



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة شادلي بن جديد - الطارف
Université Chadli Bendjedid - El Tarf
كلية العلوم و التكنولوجيا
Faculté des Sciences et de la technologie
قسم الكيمياء
DEPARTEMENT DE CHIMIE

PROJET DE FIN D'ETUDES

En vue de l'obtention du diplôme de master
Spécialité : chimie analytique

THEME

**Étude des composés actifs de la plante médicinale fenugrec
à travers des analyses chimiques et phytochimique et évaluation
de son potentiel anti-arthrosique.**

Présenté Par :
CHELOUFI Sabrine

Soutenu le : 25/06/2024

Devant le jury :

Présidente :	Dr SELAIMIA O	MCB	U. Chadli Bendjedid El Tarf
Encadreur:	Dr MOKRANI K.	MCA	U. Chadli Bendjedid El Tarf
Examinatrice:	Dr ZERNIZ N.	MCA	U. Chadli Bendjedid El Tarf

Année universitaire 2023- 2024

Remerciements

Avant tout je veux dire « **AL HAMDOU LI ALLAH** » qui m'a donné l'effort, la volonté et le courage de réaliser ce travail, sans Lui ce travail n'aurait pas été réalisé.

Ce travail a été réalisé dans le laboratoire de chimie du département de chimie de l'Université Chadli Bendjedid d'El Tarf et Laboratoire de recherche Ecologique Fonctionnelle et Evolutive de la faculté des Sciences de la nature et de la vie. Tout d'abord, je voudrais exprimer ma plus profonde gratitude à mon encadreur, **Dr. Karima MOKRANI**, pour son soutien, ses conseils, sa confiance et sa compagnie dans la conception de ce travail.

Mes sincères remerciements vont à monsieur **Sofiane KHERICI** et madame **BOUDINE Nadra** pour leur aide et leur soutien lors de la réalisation d'une partie pratique au laboratoire.

Merci aussi aux membres du jury, d'avoir pris le temps de lire attentivement mon mémoire. Je présente mes sincères remerciements au **Dr. SELAIMIA Ouassila** d'avoir accepté de présider ce jury. J'adresse également mes remerciements au **Dr. ZERNIZ Nawal** d'avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Je ne saurais oublier toute l'équipe du laboratoire pour leur précieuse participation à ce travail, Je remercie plus particulièrement **Bohra, Mouchira, Souad et Hayette**. Vous m'avez apporté beaucoup de joie et de soutien. Vous avez été une équipe formidable avec laquelle j'ai partagé des moments extraordinaires.

Dédicaces

A ceux qui ont mis tant d'efforts dans mon bonheur, à ceux qui rêvaient de voir ce jour

*A celui qui m'est le plus cher, à celui qui m'a guidé dans mes premiers pas et qui m'a
appris mon premier mot, à celui qui a toujours été à mes côtés, à*

« Mon cher père Real. »

A celle qui m'a ouvert les portails et m'a donné de la tendresse et du courage

« Ma chère mère Gania »

Je dédie également ce travail :

*A mes chers frères et sœurs : « Monia, Amina, Wedad, Ahlam, Asma, Abdelkader,
Islam »*

*Mes nièces, et mes neveux : « Ritedj, Moataz, Koussai, Abdkodous, Abdghafour, Akrem,
Saja, Ghofrane, Nesma »*

A mon cher oncle « Adel »

A toute la famille « Cheloufi ».

A mes amies, mon soutien de toujours

A tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin.

Résumé

Le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.) est une herbacée annuelle de la famille des Fabacées. Originaire de la région méditerranéenne, il est maintenant répandu dans le monde entier et est particulièrement abondant en Algérie. Cette plante est connue pour ses propriétés médicinales, thérapeutiques et nutritionnelles. Ce travail porte sur la préparation d'un gel anti-arthrosique à base de graines de fenugrec, réalisé au laboratoire de recherche « Écologie Fonctionnelle et Évolutive » de l'université Chadli Bendjedid El Tarf. Pour ce faire, une étude phytochimique a d'abord été réalisée pour identifier les métabolites secondaires majoritaires présents dans l'extrait sec. Ensuite, une étude biologique a été menée pour évaluer l'activité antibactérienne de ces métabolites.

Mots clés : Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L.), Gel anti-arthrosique, Étude phytochimique, Activité antibactérienne, Métabolites secondaires, Fabacées, Propriétés médicinales

Abstract

Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.) is an annual herbaceous plant of the Fabaceae family. Originally from the Mediterranean region, it is now widespread worldwide and particularly abundant in Algeria. This plant is known for its medicinal, therapeutic, and nutritional properties. This study focuses on the preparation of an anti-arthritis gel based on fenugreek seeds, conducted at the "Ecology Functional and Evolutionary" research laboratory of Chadli Bendjedid El Tarf University. Initially, a phytochemical study was conducted to identify the major secondary metabolites present in the dry extract. Subsequently, a biological study was conducted to evaluate the antibacterial activity of these metabolites.

Keywords: Fenugreek (*Trigonella foenum-graecum* L.), Anti-arthritis gel, Phytochemical study, Antibacterial activity, Secondary metabolites, Fabaceae, Medicinal properties

ملخص

الحلبة هي عشبة سنوية من عائلة الفصيلة البقولية أصلها من منطقة البحر الأبيض المتوسط، وهي الآن منتشرة على نطاق واسع في جميع أنحاء العالم وتتواجد بكثرة بشكل خاص في الجزائر. يُعرف هذا النبات بخصائصه الطبية والعلاجية والغذائية.

يركز هذا العمل على تحضير هلام مضاد لالتهاب المفاصل يعتمد على بذور الحلبة، والذي تم تنفيذه في مختبر أبحاث "البيئة الوظيفية والتطويرية" بجامعة الشاذلي بن جديد الطارف. للقيام بذلك، تم إجراء دراسة كيميائية نباتية لأول مرة لتحديد غالبية المستقلبات الثانوية الموجودة في المستخلص الجاف. ومن ثم تم إجراء دراسة بيولوجية لتقييم النشاط المضاد للبكتيريا لهذه المستقلبات.

الكلمات المفتاحية: الحلبة، هلام مضاد لالتهاب المفاصل، دراسة كيميائية نباتية، نشاط مضاد للجراثيم، المستقلبات الثانوية، الفصيلة البقولية، الخواص الطبية.

Liste des abréviations et symboles

OMS	:	Organisation mondiale de la Santé
pH	:	Potentiel d'hydrogène.
%	:	Pourcentage
h	:	Heure.
°C	:	Degré Celsius.
min	:	Minute
mg	:	Milligramme
ml	:	millilitre.
mm	:	Millimètre.
UV	:	Ultraviolet.
µl	:	Microlitre
g	:	gramme
T°	:	Température.
Kg	:	kilogramme
HCl	:	Acide chlorhydrique.
MeOH	:	Méthanol
NaOH	:	Hydroxyde de sodium
FeCl₃	:	Chlorure ferrique.
CH₃COOH	:	Acide acétique
H₂SO₄	:	Acide sulfurique
CHCl₃	:	Chloroforme
NH₄OH	:	Ammoniaque.

Liste des figures

Figure 1 : Infusion des feuilles.....	8
Figure 2 : Décoction des tiges et feuilles.....	9
Figure 3 : Préparation des macérats huileux.....	9
Figure 4 : Structure de base des alcaloïdes.....	12
Figure 5 : feuilles et fruit de <i>Trigonella foenum-graecum</i>	16
Figure 6 : Les graines de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.....	16
Figure 7 : Graine et poudre de fenugrec.....	25
Figure 8 : Balance analytique de la marque OAHUS.....	25
Figure 9 : Broyeur (CHELOUFI Sabrine).....	26
Figure 10 : Agitateur magnétique et barreau aimanté.....	26
Figure 11 : pH mètre de la marque HANNA.....	26
Figure 12 : Rota vapeur de la marque BUCHI.....	27
Figure 13 : Matériel de l'activité antibactérienne (Cheloufi sabrine 2024).....	36

Liste des schémas

Schéma 1 : Mode opératoire de la poudre de fenugrec (CHELOUFI Sabrina 2024).....	27
Schéma 2 : Protocole d'extraction des alcaloïdes	31
Schéma 3 : Protocole d'extraction des flavonoïdes.....	33
Schéma 4 : Etapes de préparation de gel	37
Schéma 5 : Exemples des résultats obtenus pour l'activité antibactérienne	43

Liste des tableaux

Tableau 1 : L'activité biologiques des quelques métabolites secondaires.	14
Tableau 2 : Classification de fenugrec	17
Tableau 3 : La composition chimique de graine de fenugrec	18
Tableau 4 : Résultats des tests phytochimique des graines de fenugrec	40
Tableau 5 : Rendement d'extraction les flavonoïdes et les alcaloïdes.....	42
Tableau 6 : Résultats de test d'activité antibactérienne de fenugrec	43

Sommaire

Remerciements	I
Dédicaces	II
Resumé	III
Liste des abreviations et symboles	IV
Liste des figures	V
Liste des schémas	VI
Liste des tableaux	VII
Sommaire	VIII
Introduction générale	1
Chapitre 01 : généralites sur la phytothérapie	4
I. Introduction	4
II. La phytothérapie:.....	4
II.1 Définition de la phytothérapie:	4
II.2 Différents types de la phytothérapie :	4
2.1. Aromathérapie	4
2.2. Gemmothérapie.....	4
2.3. Herboristerie	5
2.4. Homéopathie.....	5
2.5. Phytothérapie pharmaceutique.....	5
II.3 Avantages de la phytothérapie.....	5
II.4 Précautions à prendre de la phytothérapie.....	6
III. Les plantes médicinales	6
III.1 Introduction	6
III.2 Définition	6
III.3 Types de plantes médicinales	6
3.1. Les plantes spontanées	7
3.2. Les plantes cultivées	7
III.4 Domaine d’application des plantes médicinales.....	7
4.1. Utilisation en cosmétique	7
4.2. Utilisation en alimentation	7

4.3. Utilisation en médecine.....	7
III.5 Différents types de préparation :	8
5.1. Infusion :	8
5.2. Décoction:	8
5.3. Macération :	9
III.6 Principes actifs des plantes médicinales	9
IV. Conclusion.....	9
Chapitre 02 : métabolites secondaires	10
I. Introduction	10
II. Classification des métabolites secondaires :	11
II.1 Les composés phénoliques	11
II.2 Les alcaloïdes.....	11
II.3 Terpènes et stéroïdes	12
II.4 Les huiles essentielles	12
III. Rôle des métabolites secondaires	13
III.1 Chez les plantes	13
III.2 Chez l'homme	13
III.3 Rôle biologique	14
Chapitre 03 : présentation de la plante étudiée : le fenugrec	15
I. Historique	15
II. Description botanique de <i>Trigonella foenum-graecum</i>	15
III. Classification botanique	17
IV. Origine et distribution	17
V. Compositions chimiques de fenugrec	17
VI. Utilisation thérapeutiques traditionnelle	18
VII. Propriétés du fenugrec	19
VII.1 Propriétés antioxydantes.....	19
VII.2 Propriétés anti-inflammatoires et hépatoprotective	19
VII.3 Propriétés antimicrobiennes.....	19
VII.4 Propriétés anti-cancérogènes	19
VII.5 Propriétés hypoglycémiantes	19
VII.6 Autres propriétés du Fenugrec	20
6.1. Le Fenugrec est nutritif et anabolique :	20
6.2. Le Fenugrec est un apéritif et digestif :	20

VII.7 Les effets indésirables	20
Chapitre 04 : activité biologique	21
I. L'activité anti inflammatoire.....	21
I.1 Inflammation.....	21
I.1.1 Inflammation aiguë.....	21
I.1.2 Inflammation chronique.....	21
I.2 Anti-inflammatoires	22
I.2.1 Anti-inflammatoires non stéroïdiens	22
I.2.2 Anti-inflammatoires stéroïdiens	22
I.2.3 Anti-inflammatoires d'origine végétale.....	22
Partie expérimentale	23
Introduction.....	24
I. Localisation géographique du fenugrec	24
II. Analyse phytochimique.....	24
II.1 Biomasse végétale et produits chimiques.....	24
Biomasse végétale	24
Produits chimiques	25
II.2 Matériel utilisés.....	25
Balance de précision.....	25
Broyeur	25
Agitateur magnétique	26
pH mètre digitale	26
Rota vapeur	26
II. Etude phytochimique	27
II.3 Méthodes	27
II.3.1 Préparation de la poudre des graines de fenugrec.....	27
II.3.2 Analyse qualitative (Screening phytochimiques sur la poudre de fenugrec)	27
Les alcaloïdes	28
Les saponosides (test de mousse).....	28
Les flavonoïdes	28
Les tannins	28
Les cardénolides	28
Les huiles volatiles	28
Anthocyanes.....	28

Leuco-Anthocyanes	29
Quinones	29
II.4 Extraction les alcaloïdes	29
V.1 Extraction par macération	29
V.2 Filtration	29
V.3 Concentration de l'extrait	29
V.4 Extraction acide base	29
V.5 Extraction des alcaloïdes	29
V.6 Purification et concentration	30
V.7 Cristallisation (optionnelle)	30
II.5 Extraction des flavonoïdes	31
VI.1 Macération	31
VI.2 Filtration.....	32
VI.3 Évaporation du solvant	32
VI.4 Dissolution dans l'eau	32
VI.5 Extraction liquide- liquide	32
VI.6 Répétition de l'extraction	32
VI.7 Évaporation du solvant organique	32
VI.8 Purification (facultatif)	32
Rendement d'extraction.....	33
III. Analyses microbiologiques :	34
✓ Test d'activité antibactérienne :	34
IV. Evaluation de son potentiel anti-arthrosique	36
IV.1 Préparation du gel.....	36
Resultats et discussions	38
I. Analyse phytochimique.....	39
I.1 Screening phytochimique (Analyse qualitative)	39
I.2 Extraction des alcaloïdes et des flavonoïdes.....	42
II. Activité Antibactérienne	42
III. Préparation de gel anti arthrosique	45
Conclusion générale	46
Références bibliographiques	47

Introduction générale

Bien que de nos jours la médecine moderne soit bien développée presque partout dans le monde, une proportion non négligeable de la population dans les pays en développement compte encore sur la médecine traditionnelle et les remèdes à base de plantes pour leurs soins de base. De même, l'intérêt du grand public dans les pays industrialisés pour les thérapies naturelles, notamment la phytothérapie, a considérablement augmenté^[1]. Selon l'Organisation mondiale de la Santé, 80% de la population mondiale se soigne exclusivement avec des plantes médicinales, et leurs formes d'utilisation : poudre, extrait sec aqueux, teintures.....)^[2].

