



Université Mohamed Kheider de Biskra
Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie
Département des Sciences Agronomiques

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences de la Nature et de la vie
Filière : Sciences Agronomiques
Spécialité : Protection des Végétaux

Réf. :

Présenté et soutenu par :
GUERROUF Karima

Le : 23 juin 2024

Contribution à l'étude de l'effet de l'huile essentielle de l'Armoise (*Artemisia campestris*) et extrait du Fenugrec (*Trigonella foenum-graecum*), sur le taux de croissance et de germination *in vitro* de *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*

Jury :

M. Khaled BOUKEHIL	Pr.	Université Mohamed Kheider de Biskra	Président
M. Laâla DJEKIREF	M.C.B	Université Mohamed Kheider de Biskra	Rapporteur
M. Nadjette SAYEH	M.A.B	Université Mohamed Kheider de Biskra	Examinatrice

Année universitaire : 2023/2024

Remerciements

*En premier lieu et avant tout je tiens à remercier ALLAH
le tout puissant qui nous a donné le courage,
la patience et la force de terminer ce travail.*

Je tiens à exprimer mes vifs remerciements à tous

Mes professeurs qui ont contribué à ma formation et particulièrement

*M. **JEKOREF Laïla***

*Mes remerciements vont aussi à M. **Khaled BOUKHOR** qui m'a fait l'honneur
de présider le jury de ce mémoire, et à*

*Mme. **Nadjette SAPEH** pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.*

*En dernier lieu, mes remerciements vont aussi à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à
l'aboutissement de ce travail.*

Table des matières

<i>Remerciements</i>	I
Table des matières	V
Liste des tableaux	VI
Liste des figures	VII
Liste des abréviations	VIII
Introduction générale	1
1. Fusariose vasculaire de la tomate	4
2. <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>Lycopersici</i>	4
2.1. Position taxonomique	4
2.2. Biologie de <i>F. oxysporum</i>	5
2.3. Les dégâts causés par <i>F. oxysporum</i> (pathologie)	6
3. Produits phytosanitaires	8
3.1. Pesticide chimique de synthèse	8
3.2. Biopesticides	8
3.2.1. Importance sur la santé humaine	9
3.2.2. Importance écologique	9
3.2.3. importance économique	9
3.2.4. Le développement durable	10
4. Phytothérapie	10
4.1. Historique	10
4.2. Les métabolites secondaires	10
4.2.1. Extraction par hydro-distillation	12
4.2.1.1. Les huiles essentielles	12
4.2.1.2. Activité antimicrobienne	14
4.2.2. Extraction par un solvant (soxhlet)	14
5. <i>Artemisia campestris</i>	15
5.1. Origine et distribution	15
5.2. Systématique de la plante	15
5.3. Description botanique	16
5.4. Utilisation traditionnelle d'<i>Artemisia campestris</i> L.	17
5.5. Composition chimiques	17
6. <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.	17
6.1. Origine	17
6.2. Description botanique	17
6.3. Systématique de la plante	18
6.4. Utilisation traditionnelle de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.	18
6.5. Composition chimique	18

1. Matériel	20
1.1. Matériel végétal	20
1.1.1. La cueillette d' <i>Artemisia campestris</i>	20
1.1.2.1. L'implantation de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.....	21
1.1.3. La récolte des graines de fenugrec	21
1.2. Souche fongique	22
1.3. Matériels de laboratoire	23
2. Méthode	24
2.1. Préparation des extraits	24
2.1.1. Extrait d' <i>Artemisia</i>	24
2.1.1.1. Séchage	24
2.1.1.2. L'extraction	24
2.1.2. Extrait des graines de fenugrec	25
2.1.2.1. Séchage et broyage.....	25
2.1.2.2. L'extraction	26
2.2. Milieux de culture	27
2.3. Calcule du rendement des extraits secs	27
2.4. Les teste d'activité antifongique	27
2.4.1. Evaluation de l'effet d'extrait sur le taux de la croissance par l'indice antifongique	27
2.4.2. Evaluation de l'effet d'extrait de fenugrec sur le taux de croissance par le paramètre pondérale	30
2.4.3. Evaluation de l'effet d'extrait de fenugrec sur le taux e croissance par le le taux de sporulation.....	33
1 . Résultats	35
1.1. Rendement d'extrait sec.....	35
1 .2. <i>Artemisia campestris</i> L.	36
1.2.1. Effet de l'extrait sur le taux de croissance évalué par l'indice antifongique (AI).....	36
1.3. <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.....	39
1.3.1. Effet de l'extrait sur le taux de croissance évalué par l'indice antifongique (AI).....	39
1.2.2. Effet de l'extrait sur le taux de croissance évalué par le taux de sporulation	45
Conclusion.....	49
Références Bibliographiques	52

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification de <i>Fusarium oxysporum</i>	5
Tableau 2: Classification d' <i>Artemisia campestris</i> L.....	16
Tableau 3: Classification de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.....	18
Tableau 4: Composition biochimique de la graine de fenugrec.....	18
Tableau 5: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de concentrations sur l'indice antifongique (IA) pour l'extrait issu de <i>Artemisia campestris</i> L.....	38
Tableau 6: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de doses sur l'indice antifongique (IA) pour l'extrait issu de <i>Artemisia campestris</i> L.....	38
Tableau 7: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet combinatoire concentration – dose sur l'indice antifongique (IA) pour l'extrait issu de <i>Artemisia campestris</i> L.....	38
Tableau 8: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de concentrations de l'extrait <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.....	41
Tableau 9: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de doses sur l'indice antifongique (IA) de l'extrait <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.....	42
Tableau 10: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet combinatoire concentration – dose sur l'indice antifongique (IA) pour l'extrait issu de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.....	42
Tableau 11: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de la concentration de l'extrait de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. sur le taux de croissance.....	44
Tableau 12: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de la dose de l'extrait de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. sur le taux de croissance.....	44
Tableau 13: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet combinatoire concentration – dose de l'extrait de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. sur le taux de croissance.....	45
Tableau 14 : Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de la concentration de l'extrait sur le taux de sporulation de la souche Fol.....	46
Tableau 15: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de la dose de l'extrait sur le taux de sporulation de la souche Fol.....	46
Tableau 16: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet combinatoire entre la concentration et la dose sur le taux de sporulation.....	47

Liste des figures

Figure 1 : <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i> produit des microconidies unicellulaires et des macroconidies.....	6
Figure 2: Les colonies de <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>	6
Figure 3: Décoloration de la tige et dessèchement de la feuille	7
Figure 4: Cycle de vie de la maladie de flétrissement vasculaire	8
Figure 5: structure chimique générale des métabolites secondaires.....	11
Figure 6: Dispositif expérimental d'HD avec cohobage de l'HE.....	12
Figure 7: appareil de soxhlet.....	15
Figure 8: la plante d' <i>Artemisia</i>	16
Figure 9: les graines de fenugrec.....	17
Figure 10: feuilles, fleurs et fruits de Fenugrec.....	17
Figure 11: <i>Artemisia campestris</i> dans la région de Tkout (Batna).....	20
Figure 12: Parcelles implantées par le fenugrec.....	20
Figure 13: Stade de Formation des gousses qui renferme les graines de fenugrec.....	21
Figure 14: les graines de fenugrec.....	21
Figure 15: de <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp. <i>lycopersici</i>	22
Figure 16: matériels de laboratoire.....	23
Figure 17: les feuilles d' <i>Artemisia campestris</i>	24
Figure 18 : Extraction par cleavenger.....	25
Figure 20: Graines de fenugrec dans un mortier.....	25
Figure 21: montage d'extraction.....	26
Figure 22: extrait méthanolique des graines fenugrec des graines fenugrec.....	26
Figure 23: un rotavap.....	27
Figure 24: extrait méthanolique sec des graines de fenugrec.....	27
Figure 25: Etapes de la technique de la dilution décimale de l'huile essentielle d' <i>Artemisia</i>	28
Figure26: Etapes de la technique de la dilution décimale de l'huile essentielle de Fenugrec.....	28
Figure 27: la pastille du Fol.....	29
Figure 28: un binoculaire.....	29
Figure29: Etapes de la technique la dilution décimale d'extrait méthanolique du Fenugrec.....	30
Figure 30: Agitation continue des milieux de culture liquide.....	31
Figure 31: Filtration du mycélium du Fol.....	31

Figure 32: Séchage du mycélium de Fol dans l'étuve.....	32
Figure 33: Pesée du mycelium.....	32
Figure 34: filtrat contenant des spores	33
Figure 18: Rendement d'extrait Fenugrec et l'huile d'Artemisia.....	35
Figure 37: Relations indice antifongique – Concentration et dose de l'extrait <i>Artemisia campestris</i> L.....	37
Figure 38: Relations indice antifongique – Concentration et dose de sur l'indice antifongique (IA) pour l'extrait issu de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L.....	41
Figure 39: Relations indice antifongique – Concentration et dose de l'extrait <i>Trigonella foenum-graecum</i> L sur le taux de croissance.....	43
Figure 40: Effet de l'extrait de <i>Trigonella foenum-graecum</i> L. sur le taux de sporulation (IS) du Fol.....	45

Liste des abréviations

- %** : Pourcentage
- °C** : Degrés Celsius
- D** : Diamètre de la zone de croissance mycélienne
- F.o.l** : *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*
- f.sp** : Forme spéciale
- Fig** : Figure
- g** : Gramme
- J** : Jour
- h** : Heure
- Km** : Kilomètre
- ml** : Millilitre
- mm** : Millimètre
- N°** : Numéro
- P** : Poids
- PDA** : Potato Dextrose Agar
- Rdt %** : Rendement en pourcentage
- S** : Seconde
- S.M** : Solution mère
- T** : Température
- TI** : Taux d'inhibition
- TH%** : Taux d'humidité exprimé en pourcentage
- VC** : Vitesse de croissance mycélienne
- HE** : Huile essentielle
- HD** : Hydrodistillation
- DMSO** : Diméthylsulfoxyde

Introduction générale

Introduction générale

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est la commodité la plus cultivée et la plus consommée en Algérie après la pomme de terre (Snoussi, 2010). Cependant, cette culture est attaquée par plusieurs maladies de différentes natures, dont le flétrissement vasculaire. Cette maladie est l'un des pathologies les plus dévastatrices de la culture de la tomate. L'agent causal, *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Fol), est présent par différents biotypes (ou races) qui rendent l'épidémiologie de ce pathogène quasi inévitable dans toutes les régions du monde (Silvia *et al.*, 2021).

Selon Jimenez-Diaz *et al.*, (1989), les pertes annuelles dues aux fusarioses sont estimées à environ 10 millions de dollars. En Tunisie, le flétrissement a entraîné la destruction de la moitié de la campagne 1982–1983 (Rouibah, 1989, *in* Tlemsani, 2010).

A l'image des diverses maladies, qui causent annuellement de graves pertes agronomiques, les fusarioses ont été contrôlées avec succès par des fongicides chimiques de synthèse. Cependant, l'utilisation aveugle de ces produits chimiques a également conduit au développement de la résistance aux fongicides et à la pollution de l'environnement. Cet état présente un risque potentiel pour la santé humaine et animale. La résolution écologique des maladies des plantes et leur gestion est la lutte biologique. Dans ce domaine, l'exploitation de la phytothérapie est très prometteuse.

En effet, la phytothérapie est connue depuis l'Antiquité, mais n'a été prouvée scientifiquement qu'au début du XXe siècle. Son utilisation s'est développée depuis une quarantaine d'années. De nombreuses plantes possèdent naturellement des propriétés antifongiques et antibactériennes qui peuvent être utilisées pour combattre les maladies des plantes. Plusieurs études sur la composition chimique des extraits des plantes et leurs activités biologiques (antioxydante, antimicrobienne, insecticide, herbicide...) ont été publiées à l'échelle mondiale (Xavier *et al.*, 2012).

L'activité phytoprotectrice des plantes serait due aux métabolites secondaires tels que les huiles essentielles, les terpénoïdes, les polyphénols, les stéroïdes, et les alcaloïdes qu'elles synthétisent. Ces extraits peuvent aider à renforcer le système immunitaire des plantes, les rendant plus résistantes aux maladies et aux attaques des agents phytopathogènes et les ravageurs (Ping-chung, 2010). C'est dans ce contexte que se comprend l'importance de la richesse

Introduction générale

floristique

Sur ce plan, l'Algérie qui s'étend une superficie de 2381741 Km², est dotée d'un patrimoine floristique très diversifié, notamment dans le domaine des plantes aromatiques. Le secteur des plantes médicinales et aromatiques concerne beaucoup de marchés tels que la parfumerie, la cosmétique, l'aromathérapie et l'agroalimentaire et il est en constante progression (Amel, 2017).

C'est dans le cadre de la lutte biologique contre les maladies des végétaux par l'utilisation des biopesticides, et afin de présenter une alternative naturelle pour la gestion des maladies, qu'est mené notre travail.

Chapitre I

Synthèse bibliographique

1. Fusariose vasculaire de la tomate

Selon Sudhamoy (2009), la fusariose causée par le champignon tellurique *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* est parmi les maladies les plus dévastatrices de tomate. Ce champignon terricole pénètre dans la plante par les racines envahit les tissus ligneux et provoque le jaunissement, la flétrissure puis la mort de la plante (Blancard, 1997).

La maladie provoque de grandes pertes, en particulier sur les variétés sensibles de tomates, lorsque la température du sol et de l'air sont assez élevée (Sudhamoy, 2009).

2. *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici*

2.1. Position taxonomique

Les espèces de *Fusarium* sont les champignons phytopathogènes et toxiques parmi les plus importants du monde. Leurs spores servent de propagules infectieuses à l'origine de l'infection. Les *Fusarium* sont des champignons filamenteux nés dans le sol, appartenant à la classe des ascomycètes et à la famille des hypocréacées.

Le genre *Fusarium*, qui a été caractérisé pour la première fois par Link en 1809, se compose de centaines d'espèces, dont beaucoup se trouvent dans le sol et certaines sont associées aux plantes. Ce champignon est présent dans les régions tropicales, subtropicales et tempérées (Maria et al., 2023). Le genre *Fusarium* est classé par la production de macroconidies septées, hyalines, délicatement incurvées, allongées et chlamydospores ainsi que d'autres caractéristiques secondaires Comme la croissance mycélienne et la pigmentation (Theodora et al., 2023).

Malheureusement, plusieurs races sont venues progressivement remettre en question la résistance à la fusariose dans certaines zones de production. Ainsi, trois races physiologiques sont maintenant connues sur tomate :

- la race 1, la plus ancienne (décrite en 1886) ;
- la race 2, signalée en 1945 dans l'Ohio ;
- la plus récente, la race 3, a une aire de répartition plus limitée. Décrite en 1978 en Australie (Dominique B et al, 2009).

Tableau 16: Classification de *Fusarium oxysporum*
(National Center for Biotechnology Information NCBI, 2014)

Règne	Fungi
Division	Ascomycota
Classe	Sordariomycetes
Sou-classe	Hypocreomycetidae
Ordre	Hypocreale
Famille	Nectriaceae
Genre	<i>Fusarium</i>
Espèce	<i>oxysporum</i>

2.2. Biologie de *F. oxysporum*

Le *Fusarium* produit des colonies de couleur blanche, rose, rouge, pourpre, saumon ou grise, avec des surfaces veloutées ou cotonneuses. (**Fig 2.**). La capacité de ce champignon à se développer sur une grande variété de substrats et la grande efficacité de sa spore sont autant d'atouts qui lui permettent d'être présent dans de nombreuses régions (**Maria et al., 2023**).

- **Sources d'inoculum** : ce champignon est capable de se maintenir dans les débris végétaux du sol — jusqu'à 80 cm de profondeur — pendant plus de dix ans, grâce à ses chlamydospores aux parois épaisses et résistantes. Il est doté d'aptitudes à la vie saprophytique qui lui permettent de coloniser et de survivre sur divers composés organiques. D'autres plantes sont susceptibles de l'héberger, en particulier plusieurs autres espèces de *Lycopersicon*.

