènes et pathogènes pour l'homme, notamment sur *candida albicans* et en fin de compte, ils sont avérés efficace, tel que la saponine (**Leconte, 1996**), ainsi que l'extrait aqueux de ces graines (**Haouala et al., 2008**).



# **Chapitre 3 :**

Discussio

Le fenugrec est l'un des plus anciennes plantes médicinales reconnues dans l'histoire, la valeur médicinale de ses graines est mentionnée dans les pharmacopées grecque et latine, elles sont largement utilisées en médecine traditionnelle pour diverses propriétés antioxydantes, antidiabétiques, anti-inflammatoires (**Basch et al., 2003**), antimicrobiennes (**Pande et al., 2011**).

D'après des recherches il a été suggéré que le fenugrec est une source importante de composés biologiquement actifs utiles pour développer de meilleurs et nouveaux médicaments antifongiques (**Haouala et al., 2008**).

A travers de notre étude nous nous sommes intéressées par l'extraction et la caractérisation de mucilage à partir des graines de cette plante.

L'extraction à l'eau chaude a permis de récupérer une poudre de mucilage de couleur marron, avec un rendement d'ordre 1.2%.

Plusieurs études ont montré que le taux de rendement est relativement lié à la matière première, conditions de l'environnement, modes d'extraction, et la période de la récolte, natures des solvants utilisés.

**BARBARY et al., (2009)** ont démontré que le rendement en mucilage peut être aller de 3,0% à 5,2% avec un temps d'extraction qui ne dépasse pas 8h à 25°C, comme si l'extraction a été réalisée pendant 8 h à 100°C, le rendement peut être 8%.

Les tests phytochimiques qualitative entrepris sur notre mucilage ont révélés la présence des tanins, par contre, les acides aminées, flavonoïdes, amidon, protéines sont absents.

La présence des tanins a été dévoilée par l'apparition d'une coloration vert-noir. **Bughrara Amina** en **2016** a mentionnée la présence des tanins dans les deux extraits de graines de fenugrec préparés dans le chloroforme et le méthanol.

Pas mal d'études ont aussi démontrés la présence des tanins ainsi que d'autre groupement chimique variés tel que ceux de **Mishra et al., (2016)** ; **Kumari et al., (2016)** ;

**Khan et al., (2012) ; Yadav et al., (2011)**. D'autres non pas révéler cette présence dans le mucilage purifié comme celle de **Chadel Amina** en **2017**.

La différence de résultats dépend notamment de la méthode d'extraction utilisée.

Ces derniers temps, les recherches et les études scientifiques s'intéressent aux composés et molécules issues de plantes tel que le mucilage (**Berube et Gagnon, 2006**).

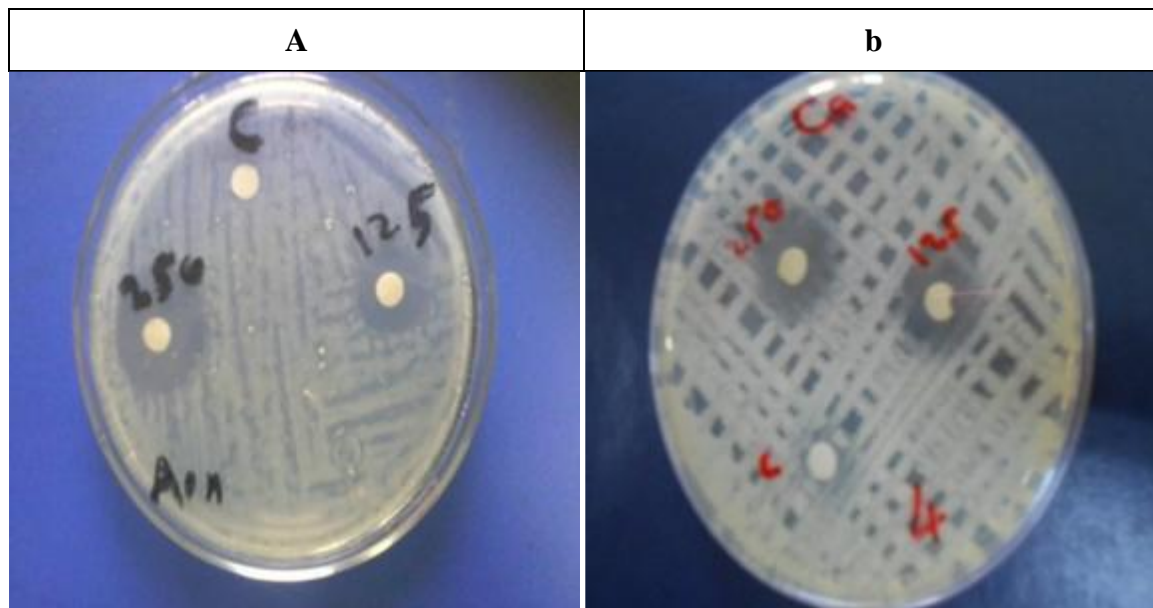
La valorisation de ces plantes passe inévitablement par des extractions, des analyses phytochimiques et d'étude de leurs caractéristiques physico-chimiques. Les activités antimicrobiennes en général et antifongique en particulier ont été rapportées par plusieurs travaux. Dans la plupart des cas, ces activités sont attribuées à leurs compositions chimiques.