Les plantes médicinales sont les plantes utilisées en phytothérapie pour leurs principes actifs, elles peuvent être vendues en herboristerie, en pharmacie, avec ou sans prescription selon la réglementation du pays^[3]. Les plantes médicinales sont utilisées de différentes manières, décoction, macération et infusion^[4], une ou plusieurs de leurs parties peuvent être utilisées, racine, feuille, fleur^[5].

En Algérie, la phytothérapie est très populaire et gagne de plus en plus d'adeptes, comme partout dans le monde. Beaucoup croient en la capacité de la nature à guérir. En réalité, la phytothérapie a toujours existé en Algérie.

L'objectif principal de ce travail est d'étudier les composés actifs de la plante médicinale fenugrec à travers des analyses chimiques et phytochimiques afin de prédire et d'évaluer son potentiel anti-arthrosique.

L'étude se déroule comme suit :

Partie bibliographique :


- **Chapitre 1 :** Concerne principalement la phytothérapie et les plantes médicinales.
- **Chapitre 2 :** Consacré aux métabolites secondaires.
- **Chapitre 3 :** Présente une synthèse bibliographique sur le fenugrec, incluant la classification botanique, la description botanique, la composition chimique, ainsi que les usages traditionnels et contemporains de la plante.
- **Chapitre 4 :** Dédié à l'étude des activités biologiques.

Partie expérimentale

La partie expérimentale est subdivisée en deux chapitres :

- **Chapitre 1 : Matériels et méthodes** Ce chapitre inclut un screening phytochimique afin de déterminer les principaux métabolites secondaires présents. Ensuite, l'extraction des alcaloïdes et des flavonoïdes, qui sont responsables de la majorité des activités biologiques et des effets thérapeutiques des plantes médicinales, est réalisée.
- **Chapitre 2 : Résultats et discussion** Ce chapitre présente les résultats de nos analyses et en discute les implications. Une synthèse des recherches effectuées sera fournie, mettant en perspective les données obtenues.

Suite aux résultats obtenus, un gel anti-arthrosique est formulé. Des analyses approfondies de ce produit seront réalisées dans le but de le commercialiser dans le cadre de la création d'une startup.



***Synthèse
bibliographique***

Chapitre 01 : Généralités sur la phytothérapie

I. Introduction

La phytothérapie est le traitement ou la prévention des maladies par l'usage des plantes. Elle fait partie des médecines parallèles, ou médecines douces. L'emploi des plantes à dessein thérapeutique remonte à la plus haute antiquité et concerne un grand nombre de civilisations. Des écrits chinois sur ce sujet datent de plusieurs millénaires^[6].

La phytothérapie est une discipline médicale très ancienne, basée sur l'utilisation de plantes médicinales pour le traitement de différentes pathologies^[7].

II. La phytothérapie:

II.1 Définition de la phytothérapie:

Le mot "phytothérapie" se compose étymologiquement de deux racines grecques : phuton et thérapie qui signifient respectivement "plante" et "traitement"^[8].

La phytothérapie est l'utilisation de plantes à des fins thérapeutiques. Ayant conjointement évoluée avec le développement scientifique et industriel, la phytothérapie revêt désormais des pratiques variées^[9].

La phytothérapie consiste à utiliser des plantes pour traiter ou prévenir les maladies. Cette pratique implique l'utilisation des feuilles, des fleurs et sommités fleuries, des racines, ou encore des plantes entières. Les plantes peuvent être issues de la cueillette sauvage ou de la culture, mais il est essentiel que leur culture soit conforme à des normes réglementaires rigoureuses afin d'assurer leur pureté^[10].

II.2 Différents types de la phytothérapie :

2.1. Aromathérapie

Est une thérapeutique qui utilise les essences des plantes, ou huiles essentielles, substances aromatiques secrétées par de nombreuses familles de plantes^[11].

2.2. Gemmothérapie

Se fonde sur l'utilisation d'extrait alcoolique de tissus jeunes de végétaux tels que les bourgeons et les radicules^[11].

2.3. Herboristerie

Correspond à la méthode de phytothérapie la plus classique et la plus ancienne. L'herboriste se sert de la plante fraîche ou séchée, soit entière, soit une partie de celle-ci (écorce, fruits, fleurs). La préparation repose sur des méthodes simples, le plus souvent à base d'eau : décoction, infusion, macération^[12].

2.4. Homéopathie

A recours aux plantes d'une façon prépondérante, mais non exclusive; les trois quarts des souches sont d'origine végétale, le reste étant d'origine animale et minérale^[13].

2.5. Phytothérapie pharmaceutique

Utilise des produits d'origine végétale obtenus par extraction et qui sont dilués dans de l'alcool éthylique ou un autre solvant. Ces extraits sont dosés en quantités suffisantes pour avoir une action soutenue et rapide. Ils sont présentés sous forme de sirop, de gouttes, de gélules, de lyophilisats^[11].

II.3 Avantages de la phytothérapie

Malgré les énormes progrès réalisés par la médecine moderne, la phytothérapie offre de multiples avantages. N'oublions pas que de tout temps, à l'exception de ces cent dernières années, les hommes n'ont eu que les plantes pour se soigner, qu'il s'agisse de maladies bénignes (toux...) ou plus sérieuses, telles que la tuberculose ou la malaria. Aujourd'hui, les traitements à base de plantes reviennent au premier plan, car l'efficacité des médicaments tels que les antibiotiques (considérés comme la solution quasi universelle aux infections graves), décroît :

- ✓ Les bactéries et les virus se sont peu à peu adaptés aux médicaments et leur résistent de plus en plus^[14].
- ✓ Expérimentalement, les plantes et leurs extraits peuvent améliorer la glycémie en agissant sur la vidange gastrique, l'absorption du glucose, l'insulino-sensibilité, et même l'insulino-sécrétion^[15].
- ✓ Les maladies les plus graves, le cancer, la sclérose qui sont soignées de façon très difficile, mais grâce à la phytothérapie qui est une alternative importante peut amener un confort dans le traitement classique de ces maladies graves^[16].

II.4 Précautions à prendre de la phytothérapie

Ils sont rares, généralement bénins. Ainsi, la phytothérapie est une thérapeutique souvent peu toxique mais qui exige un certain nombre de précautions :

- ✓ Une bonne connaissance des plantes car certaines peuvent être toxiques ou se manifestent par des réactions allergiques pour certains sujets.
- ✓ S'assurer du diagnostic et être attentif aux doses, en particulier pour les jeunes enfants, les femmes enceintes ou allaitantes et les personnes âgées.
- ✓ Certaines plantes ne peuvent être utilisées, en même temps que d'autres médicaments ou présentent une certaine toxicité si le dosage est augmenté ou si le temps de traitement est prolongé^[17].

III. Les plantes médicinales

III.1 Introduction

Les plantes médicinales sont utilisées pour leurs propriétés particulières bénéfiques pour la santé humaine. En effet, elles sont utilisées de différentes manières, décoction, macération et infusion. Une ou plusieurs de leurs parties peuvent être utilisées, racine ; feuille, fleur^[18] ce sont des plantes utilisées en médecine traditionnelle dont au moins une partie possède des propriétés médicamenteuses. Leur action provient de leurs composés chimiques (métabolites primaires ou secondaires) ou de la synergie entre les différents composés présents^[19].

III.2 Définition

Ce sont des plantes utilisées en médecine traditionnelle, et au moins certaines d'entre elles ont une valeur médicinale. Leur effet provient de leurs composés (métabolites primaires ou secondaires) ou de la synergie entre les différents composés existants^[20].

Selon l'OMS, plus de 20000 plantes utilisées dans le monde pour ses propriétés médicinales, seulement 2000 à 3000 plantes ont été étudiées au niveau scientifique.

III.3 Types de plantes médicinales

Elle porte sur deux origines à la fois. En premier lieu les plantes spontanées dites "sauvages" ou "de cueillette" puis en second les plantes cultivées^[21].

3.1. Les plantes spontanées :

Les plantes spontanées sont toutes plantes qui poussent naturellement dans une région sans y avoir été introduites par l'homme. Ce sont des espèces spontanées que l'homme utilise mais ne sème pas et ne cultive pas^[22].

3.2. Les plantes cultivées :

Une culture est une production végétale tirée de l'exploitation de la terre. Le terme plante cultivée désigne également une plante cultivée c'est-à-dire une espèce végétale cultivée, par exemple le blé ou la pomme de terre. Les plantes cultivées ont subi un processus de domestication, qui les a conduits à développer des caractères différents de leur ancêtre sauvage. Ou bien Un peuplement végétal cultivé est un ensemble de plantes d'une seule espèce et d'une seule variété (ou population) cultivée pour récolter un produit spécifique désiré par l'homme^[23].

III.4 Domaine d'application des plantes médicinales

Les substances naturelles issues des végétaux ont des intérêts multiples dans l'industrie, en alimentation, en cosmétologie et en pharmacie.

4.1. Utilisation en cosmétique

Le produit cosmétique, tels que le crème, aérosols et lotion désodorisante est issue du savoir traditionnel de la phytothérapie avec des connaissances nouvelles, il est généralement appliqué sur la partie externe du corps. Aussi l'utilisation des pommades et des gels à base végétal permet de préserver ces cosmétiques grâce à leur activité antiseptique et antioxydant, tout en leur assurant leur odeur agréable^[24].

4.2. Utilisation en alimentation

Assaisonnement des boissons, des colorants et des composés aromatiques, les épices et les herbes aromatiques utilisés dans l'alimentation sont considérés comme condimentes et aromates^[25].

4.3. Utilisation en médecine

Les plantes médicinales constituent le moyen le plus utilisé surtout en milieu rural pour résoudre les problèmes de santé publique. Selon l'OMS (2002), plus de 80 % de la

population africaine à recours aux plantes pour ses besoins en soins de santé. En médecine vétérinaire aussi, la phytothérapie est largement sollicitée par les éleveurs traditionnels dans les zones de savanes^[26].

III.5 Différents types de préparation :

Modes de préparation des plantes médicinales pour la phytothérapie Il est nécessaire d'élaborer des méthodologies qui permettent les extractions des substances qui ayant une action spécifique. Ces manipulations sont :

5.1. Infusion :

L'infusion est la méthode de préparation de tisanes la plus courante et la plus classique, elle s'applique généralement aux organes délicats de la plante : fleurs, feuilles aromatiques et sommités^[27]. L'infusion est obtenue en versant l'eau bouillante sur les plantes dans un récipient couvert, pour éviter toute perte d'essence volatile pendant une durée 5 à 15 minutes (selon la plante), puis la filtration^[28].(Figure 1)



Figure 1 : Infusion des feuilles.

5.2. Décoction:

Elle consiste à faire bouillir pendant quelques minutes la plante ou partie de la plante. Le temps d'ébullition varie selon l'organe en question de (10 à 30 mn), ex: une décoction de racines peut demander 10 minutes d'ébullition ensuite, la plante est laissée macérer pendant un certain temps, puis elle est filtrée à l'aide d'un papier spécial ou d'une toile à trame fine^[29].(Figure 2)



Figure 2: Décoction des tiges et feuilles.

5.3. Macération :

La macération doit se faire dans un récipient à l'abri de l'air et de la lumière, en laissant une plante dans un solvant (eau, vin, alcool ou huile) à froid pendant un temps assez long (de quelques heures à plusieurs jours, voire plusieurs semaines). Une fois le temps écoulé, il suffit de filtrer le mélange à travers un filtre papier, et de stocker la macération obtenue dans un récipient bien bouché. Une macération se fait à froid quand les principes actifs d'une plante peuvent être détruits par la chaleur^[30].(Figure 3)



Figure 3: Préparation des macérats huileux.

III.6 Principes actifs des plantes médicinales

Le principe actif peut se trouver en différentes formes telles que : poudre, extrait, teinture... Les plantes médicinales interviennent dans la préparation des médicaments destinés à une utilisation par la voie orale, voie inhalée ou voie externe, ainsi que la préparation des compléments alimentaires^[31].

IV. Conclusion

Les plantes médicinales ont constitué le principal outil thérapeutique à disposition de l'homme. Leurs propriétés ont été mises en évidence par l'observation des effets qu'elles généraient sur l'organisme. Ces plantes jouent aussi un rôle très important dans le domaine thérapeutique moderne

Chapitre 02 : Métabolites secondaires

I. Introduction

Les plantes ont une importance capitale pour la survie de l'homme et des différents écosystèmes. Elles renferment des composés qui interviennent dans l'ensemble des réactions enzymatiques ou biochimiques ayant lieu dans l'organisme^[32]. L'investigation des plantes présente un potentiel inestimable pour la découverte de nouvelles substances. Une des originalités majeures des végétaux réside dans leur capacité à produire des substances naturelles très diversifiées^[33]. Les composés d'origine naturelle présentent l'avantage d'avoir une très grande diversité de structures chimiques et ils possèdent aussi un très large éventail d'activités biologiques^[34].