- **Pénétration, invasion** : après germination de ses chlamydospores, ce *Fusarium* pénètre dans la plante soit par des blessures naturelles, comme celles qui sont présentes au niveau du point d'émission des racines secondaires, soit *via* diverses blessures.

- **Sporulation, dissémination** : ce champignon produit des chlamydospores, des microconidies, voire des macroconidies (**fig1**), dans les vaisseaux et sur les tissus colonisés et altérés. Il peut être disséminé sur des distances plus importantes par l'intermédiaire des semences et des plants contaminés, par les substrats, l'eau, par les engins aratoires circulant d'une parcelle à une autre et dont les pneus sont chargés de particules de sol et de débris végétaux. Les poussières de sol contenant des chlamydospores sont aisément disséminées par les courants d'air ainsi que par les éclaboussures d'eau.

- **Conditions favorables à son développement** : La fusariose est une maladie fongique du sol par temps chaud qui se manifeste de façon optimale à des températures d'environ 28°.

Des températures supérieures à 34° ou inférieures à 17° retardent le développement de la maladie (**Renu, 2018**). Il affectionne particulièrement les sols sableux et acides. La maladie est favorisée par la faible hygrométrie du sol, les faibles intensités lumineuses, des tissus végétaux carences en azote, en phosphore et en calcium. Les fumures azotées excessives, surtout à base d'ammoniaque auraient les mêmes effets. Les attaques de nématodes à galles et les sols asphyxiants sensibiliseraient la tomate à la fusariose (**Dominique, 2009**).

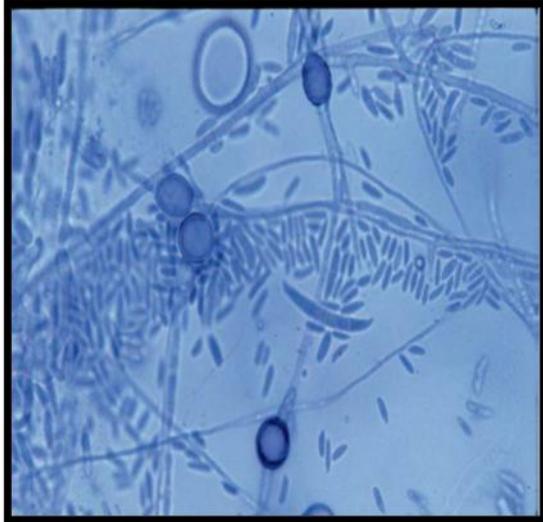


Figure 19 : *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* produit des microconidies unicellulaires et des macroconidies en forme de croissant présentant au maximum de 3 à 4 cloisons. Il forme également des chlamydospores à paroi épaisse, intercalaires ou terminales et isolées ou en chaînes.



Figure 20: Les colonies de *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici*, se développent assez rapidement. D'abord blanches, elles prennent une teinte rose foncé à violacée en vieillissant.

2.3. Les dégâts causés par *F. oxysporum* (pathologie)

La maladie de Fusariose se présente sous deux formes également appelées syndromes. La première forme de la manifestation de la maladie est le « flétrissement aigu », un cas où les feuilles des plantes se dessèchent très rapidement et meurent alors qu'elles sont attachées à la position initiale, tandis que la deuxième forme du syndrome est le « flétrissement chronique ». Où les plantes vivent avec les champignons pendant une période plus longue qui peut même durer des années (**Renu, 2018**).

Une des caractéristiques des maladies vasculaires. Ces jaunissements des tissus foliaires sont souvent Associés à des flétrissements plus ou moins importants ayant tendance à s'accroître aux moments les plus chauds de la journée. Des feuilles finissent par se dessécher totalement, mais ne tombent pas. Par la suite, ces symptômes secondaires gagnent les autres folioles et se généralisent à terme à la plante, qui peut dessécher totalement et mourir.

Des lésions longitudinales d'abord chlorotique puis se nécrosant progressivement son

également visibles sur un côté de la tige. Elles peuvent s'étendre sur plusieurs dizaines de centimètres. Des racines adventives peuvent se former sur la tige. Le système vasculaire est particulièrement affecté. Il prend une teinte brun sombre (**Dominique B, 2009**).



Figure 21: Décoloration de la tige et dessèchement de la feuille (**Abhirath,2022**)

- **Interaction plante hôte-pathogène :**

La progression de l'infection vasculaire végétale par *Fol* est un phénomène complexe, et les étapes séquentielles impliquées dans le processus d'infection sont les suivantes :

- 1) reconnaissance des racines par les signaux hôte-pathogène
- 2) fixation à la surface des poils racinaires et propagation hyphale
- 3) invasion du cortex radiculaire, des tissus vasculaires et différenciation dans l'xylème des vaisseaux (**Srinivas, 2019**).
- 4) La croissance mycélienne dans les vaisseaux conduit à un blocage vasculaire, entraînant ainsi un stress hydrique et le développement de symptômes de flétrissement. Le processus est accéléré à mesure que les plantes tentent de répondre en produisant des facteurs de défense tels que les tyloses, les gels et la prolifération des cellules parenchymes, ce qui entraîne un blocage supplémentaire des vaisseaux (**Renu, 2018**).
- 5) Les toxines produites par le champignon sont l'acide fusarique, la lycomarasmine et acide déshydrofusarique; chez la tomate, les effets de l'acide fusarique sont associés à une réduction de la photosynthèse, de la peroxydation lipidique, du flétrissement, de la nécrose des feuilles, de la mort cellulaire, de la diminution de la viabilité cellulaire et de l'amélioration de la capacité fongique (**Silvia, 2021**).

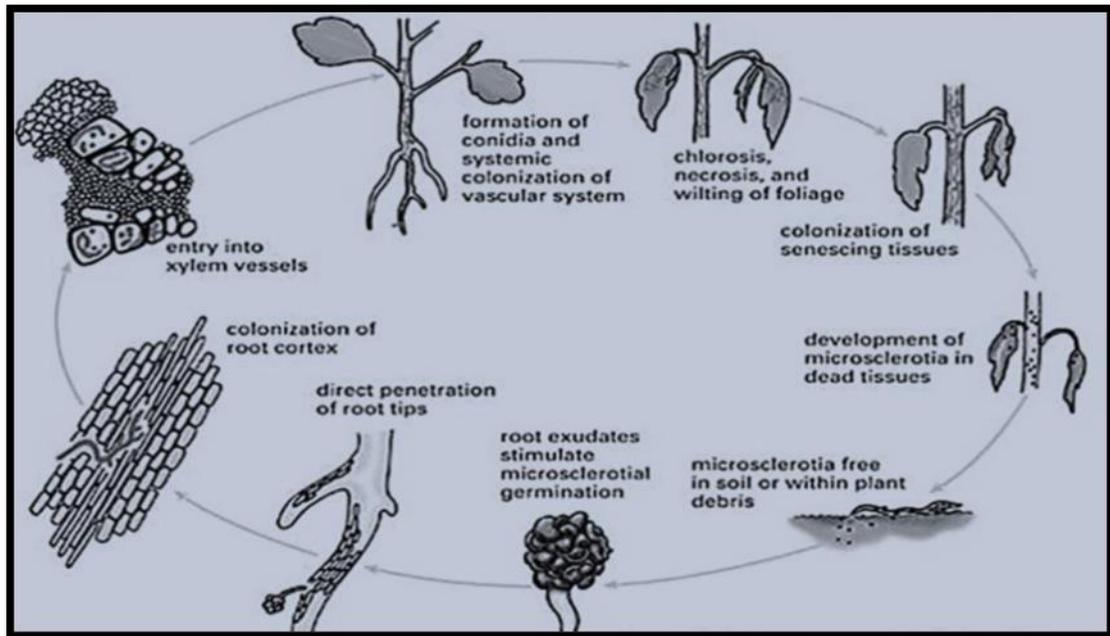


Figure 22: Cycle de vie de la maladie de flétrissement vasculaire (Abhirath, 2022)

3. Produits phytosanitaires

Les produits phytosanitaires sont des substances, ou des mélanges, de nature chimique ou biologique, ou des préparations formulées de microorganismes (champignons, virus, bactéries, protozoaires ou toute autre entité biotique microscopique autorépliquante), qui sont utilisés en agriculture, en horticulture, en sylviculture, dans les jardins et les zones d'agrément, sur les produits végétaux stockés et les zones non cultivées, et sont destinés à :

- Protéger les végétaux ou les produits végétaux, par la destruction la répulsion ou la limitation de la croissance des organismes nuisibles
- Détruire ou limiter la croissance des adventices ou des plantes indésirables
- Réguler ou modifier la croissance des végétaux (autres que les éléments nutritifs)

3.1. Pesticide chimique de synthèse

Sur un plan sémantique, le mot inclut, à côté de « pesticide » qui veut dire « tuer les pestes » Sont, quant à eux, des molécules d'origine artificielle synthétisée en laboratoire ou usine. On distingue également les pesticides organiques (contenant un composé organique) et pesticides inorganiques (contenant un composé inorganique).

3.2. Biopesticides

Plusieurs définitions ont été proposées pour définir les biopesticides. En effet, « pesticide » qui veut dire « tuer les pestes » le préfixe bio qui signifie « vie » en grec. Dont le mot indique la lutte contre les organismes fléaux et sont basés sur l'utilisation d'agent ou de

facteurs liés à la vie. Il ressort qu'il existe plusieurs catégories de biopesticides :

- _Les biopesticides à base d'organismes vivants parasites, antagonistes ou compétiteurs ;
- _Les biopesticides basés sur des substances biologiques naturelles.

3.2.1 . Importance sur la santé humaine

Les pesticides représentent de par leurs propriétés intrinsèques une catégorie des substances susceptibles d'être dangereuses pour l'homme du fait qu'il est l'applicateur de ces substances mais aussi parce qu'il est le consommateur des ressources alimentaires à travers la contamination par des résidus. Ces deux contextes d'exposition aux pesticides soulignent deux risques bien différents, le premier lié à des expositions potentiellement élevées, le second lié à des expositions généralement très faible mais répétées. D'ici là le principe de précaution incite à privilégier l'usage de substances à courte durée de vie, peu rémanentes dans l'environnement et de faible toxicité.

3.2.2. Importance écologique

La dimension écologique prend en compte la préservation des ressources naturelles, la qualité de l'air ou de l'eau, la diversité biologique. Les méthodes utilisées dans la protection des cultures sont, par conséquent, en prise directe avec ces préoccupations, et les effets non intentionnels des pesticides organiques de synthèse soulignent qu'il est urgent de proposer des solutions alternatives « écologiquement saines ».

3.2.3. importance économique

Pour le petit agriculteur, les pesticides synthétiques sont coûteux et leur distribution est limitée dans les zones rurales. Les pesticides synthétiques peuvent aussi tuer des insectes prédateurs de certains ravageurs, causant ainsi des déséquilibres environnementaux dans la régulation naturelle. En conséquence, cela peut augmenter les problèmes des ravageurs, menant à des pertes économiques. Les biopesticides se décomposent rapidement avec des impacts écologiques négligeables et peuvent ainsi fournir un moyen de lutter contre les ravageurs, inoffensif pour l'environnement.

En cultivant et en vendant des biopesticides, les agriculteurs pourraient fournir un programme de contrôle contre les ravageurs à la fois durable et inoffensif pour l'environnement et améliorer également leurs revenus. Cette dépendance excessive à l'importation de produits pesticides pourrait être corrigée par le développement des chaînes locales pour vendre les biopesticides fabriqués localement. Ceci permettrait ainsi de créer de l'emploi, de nouveaux

produits innovateurs contre les ravageurs et rendre les agriculteurs indépendants des pesticides synthétiques importés.

L'utilisation des biopesticides pourrait donc augmenter la croissance économique locale, la sécurité et la nutrition alimentaire, réduire les problèmes de santé et de sécurité, et promouvoir les exportations africaines de produits biologiques vers l'Union Européenne.

3.2.4. Le développement durable

Après la prise de conscience des années soixante sur les effets pervers d'une utilisation massive des pesticides organiques de synthèse, il a tout de même fallu attendre 1987 pour que la commission mondiale sur l'environnement et le développement (organisation des nations unies) présidé par Mme Brundtland, premier ministre de Norvège, annonce la notion de « développement durable ».

Le développement durable est celui qui « répond aux besoins du présent sans compromettre la capacités des générations futures à satisfaire les leurs ». Sa formulation par la conférence Rio (1992) s'est accompagnée d'un cortège de règlements qui concernent, au niveau européen, les exigences réglementaires pour les autorisations de mise sur le marché, l'eau potable et des mesures agri-environnementale.

Pour être durable et soutenable, le développement doit être écologiquement sain, socialement équitable, et économiquement viable (**Cathrine, 2008**).

4. Phytothérapie

4.1. Historique

La phytothérapie existe depuis la préhistoire. Les hommes de Neandertal étaient inhumés avec des plantes dont on sait maintenant qu'elles ont des propriétés médicinales. Les premiers peuples ont probablement découvert ces propriétés de façon empirique au cours des siècles et, à chaque génération, ils ont ainsi accumulé des connaissances sur les plantes médicinales. Ces connaissances continuent de s'accroître aujourd'hui dans les régions du monde où les cultures indigènes ont échappé à l'influence destructrice de la société moderne. Dans d'autres pays, l'information sur les plantes a été mise par écrit et organisée sous forme de longs textes appelés pharmacopées, qui expliquaient le mode de préparation de chaque plante et son emploi pour un traitement donné. Le choix des plantes et leur mode d'utilisation dépendaient de l'idée que la société concernée se faisait de la maladie (**CATIE, 2005**).

4.2. Les métabolites secondaires

Les molécules produites par les plantes sont appelées métabolites. Ce sont des produits intermédiaires issu du métabolisme. Chez les plantes il existe deux grandes classes de

métabolites : les métabolites primaires et les métabolites secondaires. Les métabolites primaires sont des molécules organiques localisées dans toutes les cellules de l'organisme de la plante qui assurent sa survie. Ils sont impliqués dans sa croissance son développement et sa reproduction.

Ces métabolites regroupent entre autres, les glucides, les lipides et les acides aminés. Inversement les métabolites secondaires sont très dispersés dans la plante et très différents selon les espèces. Ils se trouvent dans des compartiments particuliers de la plante et/ou à des moments précis de sa vie. Leurs fonctions dans l'organisme sont complexes et en élucidation constante mais il est cependant reconnu qu'ils interviennent dans les relations qu'entretient la plante avec les organismes vivants qui l'entourent.

Certains de ces métabolites secondaires servent de défense pour la plante contre des prédateurs (herbivores, virus, champignon...) au contraire d'autres permettent d'attirer certaines espèces ayant des rôles bénéfiques tels que les pollinisateurs. Ce sont ces métabolites secondaires qui sont les principaux composés bioactifs des plantes (**Eric, 2019**).

Les alcaloïdes, les terpénoïdes et les substances phénoliques sont les trois classes principales de métabolites secondaires rencontrés dans les plantes (**Jules, 2013**).