Partant de ces données, nous avons proposer un protocole pour évaluer l'activité antifongique de mucilage extrait à partir des graines de *Trigonella Foenum-graecum L.*, une plante méditerranéenne fréquemment utilisée en Algérie en médecine traditionnelle.

Les résultats de plusieurs travaux ont montré la capacité de (El halba) à inhiber la croissance mycélienne des champignons.

A titre d'exemple, on cite les résultats trouver par **Haouala et al., (2008)**, qui montre que les extraits aqueux de différent parties de fenugrec ont accentué un potentiel antifongique, néanmoins, l'amplitude de leurs effets dépendait des parties de plantes et d'espèces.

Conformément à **Mawahib et al., (2015)**, les résultats mentionné dans (**Figure N°6**) ont montré une activité antifongique positive de L'extrait d'éther de pétrole de graines de fenugrec contre *Aspergillus niger* et *Candida albicans* avec des zone d'inhibition maximale comprise entre (20/17mm) respectivement par concentration 250 mg / ml d'extrait.



**Figure N°6** : Zone d'inhibition par les extraits d'éther de pétrole de graines de fenugrec contre (a)*Aspergillus niger*, (b)*Candida albicans* (Mawahib et al.,2015).

Selon les résultats de **Kadaikunnan et al., (2015)**, et après avoir évalué l'activité antifongique quantitativement et qualitativement par mesure des zones d'inhibition. Les extraits éthanoliques et aqueux de fenugrec ont révélés avoir des activités modérées à élevées vis-à-vis des champignons pathogènes, l'inhibition augmente progressivement lorsque la concentration de l'extrait augmente.

Les extraits organiques des parties aériennes de fenugrec étaient très actifs contre *Fusarium oxysporum* qui sont des ravageurs fongiques des plantes (**Omezzine et al., 2017**).

# *Conclusion générale*

Nous nous sommes intéressés dans la première partie de ce travail à l'extraction et la caractérisation de mucilage des graines de *Trigonella foenum-graecum L.*

Les résultats obtenus ont montré la richesse de mucilage en sucres et contiens aussi des tanins. Les protéines, les acides aminés, l'amidon et les flavonoïdes sont absents.

Plusieurs études ont suggéré que le fenugrec pourrait avoir un potentiel contre des champignons qui sont pathogènes et pourrait être utiles pour améliorer de meilleurs médicaments antifongiques grâce a ces composés actifs. Pour cela nous avons proposé un protocole pour évaluer cette activité.

En perspective et afin de poursuivre et d'approfondir ce travail, il serait souhaitable de :

- Exploiter les autres méthodes d'extraction et évaluer le rendement d'autres substances
- Réaliser une étude physico-chimique par chromatographie et l'infra-rouge pour confirmer la composition en sucre de mucilage.
- Tester la présence ou l'absence d'autres métabolites secondaires.

# *Références bibliographiques*

- Aher, R. R., Belge, S. A., Kadam, S. R., Kharade, S. S., Misal, A. V., & Yeole, P. T. (2016). Therapeutic importance of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum L.*). A review. *J Plant Sci Res*, 3(1), 149.
- Aggarwal, G., Dhawan, S., HariKumar, S. (2012). Natural oils as skin permeation enhancers for transdermal delivery of olanzapine: in vitro and in vivo evaluation. *Current drug delivery*, 9(2), 172-181.
- Ajila, C. M., & Rao, U. P. (2013). Mango peel dietary fibre: Composition and associated bound phenolics. *Journal of functional foods*, 5(1), 444-450.
- Akula, R., & Ravishankar, G. A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant signaling & behavior*, 6(11), 1720-1731.
- Al-Asadi, J. N. (2014). Therapeutic uses of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum L.*). *Am. J. Soc. Issues Hum.*
- Babar ali M, Hahn E.J., Paek K.Y., 2007- Methyl Jasmonate and Salicylic Acid Induced Oxidative Stress and Accumulation of Phenolics in Panax ginseng Bioreactor Root Suspension Cultures. *Molécules*. 12: 607-621.
- Barbary, O. M., Al-Sohaimy, S. A., El-Saadani, M. A., & Zeitoun, A. M. A. (2009). Extraction, composition and physicochemical properties of flaxseed mucilage. *J Advance Agric Research*, 14, 605-20.