On distingue ainsi deux groupes de métabolites : les métabolites primaires et les métabolites secondaires :

Les métabolites primaires sont des molécules organiques qui sont directement impliqués dans la croissance, le développement et la reproduction normale d'un organisme ou d'une cellule. Ils sont divisés en quatre grandes familles :

- ✓ Les glucides
- ✓ Les lipides
- ✓ Les acides aminés
- ✓ Les acides nucléiques^[35]

Les métabolites secondaires ce sont des molécules organiques complexes synthétiques, accumulés par les plantes en petite quantité. Elles sont caractérisées généralement par de faible concentration dans les tissus végétaux (généralement quelques pourcents du carbone total, si on exclue la lignine de cette catégorie). Ces molécules jouent un rôle dans l'adaptation des plantes à leur environnement et représentent également une source importante de molécules utilisables par l'homme dans des domaines aussi différents que la pharmacologie ou l'agroalimentaire^[36].

II. Classification des métabolites secondaires :

Les métabolites secondaires sont produits en très faible quantité, On estime à plusieurs centaines de milliers les métabolites secondaires (200.000), de structure et de fonction très diverses. Il existe donc un grand nombre de classification selon les sources et leur appartenance chimique en l'occurrence, les terpènes, les alcaloïdes, les composés acétyléniques, les cires, et les composés phénoliques^[35a].

Ils sont divisés principalement en trois grandes familles :

- Polyphénols
- Terpènes
- Alcaloïdes

II.1 Les composés phénoliques

Les composés phénoliques sont des substances naturelles, d'origine végétale majoritairement. Ils peuvent se trouver chez certains animaux et microorganismes comme les bactéries et les champignons tels que l'œstradiol qui est l'hormone la plus importante de type œstrogène chez les mammifères. Ils sont constitués d'une unité principale « phénol » donc se sont de mono, bi ou polyphéno^[37].

Les polyphénols constituent une grande classe de produits chimiques qui se trouve principalement dans les tissus superficiels des plantes. Ils sont des composés photochimiques polyhydroxylés et comprenant au moins un noyau aromatique à 6 carbones.

La classification des polyphénols est basée essentiellement sur la structure, le nombre de noyaux aromatiques et les éléments structuraux qui lient ces noyaux ^[37]. Ils subdivisent en sous classe principales ; les acides phénols, les flavonoïdes, les lignines, les tanins, les saponines, les polystéroles ou bien phytostanols. Les plus importants sont : les acides phénoliques, les flavonoïdes et les tanins^[38].

II.2 Les alcaloïdes

Les alcaloïdes figurent parmi les principes actifs les plus importants en pharmacologie et en médecine^[39] Ce sont des substances organiques azotées (Figure 4), de caractère alcalin et de structure complexe (noyau hétérocyclique), on les trouve dans plusieurs familles des plantes, la plupart des alcaloïdes sont solubles dans l'eau et l'alcool et ont un goût amer. Certaines d'entre elles sont toxiques^[40].

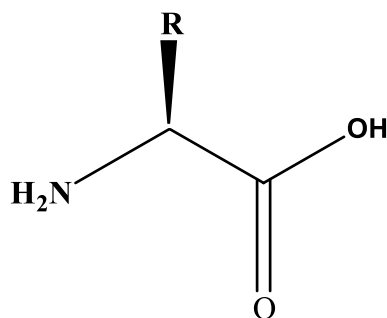


Figure 4 : Structure de base des alcaloïdes

Selon leur structure chimique et surtout leur structure moléculaire, on peut diviser les alcaloïdes en plusieurs groupes :

- Phénylalanines
- Alcaloïdes pyridiques et pipéridiques
- Alcaloïdesstéroïdes
- Alcaloïdes dérivés du tropane
- Alcaloïdes isoquinoléiques
- Alcaloïdes quinoléiques

II.3 Terpènes et stéroïdes

Les **terpénoïdes** sont une large famille de composés naturels de caractère souvent lipophile, leur grande diversité est due au nombre de bases qui constituent la chaîne principale de formule $(C_5H_8)_n$, selon la variation de nombre on distingue les monoterpènes, les diterpènes, les triterpènes, ...etc.

Les **stéroïdes** sont des graisses végétales. Elles pourraient jouer un rôle important dans l'état de fonctionnement du système immunitaire et possèdent moins de 30 atomes de carbone, synthétisés à partir d'un triterpène acyclique ^[41], le plus représentatif est le cholestérol^[42].

II.4 Les huiles essentielles

Sont des substances huileuses, volatiles et odorantes qui sont sécrétées par les plantes aromatiques que l'on extrait par divers procédés dont l'entraînement à la vapeur d'eau et hydrodistillation^[43] par pressage ou incision des végétaux qui les contiennent^[44].

III. Rôle des métabolites secondaires

III.1 Chez les plantes

Des travaux plus anciens ont montré que les phénols sont associés à de nombreux processus physiologiques: croissance cellulaires, différenciation, organogenèse, floraison et tubérisation^[45].

Une des fonctions majeures des flavonoïdes est de contribuer à la couleur des plantes notamment à celle des fleurs. On peut également noter que les flavonoïdes :

- Assurent la pigmentation des fleurs, des fruits et des graines pour attirer les pollinisateurs et les disperseurs de graine, Ils sont universellement présents dans la cuticule foliaire et dans les cellules épidermiques de feuilles, ils sont susceptibles d'assurer la protection des tissus contre les effets nocifs des rayonnements UV en absorbant à la fois ces radiations et les espèces réactives de l'oxygène formées^[46].
- Jouent un rôle dans la protection des plantes (Repoussant certains insectes par leur goût désagréable).
- Le contrôle de la croissance et du développement des plantes en interagissant d'une manière complexe avec les diverses hormones végétales de croissance.

III.2 Chez l'homme

Les métabolites secondaires végétaux ont des intérêts multiples mis à profit dans l'industrie : En alimentation, en cosmétologie et en pharmacie. Ces composés sont en grande mesure illustrés en thérapeutique^[47]

En médecine : Les métabolites secondaires qui font la base des remèdes pour l'homme sont utilisés en :

- ✓ Urologie, dermatologie, gastrites aiguës, toux, ulcères d'estomac, laxatifs, sommeil.
- ✓ Systèmes cardiovasculaires, par exemple : Flavoce est un médicament constitué par la flavone non substitué en combinaison avec la rutine et isoquercétine est utile dans le traitement de l'athérosclérose.

En alimentation : Les épices et les herbes aromatiques contenant des divers métabolites sont considérées comme condiments et aromates.

En cosmétique : Des produits de beauté, parfums et articles de toilette, produits d'hygiène^[48].

III.3 Rôle biologique

Les métabolites secondaires sont une multitude d'activités biologiques dépendant de leur structure chimique (Tableau 1).

Tableau 1 : L'activité biologiques des quelques métabolites secondaires.

Métabolites secondaires	Activités biologiques	Auteurs
Acides Phénoliques	Antibactériens -Antifongiques -Antioxydants	[37]
Flavonoïdes	Antitumorales -Anticarcinogènes -Anti-inflammatoires -Hypotenseurs et diurétiques -Antimicrobienne	[49]
Anthocyanes	Protection des veines et capillaires -Anti oxydant	[37]
Tanins	Anti-diarrhéique -Cicatrisante -Vasoconstricteur -Antimicrobienne -Anti-inflammatoire	[50]
Alcaloïdes	Antitussifs -Anti-arythmiques -Antipaludiques	[51]
Saponosides	Antitumoreux -Antimicrobiens -Antiappétants -Anti-inflammatoires -Hémolytique	[37]

Chapitre 03 : Présentation de la plante étudiée : le fenugrec

I. Historique

Le fenugrec appelé aussi Trigonelle ou Trigonella (du latin *trigonus*, triangulaire, allusion à l'aspect de la corolle), c'est une plante médicinale et aromatique très ancienne, elle est originaire du moyen orient et cultivée en Afrique du Nord, en France, en Egypte et aux Indes^[52]. Le fenugrec tient le nom latin *foenum-graecum* « foin grec » car il est utilisé comme fourrage à l'époque de l'empire romain. En 1550 avant Jésus-Christ, cette plante apparut en Egypte pour soigner les brûlures, 10 siècle plus tard, Hippocrate le mentionna comme remède apaisant, qui en plus de ses propriétés digestive, soulageait les inflammations et les douleurs rhumatismales^[53].

II. Description botanique de *Trigonella foenum-graecum*

Le fenugrec est une plante annuelle, herbacée, de la famille des Fabacées du nom arabe l'helba Son nom botanique est *Trigonella foenum-graecum*, elle est aussi appelée : trigonelle, séné grain, trigonelle fenugrec, etc. Le nom du genre *Trigonella* vient du latin *trigonus* signifiant triangle, par allusion à la forme prismatique des graines du fenugrec. Le mot fenugrec vient du latin *faenum graecum* qui signifie « foin grec »^[54].

Le Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum* L) aussi appelé Trigonelle ou séné grain est une plante annuelle herbacée appartenant à la famille des légumineuses (Fabacées). Elle peut atteindre 40 à 60 cm de hauteur. Il produit des gousses longues et minces qui renferment jusqu'à deux dizaines de minuscules graines^[55]. Il existe aussi des nombreuses ramifications sur la tige et elle possède des feuilles de forme ovale séparées en trois parties (trifoliolées)^[56].

- **Fleurs:** les fleurs de fenugrec est sessile, dite papilionacée, assez grandes, de couleur jaune pâle à violet claire, se compose d'un calice à cinq sépales non divisées, d'une corolle à cinq pétales libres de forme triangulaire ^[57]. L'épanouissement des fleurs de fenugrec, selon la variété, le climat et la saison des semilles commence environ 35-40 jours à partir de l'ensemencement. Elles sont assises dans l'aisselle des feuilles le plus souvent lié (deux à deux), plus rarement

solitaires. Il existe deux types de fleurs : des fleurs cléistogames (fermés) et des fleurs anéictogames (ouverts)^[58].

- **Fruit** : le fruit est une gousse allongée, arquée, qui renferme de 10 à 20 graines , très dures, aplaties, mesurant 3 à 5 mm de long et 2 à 3 mm de large, de couleur brun clair a brun rougeâtre, marquées par un sillon qui délimite les deux parties inégales ^[59](Figure 5).



Figure 5 : feuilles et fruit de *Trigonella foenum-graecum*^[60]

- **Graines** : Les graines de Fenugrec sont en forme d'un disque, constituées d'un embryon jaune central entouré d'une couche cornée et relativement importante de blanc, d'endosperme semi-transparent contenant de la gomme de galactomannane. Une enveloppe tenace et brune foncée entoure l'endosperme. La couleur de la fraction de la gomme dépend de la quantité de l'enveloppe (couleur marron) et cotylédons (couleur jaune) présents^[61]. La plante toute entière dégage une odeur épicée caractéristique (Figure 6).



Figure 6: Les graines de *Trigonella foenum-graecum* L^[60]

III. Classification botanique

Selon les données de « Natural Resources Conservation Service » du département d'Agriculture aux Etats Unis le fenugrec est classé comme suit (Tableau 2)

Tableau 2 : Classification de fenugrec^[62]

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobionta
Division	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous-classe	Rosidae
Ordre	Fabales
Famille	Fabaceae
Genre	Trigonella
Espèce	Trigonella foenum-graecum L

IV. Origine et distribution

Le fenugrec est originaire d'Afrique du Nord, du Moyen-Orient et d'Inde, puis il est abondamment présent autour de bassin méditerranéen. Les producteurs de fenugrec sont l'Inde, l'Iran, le Népal, le Bangladesh, le Pakistan, l'Argentine, l'Égypte, la France, l'Espagne, la Turquie, le Maroc et la Chine. Cependant, aujourd'hui il pousse partout dans le monde^[63].

La région méditerranéenne est connue pour être l'habitat naturel du genre *Trigonella*. Les espèces sauvages du genre existent dans les pays d'Europe, l'Afrique du Nord, les îles Canaries, l'Afrique du Sud, l'Asie centrale et de l'Australie. Fréquemment cultivée elle est souvent sub-spontanée en Algérie^[64].

V. Compositions chimiques de fenugrec

Le fenugrec est une plante d'une grande qualité nutritive. Les graines de fenugrec sont d'une composition hétérogène de substances variées et renferment: les alcaloïdes (trigonelline, gentianine, choline), salicylés, des polyphenols (flavonoïdes)^[65].fibres mucilagineuses : jusqu'à 40 %, saponines, protéines : jusqu'à 30 %, vitamines A, B1, C, minéraux et oligo-éléments (calcium, magnésium, phosphore, fer, soufre, polysaccharides comme les galactomannanes^[66] les huiles essentielles, l'acide nicotinique et des acides aminés libres dont un acide aminé particulier, la 4-hydroxyisoleucine qui a une activité hypoglycémiant^[67].

La graine de fenugrec est riche en protéine (20 à 30%), les acides aminés tels que la 4-hydroxyisoleucine (0,1 à 0,3% du poids de la drogue sèche), les glucides (20 à 45%) , les lipides (7 à 10%)., les sapogénines (0,1-2,2%), la trigonelline (méthylbétaine, 0,37%), du phosphore, du calcium, du β -carotène et une huile essentielle (environ 0,015%) mais aussi à des constituants volatils (sesquiterpènes, lactones, etc.)^[57]. La composition chimique de la graine figure dans le (Tableau 3).