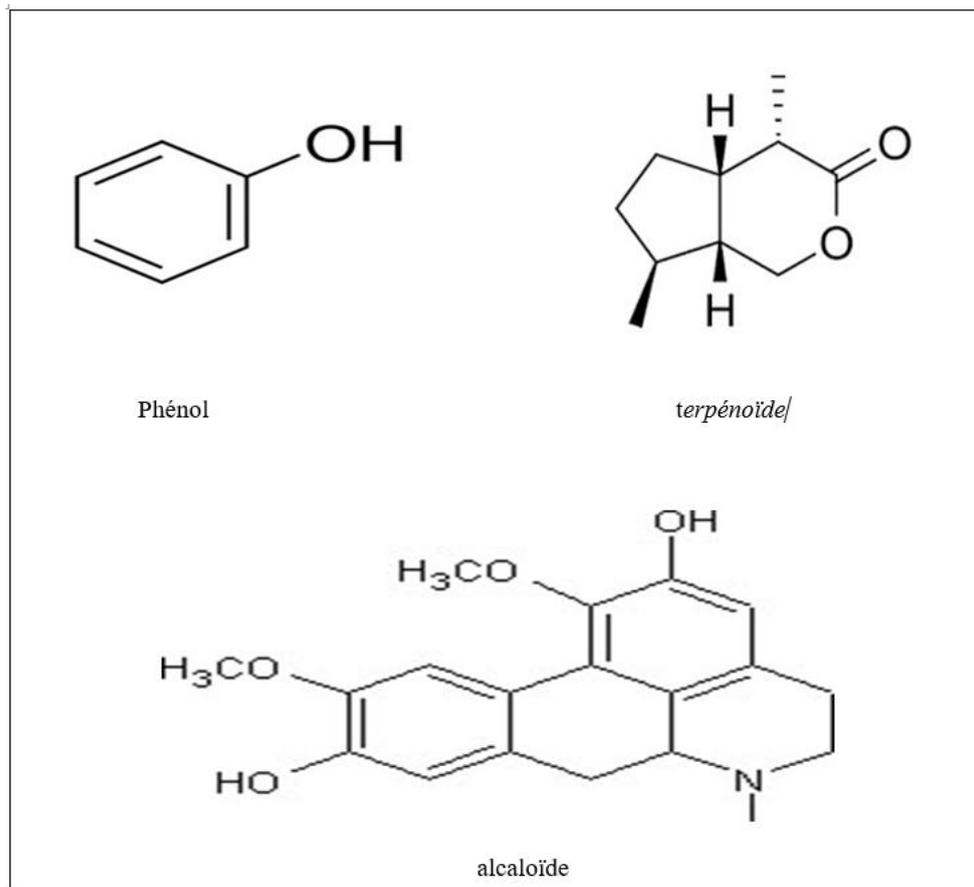


Figure 23: structure chimique générale des métabolites secondaires

4.2.1. Extraction par hydro-distillation

L'hydro-distillation est une méthode d'extraction, qui est parfois utilisée à la place de la distillation à la vapeur. Ce procédé d'extraction est l'une des méthodes d'extraction traditionnelles les plus utilisées. Dans ce processus, plutôt que de faire passer la vapeur par charge dans l'hydro-distillation, la charge est trempée dans l'eau. Ensuite, chauffer le récipient d'eau jusqu'à ce que la vapeur sorte, puis laisser refroidir et ensuite recueillir l'échantillon d'huile du dessus de l'hydrolat.

L'hydro-distillation est potentiellement une méthode très utile pour extraire l'huile essentielle de diverses plantes et de leurs différentes parties. Le rendement dépend de divers paramètres tels que le poids de la matière première, le volume d'eau, la taille de la matière première et la nature de la matière première.

Dans l'hydro-distillation, les huiles essentielles sont évaporées en chauffant le mélange aliment-solvant suivi de la liquéfaction des vapeurs à l'aide d'un condenseur. Dispositif expérimental comprend également un condenseur et un décanteur pour collecter le condensat et séparer les huiles essentielles de l'eau (Farhin, 2018).

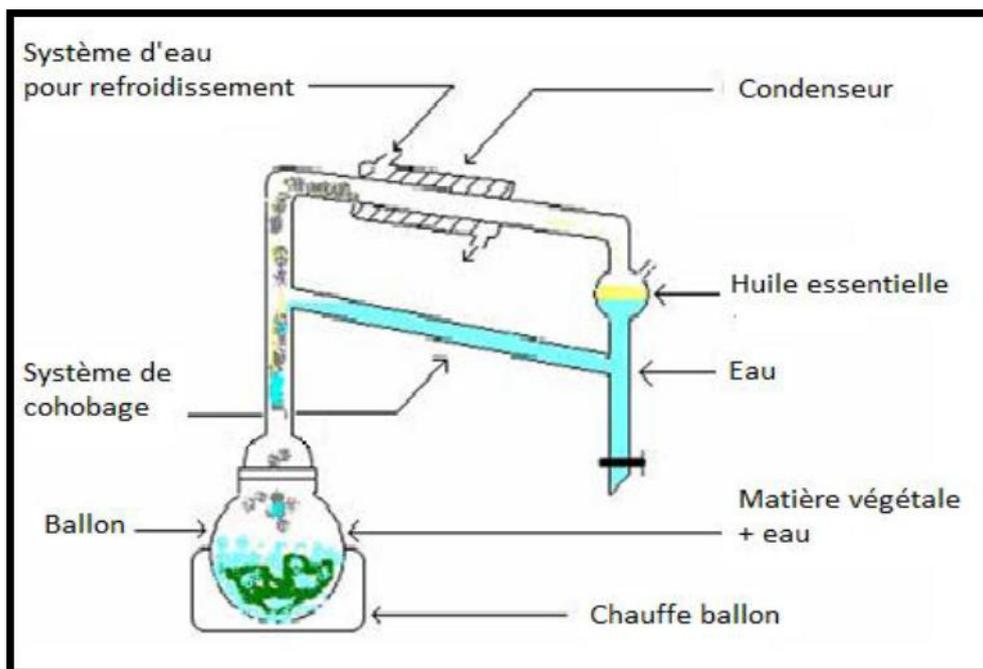


Figure 24: Dispositif expérimental d'HD avec cohobage de l'HE (Nejia, 2023)

4.2.1.1. Les huiles essentielles

De nombreux auteurs ont tenté de fournir une définition des huiles essentielles. L'Agence française de normalisation (AFNOR) donne la définition suivante (NF T 75-006) : « L'huile essentielle est le produit obtenu à partir d'une matière première végétale, soit par distillation à la vapeur, soit par procédés mécaniques à partir de l'épicarpe d'agrumes, soit par

distillation « sèche ». Les huiles essentielles sont solubles dans l'alcool, l'éther et les huiles fixes, mais insolubles dans l'eau.

Ces huiles volatiles sont généralement liquides et incolores à température ambiante. Ils ont une odeur caractéristique, sont généralement liquides à température ambiante et ont une densité inférieure à l'unité, à l'exception de quelques cas (cannelle, saffran et vétiver). Ces huiles volatiles contenues dans les herbes sont responsables des différents parfums émis par les plantes. Elles sont largement utilisées dans l'industrie cosmétique, la parfumerie, mais aussi l'aromathérapie. De plus, les HE possèdent également des activités antifongiques. Toutes les parties des plantes aromatiques peuvent contenir des huiles essentielles (**Wissal, 2016**).

Presque toutes les plantes contiennent des huiles essentielles qui sont la condensation de leur force vitale. On peut extraire des huiles essentielles de toutes les plantes, mais souvent les concentrations sont tellement basses que cela ne vaut pas la peine de les extraire car leur coût serait exorbitant. Par conséquent, l'extraction est faite seulement pour les plantes aromatiques qui peuvent produire une huile essentielle en quantité suffisante. Les plantes peuvent avoir des structures sécrétrices interne ou externe, distribuer dans tout le corps de la plante ou localisé superficiellement. Elles peuvent également se trouver à l'intérieur d'un organe. Les structures sécrétrices ou huileuses, cavités ou sacs sécréteurs présents dans l'espace intracellulaire, canaux ou conduits de sécrétion qui forment un large réseau, tissus laticifères qui contiennent un fluide laiteux riche en différentes substances aromatiques (**Federico et al., 2013**).

Les huiles essentielles contiennent 100 composants différents, mais il peut y en avoir beaucoup plus (**Federico et al., 2013**). Les composants principaux des huiles essentielles peuvent être regroupés en grandes familles, décrites ci-après.

- les esters**: ils ont des propriétés anti-inflammatoires, antispasmodiques et décongestionnantes.
- Les phénols**: ils ont une action anti-infectieuse très puissante et une action stimulante. Ils sont virucides, fongicides et bactéricides.
- Les aldéhydes** : ils ont une action calmante et anti-inflammatoire.
- Les cétones**: ils ont une action lytique et aide à éliminer le mucus.
- Les alcools** : ils ont des propriétés antivirales, antibactériennes et fongicides.
- Les terpènes** : ils ont des propriétés antivirales et antiseptiques.
- Les acides** : ils sont anti-inflammatoires et calmants.
- Les sesquiterpènes**: ils ont une action équilibrante pour le système immunitaire (**Buronzo et al., 2013**).

4.2.1.2. Activité antimicrobienne

Les HE et autres extraits sont obtenus à partir de matières végétales (fleurs, feuilles, racines, fruits, écorces, graines). Ils possèdent des propriétés antibactériennes, antifongiques et antivirales.

Les recherches ont montré que la fonction antimicrobienne s'exerce de deux manières selon les types de micro-organismes et de biomolécules :

- _ activité inhibitrice ou microbiostatique : blocage de la multiplication des cellules microbiennes ;
- _ activité létale ou microbicide : mort des cellules microbiennes (**Xavier et al., 2012**).

Les huiles essentielles sont reconnues pour leur rôle dans la protection des structures végétales contre les micro-organismes (**Damião et al., 2023**).

- **Activité antifongique:** L'huile essentielle est également utilisée comme agent antifongique contre les champignons pathogènes et constitue l'un des produits naturels les plus prometteurs pour l'inhibition des champignons. Les principaux composants de l'huile essentielle sont le carvacrol, le thymol et les terpènes, qui agissent comme des agents antifongiques. La paroi cellulaire, le cytoplasme et les mitochondries sont les principales cibles des agents antifongiques (**Maria et al., 2023**).
- **Mode d'action:**
 - Action sur la paroi cellulaire et la membrane plasmique.
 - Inhibition de la synthèse de l'ergostérol.
 - Diminution de l'activité ATP ase intracellulaire.
 - Modifications de la micromorphologie fongique (**Damião et al., 2023**).

4.2.2. Extraction par un solvant (soxhlet)

Un extracteur de soxhlet est généralement un appareil de laboratoire, qui a été inventé en 1879 par Franz Von Soxhlet. Elle assure l'extraction des lipides à partir d'un matériau solide. L'extraction du soxhlet est principalement utilisée lorsque les composés considérés ont une solubilité limitée dans un solvant et que l'impureté est insoluble dans ce solvant.

L'extraction par Soxhlet implique un contact solide-liquide pour l'élimination d'un ou plusieurs composés d'un solide en le dissolvant dans une phase liquide de reflux. Dans un appareil soxhlet conventionnel, la matrice solide est placée dans une cavité qui est progressivement remplie de la phase liquide d'extraction par condensation des vapeurs d'un ballon de distillation. Lorsque le liquide atteint un niveau prédéfini, un siphon ramène le contenu de la cavité dans le ballon de distillation, transportant ainsi les analytes extraits dans le

volume de liquide. De plus, la température du système est proche des points d'ébullition du solvant. Cet excès d'énergie sous forme de chaleur contribue à augmenter la cinétique d'extraction du système (Farhin, 2018).

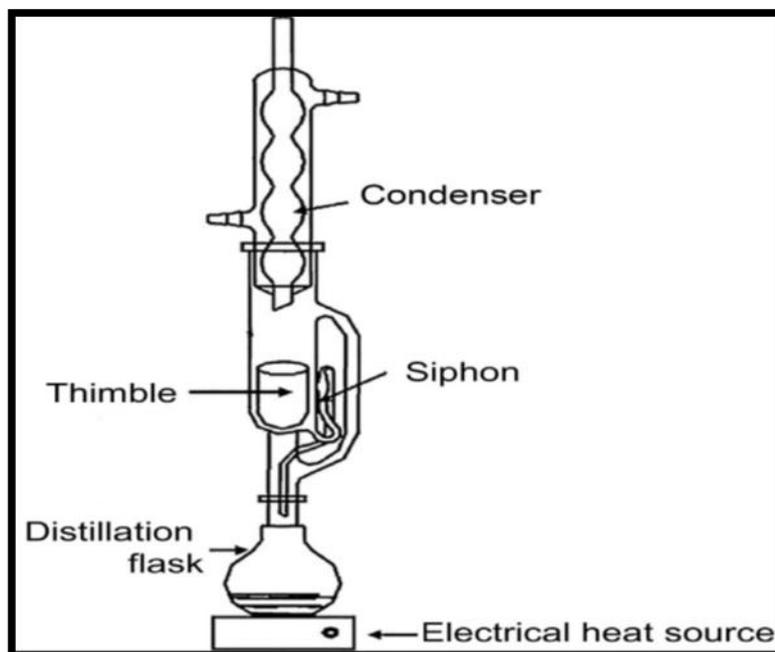


Figure 25: appareil de soxhlet. (Reproduced from Reeves RN (1994) Environmental Analysis. New York: John Wiley.)

5. *Artemisia campestris*

5.1. Origine et distribution

Les espèces qui appartiennent au genre *Artemisia* sont des arbustes aromatiques, qui poussent de façon spontanée dans plusieurs régions de l'hémisphère nord de la terre, surtout dans les zones semi arides et le bassin méditerranéen, et s'étendent jusqu'à l'Himalaya (Vernin et al., 1995), dans l'hémisphère sud elles sont trouvées en Afrique du sud, l'Australie et l'Amérique du sud, d'après (Kyeong, 2007), *Artemisia campestris* L est originaire de l'Asie.

5.2. Systématique de la plante

Le genre *Artemisia* appartient à la famille des Astéracées : c'est l'un des genres le plus répandu et le plus étudié de cette famille ; il contient un nombre variable d'espèces allant jusqu'à 400 espèces (Mucciarelli et al., 2002).

En l'Algérie, ce genre est représenté par 11 espèces parmi lesquelles se trouve l'*Artemisia campestris* L (Quezel et al., 1963).

La plante *Artemisia campestris* L. est classée dans :

Tableau 17: Classification d' *Artemisia campestris* L. (Ali Esmail, 2015).

Règne	Plantae
Sous règne	Tracheobionta
Embranchement	Spermatophyta
Sous embranchement	Magnoliophyta
Classe	Magnoliopsida
Sous classe	Asteridae
Ordre	Asterales
Famille	<i>Asteraceae</i>
Genre	<i>Artemisia</i>
Espèce	<i>Artemisia Campestris</i> L

5.3. Description botanique

Artemisia campestris L. est un arbuste aromatique herbacée vivace à tiges robustes d'une hauteur de 30 à 80 cm, possède très petits capitules étroits de 1 à 1.5 mm ovoïdes ou coniques, involucre sec et translucide et contient quelques fleurs jaunes bordées de rouge (maximum 8 fleurs) aux poils blanc à bruns. Les feuilles d'*Artemisia campestris* L sont glabres de couleur verte foncée, les inférieures dipinnatiséquées, les supérieures pinnatiséquées, les basales pétiolées et auriculées, les tiges sont ligneuses à la base striée (David, Hervé., 1994 ; Ozenda 1985, Quezel et Santa 1963).



Figure 26: la plante d'Artemisia

5.4. Utilisation traditionnelle d'*Artemisia campestris* L

Les fleurs d'*Artemisia campestris* ont été utilisées comme hypoglycémiant, l'antihypertenseur, antihyperlipidémique, anti-inflammatoire, anti leishmaniose, cicatrisation, et pour le traitement de l'obésité et pour diminuer le cholestérol. Il a été utilisé après une décoction comme antivenin, anti-inflammatoire, anti-rrhumatismal et antimicrobienne (Ali Esmail Al, 2015).

5.5. Composition chimiques

Trois constituants chimiques dominant l'huile essentielle d'*A. campestris* : le β -pinène (20,75%) le limonène (10,46%) et γ -terpinène (10,18%). D'autres composés sont également présents, mais à des teneurs moins importantes : germacrène D (9,53%), myrcène (7,90%), α -pinène (6,02%), (E)- β - ocimène (4,34%) , (Z)- β -ocimène (4,12%), carvacrol (4.00%), β -eudesmol (3,3%) et le β -selinene (3.29 %), sabinene (2,86%) (Souhila T.).

6. *Trigonella foenum-graecum* L

6.1. Origine

La région méditerranéenne est connue pour être l'habitat naturel pour genre *Trigonella*, il a été trouvé à l'Asie, l'Afrique et beaucoup cultivé en Inde, fréquemment cultivés en Algérie.