- Basch E, Ulbricht C, Kuo G, Szaparyp, Smith M. (2003). Therapeutic applications of fenugreek. *Alt. Med. Rev*, 8 (1), 20-27.
- 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.
- Banker, G. S., Anderson, N. R. (1987). Tablets. The theory and practice of industrial pharmacy, 3, 293-345.
- Benmehdi, H. (2000). Valorisation de certaines plantes médicinales à activité hypoglycémiantes comme la coloquinte. Abou Bekr Belkaid, tlemcen.
- Berubé, J. F., Gagnon, K., Fortin, D., Decken, A., & Harvey, P. D. (2006). Solution and Solid-State Properties of Luminescent M–M Bond-Containing Coordination/Organometallic Polymers Using the RNC-M2 (dppm) 2-CNR Building Blocks (M= Pd, Pt; R= Aryl, Alkyl). *Inorganic chemistry*, 45(7), 2812-2823
- Boizot, N., & Charpentier, J. P. (2006). Méthode rapide d'évaluation du contenu en composés phénoliques des organes d'un arbre forestier. *Le Cahier des Techniques de l'INRA*, In: Numéro spécial, 79-82.
- Chadel Amina. Extraction et caractérisation des mucilages de *Zygophyllum geslini* et leur effet sur l'activité de l' $\alpha$ -amylase. Mémoire de Master, université de Tlemcen. 2017.

- Chatterjee, S., Variyar, S.P., Sharma, A., 2010. Bioactive lipid constituents of fenugreek. *Food Chem.* 119, 349–353.
- Croteau, R., Kutchan, T.M. and Lewis, N.G. (2000). Natural products (secondary metabolites). In B.B. Buchanan, W. Gruissem and R.L. Jones (Eds), *Biochemistry and Molecular Biology Plant*. American Society of Plant Physiologists, Rockville, 11D, pp. 10-1318.
- Donatien, C. (2009). Enquête ethnobotanique de six plantes médicinales maliennes extraction. Identification d'alcaloïdes-caractérisation. Quantification de polyphénols : Etude de leur activité antioxydante. Thèse de doctorat. Université de Bamako. Pp 145.
- Dubois, M., Gilles, K. A., Hamilton, J. K., Rebers, P. T., & Smith, F. (1956). Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical chemistry*, 28(3), 350-356.
- Ela M.A., El-Shaer N.S. ET Ghanem N.B. (1996) Antimicrobial evaluation and chromatographic analysis of some essential and fixed oils. *Pharmazie*; 51 pp.993- 995.
- El Nasri, N. A., & El Tinay, A. H. (2007). Functional properties of fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) protein concentrate. *Food chemistry*, 103(2), 582-589.
- Falleh, H., Ksouri, R., Chaieb, K., Karray-Bouraoui, N., Trabelsi, N., Boulaaba, M., & Abdelly, C. (2008). Phenolic composition of *Cynara cardunculus L.* organs, and their biological activities. *Comptes Rendus Biologies*, 331(5), 372-379.

- Feyzi, S., Varidi, M., Zare, F., Varidi, M. J. (2015). Fenugreek (*Trigonella foenum graecum*) seed protein isolate: extraction optimization, amino acid composition, thermo and functional properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(15), 3165-3176.
- Ghedira, K. (2005). Les flavonoïdes: structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique. *Phytothérapie*, 3(4), 162-169.
- Ghosh, B., Chandra, I., & Chatterjee, S. (2015). Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) and its necessity. *Fire J. Engin. Technol*, 1(1), 66-67.
- Gomez-Caravaca A.M, Gomez-Romero M, Arraez-Roman D, Segura-Carretero A, Feranandez-Gutierrez A., 2006. Advances in the analysis of phenolic compounds in Products derived from bees. *J Pharmaceutical and Biomedical Analysis*. 41: 1220-1234.
- Hannan, J. M. A., Ali, L., Rokeya, B., Khaleque, J., Akhter, M., Flatt, P. R., & Abdel-Wahab, Y. H. A. (2007). Soluble dietary fibre fraction of *Trigonella foenum graecum* (fenugreek) seed improves glucose homeostasis in animal models of type 1 and type 2 diabetes by delaying carbohydrate digestion and absorption, and enhancing insulin action. *British Journal of Nutrition*, 97(03), 514-521.
- Haouala, R., Hawala, S., El-Ayeb, A., Khanfir, R., Boughanmi, N., 2008. Aqueous and organic extracts of *Trigonella foenum-graecum* L. inhibit the mycelia growth of fungi. *J. Environ. Sci.* 20, 1453–1457.