Tableau 3 : La composition chimique de graine de fenugrec ^[59]

Classe de constituants chimiques	Constituants chimiques
Protéine (28-30%)	Nucléoprotéines
Glucides (20-45%)	Fibres : cellulose, hémicellulose, mucilages, galactomannane, phytine, inositol hexaphosphat de Ca et de Mg
Sapogénines et saponosidesstéroïdiques (4,5%)	Foenugracine, trigofenoside A et autres hétérosides de la diosgénine ; nombreuses sapogéninesstéroïdiques
Coumarine	Scopolétine
Flavonoïdes	Vitexine , vicénines , dérivés de l'orientine
Acides aminés	4-hydroxyisoleucine
Autres	Amide de l'acide nicotinique, trigonelline (méthylbétaine, 0,37%), gamma schizandrine, phosphore, calcium, fer
Lipides, huile grasse (dans l'embryon : 6-10%)	Acide linoléique et linoléique, lécithine

VI. Utilisation thérapeutiques traditionnelle

Le Fenugrec compte parmi les plus anciennes plantes médicinales et culinaires. Ses graines, grâce à leurs composés chimiques, se révèlent être d'une grande valeur alimentaire et présentent de multiples vertus phytothérapeutiques^[68]. Il est utilisé pour :

- ✓ Stimuler l'appétit, soulager les troubles digestifs et respiratoires, et redonner de l'énergie aux convalescents et aux personnes déprimées. Il est également utilisé pour favoriser la production du lait maternel.
- ✓ Lutter contre la chute des cheveux.
- ✓ Traiter les ulcères de jambe, la goutte, les douleurs musculaires et l'eczéma. Prévenir l'apparition de certains types de cancers, en particulier du colon, du sein, et de la vésicule biliaire.

- ✓ Arrêter la constipation.
- ✓ Eliminer les infections et les inflammations des voies respiratoires.
- ✓ Soigner les blessures cutanées et les douleurs rhumatismales^[69].

VII. Propriétés du fenugrec

Le Fenugrec possède plusieurs propriétés thérapeutiques parmi lesquelles :

VII.1 Propriétés antioxydantes

Le fenugrec contient des composés phénoliques et flavonoïdes qui aident à améliorer sa capacité antioxydante. Cette propriété pourrait être utile en empêchant ou en ralentissant le progrès des certaines maladies en raison de l'effort oxydant ^[70], et aussi pour retarder l'oxydation des lipides dans une variété des produits alimentaires ^[61].

VII.2 Propriétés anti-inflammatoires et hepatoprotective

Le fenugrec a démontré, lors de recherches in vitro, des capacités anti-inflammatoires et hepatoprotective. Les graines de *Trigonella foenum-graecum* L. agissent comme un agent protecteur contre les anomalies induites dans le foie ^[71]. De plus, ses graines sont utilisées pour soulager les inflammations, les rhumatismes, les muscles endoloris ^[72].

VII.3 Propriétés antimicrobiennes

Les graines de Fenugrec ont des propriétés antimicrobiennes avec un large spectre d'action. Elles agissent contre les bactéries. Elles produisent des huiles à propriétés toxiques qui empêchent la croissance de ces bactéries. Des tests non-cliniques suggèrent que le Fenugrec pourrait aussi avoir des effets antiviraux et antifongiques ^[73].

VII.4 Propriétés anti-cancérigènes

Le Fenugrec a présenté des capacités modificatrices de l'apoptose induite par le cyclophosphamide et la peroxydation lipidique ^[74]. Cette propriété du Fenugrec en fait une plante médicinale prometteuse pour la thérapie complémentaire chez les patients cancéreux.

VII.5 Propriétés hypoglycémiantes

Le Fenugrec contribue à stabiliser la glycémie en manifestant une action inhibitrice sur les enzymes qui génèrent le glucose au niveau du foie, notamment chez les diabétiques modérés. En outre, les graines de Fenugrec améliore l'utilisation du glucose périphérique, ce

qui contribue à l'amélioration de la tolérance au glucose et exerce son effet hypoglycémiant en agissant au niveau des récepteurs de l'insuline ainsi qu'au niveau gastro-intestinal ^[75].

VII.6 Autres propriétés du Fenugrec

6.1. Le Fenugrec est nutritif et anabolique :

C'est une source de protéines, de vitamines et de minéraux. Ses vertus nutritives encouragent aussi la repousse des cheveux.

Quant à son action anabolique, il aide à gagner en musculature tout en se débarrassant du gras excédentaire, notamment grâce à son contenu élevé en fibres ^[74].

6.2. Le Fenugrec est un apéritif et digestif :

Sa saveur amère et son potentiel légèrement réchauffant font du Fenugrec un apéritif et un tonique digestif apprécié. Son contenu en huiles essentielles inhibe par ailleurs la formation de gaz intestinaux lors de la digestion ^[76].

VII.7 Les effets indésirables

La consommation de grandes quantités de graines de Fenugrec peut causer des troubles gastro-intestinaux (diarrhée, ballonnements), généralement passagers, à cause de leur haute teneur en fibres^[59].

Chapitre 04 : Activité biologique

I. L'activité anti inflammatoire

I.1 Inflammation

L'inflammation est une réaction de défense de certains êtres vivants consécutive à une lésion tissulaire ou une agression cellulaire excessive ayant plusieurs origines^[77].

- Mécanique ou physique (radiations, électricité, froid, chaleur, pique, coupure, contusion).
- Chimique (acides, bases, substances minérales diverses).
- Biologique ou immunologique (virus, bactéries, parasites, champignons et les antigènes).

I.1.1 Inflammation aiguë

L'inflammation aiguë est caractérisée par quatre signes cliniques cardinaux qui sont la tuméfaction, l'hyperhémie, l'hyperthermie et la douleur. Elle dure de quelques jours à quelques semaines. L'inflammation aiguë se déroule en plusieurs phases, une phase vasculaire immédiate caractérisée par des modifications de la microcirculation locale, une phase cellulaire caractérisée par la mobilisation de nombreuses cellules immunitaires qui permettra l'élimination des microorganismes pathogènes et des tissus lésés, et une phase de résolution et de cicatrisation qui conduit à la restauration des tissus^[78].

I.1.2 Inflammation chronique

L'inflammation chronique est caractérisée par une durée étalée sur des mois ou des années et qui peut se prolonger tout au long de la vie de l'individu^[79].

A la différence de ce qui se passe dans l'inflammation aiguë, les phases vasculaires et cellulaires ne se succèdent pas mais coexistent tout au long de l'évolution de l'inflammation. Des phénomènes de destruction tissulaire et de tentatives de réparation sont également présents^[78]. Les macrophages constituent l'essentiel de l'infiltrat cellulaire vers le site inflammatoire. Tandis que la présence des polynucléaires éosinophiles est caractéristique des inflammations chroniques allergiques et parasitaires^[80].

I.2 Anti-inflammatoires

Les anti-inflammatoires ciblent les molécules clés dans la physiopathologie de la réaction : la PLA2, la lipoxygénase, la cyclooxygénase et les cytokines.

I.2.1 Anti-inflammatoires non stéroïdiens

Les Anti-inflammatoires Non Stéroïdiens (AINS) sont une des classes thérapeutiques les plus utilisées dans le monde en raison de leurs propriétés anti-inflammatoires, antipyrétique et antalgiques ainsi que des effets secondaires gastro-intestinaux et rénaux.

I.2.2 Anti-inflammatoires stéroïdiens

Les anti-inflammatoires stéroïdiens (AIS) ou les glucocorticoïdes constituent une vaste famille de médicaments dérivés du cortisol synthétisé par les glandes surrénales. Les glucocorticoïdes sont capables d'inhiber toutes les phases de la réaction inflammatoire. Par leur action directe sur les vaisseaux, ils diminuent les phénomènes vasculaires de l'inflammation^[81].

I.2.3 Anti-inflammatoires d'origine végétale

Les plantes sont très utilisées en médecine traditionnelle pour soulager les malades atteints de certaines affections inflammatoires telles que l'arthrite rhumatoïde, l'asthme, l'arthrose, la goutte, la rhinite allergique, les ulcères gastriques et duodénaux^[82].

L'activité anti-inflammatoire des plantes revient à leur contenu en métabolites secondaires bioactifs tels que les polyphénols, les stérols, les alcaloïdes, les saponines, les coumarines, les terpènes...etc. Ces substances actives peuvent agir à plusieurs étapes de la réaction inflammatoire en inhibant le métabolisme de l'acide arachidonique, les mécanismes de transduction du signal impliqués dans l'activation des cellules inflammatoires, la synthèse des cytokines pro-inflammatoires, l'expression des molécules d'adhésion, et la production des espèces oxygénées réactives^[83].

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the top and bottom edges, framing the text.

Partie expérimentale

Matériels et méthodes

Introduction

Notre étude a été réalisée au niveau du :

- Laboratoire de recherche : Laboratoire Ecologique Fonctionnelle et Evolutive de la faculté des Science de la nature et de la vie de l'Université Chadli Bendjedid el Tarf.
- Laboratoire pédagogique de la faculté des Sciences et de la Technologie de l'Université Chadli Bendjedid el Tarf.

I. Localisation géographique du fenugrec

Dans la région d'El Tarf en Algérie, le fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*) est généralement cultivé dans les zones agricoles où les conditions de sol et de climat sont favorables à sa croissance. Le fenugrec est une plante herbacée annuelle qui pousse bien dans les sols bien drainés et riches en matière organique.

Plus précisément, les zones de culture du fenugrec peuvent être situées dans les plaines fertiles et les vallées où l'irrigation est disponible, car le fenugrec nécessite un arrosage régulier pour sa croissance optimale. Ces régions peuvent également bénéficier d'un ensoleillement adéquat pour favoriser le développement des plantes.

Il est également possible de trouver des cultures de fenugrec dans les zones agricoles proches des habitations dans les villages et les villes de la région d'El Tarf, où les agriculteurs peuvent cultiver cette plante pour une utilisation personnelle ou pour la vente sur les marchés locaux.

En résumé, la localisation géographique du fenugrec dans la région d'El Tarf en Algérie se trouve principalement dans les zones agricoles propices à sa culture, où les conditions de sol, de climat et d'irrigation sont favorables à sa croissance.

II. Analyse phytochimique

II.1 Biomasse végétale et produits chimiques

Biomasse végétale

La plante utilisée dans ce travail (Figure 7) sous forme de poudre, est disponible sur le marché local d'El-Tarf.



**Figure 7 : Graine et poudre de fenugrec
(CHELOUFI sabrine 2024)**

Produits chimiques

- **Ingrédients** : Gel d'aloevera, huile essentielle de romarin
- **Solvants** : Chloroform (CHCl_3), MeOH, EtOH, éther de pétrole, acide acétique
- **Autres** : NaOH(1%), KOH, HCl (5% ; 1%), H_2SO_4 , acide acétique, , FeCl_3 , NH_4OH

II.2 Matériel utilisés

Balance de précision

Toutes les opérations de pesées ont été effectuées sur la balance de précision de 0,0001 g de la marque OAHUS (Figure 8).



**Figure 8 : Balance analytique de la marque OAHUS
(CHELOUFI Sabrina 2024)**

Broyeur

Toute la quantité de fenugrec a été broyée par un broyeur à 8 puissances (Figure 9).



Figure 9 : Broyeur (CHELOUFI Sabrina)

Agitateur magnétique

Un agitateur magnétique chauffant de la marque Stuart et un barreau aimanté (Figure 10)



Figure 10 : Agitateur magnétique et barreau aimanté (CHELOUFI Sabrina 2024)

pH mètre digitale

Un pH mètre digitale de la marque HANNA (Figure 11).



Figure 11 : pH mètre de la marque HANNA (CHELOUFI Sabrina 2024)

Rota vapeur

Appareil BUCHI Rota-vapeur R-200 utilisé pour la condensation des extraits méthanoïques (Figure 12).



Figure 12 : Rota vapeur de la marque BUCHI (CHELOUFI Sabrina 2024)

II. Etude phytochimique

II.3 Méthodes

II.3.1 Préparation de la poudre des graines de fenugrec

- ✓ **Séchage** : Sécher les graines de fenugrec à l'air libre pour éviter la dégradation des composés.
- ✓ **Broyage** : broyer les graines séchées en poudre fine à l'aire d'un broyeur



Schéma 1 : Mode opératoire de la poudre de fenugrec (CHELOUFI Sabrina 2024)

II.3.2 Analyse qualitative (Screening phytochimiques sur la poudre de fenugrec)

Les tests phytochimiques sont des tests purement qualitatifs permettant de mettre en évidence et de caractériser les différents groupes chimiques contenus dans les extraits végétaux, basées sur des réactions de coloration et/ou de précipitation. Les résultats sont classés comme suit ^[84]:

Réaction (**absence**) : -

Réaction (**présence**) : +

Les alcaloïdes

Macérer 1g de la poudre du fenugrec dans 10 ml d'HCl à 5% dans un récipient. On filtre le mélange on additionne au filtrat quelques gouttes de réactif de Mayer^[85].

Les saponosides (test de mousse)

1g de la poudre sèche est pesé dans une fiole dans laquelle 10ml d'eau distillée sont ajoutés et bouillis pendant 5min, le mélange est filtré ; 2.5ml du filtrat sont ajoutés à 10ml d'eau distillée dans un tube à essai. Le tube est secoué vigoureusement pendant 30s puis on laisse reposer une demi-heure^[86].

Les flavonoïdes

Macérer 10g de la poudre de fenugrec dans 150ml HCl à 1% pendant 24h. Filtrer, prendre 10ml du filtrat, le rendre basique avec NH₄OH^[85].

Les tannins

10g de la poudre avec 100 ml de MeOH à 80%.filtré, additionner au filtrat quelques gouttes d'une solution de FeCl₃ à 1%^[87].

Les cardénolides

Macérer 1g de poudre sèche dans 20ml d'eau distillée pendant 3h, après filtration, on prélève 10ml de filtrat et on l'extrait avec un mélange de 10ml de Chloroforme CHCl₃ et éthanol C₂H₅OH. On évapore la phase organique, puis le précipité est dissout dans 3ml de CH₃COOH glacial, en ajoutant quelques gouttes de FeCl₃ et 1ml de H₂SO₄ concentré sur les parois du tube à essai^[88].

Les huiles volatiles

Macérer 10g de la poudre dans 40ml d'eau distillée avec agitation constante pendant 30mn. L'extrait est filtré ; 2ml du filtrat sont secoués avec 0,1ml de NaOH dilué et une petite quantité de HCl dilué un précipité blanc est formé avec les huiles volatiles^[89].