6.2. Description botanique

Le fenugrec est une plante annuelle de 20 à 50 cm de hauteur, de fleurs blanchâtre, donne de longues gousses remplies de petites graines anguleuses. Ces graines, à l'odeur très aromatique, sont amères, légèrement piquantes. Rapidement grillées, elles perdent leur amertume (Carole, 2013).



Figure 27: les graines de fenugrec



Figure 28: feuilles, fleurs et fruits de Fenugrec

6.3. Systématique de la plante

Situation botanique de l'espèce *Trigonella foenum-graecum* L (Rouag, 2022).

Tableau 18: Classification de *Trigonella foenum-graecum* L.

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

6.4. Utilisation traditionnelle de *Trigonella foenum-graecum* L

Les graines de fenugrec, déjà reconnues dans l'Antiquité apaisantes et souveraines contre les ennuis féminins, sont aujourd'hui prescrites en naturopathie pour leurs vertus apéritives, galactogènes et fébrifuges. Moulues, elles s'emploient en cuisine pour parfumer les plats de curry (Hans, 2007).

La médecine populaire arabe la présente comme un traitement préventif des calculs rénaux. En usage externe, son utilisation en cataplasme permettrait d'atténuer les inflammations locales (Carole, 2013).

6.5. Composition chimique

Tableau 19: Composition biochimique de la graine de fenugrec. Sciences des aliments (2021) ,BILLAUD.C ;ADRIAN,J

Constituants	Valeurs nutritionnelles
Protéines	28,6
Lipides	7,7
Cendres	4,0
Saponines	8,8-11,0
Trigonelline	0,41
Lignine	2,75
Fibre	49,3
Gomme	20,6
Cellulose + hemicelluloses	28,7
Cellulose brute	9,0
Valeur énergétique	200 à 240 Kcal 900 à 910 KJ

Chapitre II

Matériels et Méthodes

1. Matériel

1.1. Matériel végétal

1.1.1. La cueillette d'*Artemisia campestris*

La plante *Artemisia campestris* est cueillit de la ville Batna, région Tkout à la période de floraison en 27 Juillet 2023.



Figure 29: *Artemisia campestris* dans la région de Tkout (Batna)



Figure 30: Parcelles implantées par le fenugrec

1.1.2.1. L'implantation de *Trigonella foenum-graecum* L

Le fenugrec a été implanté au niveau du département d'agronomie le 15 novembre sous la garde de l'ITIDAS (Institut Technique de Développement de l'Agronomie Saharienne Ain Ben Naoui).



Figure 31: Stade de Formation des gousses qui renferme les graines de fenugrec

1.1.3. La récolte des graines de fenugrec

La récolte des graines de fenugrec est réalisée le 13 avril 2024.



Figure 32: les graines de fenugrec

1.2. Souche fongique

La souche fongique de *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici* race 1 (notée F.o.1) nous a été donné gracieusement par le laboratoire de mycologie de la station régionale de la protection des végétaux (SRPV) de Ghardaïa.

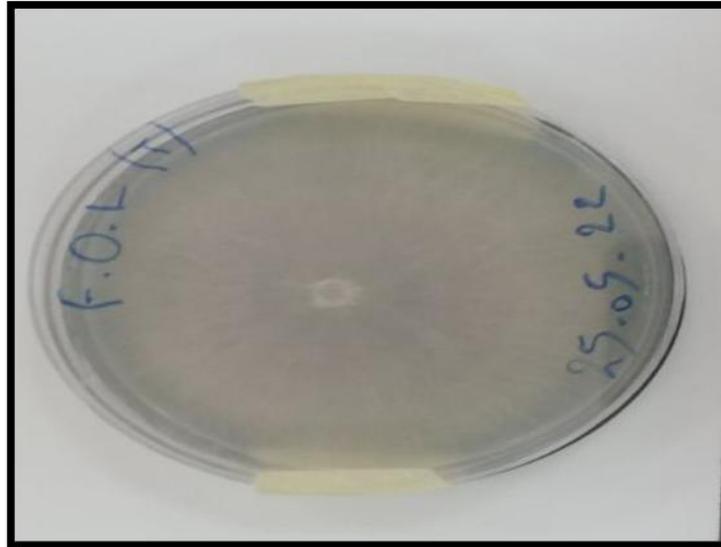


Figure 33: de *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*

1.3. Matériels de laboratoire

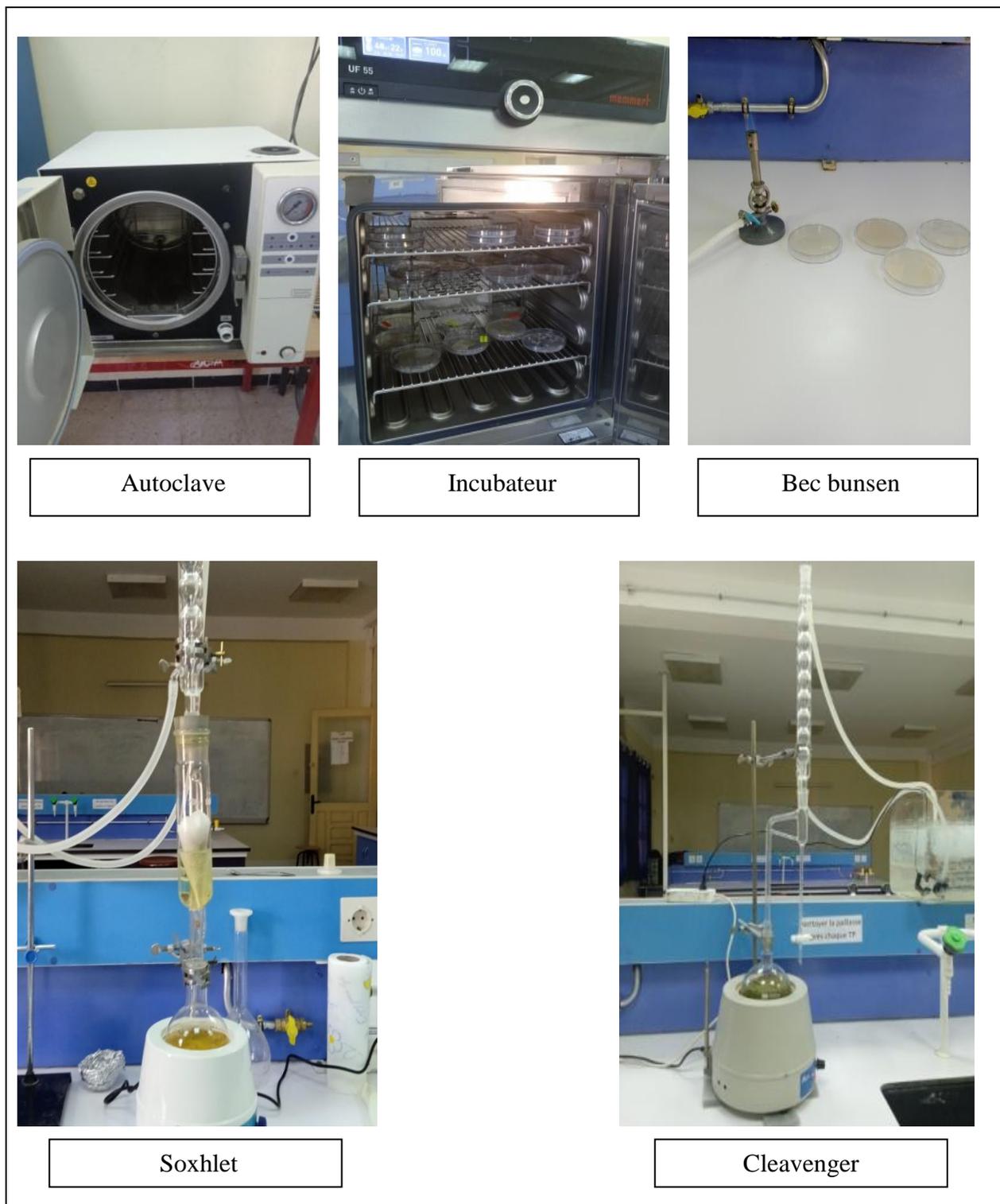


Figure 34: matériels de laboratoire

2. Méthode

2.1. Préparation des extraits

2.1.1. Extrait d'*Artemisia*

2.1.1.1. Séchage

Après avoir obtenu les feuilles d'*Artemisia campestris* L, ont été séchées à l'ombre dans un endroit aéré durant 10 J. Puis on pèse 100g des feuilles.



Figure 35: les feuilles d'*Artemisia campestris*

2.1.1.2. L'extraction

Un échantillon de 100g a été extrait par hydro-distillation pendant 4 heures.



Figure 18 : Extraction par cleavenger

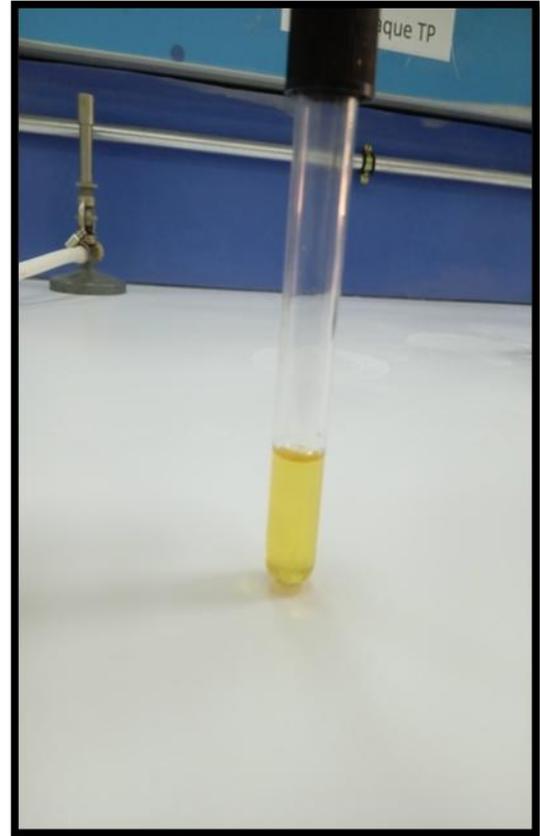


Figure 19: huile essentielle d'Artemisia

2.1.2. Extrait des graines de fenugrec

2.1.2.1. Séchage et broyage

Après séchage, les graines ont été broyées dans un mortier d'un à l'aide et pilon jusqu'à l'obtention d'un broyat grossier de graines.



Figure 20:Graines de fenugrec dans un mortier

2.1.2.2. L'extraction

L'huile contenue dans les graines de *Trigonella foenum-graecum* est extrait par la méthode d'extraction directe au Soxhlet avec le méthanol comme solvant. Une petite quantité du broyat précédent est prise puis broyée finement à l'aide d'un broyeur (Moulinex) jusqu'à obtention d'une fine poudre. On pèse une cartouche vide puis on y introduit 20 g de la fine poudre. La cartouche est installée dans le soxhlet et l'ensemble est adapté à un ballon préalablement séché et pesé. 400 ml de méthanol sont introduits dans le ballon et le chauffage est réglé de façon à avoir un siphonage toutes les 5 min.

La circulation d'eau dans la colonne réfrigérante est mise en marche, ce qui permet le retour du méthanol évaporé dans le soxhlet. L'extraction se fait pendant 2 heures (au moins 5 cycles sont nécessaires pour un épuisement total des graines). La distillation pour séparer l'huile du solvant se fait à l'aide de l'évaporateur rotatif. Le ballon contenant l'huile est mis à l'étuve pendant 48 heures, on fait ensuite la pesée.



Figure 21: montage d'extraction



Figure 22: extrait méthanolique des graines fenugrec des graines fenugrec



Figure 23: un rotavap

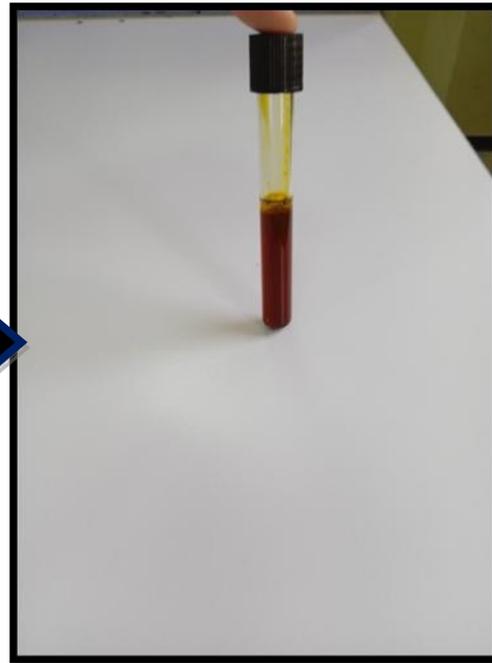


Figure 24: extrait méthanolique sec des graines de fenugrec

2.2. Milieux de culture

- Pour préparer un milieu PDA (Potato Dextrose Agar) il faut :
- Pommes de terre 200 g
- Glucose 20 g
- Agar-agar 20 g
- Eau distillée 1200 ml

2.3. Calcul de rendement des extraits secs

Selon (Kolai et al, 2012).

$$R\% = (PES/PMV)*100$$

R% : rendement en pourcentage.

PES : poids de l'extrait sec (g)

PMV : poids de matière végétale (g)

2.4. Les teste d'activité antifongique

2.4.1. Evaluation de l'effet d'extrait sur le taux de la croissance par l'indice antifongique

Pour évaluer l'activité antifongique de l'extrait obtenu, envers la souche pathogène du F.o.I, on a adopté la méthode du contact direct en suivant ces étapes :

- Préparation des différentes concentrations (dilution décimale) de l'extrait

Cette technique consiste à placer une quantité de la solution mère dans une quantité d'eau stérile, puis à incorporer les différentes dilutions préparées dans le milieu d'isolement. (Rapilly, 1968).

La solution mère est mise en solution dans un diluant (1 ml de S.M dans 9 ml de DMSO) pour obtenir une dilution de 10^{-1} . Après agitation, des prélèvements successifs de 1ml sont introduits dans des tubes contenant 9 ml de DMSO (dilutions décimales) jusqu'à l'obtention de la concentration de 10^{-4} .

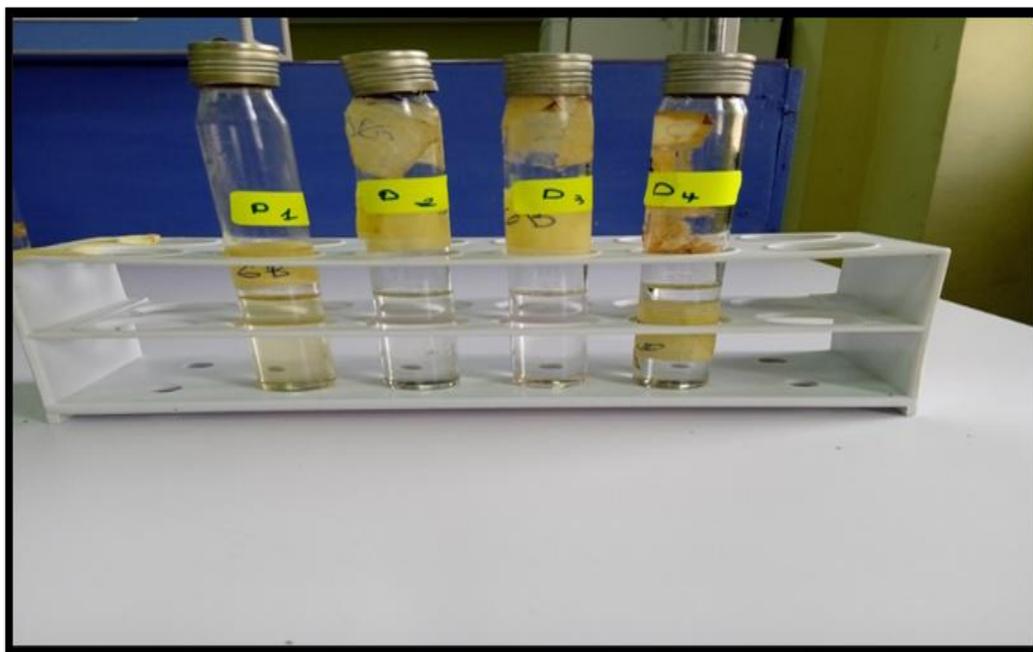


Figure 25: Etapes de la technique de la dilution décimale de l'huile essentielle d'Artemisia.