## Références bibliographiques

---

- Harborne, J. B., & Williams, C. A. (2000). Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*, 55(6), 481-504
- Harchane, H., El Addas, H., Amsaguine, S., El Amrani, N., Radallah, D. (2012). Effets de l'extrait aqueux des graines du fenugrec (*Trigonella foenum graecum*) sur l'amélioration du profil lipidique et la prise de poids chez le rat. *Phytothérapie*, 10(6), 357-362.
- Hedqvist, H. (2004). Metabolism of soluble proteins by rumen microorganisms and the influence of condensed tannins on nitrogen solubility and degradation (Vol. 501).
- Jani, G. K., Shah, D. P., Prajapati, V. D., & Jain, V. C. (2009). Gums and mucilages: versatile excipients for pharmaceutical formulations. *Asian J Pharm Sci*, 4(5), 309-323.
- Kadaikunnan, S., Rejiniemon, T. S., Khaled, J. M., Alharbi, N. S., & Mothana, R. (2015). In-vitro antibacterial, antifungal, antioxidant and functional properties of *Bacillus amyloliquefaciens*. *Annals of clinical microbiology and antimicrobials*, 14(1), 9.
- Karumi, Y. O. V. O., Onyeyili, P. A., Ogugbuaja, V. O. (2004). Identification of active principles of *M. balsamina* (Balsam Apple) leaf extract. *J Med Sci*, 4(3), 179-182.
- Khan, V., Najmi, A. K., Akhtar, M., Aqil, M., Mujeeb, M., & Pillai, K. K. (2012). A pharmacological appraisal of medicinal plants with antidiabetic potential. *Journal of pharmacy & bioallied sciences*, 4(1), 27.

- Krief, S. (2003). Métabolites secondaires des plantes et comportement animal: surveillance sanitaire et observations de l'alimentation des chimpanzés (*Pan troglodytes schweinfurthii*) en Ouganda. Activités biologiques et étude chimique de plantes consommées (Doctoral dissertation, Museum national d'histoire naturelle-MNHN PARIS).
- Kulkarni, G. T., Gowthamarajan, K., Dhobe, R. R., Yohanan, F., Suresh, B. (2005). Development of controlled release spheroids using natural polysaccharide as release modifier. *Drug Delivery*, 12(4), 201-206.
- Laitinen M.L., Juikunen-Tiitto R., Rousi M. (2000). Variation in phenolic compounds within a birch (*Betula pendula*) population. *Journal of Chemical Ecology*, 26 (7): 1609-1622.
- Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005). Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique. PPUR presses polytechniques.
- Mawahib, E., Ali, A., & Saeed, B. E. A. E. (2015). Antimicrobial Activities, Phytochemical Screening of Callus, and Seeds Extracts of Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum*). *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 4(2), 147-157.
- Medina-Torres, L., Brito-De La Fuente, E., Torrestiana-Sanchez, B., Katthain, R. (2000). Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). *Food hydrocolloids*, 14(5), 417-424.

- Medjdoub H. Contribution à la recherche d'éventuelles activités biologiques de *Zygophyllum geslini* Coss. Thèse de Doctorat en biologie. Faculté des sciences de la Nature et de la Vie. Université de Tlemcen. 2013.
- Medjdoub H. Etude phytochimique et activités biologiques de *Zygophyllum geslini* Coss. Mémoire de magistère, Université de Tlemcen. 2006.
- Mehrafarin, A., Ghaderi, A., Rezazadeh, S. H., NAGHDI, B. H., NOURMOHAMMADI, G., & Zand, E. S. K. A. N. D. A. R. (2010). Bioengineering of important secondary metabolites and metabolic pathways in fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.).
- Mishra, P., & Chan, D. C. (2016). Metabolic regulation of mitochondrial dynamics. *Journal of Cell Biology*, 212(4), 379-387.
- Olaiya, C. O., & Soetan, K. O. (2014). A review of the health benefits of fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.): Nutritional, Biochemical and pharmaceutical perspectives. *Am. J. Soc. Issues Humanit*, 3-12.
- Omezzine, F., Bouaziz, M., Daami-Remadi, M., Simmonds, M. S., & Haouala, R. (2017). Chemical composition and antifungal activity of *Trigonella foenum-graecum* L. varied with plant ploidy level and developmental stage. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S3622-S3631
- Ötles, S., & Ozgoz, S. (2014). Health effects of dietary fiber. *Acta scientiarum polonorum Technologia alimentaria*, 13(2), 191-202.