Anthocyanes

Repose sur le changement de couleur de l'infusé à 10% avec changement de PH. On ajoute à l'infusé quelque goutte de HCl pur, on a changement de couleur, puis on rajoute quelque goutte de NH₄OH changement de couleur.

Leuco-Anthocyanes

On chauffe 5 ml de l'infusé à 10 % à 4 ml (éthanol / HCL pur 1/3) dans un bain marie à 50°C pendant quelque minutes.

Quinones

1g de poudre broyé est placé dans un tube avec 15à 30ml d'éther de pétrole. Après agitation et un repos de 24h. L'extrait est filtré puis concentré au Rota-vapeur. La présence des quinones est confirmée par l'ajout de quelque goutte de NaOH^[90].

II.4 Extraction les alcaloïdes

V.1 Extraction par macération

- ✚ Placer 10 g de poudrer de fenugrec dans un bécher de 100 ml.
- ✚ Ajouter 50 ml d'éthanol dans le bécher (rapport 5:1).
- ✚ Laisser macérer pendant 48 h heures à température ambiante, en agitant régulièrement pour favoriser l'extraction.

V.2 Filtration

- ✚ Filtrer le mélange pour séparer le liquide de la matière solide a l'aide d'un papier filtre et d'un petit entonnoir

V.3 Concentration de l'extrait

- ✚ Concentrer l'extrait filtré sous vide à l'aide d'un évaporateur rotatif ou simple évaporateur jusqu'à obtenir un résidu concentré (environ 3-5 ml).

V.4 Extraction acide base

- ✚ Dissoudre le résidu concentré dans 30 ml d'acide acétique dilué (10 %).
- ✚ Filtrer pour éliminer les matières insolubles.

V.5 Extraction des alcaloïdes

- ✚ Alkaliniser la solution acide filtré avec ma solution de NaOH (10%) jusqu'à atteindre un pH basique (8_10). Utiliser environ 10 ml de la solution de NaOH
- ✚ Extraire les alcaloïdes libres avec 3 portions de 10 ml de chloroforme. Ajouter chaque portion, agiter vigoureusement, puis séparer la phase organique (chloroforme) de la phase aqueuse.
- ✚ Combiner les phases organiques (30 ml de chloroforme).

V.6 Purification et concentration

- + Laver la phase organique combinée avec 15 ml d'eau distillée pour éliminer les impuretés
- + Sécher la phase organique sur 1 g de sulfate de sodium anhydre
- + Filtrer pour éliminer le sulfate de sodium
- + Concentrer la phase organique en évaporant le chloroforme sous vide à l'aide d'un évaporateur rotatif ou simple évaporateur jusqu'à obtenir un résidu alcaloïdique sec.

V.7 Cristallisation (optionnelle)

- + Dissoudre les alcaloïdes concentrés dans un solvant approprié (ex : éthanol)
- + Laisser cristalliser en refroidissant lentement.

L'extraction des alcaloïdes a été réalisée selon le (Schéma 2)

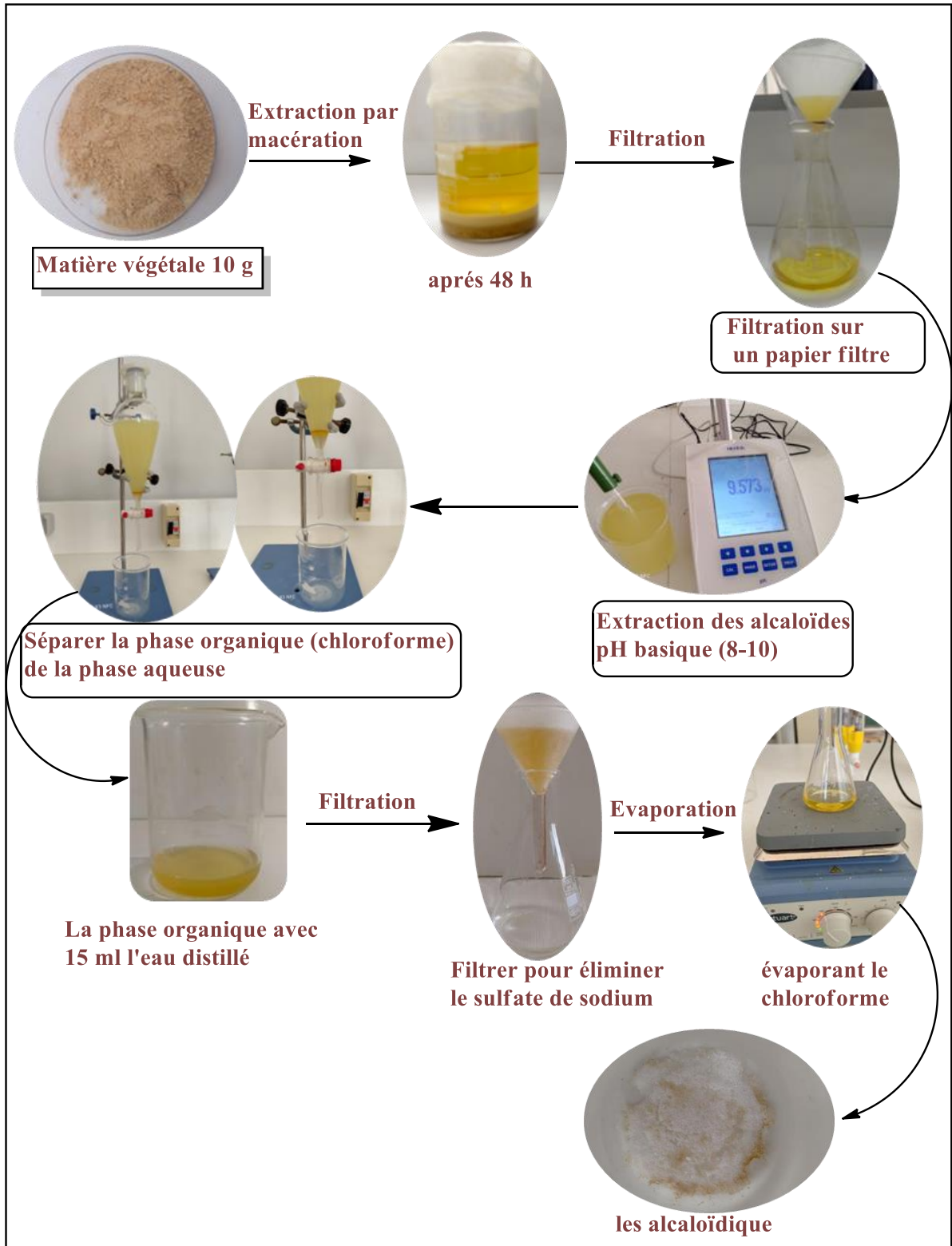


Schéma 2 : Protocole d'extraction des alcaloïdes

II.5 Extraction des flavonoïdes

VI.1 Macération

- ✚ Placer 5 g la poudre de fenugrec dans un récipient approprié

- ✚ Ajouter 50 ml d'éthanol à 70 % pour couvrir la poudre
- ✚ Agitez le mélange a l'aide d'un agitateur magnétique pendant 24 heures a température ambiante

VI.2 Filtration

- ✚ Filtrer le mélange a l'aide d'un filtre à café ou de papier filtre pour séparer le liquide (extrait) du résidu solide.
- ✚ Recueillez le filtrat dans un flacon propre.

VI.3 Évaporation du solvant

- ✚ Evaporez l'éthanol sous vide à l'aide d'un évaporateur rotatif jusqu'à obtention d'un extrait concentré.

VI.4 Dissolution dans l'eau

- ✚ Dissoudre l'extrait concentré dans 10 ml d'eau distillée.

VI.5 Extraction liquide- liquide

- ✚ Ajouter 20 ml d'acétate d'éthyle dans la solution aqueuse.
- ✚ Agitez vigoureusement la solution pendant 10 minutes et laissez reposer pour permettre la séparation des phases.
- ✚ Séparez la phase organique (acétate d'éthyle) contenant les flavonoïdes de la phase aqueuse à l'aide d'un séparateur d'entonnoir.

VI.6 Répétition de l'extraction

- ✚ Répétez l'extraction liquide - liquide deux fois supplémentaires avec 20 ml d'acétate d'éthyle frais chaque fois pour maximiser la récupération des flavonoïdes.

VI.7 Évaporation du solvant organique

- ✚ Combiner les phases organiques et évaporez l'acétate d'éthyle à l'aide d'un évaporateur rotatif jusqu'à obtention d'un résidu sec contenant les flavonoïdes.

VI.8 Purification (facultatif)

- ✚ Si nécessaire, purifier les flavonoïdes par chromatographie sur colonne ou toute autre technique de purification appropriée.

L'extraction des flavonoïdes a été réalisée selon le (Schéma 3)

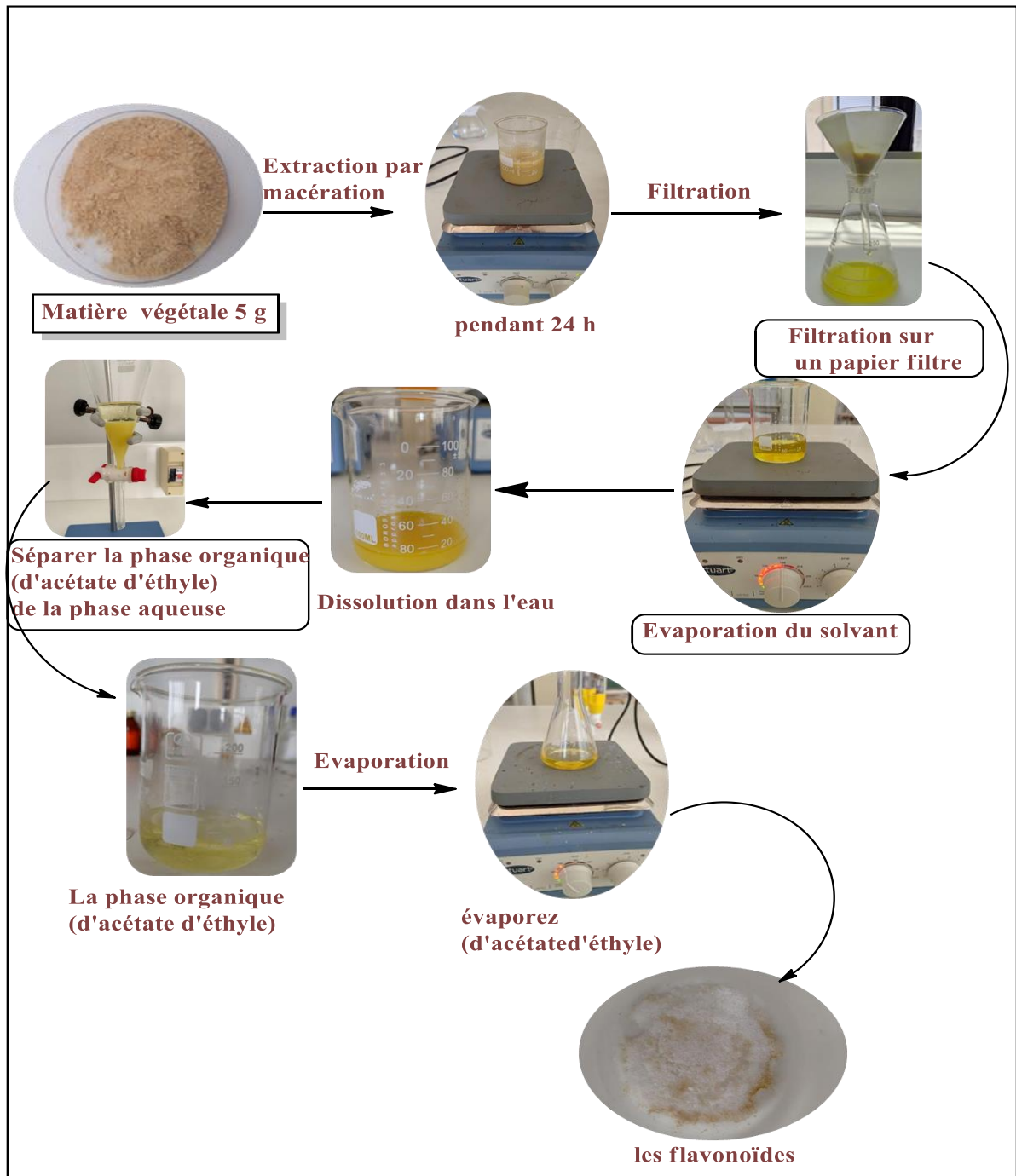


Schéma 3 : Protocole d'extraction des flavonoïdes

Rendement d'extraction

Le rendement d'extraction (%) est calculé par la formule suivante :

$$R (\%) = (\text{Masse de l'extrait sec} \times 100) / \text{Masse du matériel végétal utilisé}$$

III. Analyses microbiologiques :

✓ Test d'activité antibactérienne :

✓ Matériel

- Plaques de Pétri
- Micropipettes et pointes stériles
- Boîtes de Pétri
- Milieux de culture
- Incubateur
- Disques de papier filtre disque
- Coton-tige stérile
- Filtre stérile de 0,22 μm
- Flacons stériles

✓ Réactifs

- Eau stérile pour dissoudre les extraits et pour les dilutions
- Solutions standard de contrôle positif (gentamicine)
- Bouillons de culture bactérienne

Méthode :

1. Préparation des Solutions d'Extrait

- Peser 100 mg d'extrait sec d'alcaloïdes pour chaque souche bactérienne
- Dissoudre les 100 mg d'extrait dans 1 ml d'eau stérile pour obtenir une solution stock concentrée de 100 mg/ml pour chaque souche.
- Filtrer chaque solution à travers un filtre stérile de 0,22 μm pour stériliser.
- Préparer des dilutions en série de chaque solution d'extrait avec de l'eau stérile pour obtenir des concentrations plus faibles (par exemple, 10 mg/ml, 1 mg/ml, 0,1 mg/ml) pour chaque souche bactérienne.