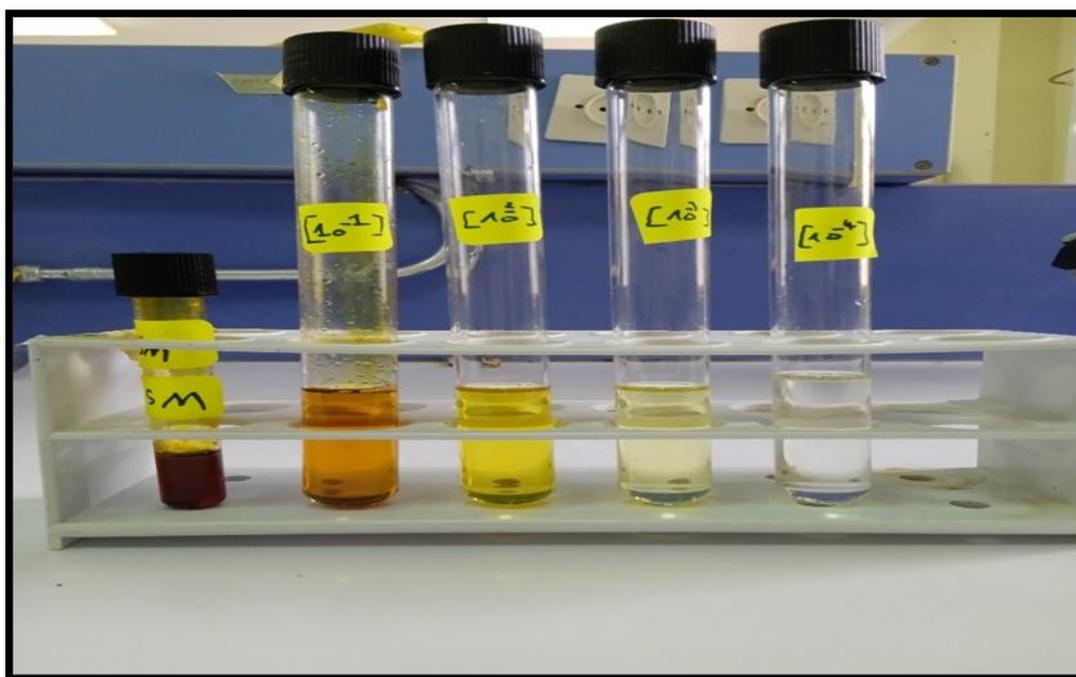


Figure 26: Etapes de la technique de la dilution décimale de l'huile essentielle de Fenugrec

- La méthode utilisée pour évaluer l'activité antifongique des extraits, est la méthode de contact directe, l'extrait à tester est incorporé dans le milieu gélosé et puis on agite pendant quelque minute pour homogénéiser le milieu de culture avec l'extrait. Après solidification du mélange (milieu de culture et l'extrait), des disques de 0.8 cm de champignons testés ont été déposés au centre des boîtes de Pétri. Ces boîtes ont été incubées à une température de 25 °C. La croissance radiale du mycète après un temps approprié, selon les caractéristiques de croissance du champignon, est alors mesurée et comparée aux témoins (**Wilkinson, 2006**).

Pour chaque concentration utilisée (10^{-1} ; 10^{-2} ; 10^{-3} ; 10^{-4}) on a utilisé 4 doses différentes (0.25ml ; 0.5 ml ; 0.75 ml ; 1ml) avec trois répétitions.



Figure 27: la pastille du Fol

- Après l'incubation des boites à 25° pendant 24h on réalise la mesure de diamètre tous les 8 jours.



Figure 28: un binoculaire

- Selon (Chang, S. T et *al.*, 1999), le pourcentage d'inhibition de croissance I (%) est exprimé par la réduction du diamètre de la colonie fongique par rapport au témoin pour chaque extrait, selon la formule suivante :

I (%) : Pourcentage d'inhibition de croissance.

Da témoin : Diamètre de colonie témoin (en mm).

Db test : Diamètre de la colonie testée (en mm).

$$(\%)IA = 1 - Da/Db) 100$$

2.4.2. Evaluation de l'effet d'extrait de fenugrec sur le taux de croissance par le paramètre pondérale

Ce teste est basée sur la pesée pondérale de la masse mycélienne en suivant les étapes suivants:

- La préparation de la dilution décimale à partir d'extrait organique de fenugrec.

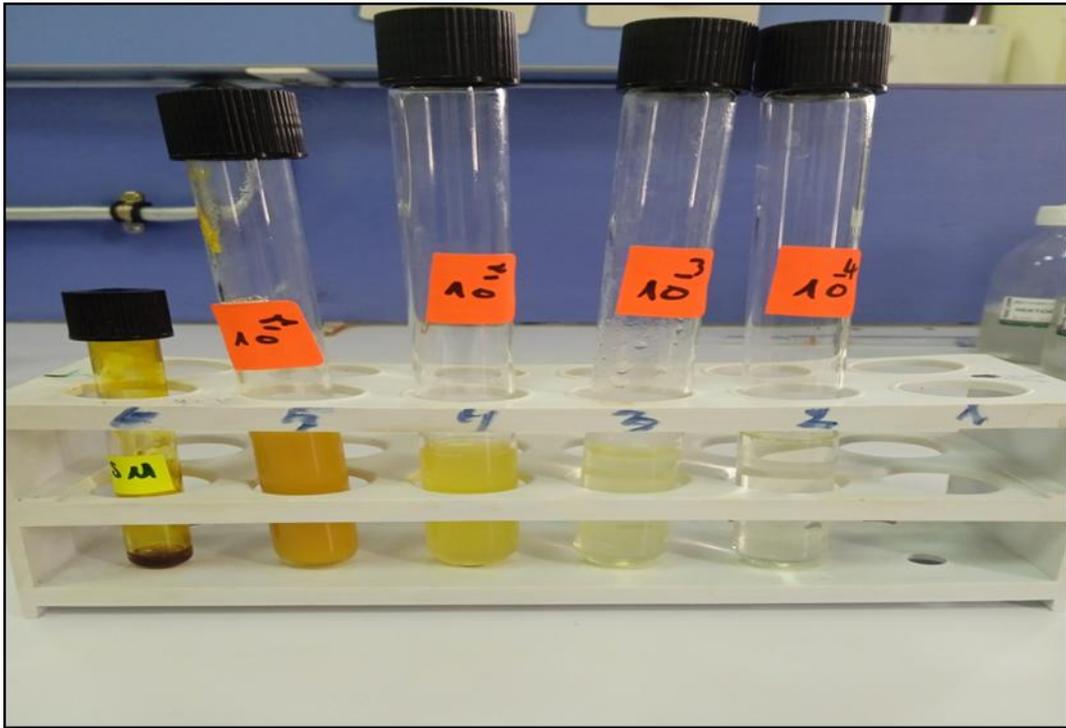


Figure 29: Etapes de la technique de la dilution décimale d'extrait méthanolique du Fenugrec

- 49 flacons contenant 50 ml de milieu de culture liquide préparé d'un bouillant de pomme de terre et de glucose.

Chaque flacon contient des volumes de concentration (10^{-1} ; 10^{-2} ; 10^{-3} ; 10^{-4}) et de chaque concentration 4 doses différentes (0.25ml ; 0.5 ml ; 0.75 ml ; 1ml) avec trois répétitions et de dose précise et une pastille de Fol puis les soumettent sous agitation durant 12 jours.



Figure 30: Agitation continue des milieux de culture liquide

- Après l'agitation on filtre les flacons contenant le milieu par une compresse stérile pour obtenir une masse de mycélium Fol.



Figure 31: Filtration du mycélium du Fol

- Séchage du mycélium pour obtenir une masse sec du Fol dans une étuve à 80°C pendant 24H).



Figure 32: Séchage du mycélium de Fol dans l'étuve

- La pesée de poids sec de mycélium (en le filtrant le contenu de chaque flacon précédemment agiter durant 12 j et puis on met les filtres contenant le mycélium traité .



Figure 33: Pesée du mycélium

- Après avoir un poids sec constant du mycélium, on peut calculer l'indice de croissance pour chaque souche de la façon suivante : Le pourcentage d'inhibition de croissance est calculé par la formule suivante :

$$\%IC = \text{Poids sec du mycélium} / \text{Volume du milieu de culture}$$

2.4.3. Evaluation de l'effet d'extrait de fenugrec sur le taux e croissance par le le taux de sporulation

- Après 12 jours d'agitation continue, le milieu de culture est filtré à l'aide d'une bande à gaz.



Figure 34: filtrat contenant des spores

- Une goutte de ce filtrat est mise sur une cellule de Neubauer pour réaliser le comptage des spores.

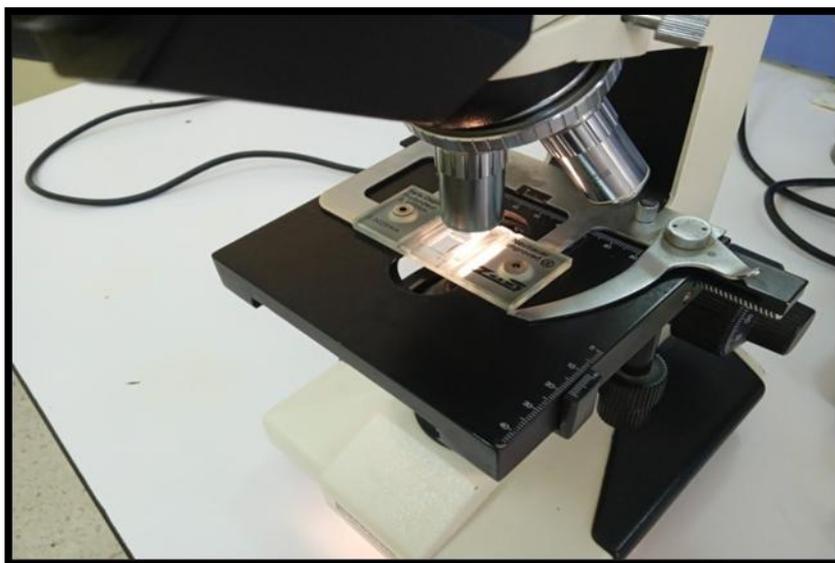


Figure 35: Comptage des spores par l'hématimètre de Neubauer

- Selon **Mohammedi et Atik (2013)** Le pourcentage de réduction de la sporulation provoquée par les extraits a été calculé en utilisant l'équation suivante :

$$\%I_s = \left[\frac{(N_c - N_t)}{N_c} \right] * 100$$

I_s: inhibition de sporulation.

N_c : le nombre moyen de spores estimé chez le témoin.

N_t : le nombre moyen de spores estimé en présence de l'extrait.

Chapitre III

Résultats et discussion

1 . Résultats

1.1. Rendement d'extrait sec

Pour *Artemisia campestris* L., la préparation de l'extrait brut Méthanolique a donné un rendement de 0.5 g, ce qui correspond à un pourcentage de 5%. Ce taux réduit enregistré pour l'*Artemisia* est dû à la faible quantité végétale utilisée. En effet, la superficie de terre qui nous a été attribuée ne nous permettait pas d'en avoir un grand rendement en feuillage de cette espèce. Cet état nous a obligé de changer notre protocole expérimental et de réduire au maximum les concentrations et les doses de travail prévues.

Pour *Trigonella foenum-graecum* L., la préparation de l'extrait brut Méthanolique a donné un rendement de 5.65 g, ce qui correspond à un pourcentage de 23.06%. Ce taux récolté est assez satisfaisant pour le reste des manipulations.

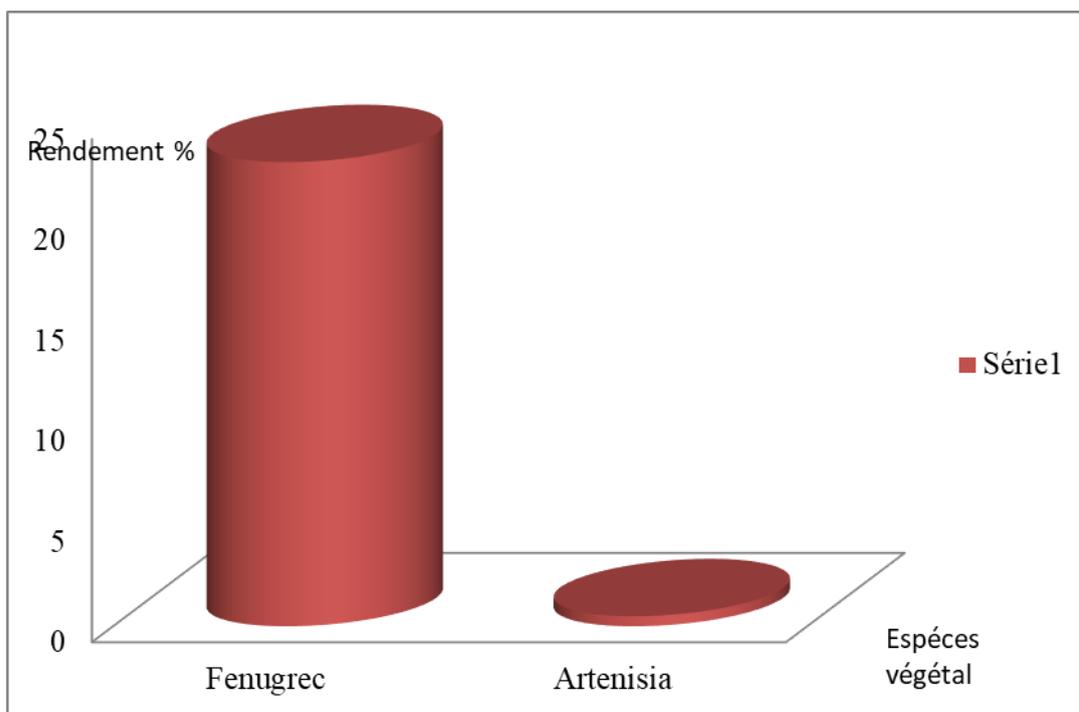
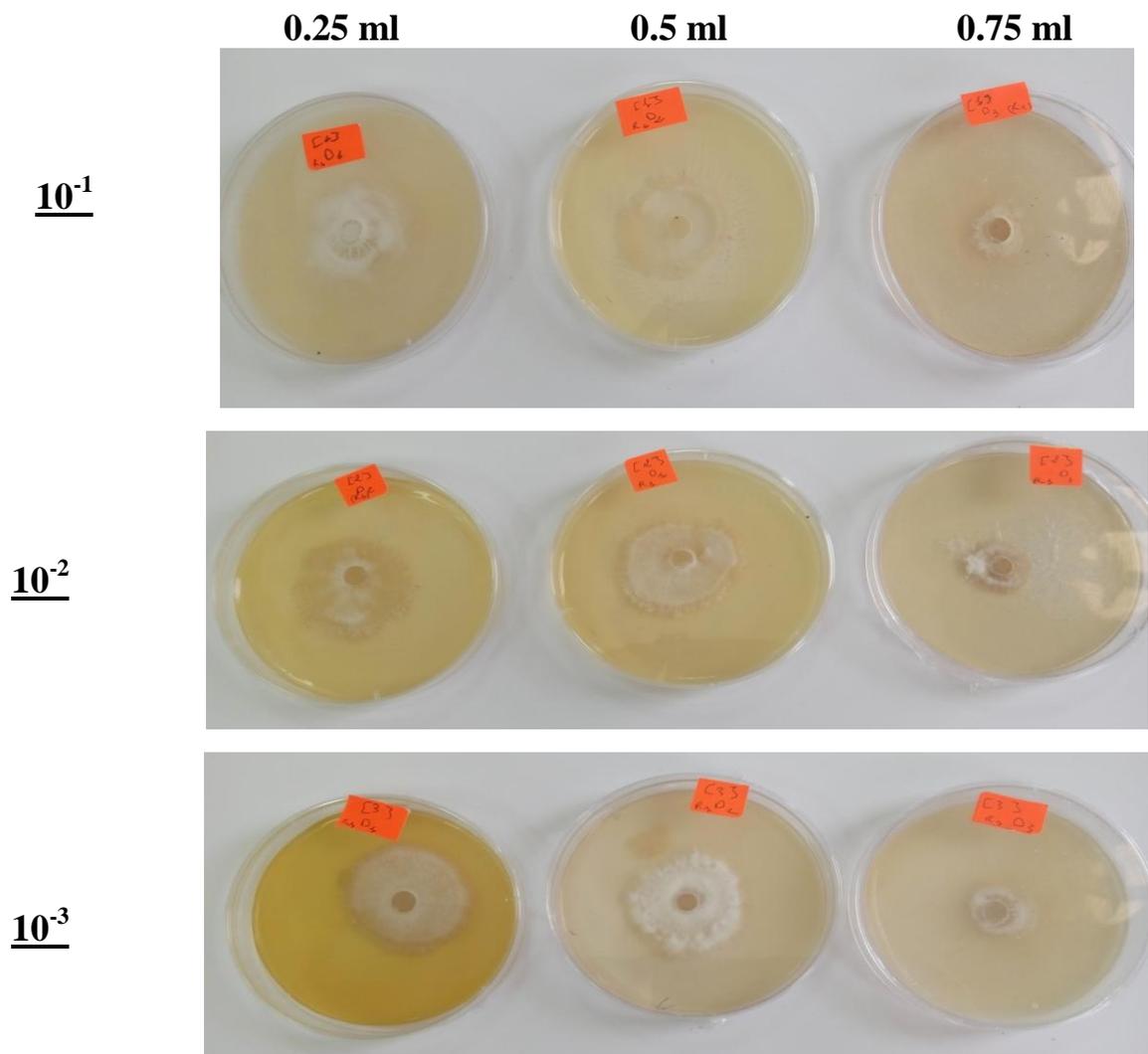