- Paris, M., Hurabielle, M., & Paris, R. R. (1981). Abrégé de matière médicale: Monographies (2. Partie): plantes actives sur le système nerveux, sur l'appareil digestif, plantes cardiotoniques, plantes antiparasitaires, plantes insecticides, antibiotiques et antitumoraux d'origine végétale. Masson.
- Pande, K. K., Pande, L., Pande, B., Pujari, A., Sah, P., & Sah, S. (2011). Limonene dominates the Phytochemistry of *Trigonella foenum-graceum* in Nature. *Nat Sci*, 9, 17-20.
- Prajapati, V. D., Jani, G. K., Moradiya, N. G., Randeria, N. P. (2013). Pharmaceutical applications of various natural gums, mucilages and their modified forms. *Carbohydrate polymers*, 92(2), 1685-1699.
- Ramulu, P., Giridharan, N. V., Udayasekhararao, P. (2011). Hypolipidemic effect of soluble dietary fiber (galactomannan) isolated from fenugreek seeds in WNIN (GR-Ob) obese rats. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(19), 4804-4813.
- Rhodes, M. J. C. (1994). Physiological roles for secondary metabolites in plants: some progress, many outstanding problems. *Plant molecular biology*, 24(1), 1-20.
- Rock, E. (2003). Stress oxydant, micronutriments et santé. Inra – CRNH, unité des maladies métaboliques et micronutriments 63122 St Genès Champanelle. Université d'été denutrition – Clermont- Fenand:37-42.
- Seid, M. A., Tsegay, B. A. (2011). Ethnobotanical survey of traditional medicinal plants in Tehuledere district, South Wollo, Ethiopia. *J Med Plants Res*, 5(26), 6233-6242.

- Singh, B., Chauhan, G. S., Kumar, S., Chauhan, N. (2007). Synthesis, characterization and swelling responses of pH sensitive psyllium and polyacrylamide based hydrogels for the use in drug delivery (I). *Carbohydrate Polymers*, 67(2), 190-200.
- Singla, D.; Sharma, A.; Kaur, J.; Panwar, B.; Gajendra, P.S. et Raghava, J. (2010). BIADB: A curated database of benzylisoquinoline alkaloids. *BMC Pharmacology*. 8:4-10.
- Thomas, J.E., Bandara, M., Lee, E.L., Driedger, D., Acharya, S. (2011). Biochemical monitoring in fenugreek to develop functional food and medicinal plant variants. *N. Biotechnol.* 28,110–117.
- Thomas, J., S. Basu et S. Acharya. (2006). Identification of *Trigonella* accessions which lack antimicrobial activity and are suitable for forage development. *Canadian journal of plant science*, 86, 727-732.
- Van Vuuren, S. F. (2008). Antimicrobial activity of South African medicinal plants. *Journal of ethnopharmacology*, 119(3), 462-472.
- Verma, S., Malviya, R., Kumar Sharma, P. (2014). Extraction, Characterization and Evaluation of Film Forming Capacity of Natural Polymer. *Drug Delivery Letters*, 4(3), 244-253.
- Wadhwa, J., Nair, A., Kumria, R. (2013). Potential of plant mucilages in pharmaceuticals and therapy. *Current drug delivery*, 10(2), 198-207.
- Wichtl, M., & Anton, R. (1999). *Plantes thérapeutiques*. Tech & Doc.



- Wilfred, V., & Nicholson, R. (2006). Phenolic compound biochemistry. Springer.
- Yadav, R., Tiwari, R., Chowdhary, P., & Pradhan, C. K. (2011). A pharmacognostical monograph of *Trigonella foenum-graecum* seeds. *Screening*, 1(6).
- Yadav, U. C., & Baquer, N. Z. (2014). Pharmacological effects of *Trigonella foenum-graecum* L. in health and disease. *Pharmaceutical biology*, 52(2), 243-254.