2. Préparation des Milieux de Culture et Inoculation

- Préparer des plaques d'agar spécifiques à chaque souche bactérienne :
 - Pour *Escherichia coli* : utiliser Mueller-Hinton agar
 - Pour *Staphylococcus aureus* : utiliser Brain Heart Infusion agar
 - Pour la troisième souche, choisir un milieu approprié le Bacillus.
- Cultiver chaque souche bactérienne dans du bouillon nutritif
-

3. Application de l'Extrait

○ Méthode de diffusion en puits :

- Percer des puits de 6 mm de diamètre dans l'agar inoculé pour chaque souche bactérienne à l'aide d'une pipette Pasteur stérile ou d'un poinçon.
- Ajouter 50 µl de chaque solution d'extrait (et des contrôles) dans les puits correspondants pour chaque souche bactérienne.

○ Méthode de diffusion sur disque :

- Imprégner des disques de papier filtre stériles (6 mm de diamètre) avec 20 µl de chaque solution d'extrait (et des contrôles) pour chaque souche bactérienne.
- Placer les disques imprégnés sur les plaques d'agar spécifiques pour chaque souche bactérienne.

4. Contrôles

- Inclure des disques ou des puits contenant uniquement de l'eau stérile comme contrôle négatif, et des disques imprégnés d'antibiotiques standards comme contrôles positifs pour chaque souche bactérienne testée.

5. Incubation

- Incuber les plaques à 37°C pendant 24 heures.

6. Évaluation de l'Activité Antibactérienne

- Après incubation, mesurer le diamètre des zones d'inhibition autour des puits ou des disques à l'aide d'une règle pour chaque souche bactérienne.
- Comparer les résultats avec les contrôles positifs et négatifs pour évaluer l'efficacité antibactérienne des extraits d'alcaloïdes contre chaque souche bactérienne individuellement.

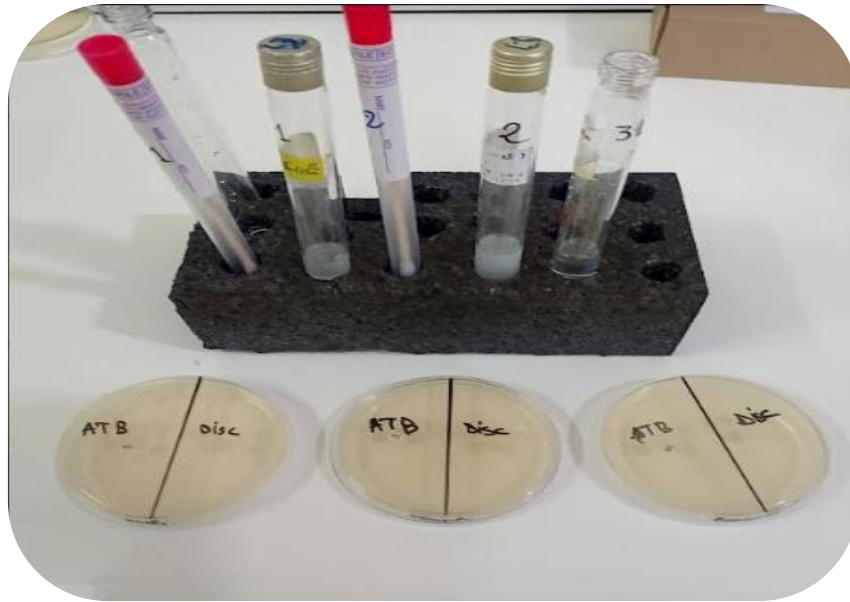


Figure 13 : matériel de l'activité antibactérienne (Cheloufi sabrine 2024)

IV. Evaluation de son potentiel anti-arthrosique

IV.1 Préparation du gel

Étapes de préparation :

- 1. Moudre les graines de fenugrec :**
 - Moudre 10 grammes de graines de fenugrec en poudre fine à l'aide d'un mortier et d'un pilon ou d'un moulin à café.
- 2. Préparer la base de gel :**
 - Dans un bol, versez 100 grammes de gel d'Aloe Vera pour la texture souhaitée.
- 3. Incorporer la poudre de fenugrec :**
 - Ajoutez la poudre de fenugrec moulue à la base de gel dans le bol. Mélangez bien pour obtenir une consistance homogène.
- 4. Ajouter les huiles essentielles (optionnelles) :**
 - Ajoutez 5 gouttes de chaque huile essentielle (menthe poivrée, lavande et romarin) pour renforcer les propriétés analgésiques et anti-inflammatoires du gel. Mélangez bien.
- 5. Transférer dans un contenant de stockage :**
 - Versez le gel préparé dans un pot ou une bouteille de stockage hermétique.
- 6. Étiqueter et conserver :**
 - Étiquetez le contenant avec la date de préparation et le contenu. Conservez le gel au réfrigérateur pour prolonger sa durée de conservation.

Mode d'emploi :

- Appliquez une petite quantité de gel sur la zone affectée par les douleurs arthrosiques.
- Massez doucement jusqu'à ce que le gel soit complètement absorbé par la peau.
- Utilisez le gel selon les besoins, jusqu'à plusieurs fois par jour.

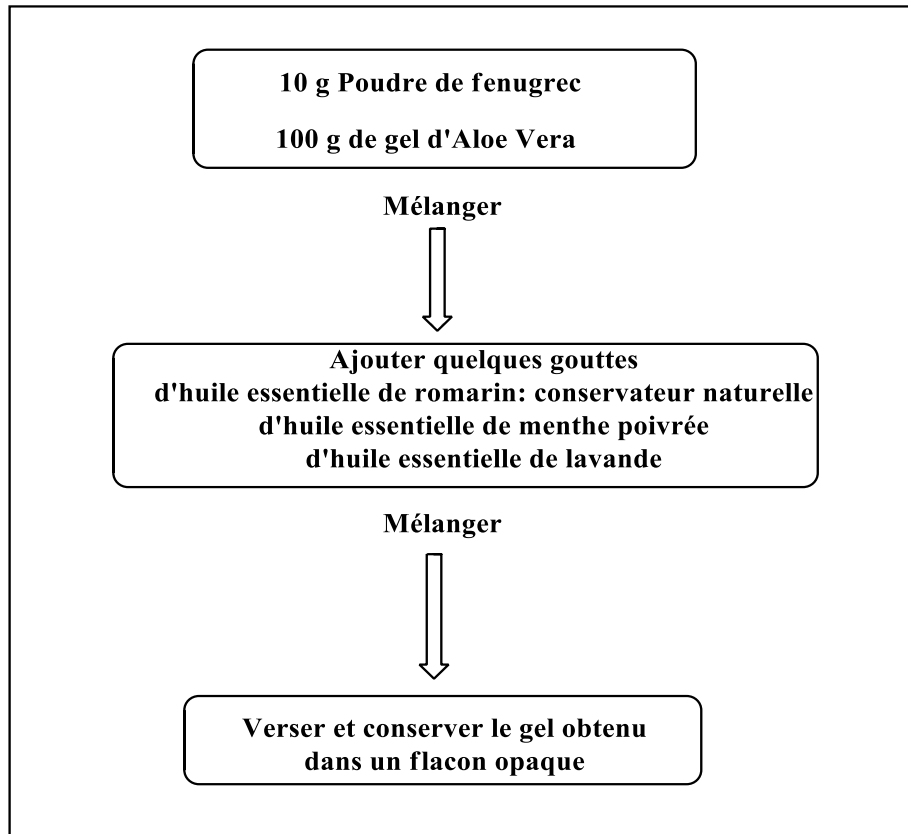


Schéma4 : Etapes de préparation de gel

Formulation du gel anti arthrosique

À la fin de cette étude, et en se basant sur les preuves scientifiques de sa composition et de ses effets bénéfiques, une préparation d'un gel anti arthrosique à base de Fenugrec a été élaborée.

A decorative graphic of a scroll with a black outline and grey shading on the top and bottom edges, framing the text.

Résultats et discussions

Résultats et discussions

I. Analyse phytochimique

I.1 Screening phytochimique (Analyse qualitative)

Les résultats du screening phytochimique réalisé sur la poudre de fenugrec sont représentés dans le (tableau 4).

Les résultats du screening phytochimique réalisé sur la poudre de fenugrec, présentés dans le tableau 4, révèlent une richesse notable en divers composés bioactifs. Ces composés incluent les flavonoïdes, les alcaloïdes, les saponosides, les huiles volatiles et les quinones.

Les flavonoïdes sont connus pour leurs propriétés antioxydantes, anti-inflammatoires et cardioprotectrices. La présence abondante de flavonoïdes dans le fenugrec corrobore les études de référence qui indiquent que le *Trigonella foenum-graecum* (nom scientifique du fenugrec) ^[91].

Les alcaloïdes présents dans le fenugrec, tels que la trigonelline, jouent un rôle important dans ses effets hypoglycémiant et neuroprotecteurs. Selon des études précédentes, la trigonelline a été associée à la régulation de la glycémie et à la protection contre les maladies neurodégénératives ^[92].

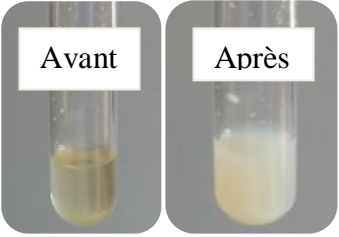
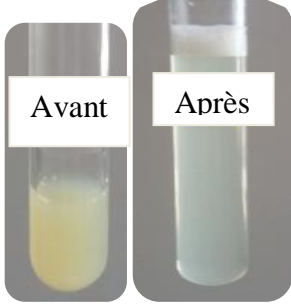
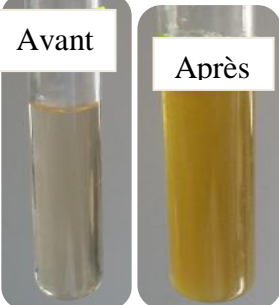
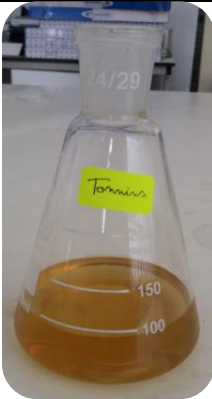
Les saponosides, connus pour leurs propriétés immunes modulatrices et hypocholestérolémiantes, sont également présents en quantité significative dans le fenugrec. Les recherches bibliographiques montrent que ces composés contribuent à l'effet hypocholestérolémiant et au renforcement du système immunitaire ^[93].



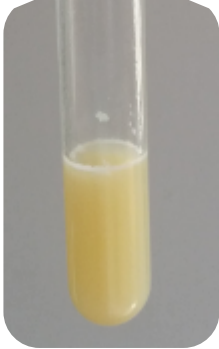
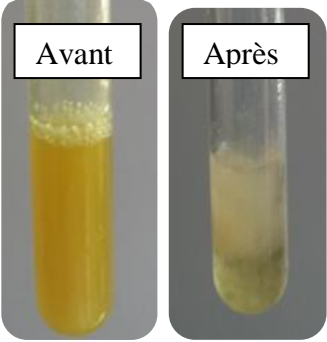

Les huiles volatiles extraites du fenugrec, notamment l'huile essentielle, sont reconnues pour leurs effets antimicrobiens et antioxydants. Des études ont confirmé que ces huiles jouent un rôle dans la prévention des infections et la réduction du stress oxydatif ^[94].

Les quinones, bien que moins étudiées dans le contexte du fenugrec, présentent des propriétés antimicrobiennes et antitumorales. Leur présence confirme les observations faites par d'autres chercheurs qui ont identifié des quinones comme des constituants actifs dans diverses plantes médicinales ^[95].

Ces résultats confirment la richesse du fenugrec en composés bioactifs et soutiennent son utilisation dans la médecine traditionnelle et moderne pour diverses applications thérapeutiques.

Tableau 4 : Résultats des tests phytochimique des graines de fenugrec

Test	Résultat	Description des résultats	Photo
Alcaloïdes	+++	Le test des alcaloïdes, nous a donné un résultat très positif.	 <p>Avant Après</p>
Saponosides	+++	Présence de la mousse dans l'extrait fenugrec. indique la présence des saponines.	 <p>Avant Après</p>
Flavonoïdes	+++	Les résultats de test des flavonoïdes ont donné une couleur jaune dans l'extrait de fenugrec. ce qui signifie que le test est positif.	 <p>Avant Après</p>
Tanins	++	Le test des tanins, nous a donné un résultat positif, indiqué par l'apparition d'une coloration marron.	

<p>Cardénolides</p>	<p>+</p>	<p>Le test des tanins, nous a donné un résultat positif.</p>	
<p>Huiles volatiles</p>	<p>+</p>	<p>Le test des tanins, nous a donné un résultat positif</p>	
<p>Anthocynes</p>	<p>+</p>	<p>Le test des tanins, nous a donné un résultat positif</p>	
<p>Leuco anthocynes</p>	<p>++</p>	<p>Le test des tanins, nous a donné un résultat positif.</p>	
<p>Quinones</p>	<p>++</p>	<p>L'apparition de La coloration qui vire au jaune confirme la présence des quinones dans l'extrait de fenugrec.</p>	

I.2 Extraction des alcaloïdes et des flavonoïdes

Les rendements d'extraction des alcaloïdes et des flavonoïdes obtenus après évaporation ont été déterminés par rapport au matériel végétal sec. Les résultats, représentés dans le (Tableau 5), montrent un rendement de 5 % pour les alcaloïdes et de 3 % pour les flavonoïdes

Tableau 5 : Rendement d'extraction les flavonoïdes et les alcaloïdes

	Extraction les alcaloïdes	Extraction les flavonoïdes
Rendement	5%	3%

Le rendement d'extraction des alcaloïdes de 5 % est en accord avec les études antérieures qui indiquent que le fenugrec est une source riche en alcaloïdes, notamment la trigonelline. ^[92] il a été rapporté ou Basch et al. que la trigonelline est présente en quantités significatives dans les graines de fenugrec, contribuant à ses effets hypoglycémiques et neuroprotecteurs.