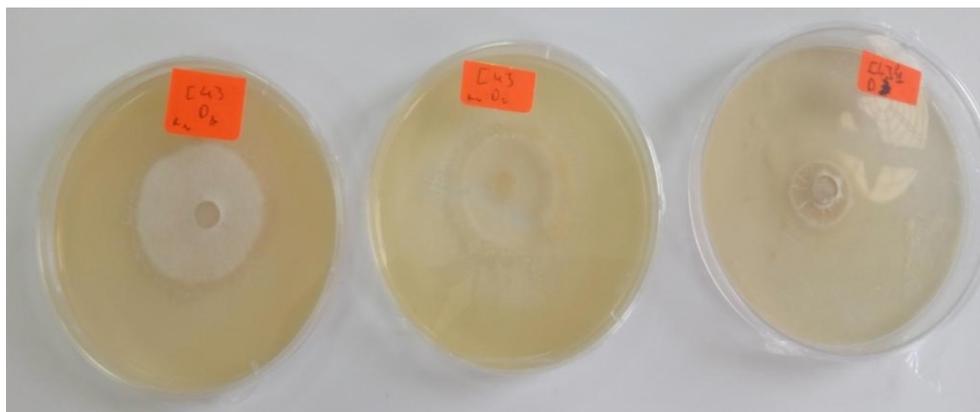
Figure 36: Rendement d'extrait Fenugrec et l'huile d'Artemisia

1.2. *Artemisia campestris* L.

1.2.1. Effet de l'extrait sur le taux de croissance évalué par l'indice antifongique (AI)

Les figures suivantes montrent les résultats obtenus après l'application des différentes concentrations et doses des extraits de *Artemisia campestris* L. après une incubation de 7 jours à 25°C.



10⁻⁴

L'analyse statistique pour ce facteur révèle que la différence factorielle est très significative et que le seuil de probabilité est < 0.0001 .

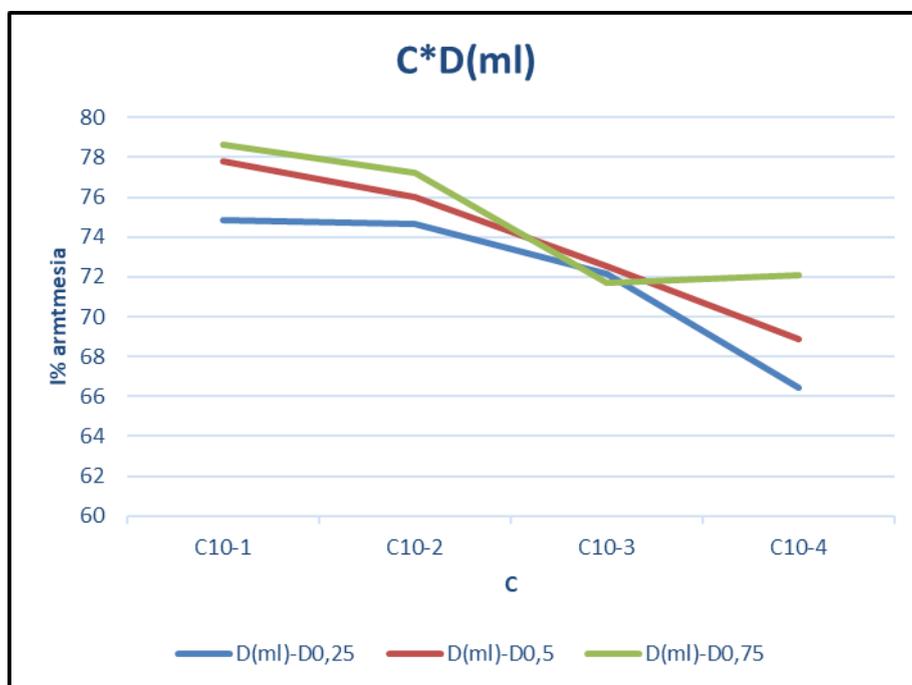


Figure 37: Relations indice antifongique – Concentration et dose de l'extrait *Artemisia campestris* L.

Le graphe ci-dessous indique une corrélation nette entre la concentration, la dose de l'extrait issu de *Artemisia campestris* L., d'un côté et de l'indice antifongique (IC) d'un autre. Ce dernier augmente avec la dose. Son efficacité est maximale pour la concentration 10^{-1} ml, avec une dose de 0.75 ml, et pour la concentration 10^{-2} ml, avec une dose de 0.5 ml. On note l'indice antifongique augmente avec l'augmentation de la concentration de l'extrait et même avec celle de la dose. Son effet devient stationnaire à la concentration 10^{-3} ml quel que soit la dose employée. Une distinction nette est marquée avec la diminution de la concentration à

10^{-4} ml.

Cette diminution de l'efficacité de l'extrait, exprimée par l'indice fongique, avec l'augmentation de sa concentration et/ou de la dose, peut-être expliqué par divers mécanismes physiologiques et pharmacologiques.

Concernant le paramètre AI, le test de Newman-Keuls, au seuil de 95%, nous dégage quatre classes pour l'effet des concentrations et trois classes pour celui des doses bien distinctes. On note un effet descendant pour les deux facteurs ; celui de la première concentration (10^{-1} ml) et de la troisième dose (0.75 ml) sont les plus marquants. (Tableaux 5 et 6 respectivement).

Tableau 20: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de concentrations sur l'indice antifongique (IA) pour l'extrait issu de *Artemisia campestris* L.

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
C 10^{-1}	77,098	A	
C 10^{-2}	75,967		B
C 10^{-3}	72,137		C
C 10^{-4}	69,118		D

Tableau 21: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de doses sur l'indice antifongique (IA) pour l'extrait issu de *Artemisia campestris* L.

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
D 0,75	74,911	A	
D 0,50	73,803		B
D 0,25	72,025		C

Pour évaluer l'effet de la combinaison, concentration – dose, le test de Newman-Keuls, au seuil de 95%, nous donne sept classes, A, AB, BC, C, D, E et F. (Tableau 3).

Tableau 22: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet combinatoire concentration – dose sur l'indice antifongique (IA) pour l'extrait issu de *Artemisia campestris* L.

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
C-C 10^{-1} *D(ml)-D0,75	78,650	A	
C-C 10^{-1} *D(ml)-D0,5	77,793	A	B
C-C 10^{-2} *D(ml)-D0,75	77,240	A	B
C-C 10^{-2} *D(ml)-D0,5	76,000		B C
C-C 10^{-1} *D(ml)-D0,25	74,850		C
C-C 10^{-2} *D(ml)-D0,25	74,660		C
C-C 10^{-3} *D(ml)-D0,5	72,560		D

C-C10 ⁻³ *D(ml)-D0,25	72,167	D	
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D0,75	72,070	D	
C-C10 ⁻³ *D(ml)-D0,75	71,683	D	
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D0,5	68,860		E
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D0,25	66,423		F

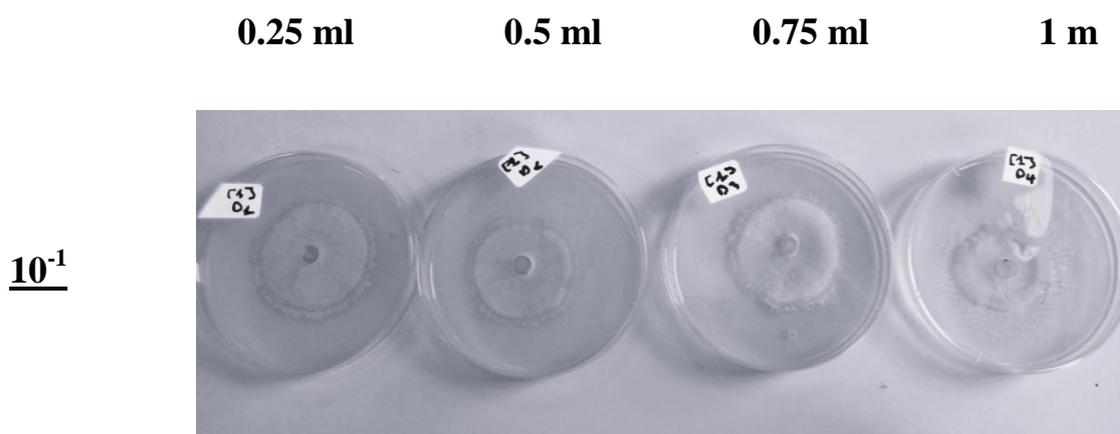
La classe A, confirme la remarque déjà mentionnée dans l'interprétation du graphe précédent (Fig.37). Aussi ce classement indique nettement l'effet de la concentration 10⁻⁴ ml avec les doses 0,5ml (classe E) et 0,25ml (classe F). Cela signifie que le AI est plus marquant avec cette concentration à chaque fois qu'on augmente la dose. Le reste des classes indiquent un effet peut distinctif entre concentration et dose.

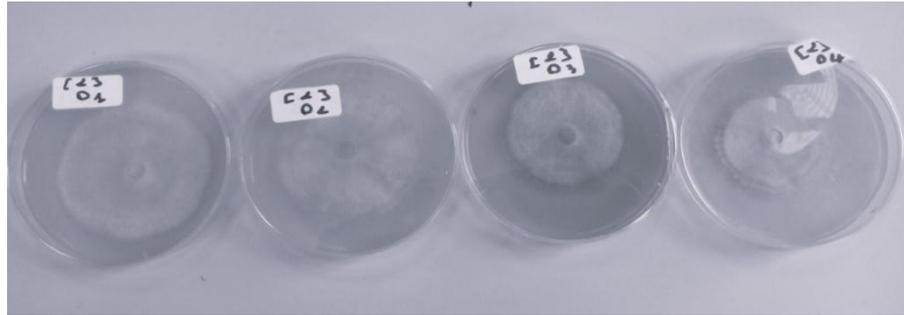
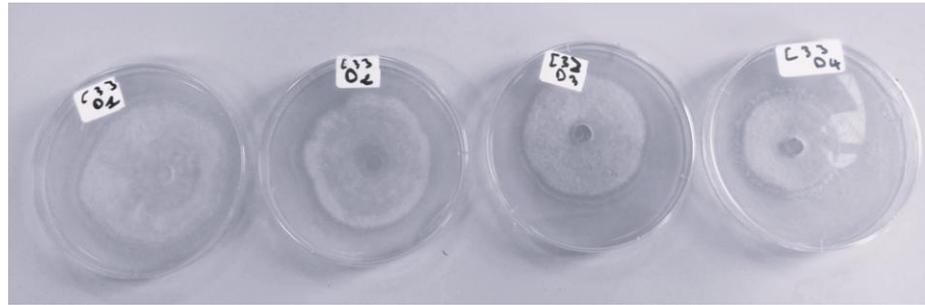
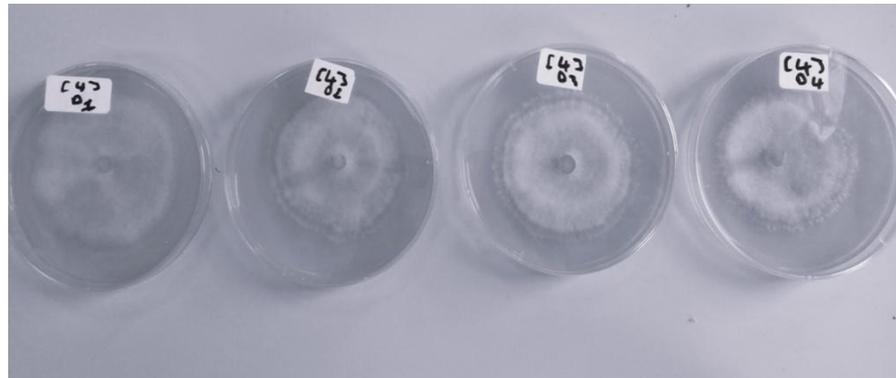
Globalement, ces résultats concordent avec ceux d'auteurs. En effet, (Dib *et al.*, 2017) ont mentionné un effet inhibiteur d'*Artemisia campestris* L. à l'égard de *Fusarium oxysporum* estimé en moyenne à 54% IA.

1.3. *Trigonella foenum-graecum* L.

1.3.1. Effet de l'extrait sur le taux de croissance évalué par l'indice antifongique (AI)

Les figures suivantes montrent les résultats obtenus après l'application des différentes concentrations et doses des extraits de *Trigonella foenum-graecum* L. après une incubation de 8 jours à 25 °C.



10^{-2}  10^{-3}  10^{-4} 

La figure (38) illustre les variations de l'indice antifongique en fonction de la concentration et de la dose du substrat. Les valeurs basses de cet indice, indiquent une bonne efficacité du substrat testé dans l'inhibition de la croissance des champignons.

Selon ce principe, on tire de ce graphe que la faible dose employée ($D=0.25$ ml) donne de bons résultats notamment avec une concentration de 10^{-4} (faible dose et faible concentration). On note aussi que l'efficacité de l'extrait diminue avec l'utilisation du substrat avec une concentration de 10^{-1} et avec une dose de 1 ml, tandis qu'elle assez bonne si la concentration augmente.

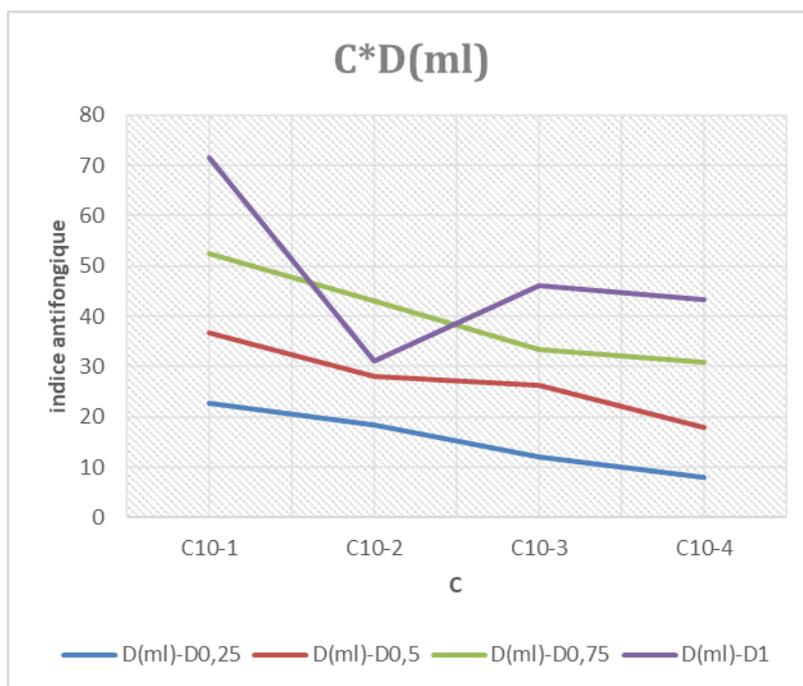


Figure 38: Relations indice antifongique – Concentration et dose de sur l'indice antifongique (IA) pour l'extrait issu de *Trigonella foenum-graecum* L.

Globalement, on peut observer une tendance à l'augmentation de l'Indice de Croissance avec l'augmentation de la Concentration des solutions. Cependant, cette relation peut varier en fonction de la Dose appliquée.

Concernant le paramètre AI, le test de Newman-Keuls, au seuil de 95%, nous dégage deux classes pour l'effet des concentrations et quatre classes pour celui des doses bien distinctes. On note le démarquage de la forte concentration ($C = 10^{-1}$ ml) ainsi que de la forte dose ($D = 1$ ml). (Tableaux 4 et 5 respectivement).

Tableau 23: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de concentrations de l'extrait *Trigonella foenum-graecum* L.

Modalité	Moyenne	Groupes
$C10^{-1}$	45,840	A
$C10^{-2}$	30,165	B
$C10^{-3}$	29,447	B
$C10^{-4}$	25,013	B

Tableau 24: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de doses sur l'indice antifongique (IA) de l'extrait *Trigonella foenum-graecum* L.

Modalité	Moyenne	Groupes		
D 1	47,989	A		
D 0,75	39,952		B	
D 0,5	27,202			C
D 0,25	15,322			D

L'examen du (tableau 10), nous permet d'évaluer l'effet de la combinaison entre la concentration et la dose, établi par le test de Newman-Keuls, au seuil de 95%. On note onze groupes ; A, B, BC, BCD, BCDE, CDE, CDEF, DEF, EFG, FG et G.

Tableau 25: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet combinatoire concentration – dose sur l'indice antifongique (IA) pour l'extrait issu de *Trigonella foenum-graecum* L.

Modalité	Moyenne	Groupes				
C-C10 ⁻¹ *D(ml)-D 1	71,667	A				
C-C10 ⁻¹ *D(ml)-D 0,75	52,430		B			
C-C10 ⁻³ *D(ml)-D 1	46,010		B	C		
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D 1	43,267		B	C	D	
C-C10 ⁻² *D(ml)-D 0,75	42,980		B	C	D	
C-C10 ⁻¹ *D(ml)-D 0,5	36,620		B	C	D	E
C-C10 ⁻³ *D(ml)-D 0,75	33,450			C	D	E
C-C10 ⁻² *D(ml)-D 1	31,013			C	D	E
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D 0,75	30,947			C	D	E
C-C10 ⁻² *D(ml)-D 0,5	28,143			C	D	E F
C-C10 ⁻³ *D(ml)-D 0,5	26,167				D	E F
C-C10 ⁻¹ *D(ml)-D 0,25	22,643					E F G
C-C10 ⁻² *D(ml)-D 0,25	18,523					E F G
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D 0,5	17,877					E F G
C-C10 ⁻³ *D(ml)-D 0,25	12,160					F G
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D 0,25	7,960					G

Ce classement est en bonne harmonie avec les résultats exprimés par la figure 2. En effet, la classe A, qui se distingue bien des autres, représente la combinaison entre la concentration C=10⁻¹ ml et la dose D=1 ml.

Dans l'ensemble, ces résultats concernant ce facteur, s'intersectent avec ceux d'autres travaux. La bibliographie mentionne un effet inhibiteur de *Trigonella foenum-graecum* L. vis-

à-vis de *Fusarium oxysporum* évalué à 55% IA (Omezzine *et al.*, 2017)

1.2.1. Effet de l'extrait sur le taux de croissance évalué par l'indice de croissance (IC)

Rappelons que l'indice de croissance pour une colonie de champignon microscopique se réfère généralement à un indicateur de la vitesse à laquelle la colonie se développe et se propage dans un environnement contrôlé ; une boîte de Petri par exemple. Cet indice peut être mesuré en observant, au fil du temps, des paramètres tels que le diamètre de la colonie, sa densité ou sa forme.

Dans notre cas, et comme il a été mentionnée auparavant, l'indice de croissance a été évalué en fonction de la variation pondérale du mycélium.

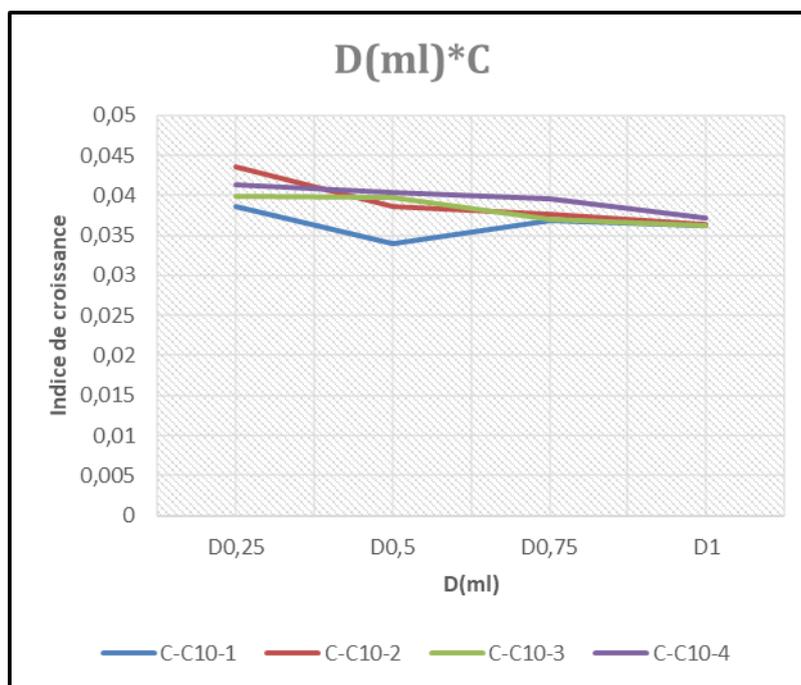


Figure 39: Relations indice antifongique – Concentration et dose de l'extrait *Trigonella foenum-graecum* L sur le taux de croissance.

L'examen du graphe illustrant ces mesures (Figure 39), avec des concentrations et doses variées de l'extrait testé, indique que les faibles doses notent effet marquant sur l'indice de croissance de la souche et ceci quel que soit la concentration du produit. Une légère régression est notée avec l'emploi de la forte dose choisie, soit $D = 1$ ml. Une simple régression de cet effet est observée lorsqu'on double la dose (de 0.25 ml à 0.5ml) et ceci avec la plus forte concentration employée ($C = 10^{-1}$ ml).

L'arrêt de la croissance total de la croissance pourrait s'expliquer par l'espace limité de la boîte de Pétri lieu de croissance de la colonie ainsi que par la diminution des nutriments dans cet espace.

Pour l'effet de la concentration et de la dose sur la vitesse de croissance, le classement de Newman-Keuls nous donne

- deux classes, pour le premier facteur, où une seule se démarque bien des autres. Il s'agit de la classe B, où $C = 10^{-1}$ ml (Tableau 11).
- et deux classes également pour le second paramètre où une seule se démarque bien des autres. Il s'agit de la classe A, où $D = 0.25$ ml (Tableau 12).

Il est à faire remarquer que la première distinctive représente la plus forte concentration, tandis que la seconde représente la plus forte dose employée.

Tableau 26: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de la concentration de l'extrait de *Trigonella foenum-graecum* L. sur le taux de croissance

Modalité	Moyenne	Groupes
$C10^{-4}$	0,040	A
$C10^{-2}$	0,039	A
$C10^{-3}$	0,038	A
$C10^{-1}$	0,036	B

Tableau 27: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de la dose de l'extrait de *Trigonella foenum-graecum* L. sur le taux de croissance

Modalité	Moyenne	Groupes
D0,25	0,041	A
D0,5	0,038	B
D0,75	0,038	B
D1	0,036	B

L'estimation de l'effet simultané de la concentration et de la dose sur la vitesse de croissance du Fol es représenté par le classement des moyennes établie par le test de Newman-Keuls au seuil 95% (Tableau13). Ce dernier fait apparaitre cinq groupes au total. Un d'entre eux est bien démarqué. Il s'agit groupe (A) qui englobe la concentration $C = 10^{-2}$ ml et la dose $D = 0.25$ ml.

Tableau 28: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet combinatoire concentration – dose de l'extrait de *Trigonella foenum-graecum* L. sur le taux de croissance

Modalité	Moyenne	Groupes		
C-C10 ⁻² *D(ml)-D 0,25	0,044	A		
-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D 0,25	0,041	A	B	
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D 0,5	0,040	A	B	
C-C10 ⁻³ *D(ml)-D 0,25	0,040	A	B	
C-C10 ⁻³ *D(ml)-D 0,5	0,040	A	B	C
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D 0,75	0,040	A	B	C
C-C10 ⁻¹ *D(ml)-D 0,25	0,039	A	B	C
C-C10 ⁻² *D(ml)-D 0,5	0,039	A	B	C
C-C10 ⁻² *D(ml)-D 0,75	0,038	B	C	
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D 1	0,037	B	C	
C-C10 ⁻³ *D(ml)-D 0,75	0,037	B	C	
C-C10 ⁻¹ *D(ml)-D 0,75	0,037	B	C	
C-C10 ⁻² *D(ml)-D 1	0,036	B	C	
C-C10 ⁻³ *D(ml)-D 1	0,036	B	C	
C-C10 ⁻¹ *D(ml)-D 1	0,036	B	C	
C-C10 ⁻¹ *D(ml)-D 0,5	0,034	C		

1.2.2. Effet de l'extrait sur le taux de croissance évalué par le taux de sporulation

Une des méthodes qu'on a appliquées pour l'évaluation de l'effet de l'extrait de *Trigonella foenum-graecum* L. sur la croissance du Fol est l'estimation du taux de sporulation (IS) du champignon. Comme pour le reste des techniques, l'apport de cet extrait a été effectué suivant des concentrations et des doses déterminées.

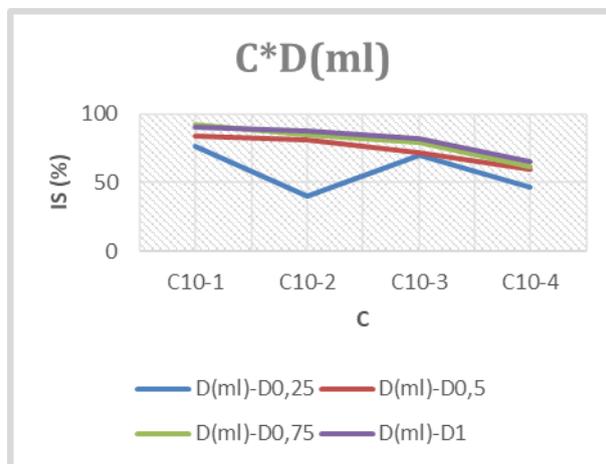


Figure 40: Effet de l'extrait de *Trigonella foenum-graecum* L. sur le taux de sporulation (IS) du Fol

L'ensemble des courbes représentant l'effet de l'extrait testé sur le taux de sporulation de la souche Fol s'intersectent par la faible action de la forte concentration ($C=10^{-1}$ ml). On effet, avec cette concentration le taux de sporulation est à son apogée et ceci quel que soit la dose utilisée. Une certaine exception est notée pour la dose $D= 0.25$ ml. Globalement on peut tirer que, d'après l'analyse des résultats exhibée par la figure 4, que le taux de sporulation de la souche fongique testée diminue sensiblement avec les fortes concentrations et doses.

Le test de de Newman-Keuls, au seuil de 95%, fait ressortir, en fonction des concentrations employées, trois classes (Tableau 14 et15). Deux de ces classes sont bien distinctives ; la classe (A), pour la concentration 10^{-1} et la classe (B) pour la concentration 10^{-4} . La distinction de la première est dû au fait que cette dernière n'avait aucun effet sur la sporulation, étant la plus faible concentration. La distinction de la seconde est due à son effet remarquable comme étant la plus forte concentration.

Tableau 29 : Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de la concentration de l'extrait sur le taux de sporulation de la souche Fol

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
C 10^{-1}	85,628	A	
C $10_{.3}$	75,969	A	B
C 10^{-2}	73,242	A	B
C 10^{-4}	58,279		B

Tableau 30: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour l'effet de la dose de l'extrait sur le taux de sporulation de la souche Fol

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
D 1	81,326	A	
D 0,75	79,381	A	
D 0,5	74,131	A	
D 0,25	58,278		B

L'effet combinatoire entre la concentration et la dose sur le taux de sporulation n'est pas assez clair. Ce constat est tiré du fait que le test de la comparaison des moyennes a englobé les différentes combinaisons en une seule classe (tableau 16).

Tableau 16: Classement établie par le test de Newman-Keuls pour L'effet combinatoire entre la concentration et la dose sur le taux de sporulation

Modalité	Moyennes estimées	Groupes
C-C10 ⁻¹ *D(ml)-D 0,75	91,980	A
C-C10 ⁻¹ *D(ml)-D 1	90,180	A
C-C10 ⁻² *D(ml)-D 1	87,720	A
C-C10 ⁻² *D(ml)-D 0,75	84,405	A
C-C10 ⁻¹ *D(ml)-D 0,5	83,760	A
C-C10 ⁻³ *D(ml)-D 1	82,160	A
C-C10 ⁻² *D(ml)-D 0,5	81,100	A
C-C10 ⁻³ *D(ml)-D 0,75	79,624	A
C-C10 ⁻¹ *D(ml)-D 0,25	76,590	A
C-C10 ⁻³ *D(ml)-D 0,5	72,140	A
C-C10 ⁻³ *D(ml)-D 0,25	69,950	A
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D 1	65,245	A
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D 0,75	61,515	A
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D 0,5	59,525	A
C-C10 ⁻⁴ *D(ml)-D 0,25	46,830	A
C-C10 ⁻² *D(ml)-D 0,25	39,742	A

Conclusion

Conclusion

Les maladies des cultures peuvent compromettre la sécurité alimentaire en réduisant la disponibilité et la qualité des aliments produits, ce qui peut affecter la nutrition et la santé des populations.

Pour lutter contre les maladies des cultures, les agriculteurs peuvent être contraints d'utiliser des pesticides et des fongicides, ce qui peut entraîner des coûts supplémentaires et des impacts environnementaux. En effet, l'utilisation intensive de produits chimiques pour contrôler les maladies peut avoir des répercussions néfastes sur l'environnement, telles que la pollution de l'eau et la perte de biodiversité.

Pour faire face à ce dilemme, Les biopesticides sont des alternatives naturelles aux pesticides chimiques, offrant plusieurs avantages intéressants dans la lutte biologique contre les ravageurs des cultures. Ils sont plus respectueux de l'environnement car ils sont souvent dérivés de sources naturelles telles que des micro-organismes, des plantes ou des minéraux. D'autre part ils sont moins toxiques, rapidement dégradable, et ne présentent pas le problème de résistance.

L'objectif principal de la présente étude est de rechercher des substances biologiques, issues de l'extrait de deux plantes médicinales : *Artemisia campestris* L. et *Trigonella foenum-graecum* L. ; et d'évaluer leur activité antifongique *in vitro*. L'efficacité de de ces extraits a été évalué par l'estimation de l'indice antifongique (AI), exprimé par la mesure du diamètre des colonies, par l'indice de croissance (IC), exprimé par la pesée du mycélium des colonies et par l'appréciation du taux de sporulation (IS).