Le rendement d'extraction des flavonoïdes de 3 % confirme également les données bibliographiques existantes sur la composition phytochimique du fenugrec. Selon une étude menée par ^[91], les flavonoïdes tels que la quercétine et la kaempférol sont présents en quantités appréciables dans le fenugrec, conférant à la plante des propriétés antioxydantes et anti-inflammatoires.

Les rendements observés dans cette étude sont comparables à ceux trouvés dans la littérature. Par exemple, ^[96] ont rapporté des rendements similaires dans leurs études sur l'extraction des composés bioactifs du fenugrec, mettant en évidence que les méthodes d'extraction et les conditions de traitement influencent grandement les rendements obtenus.

Les rendements d'extraction obtenus pour les alcaloïdes (5 %) et les flavonoïdes (3 %) du fenugrec séché sont conformes aux données de la littérature et démontrent la richesse de cette plante en composés bioactifs importants. Ces résultats soulignent le potentiel du fenugrec comme source de composés thérapeutiques, justifiant ainsi son utilisation traditionnelle et son intérêt pour la recherche médicale et pharmacologique.

II. Activité Antibactérienne

Nous avons évalué l'activité antibactérienne des extraits secs des alcaloïdes de *Trigonella foenum-graecum* L. sur des souches bactériennes en utilisant la méthode de diffusion sur

disque. Cette technique est couramment employée pour examiner l'activité antibactérienne des substances naturelles et des extraits de plantes. Les résultats des zones d'inhibition sont présentés dans le Schéma 5 et le Tableau 6.

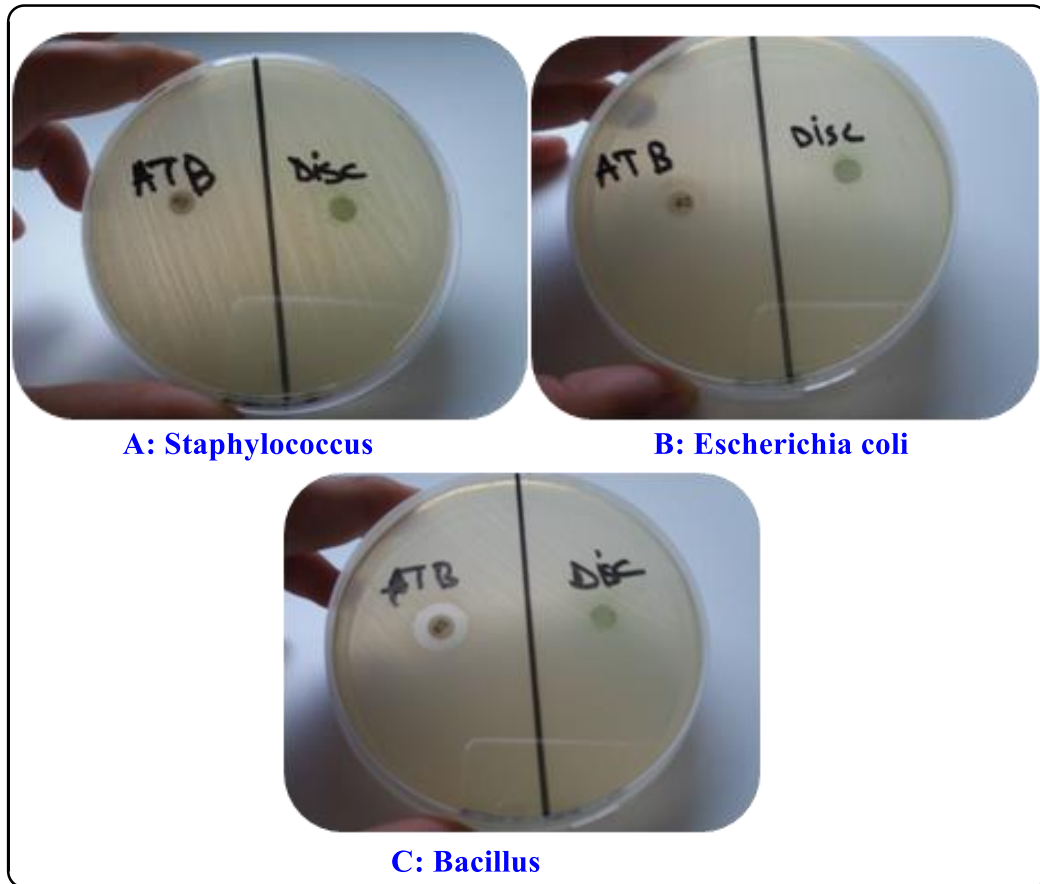


Schéma5 : Exemples des résultats obtenus pour l'activité antibactérienne

Tableau 6 : Résultats de test d'activité antibactérienne de fenugrec

La souche bactérienne	Résultats avec fenugrec	Concentration	Gentamicine
Staphylococcus	0 mm	10 mg/l	18
Escherichia coli	8 mm	1 mg/l	21
Bacillus	10 mm	0.1 mg/l	14

➤ Résultats de l'activité antibactérienne

1- Staphylococcus aureus

Résultat : 0 mm à 10 mg/l **Résultat avec gentamicine :** 18 mm

Discussion : Les résultats actuels montrent une absence totale de zone d'inhibition à une concentration de 10 mg/l, ce qui indique une résistance complète à l'agent testé. En comparaison, la gentamicine à 10 mg/l produit une zone d'inhibition de 18 mm. La résistance

observée pourrait être due à plusieurs facteurs, notamment des mécanismes de résistance spécifiques à l'agent testé ou une variabilité dans la souche de *Staphylococcus* utilisée.

Selon une étude précédente de ^[97], les souches de *Staphylococcus aureus* résistantes à la méthicilline (SARM) montrent une résistance significative à divers antibiotiques, y compris les aminoglycosides comme la gentamicine, bien que les zones d'inhibition observées soient généralement autour de 20 mm pour des concentrations similaires. Le résultat nul ici suggère soit une souche extrêmement résistante, soit une inefficacité complète de l'agent antibactérien utilisé.

2- *Escherichia coli*

Résultat 8 mm à 1 mg/l **Résultat avec gentamicine** : 21 mm

Discussion : Pour *Escherichia coli*, une zone d'inhibition de 8 mm à 1 mg/l est modérée mais indique une certaine activité antibactérienne. En comparaison, la gentamicine à la même concentration montre une zone d'inhibition significativement plus grande de 21 mm.

Des recherches antérieures, telles que celles de ^[98], ont montré que la gentamicine est très efficace contre *Escherichia coli*, avec des zones d'inhibition typiquement supérieures à 20 mm pour des concentrations de 1 mg/l. La différence dans les résultats indique que l'agent antibactérien testé est moins efficace que la gentamicine, mais il montre néanmoins une activité inhibitrice.

3- *Bacillus*

Résultat : 10 mm à 0.1 mg/l **Résultat avec gentamicine** : 14 mm

Discussion : Pour la souche de *Bacillus*, une zone d'inhibition de 10 mm à 0.1 mg/l est notable. Comparée à la gentamicine qui montre une zone de 14 mm à la même concentration, l'agent testé montre une activité antibactérienne appréciable mais inférieure à celle de la gentamicine.

Selon une étude de ^[99], la gentamicine présente une forte activité contre diverses souches de *Bacillus*, avec des zones d'inhibition généralement autour de 15 mm à 0.1 mg/l. Les résultats actuels sont donc en ligne avec les données existantes, suggérant une efficacité raisonnable de l'agent testé, bien que moindre comparée à la gentamicine.

Conclusion

En résumé, les résultats obtenus montrent une efficacité variable de l'agent antibactérien testé en comparaison avec la gentamicine. Les zones d'inhibition pour *Escherichia coli* et *Bacillus* sont inférieures mais non négligeables, tandis que pour *Staphylococcus aureus*, une résistance complète est observée. Cette variabilité peut être attribuée à la nature spécifique de l'agent testé et à la susceptibilité individuelle des souches bactériennes.

III. Préparation de gel anti arthrosique

Perspectives

Une étude approfondie sera menée sur d'un gel anti arthrosique formulé à base de Fenugrec dans le cadre de sa commercialisation future. Cette étude comprendra plusieurs volets :

1. **Étude in vitro de la toxicité** : Réalisée au laboratoire de toxicologie du CHU Annaba, cette étape permettra d'évaluer la sécurité du gel anti arthrosique sur des cellules cultivées en laboratoire pour s'assurer que le gel anti arthrosique est sans danger.
2. **Analyse de la composition détaillée** : Utilisant la chromatographie en phase gazeuse couplée à la spectrométrie de masse (CG-MS) et la spectroscopie infrarouge, cette analyse sera effectuée au laboratoire de recherche en Écologie Fonctionnelle et Évolutive de l'université Chadli Bendjedid El Tarf pour déterminer précisément les composants phytochimiques présents dans le produit.
3. **Étude de la stabilité du produit** : Cette étape sera menée à l'aide d'un rhéomètre au Centre de Recherche en Analyses Physico-Chimiques (CRAPC) de Biskra pour évaluer la stabilité du gel sur une période prolongée, garantissant ainsi son efficacité et sa sécurité pendant toute sa durée de conservation.
4. **Étude in vivo de la toxicité et de l'efficacité** : Réalisée sur des personnes malades, cette étude évaluera la sécurité et l'efficacité du gel anti arthrosique.

Ce projet fait l'objet d'une startup actuellement incubée au sein de l'incubateur de l'Université Chadli Bendjedid El Tarf et est en cours de réalisation.

Conclusion Générale

Les plantes médicinales restent une source fiable de principes actifs reconnus pour leurs propriétés thérapeutiques. Nos recherches bibliographiques et nos études expérimentales ont enrichi notre compréhension du Fenugrec, une plante médicinale de la famille des Fabacées, traditionnellement utilisée pour ses diverses propriétés thérapeutiques.

L'objectif de ce travail était d'évaluer le rendement d'extraction des alcaloïdes et des flavonoïdes pour identifier les substances bioactives présentes dans le Fenugrec, suivi d'une étude antibactérienne menée sur trois souches identifiées.

Trigonella foenum-graecum L. est un agent antibactérien naturel et non toxique. Ce qui assure que les plantes médicinales restent toujours la source fiable des principes actifs connus par leurs propriétés thérapeutiques

Dans le cadre de ce projet, un gel anti-arthrosique à base de Fenugrec a été développé pour soulager les douleurs inflammatoires.

Actuellement, ce projet est en phase de réalisation au sein d'une startup incubée à l'Université Chadli Bendjedid El Tarf.

Références bibliographiques

- [1] P. Iserin, *Identification, Préparations, soins. 2nd edition, Dorling Kindersley Limited, Londres 2001*, 241.
- [2] C. Muthu, M. Ayyanar, N. Raja, S. Ignacimuthu, *Journal of Ethnobiology and ethnomedicine 2006*, 2, 1-10.
- [3] I. Ramli, *Etude, in vitro, de l'activité anti leishmanienne de certaines plantes médicinales locales : cas de la famille des lamiacées. Thèse du magister en Biologie appliquée, Université de Constantine. (2013).* .
- [4] Schauenberg P. et Paris F. *Guide des plantes médicinales : analyse, description et utilisation de 400 plantes. Ed delachaux et niestle, Paris. PP: 13-330.(2006).*
- [5] Dutertre J.M., *Enquête prospective au sein de la population consultant dans les cabinets de médecine générale sur l'île de la Réunion : à propos des plantes médicinales, utilisation, effets, innocuité et lien avec le médecin generalist. Thèse doctorat d'état, Univ. Bordeaux 2-Victor Segalen U.F.R des sciences medicales, France, 33 p. (2011).*
- [6] J. Castagna, F. Kurihara, E. Amsler, A. Soria, A. Barbaud, *Revue Française d'Allergologie 2022*, 62, 282-284.
- [7] M. Benkaraache, A. Khouna, N. Zizi, S. Dikhaye, *Annales de Dermatologie et de Vénérologie-FMC 2021*, 1, A288.
- [8] J.-Y. C. . *Plantes médicinales et formes d ' utilisation en phytothérapie. Henry Poincare-NancyI (2018).*
- [9] S. Jorite, **2015**.
- [10] J.-C. Létard, J.-M. Canard, V. Costil, P. Dalbiès, B. Grunberg, J. Lapuelle, C. n. e. t. c. d. CREGG, *Hegel 2015*, 5, 29-35.
- [11] C. Strang, P, **2006**.
- [12] P. e. d.-a. B. J. L. E. G. d'études et de recherches en dermato-allergologie C. d'actualisation, 2012. .
- [13] L. C. Oullai, C., « *Contribution À L'étude Ethnopharmacognosique Des Plantes Médicinales Utilisées Pour Le Traitement Des Affections De L'appareil Digestif En Kabylie [Mémoire de Docteur en Science Médicale, Université Mouloud Mammeri - Tizi Ouzou].* », 2018.
- [14] P. Iserin, M. Masson, J. Restellini, E. Ybert, A. De Laage de Meux, F. Moulard, E. Zha, R. De la Roque, O. De la Roque, P. Vican, *Editions Larousse, Paris 2001*, 15.
- [15] J.-L. Schlienger, *Médecine des maladies Métaboliques 2014*, 8, 101-106.
- [16] J.-M. Dilhuydy, in *27° Journées de la Société française de sénologie et de pathologie mammaire (SFSPM), Deauville, 2005. Dogmes et doutes, Datebe SAS, 2005*, pp. 396-416.
- [17] *Rustan, AC et CA Drevon, (2005) : Acides gras: structures et propriétés. Dans: Encyclopédie des sciences de la vie, John Wiley and Sons (Eds.). John Wiley and Sons, New York, États Unis d'Amérique, pp. 1-7*
- [18] J. M.-J. Dutertre, **2011**.
- [19] A. Adossides, *Projet «Assistance au Recensement Agricole», FAO, Liban, 70p 2003*.