Comme modèle d'étude, on a choisi le flétrissement fusarien de la tomate, causé par *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*.

Pour *Artemisia campestris* L, seul l'indice antifongique a été pris en considération. La quantité récoltée des feuilles de la plante était insuffisante pour appliquer le reste tests prévus.

Les résultats pour ce test montrent une bonne efficacité de cet extrait à une concentration de 10^{-4} ml avec les doses 0,25ml et 0,5ml.

Pour *Trigonella foenum-graecum* L., les résultats obtenus peuvent être compilés comme suit :

- d'après l'évaluation de l'effet de l'extrait sur le taux de croissance par l'indice antifongique (AI), l'extrait montre une bonne efficacité lorsqu'il est administré à une concentration de 10^{-1} ml, et une dose de 1 ml. Donc, Plus la concentration augmente, plus l'Indice de Croissance tend à augmenter

Conclusion

- d'après l'évaluation de l'effet de l'extrait sur le taux de croissance par l'indice de croissance (IC), l'extrait montre une bonne efficacité lorsqu'il est administré à une concentration de 10^{-2} ml, soit avec une dose de 0,25 ml et 1 ml.
- d'après l'évaluation de l'effet de l'extrait sur le taux de croissance par le taux de sporulation, l'efficacité n'est pas assez clair. Il paraît que ce facteur est non discriminant.

Dans les détails des résultats enregistrés, plusieurs anomalies ont été remarquées, reliant la concentration ou la dose d'un côté et l'efficacité des extraits testés d'un autre. En effet, dans certains cas on a noté que l'efficacité du substrat diminue avec l'augmentation de la concentration. Cela peut être s'expliquer par ce qu'on appelle l'effet parabolique d'une substance. Cet effet peut être expliqué par divers mécanismes physiologiques et pharmacologiques.

Aussi, certains résultats insinuent qu'il n'est forcément que plus l'indice de croissance de la souche fongique diminue plus l'extrait de la plante est efficace, et vice versa.

En perspective, il serait intéressant de :

- Reprendre ce sujet en utilisant d'autres techniques plus pointues afin de confirmer nos résultats.
- Tester des biofongicides à partir de plantes auxiliaires, ce qui peut être très utile car le but est au final c'est la préservation des écosystèmes.
- Choisir des doses plus précises pour éviter l'acclimatation des champignons.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques

- Ajmal, M., Hussain, A., Ali, A., Chen, H., & Lin, H. (2022). Strategies for Controlling the Sporulation in *Fusarium* spp. *Journal of Fungi*, 9(1), 10.
- Al-Snafi, A. E. (2015). The pharmacological importance of *Artemisia campestris*-A review. *Asian Journal of Pharmaceutical Research*, 5(2), 88-92.
- Alessandra Moro, B & Jean-Charles, S. (2013). Grand Guide des huiles essentielles. Ed. Hachette, 251 p. (p 27).
- Bajad, P. N., Pardeshi, A. B., & Pagore, V. P. (2019). Extraction, isolation and quantification of saponin from *Dodonaea viscosa* JACQ. *Pharma Innov J*, 8(5), 41-44.
- Bouzabata, A. (2015). Contribution a l'étude d'une plante médicinale et aromatique *Myrtus communis* L (Doctoral dissertation, Faculté de Médecine, Université Badji-Mokhtar, Annaba, Algérie.).
- Benahmed-Djilali, A., Chemoul, T., Kal, S., Nabiev, M., & Besombes, C. (2017). Propriétés d'une pommade antibactérienne formulée à base de saponines extraites des feuilles de noyer. *Phytothérapie*, 16, 1-9.
- Carole, M. (2013). 200 plantes qui vous veulent du bien, Ed. la ROUSSE, p400, 447p.
- CATIE, C (2005) .Un guide pratique des plantes Médicinales. DU VIH, I. P. Traitement Actualités 231.
- Blancard D. & al., (2009). Les maladies de la tomate, identifier, connaître, maîtriser. Ed. Quae, Paris, 576p.
- Barile, E., Bonanomi, G., Antignani, V., Zolfaghari, B., Sajjadi, S. E., Scala, F., & Lanzotti, V. (2007). Saponins from *Allium minutiflorum* with antifungal activity. *Phytochemistry*, 68(5), 596-603.
- de Sousa, D. P., Damasceno, R. O. S., Amorati, R., Elshabrawy, H. A., de Castro, R. D., Bezerra, D. P., ... & Lima, T. C. (2023). Essential oils: Chemistry and pharmacological activities. *Biomolecules*, 13(7), 1144.
- Dib, I., Angenot, L., Mihamou, A., Ziyat, A., & Tits, M. (2017). *Artemisia campestris* L.: Ethnomedicinal, phytochemical and pharmacological review. *Journal of Herbal Medicine*, 7, 1-10.

- Dhifi, W., Bellili, S., Jazi, S., Bahloul, N., & Mnif, W. (2016). Essential oils' chemical characterization and investigation of some biological activities: A critical review. *Medicines*, 3(4), 25.
- David, A & Hervé, M. (1994). Flore du suisse. Ed, Du Griffon Neuchâtel. Suisse. 428p.
- Ekwomadu, T. I., & Mwanza, M. (2023). Fusarium fungi pathogens, identification, adverse effects, disease management, and global food security: A review of the latest research. *Agriculture*, 13(9), 1810
- Duval. J, (1991). Les fusarioses de la tomate. Agr., M.Sc. Ecological Agriculture Projects.
- Elazzouzi, H., Zekri, N., Zair, T., & El Belghiti, M. A. (2020). Volatiles profiling and antioxidant activity of Moroccan *Artemisia ifranensis* J. Didier and *Anacyclus pyrethrum* Link essential oils. *Egyptian Journal of Chemistry*, 63(10), 3937-3947.
- El Aziz, M. M. A., Ashour, A. S., & Melad, A. S. G. (2019). A review on saponins from medicinal plants: chemistry, isolation, and determination. *J. Nanomed. Res*, 8(1), 282-288.
- Jimenez-Diaz, R.M., et Trapero-Casas, A. (1990). Improvement of chickpea resistance to wilt and root rots diseases. CIHEAM-Options Méditerranéenne - Série séminaires-n 9. 65-72.
- Kumar, D. (2022). Abhirath, Bhaswati Chakraborty, Anamika Roy and Patel Aditi.
- Khan, M. F., & Dwivedi, A. K. (2018). A review on techniques available for the extraction of essential oils from various plants. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 5(5), 5-8.
- KOLAI, N., SAIAH, F., & BOUDIA, A. (2012). Effet inhibiteur in vitro de l'huile essentielle d'*Artemisia herba alba* sur deux souches de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Algerian Journal of Arid Environment "AJAE"*, 2(1), 6-6.
- Kuo, P. C., Lin, T. C., Yang, C. W., Lin, C. L., Chen, G. F., & Huang, J. W. (2010). Bioactive saponin from tea seed pomace with inhibitory effects against *Rhizoctonia solani*. *Journal of agricultural and food chemistry*, 58(15), 8618-8622.
- Kothe, H.(2007). 100 plantes aromatique et médicinales, Ed. terres, P311, 355P.
- Leroux, P., & Credet, A. (1978). Document sur l'étude de l'activité des fongicides. *INRA, Versailles, France*, 26.

Références bibliographique

- Mohammedi, Z., & Atik, F. (2013). Fungitoxic effect of natural extracts on mycelial growth, spore germination and aflatoxin B1 production of *Aspergillus flavus*. *Australian Journal of Crop Science*, 7(3), 293-298.
- Nejia H. (2023). Extraction et purification des substances naturelles: comparaison de l'extraction au CO₂-supercritique et des techniques conventionnelles.
- Federico, T & Victoire M. (2013). Huiles essentielles l'encyclopédie. Ed. Judna , 342 p.
- Joshi, R. (2018). A review of *Fusarium oxysporum* on its plant interaction and industrial use. *J. Med. Plants Stud*, 6(3), 112-115.
- López-Zapata, S. P., García-Jaramillo, D. J., López, W. R., & Ceballos-Aguirre, N. (2021). Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) and *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* interaction. A review. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 24(1).
- 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.
- Ozenda, Paul. (1985). *Flore du Sahara*.
- Quézel, P., & Santa, S. (1962). Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome. II. Ed, CNRS, Paris.
- Swamy, K. R. M. (2023).). Origin, distribution, taxonomy, botanical description, genetic diversity and breeding of Tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *International Journal of Development Research*, 13(3), 62026-62046.
- Srinivas, C., Devi, D. N., Murthy, K. N., Mohan, C. D., Lakshmeesha, T. R., Singh, B., ... & Srivastava, R. K. (2019). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity—A review. *Saudi journal of biological sciences*, 26(7), 1315-1324.
- Susan, E., Ray, F., Peter, H. (2014). *Biologie végétale*, Ed. 3^{em} édition, 880p.
- Snoussi S, A. (2010). Étude de base sur la Tomate en Algérie. Rapport de mission .FAO. Rome. 53p.
- Touil, S., & Benrebaha, F. Z. (2014). Composition chimique et activité antimicrobienne des huiles essentielles d'*Artemisia herba-alba* asso et *Artemisia campestris* l de la région aride de Djelfa. *LRBPV*, 4, 40-45.

Références bibliographique

- Tlemsani, M. (2010). Contribution à l'étude du flétrissement vasculaire du pois chiche (*Cicer arietinum* L.) causé par *Fusarium oxysporum* Schelcht. Emend.& Hans. f.sp. *ciceri* (Padwick) : caractérisation, lutte biologique et comportement variétal. Mémoire de Magister, Université d'Oran. 253 p.
- Vernin, G., Merad, O., Vernin, G. M. F., Zamkotsian, R. M., & Parkanyi, C. (1995). GC-MS analysis of *Artemisia herba alba* Asso essential oils from Algeria. In *Developments in Food Science* (Vol. 37, pp. 147-205). Elsevier.
- Xavier F, Farid C, 2012, la chimie des huiles essentielles, Edition Vuibert, 274 p.
- mycorrhizal fungi colonization and growth of sand dune grasses. *Journal of Plant Biology*, 50, 358-361.
- Zélie, T. (2019). Développement de méthode d'extraction et d'analyse de molécules terpéniques a activité anti_inflamatoire. Thèse de doctorat, université strasbourg. 281p.
- Yun, K. W., Maun, A., & Kim, J. H. (2007). Effects of the aqueous extract from *artemisia campestris* ssp. *caudata* on mycorrhizal fungi colonization and growth of sand dune grasses. *Journal of Plant Biology*, 50, 358-361.

Résumé

Résumé :

Dans le but de réduire les intrants chimiques comme moyen de lutte contre les maladies des cultures, l'orientation vers les moyens de la lutte biologique par l'utilisation de biopesticides, connaît une grande envergure. Dans ce contexte, L'objectif principal de la présente étude est de recherche des substances biologiques, issues de l'extrait de deux plantes médicinales : *Artemisia campestris* L. et *Trigonella foenum-graecum* L. ; et d'évaluer leur activité antifongique *in vitro*. Après culture et récolte du matériel végétal nécessaire, une extraction de l'huile essentielle a été réalisée par hydrodistillation pour la première plante et par la méthode d'extraction directe au Soxhlet avec le méthanol comme solvant pour la deuxième. L'efficacité de de ces extraits a été évalué par l'estimation de l'indice antifongique (AI), exprimé par la mesure du diamètre des colonies, par l'indice de croissance (IC), exprimé par la pesée du mycélium des colonies et par l'appréciation du taux de sporulation (IS). Les résultats obtenus peuvent être compilés comme suit : pour *Artemisia campestris*, on note une bonne efficacité de cet extrait à une concentration de 10^{-4} ml avec les doses 0,25ml et 0,5ml. Pour *Trigonella foenum-graecum* L. l'extrait est montre une bonne efficacité lorsqu'il est administré à une concentration de 10^{-1} ml, et une dose de 1 ml, révélée par l'évaluation du premier facteur. D'autre part, son efficacité est remarquable à une concentration de 10^{-2} ml., soit avec une dose de 0,25 ml et 1 ml, notée par l'appréciation du second. Le taux de sporulation, n'a pas été concluant. Plusieurs d'autres remarques ont été soulevées et discutées.

Mots clés : Lutte biologique. Effet antifongique. *Fusarium oxysporum* f. sp *lycopersici*. *Artemisia campestris* L., *Trigonella foenum-graecum* L. Taux d'inhibition.

ملخص:

بهدف تقليل المدخلات الكيميائية كوسيلة لمكافحة أمراض المحاصيل، يتم التوجه نحو وسائل مكافحة البيولوجية من خلال استخدام المبيدات الحيوية على نطاق واسع. وفي هذا السياق، فإن الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو البحث عن المواد البيولوجية، المستمدة من مستخلص نباتين طبيين: *Trigonella* و *Artemisia Campestris* L. *foenum-graecum* L. وتقييم نشاطها المضاد للفطريات في المختبر. بعد زراعة وحصاد المادة النباتية اللازمة، تم استخلاص الزيت العطري عن طريق التقطير المائي للنبات الأول وبطريقة الاستخلاص المباشر بالسوكسلت مع الميثانول كمذيب للنبات الثاني. تم تقييم فعالية هذه المستخلصات من خلال تقدير مؤشر مضاد الفطريات ((AI)، الذي تم التعبير عنه عن طريق قياس قطر المستعمرات، من خلال مؤشر النمو ((CI)، الذي تم التعبير عنه عن طريق وزن أبطورة المستعمرات وتقييم معدل التبوغ (S). (S يمكن تجميع النتائج التي تم الحصول عليها على النحو التالي: بالنسبة لنبات *Artemisia Campestris*، نلاحظ فعالية جيدة لهذا المستخلص بتركيز 4-10 مل بجرعات 0.25 مل و 0.5 مل. بالنسبة لـ *Trigonella foenum-graecum* L. يظهر المستخلص فعالية جيدة عند تناوله بتركيز 1-10 مل، وجرعة 1 مل، والتي تم الكشف عنها من خلال تقييم العامل الأول. ومن ناحية أخرى فإن فعاليته ملحوظة عند تركيز 2-10 مل، أي بجرعة 0.25 مل و 1 مل، ويلاحظ ذلك بتقدير الثانية. كان معدل التبويض غير حاسم. وتم طرح عدة ملاحظات أخرى ومناقشتها.

الكلمات المفتاحية : مكافحة البيولوجية. تأثير مضاد للفطريات. *Fusarium oxysporum* f. sp

lycopersici sp *lycopersici*. *Artemisia Campestris* L. *Trigonella foenum-graecum* L. معدل التثبيط.

Résumé

Abstract :

In order to reduce chemical inputs as a means of combating crop diseases, the orientation towards biological control methods through the use of biopesticides is of great importance. In this context, the main objective of this study is to research biological substances from the extract of two medicinal plants: *Artemisia campestris* L. and *Trigonella foenum-graecum* L.; and to evaluate their antifungal activity in vitro. After cultivation and harvesting of the necessary plant material, an extraction of the essential oil was carried out by hydrodistillation for the first plant and by the direct Soxhlet extraction method with methanol as a solvent for the second. The effectiveness of these extracts was evaluated by estimating the antifungal index (AI), expressed by measuring the diameter of the colonies, by the growth index (IC), expressed by weighing the mycelium of the colonies and by assessing the sporulation rate (IS). The results obtained can be compiled as follows: for *Artemisia campestris*, a good efficacy of this extract is noted at a concentration of 10⁻⁴ ml with doses of 0.25 ml and 0.5 ml. For *Trigonella foenum-graecum* L. the extract is shown to be good efficacy when administered at a concentration of 10⁻¹ ml, and a dose of 1 ml, revealed by the evaluation of the first factor. On the other hand, its efficacy is remarkable at a concentration of 10⁻² ml., or with a dose of 0.25 ml and 1 ml, noted by the appreciation of the second. The sporulation rate was not conclusive. Several other remarks were raised and discussed.

Key words: Biological control. Antifungal effect. *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici*. *Artemisia campestris* L., *Trigonella foenum-graecum* L. Inhibition rate.