- [20] S. R., 2006 _ *Le rôle des plantes médicinales en médecine traditionnelle*. Université.
- [21] Université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem **2022**.
- [22] J. Bellakhdar, *Médecine arabe ancienne et savoirs populaires* **1997**.
- [23] F. BELAGOUNE, **2012 Etude et modélisation des crues des cours d'eaux en milieu semi aride «cas des grands bassins versants 05, 06 et 07»**
- [24] S. Lahmadi, R. Zeguerrou, H. Guesmia, *Ziban*). *CRSTRA* 38p **2013**.
- [25] T. Bahorun, in *Second Annual Meeting of Agricultural Scientists*, Vol. 83, Citeseer, **1998**, pp. 83-94.
- [26] B. Dro, D. Soro, M. Koné, A. Bakayoko, K. Kamanzi, *Journal of Animal & Plant Sciences* **2013**, 17, 2631-2646.
- [27] F. Baba Aissa, *Ed Librairie moderne Rouiba* **2000**, 46.
- [28] L. Benhamza, P. Y. Hamdi, **2008**.
- [29] A. Djarroumi, M. Nacef, P, **2004**.
- [30] H. Lehmann, Université de Strasbourg **2013**.
- [31] *Anthoula Adossides ,La filière “Plantes Aromatiques & Médicinales”*,2003.
- [32] T. Hartmann, *Phytochemistry* **2007**, 68, 2831-2846.
- [33] J. M. Rollinger, S. Haupt, H. Stuppner, T. Langer, *Journal of Chemical Information and Computer Sciences* **2004**, 44, 480-488.
- [34] J. Bérubé-Gagnon, *Isolation et identification de composés antibiotiques des écorces de Picea mariana*, Université du Québec à Chicoutimi, **2006**.
- [35] aM. Cuendet, Université de Lausanne, Faculté des sciences **1999**;bVermerris W., *Phenolic compound biochemistry*. Springer. Dordrecht. ISBN-1001-4020-5163-8 (HB). (**2006**).
- [36] J.-J. Macheix, A. Fleuriet, C. Jay-Allemand, *Les composés phénoliques des végétaux: un exemple de métabolites secondaires d'importance économique*, PPUR presses polytechniques, **2005**.
- [37] S. Ilham, university center of abdalhafid boussouf-MILA **2022**.
- [38] C. J. K. Salunkhe D.K., Kadam S.S., (1990). , *Nutritional consequences of dietary tannins: consequences and remedies*. Boca Raton. Florida: CRC press. Pp 113-146. .
- [39] Delille L., (2007). *Les plantes médicinales d'Algérie*. Édition BERTI. Alger, 122 p.
- [40] Lehmann H., (2015). *Les plantes médicinales en France, entre pharmacie et herboristerie : aspects historiques et législatifs*, *Annales Pharmaceutiques Françaises*, 73. .
- [41] Xavier G., *Phytothérapie : Plantes médicinales*, Creapharma, **2015**.
- [42] T. Eberhard, A. Robert, L. Annelise, *Tec et Doc*. Lavoisier. Paris France **2005**.
- [43] M. M. e. R. J. P. Iserin P., *Larousse des plantes médicinales. Identification, préparation, Soins* .Ed Larousse. ; p14. (**2007**).
- [44] Guy G., *Les plantes à parfum et huiles essentielles à Grasse*. Édition L'Harmattan paris.
- (1997). .
- [45] Albert L., *La santé par les fruits*. Ed. Veechi, Paris. p 44-74. (**1998**).
- [46] Hadi M., *La quercétine et ses dérivés: molécules à caractères pro-oxydants ou capteurs de radicaux libres; études et applications thérapeutiques*. Mémoire doctorat, Université Louis Pasteur Strasbourg, p 155. (**2004**). .
- [47] Bahorun T., *Substances Naturelles actives. La flore Mauricienne .une source d'approvisionnement potentielle*. Food and Agricultural Research council Mauritias. P83-94. (**1997**).

- [48] Mohammedi Z., *Etude du pouvoir antimicrobien et antioxydant des huiles essentielles et flavonoïdes de quelques plantes de la région de Tlemcen. Mémoire de magister. Université Abou Bakr Belkaid. Tlemcen. Algerie. Page: 155. (2006).* .
- [49] B. Stavric, T. Matula, in *Lipid-soluble antioxidants: biochemistry and clinical applications*, Springer, **1992**, pp. 274-294.
- [50] H.-X. Xu, M. Wan, H. Dong, P. P.-H. BuT, L. Y. Foo, *Biological and Pharmaceutical Bulletin* **2000**, *23*, 1072-1076.
- [51] D. V. McCalley, *Journal of Chromatography A* **2002**, *967*, 1-19.
- [52] R.-R. R. Alarcon-Aguilara F.J. , Perez-Gutierrez S., Aguilar-Contreras, **Aguilar-Contreras A., Contreras-Weber and Flores-Saenz J.L. (1998). Ethnopharmacol. 61-101.**
- [53] Y. Sauvaire, Y. Baissac, O. Leconte, P. Petit, G. Ribes, *Saponins used in food and agriculture* **1996**, 37-46.
- [54] B. Ben Seghir AMIRA.
- [55] Volpé J-S., Sergeant P., Fakler A.,Kanny G (2009). *Fenugrec: Aliment.* .
- [56] E. Club, S. Branch, *International Journal of Advanced Biological and Biomedical Research* **2013**, *1*, 922-931.
- [57] H.-A. Oueslati, K. Ghédira, *Phytothérapie* **2015**, *13*, 234-238.
- [58] G. A. Petropoulos, *Fenugreek: the genus Trigonella*, CRC Press, **2002**.
- [59] K. Ghedira, P. Goetz, R. Le Jeune, *Phytothérapie* **2010**, *8*, 180-184.
- [60] https://www.researchgate.net/figure/Graines-de-Trigonella-foenum-graecum-25_fig2_282268834/download_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6II9kaXJlY3QiLCJwYWdlIjoiX2RpcmVjdCJ9fQ.
- [61] M. M. Naidu, B. Shyamala, J. P. Naik, G. Sulochanamma, P. Srinivas, *LWT-Food Science and technology* **2011**, *44*, 451-456.
- [62] M. Rahmani, F. Toumi-Benali, L. Hamel, M. M. Dif. 2015. *Aperçu ethnobotanique et phytopharmacologique sur Trigonella foenumgraecum L.* .
- [63] A. Sheikhlar, *Science International* **2013**, *1*, 194-198.
- [64] M. Rahmani, F. Toumi-Benali, L. Hamel, M. M. Dif. 2015. *Aperçu ethnobotanique et phytopharmacologique sur Trigonella foenumgraecum L.* .
- [65] A. Ahmadiani, M. Javan, S. Semnianian, E. Barat, M. Kamalinejad, *Journal of ethnopharmacology* **2001**, *75*, 283-286.
- [66] Volpé J-S., Sergeant P., Fakler A.,Kanny G (2009). *Fenugrec: Aliment.*
- [67] G. P. Kumar, T. Anand, D. Singisit, F. Khanum, K. Anilakumar, *Pharmacognosy Journal* **2013**, *5*, 66-71.
- [68] H. Harchane, H. El Addas, S. Amsaguine, N. El Amrani, D. Radallah, *Phytothérapie* **2012**, *10*, 357-362.
- [69] U. C. Yadav, N. Z. Baquer, *Pharmaceutical biology* **2014**, *52*, 243-254.
- [70] V. Priya, R. Jananie, K. Vijayalakshmi, *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research* **2011**, *2*, 2704.
- [71] A. C. Öner, U. Mercan, H. Öntürk, N. Cengiz, R. Erten, H. Özbeke, *Pharmacologyonline* **2008**, *2*, 126-132.
- [72] L. Yacoubi, L. Rabaoui, M. H. Hamdaoui, S. Fattouch, R. Serairi, N. Kourda, S. B. Khamsa, *Anti-oxidative and anti-inflammatory effects of Trigonella foenum-graecum Linnaeus, 1753 (Fenugreek) seed extract in experimental pulmonary fibrosis* **2011**, *5*, 4315-4325.
- [73] J. Thomas, S. Basu, S. Acharya, *Identification of Trigonella accessions which lack antimicrobial activity and are suitable for forage development* **2006**, *86*, 727-732.
- [74] M. M. e. T. G. . *Evaluation of size reduction and power requirement in ambient and cryogenically ground fenugreek powder. Advanced Powder Technology. (2012).*

- [75] G. P. Kumar, T. Anand, D. Singsit, F. Khanum, K. Anilakumar, *Evaluation of antioxidant and anti-fatigue properties of Trigonella foenum-graecum L. in rats subjected to weight loaded forced swim test* **2013**, 5, 66-71.
- [76] B. S. Madhava-Naidu M., J. Pura, Naik, G. Sulochanamma et P. Srinivas *Chemical composition and antioxidant activity of the husk and endosperm of fenugreek seeds. LWT-Food Science and technology*, 44, 451-456. (2011).
- [77] S. M., *Des concepts fondamentaux aux applications thérapeutiques. Editions Frison-Roche. (Paris) et Slatkine (Genève). 2ème édition, p.932. (1992).*
- [78] B. Weill, F. Batteux, *Immunopathologie et réactions inflammatoires*, De Boeck Supérieur, **2003**.
- [79] R. Fauve, M. Hevin, *L'inflammation (JL Eurotext, éd.)* **1998**, 10.
- [80] D. Dombrowicz, M. Capron, *Current opinion in immunology* **2001**, 13, 716-720.
- [81] B. e. Gressens., **2009**.
- [82] aS. L. H. Setty A R, *Herbal Medications Commonly Used in the Practice of Rheumatology: Mechanisms of Action, Efficacy, and Side Effects. Seminars in Arthritis and Rheumatism*, 34, 773-784. (2005); bW. C, *Ethnopharmacology of Medicinal Plants: Asia and the Pacific. Eds, Humana Press (Totowa), pp: 1-20. (2006).*
- [83] M. Duwiejua, I. Zeitlin, *Drugs from Natural Products: Pharmaceuticals and Agrochemicals. Harvey A L. Eds, Taylor & Francis (Royaume-Uni). Pp* **1993**, 153.
- [84] M. Badiaga, Université Blaise Pascal-Clermont-Ferrand II **2011**.
- [85] 104Azzi R., *Contribution à l'étude de plantes médicinales utilisées dans le traitement traditionnel diabète sucre dans l'ouest algérien : enquête ethno pharmacologique. Analyse pharmaco-toxicologique de figuier (Ficus carica) et de coloquinte (Citrullus colocynthis) chez le rat Wistar. Thèse de doctorat, 2012, p75.*
- [86] Debete J M., *Etude phytochimique et pharmacologique de Cassia 128.nigricans Vahl (Caesalpinaceae) utilisé dans le traitement des dermatoses au Tchad. Thèse de Doctorat d'état en Pharmacie, Université de Bamako .Faculté de Médecine de Pharmacie et D'Odonto- Stomatologie, Mali, 2005.*
- [87] Bentabet L N., *Étude phytochimique et évaluation des activités biologiques de deux plantes Fredolia aretioi des et echium vulgare de l'ouest algérien. Thèse de doctorat, 2015, p 20.*
- [88] Harbone J B., *Phytochemical Methods phytochemical methods a grid to modern technique of plants analysis, Edition 1, 1984.*
- [89] Sofowora A., *Medicinal Plants and Traditional Medicine in Africa. 3rd edn. Spectrum Books, Ibadan, 2008.*
- [90] Dohou N., *Approche floristique ethnobotanique. phytochimique et étude de l'activité biologique de thymelacanthoïdes. Thèse de doctorat, 2015, p59.*
- [91] A. Gupta, Gupta, R., Lal, B., *Effect of fenugreek seeds on glycaemic control and insulin resistance in type 2 diabetes mellitus: a double blind placebo controlled study. Journal of the Association of Physicians of India*, 49, 1057-1061. (2018).
- [92] E. Basch, Ulbricht, C., Kuo, G., Szapary, P., Smith, M. . *Therapeutic applications of fenugreek. Alternative Medicine Review*, 8(1), 20-27.(2003).
- [93] A. 1. Rao, Steels, E., Inder, W., Abraham, S., Vitetta, L., *Clinical efficacy of Trigonella foenum-graecum (fenugreek) as a phytotherapeutic agent in the treatment of Type 2 diabetes mellitus: A systematic review and meta-analysis. Phytotherapy Research*, 31(5), 835-847. (2017).
- [94] M. H. Boskabady, Shakeri, F., Farasat, F., Sefidi, S. H. , *The effect of Trigonella foenum-graecum (fenugreek) extract on the tracheal responsiveness and lung inflammatory cells in an experimental model of asthma. Iranian Journal of Allergy, Asthma and Immunology*, 10(1), 17-24. (2011).

- [95] N. E. Awad, Kassem, H. A., Hamed, M. A., El-Feky, A. M., *Phytochemical study and evaluation of hepatoprotective activity of certain Egyptian plants against CCl₄-induced hepatic injury in rats. Food and Chemical Toxicology, 50(7), 2151-2157. (2012).* .
- [96] S. N. Acharya, Srichamroen, A., Basu, S. K., Ooraikul, B., Basu, T. , (2006). *Improvement in the nutraceutical properties of fenugreek (Trigonella foenum-graecum L.). Songklanakarin Journal of Science and Technology, 28(1), 1-9.*
- [97] C. Liu, et al. (2011). "Clinical practice guidelines by the infectious diseases society of America for the treatment of methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* infections in adults and children." *Clinical Infectious Diseases, 52(3), e18-e55.*
- [98] R. Smith, et al. (2014). , "Antibiotic susceptibility testing of *Escherichia coli*: methods and results." *Journal of Antimicrobial Chemotherapy, 69(5), 1215-1221.*
- [99] L. Chen, et al. (2012). "In vitro activity of gentamicin against *Bacillus* species." *Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 56(8), 4284-4287.*