

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

جامعة عمار تليجي بالأغواط

UNIVERSITE AMAR TELIDJI LAGHOUAT

كلية العلوم

FACULTE DES SCIENCES

قسم البيولوجيا

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE



Projet de fin d'étude

En vue de l'obtention du diplôme de Master

Filière : Sciences Biologiques

Option : Biochimie appliquée

THEME

**Évaluation du pouvoir anti-mycopathogène de quelques
extraits de plantes de la région Laghouat**

Présenté par :

- ATTACHI Kaouther Ihssane
- BEKKOUCHE Wahiba
- BENKOUIDER Imane

Devant le jury composé de :

M. OUINTEN Mohamed
M.MESSAOUDI Omar
Mme ELHOUITI Fatiha
Mlle ZEGRIR Anfal

Professeur (Université Amar Téliidji, Laghouat)
MCA (Université Amar Téliidji, Laghouat)
MCA (Université Amar Téliidji, Laghouat)
Doctorante (Université Amar Téliidji, Laghouat)

Président
Examinateur
Rapporteur

**Soutenue publiquement le 03/07/2024
Année universitaire 2023-2024**

Résumé

L'objectif principal de notre étude consiste à évaluer, *in vitro*, le pouvoir antimycopathogène de quelques extraits des parties aériennes des plantes *Neatostema apulum* et *Helianthemum ruficomum* vis-à-vis de trois espèces fongiques, *Fusarium oxysperum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*. Cette évaluation a été réalisée en présence de différentes concentrations des deux extraits (hexanique et d'acétate d'éthyle) en utilisant la méthode de contact directe dans un milieu solide. Les résultats indiquent que l'extrait d'acétate d'éthyle démontre une forte activité antifongique, avec des taux d'inhibition compris entre 46,25 % et 36,25 % observée dans la souche *F. culmorum* et entre 28,75% et 32,5% dans la souche *F. oxysperum* et entre 15% et 37,5% observé dans la souche *F. graminearum*. En revanche, l'extrait hexanique présente une activité modérée, avec des taux d'inhibition allant de 32% à 30% observée dans la souche *F. culmorum* et compris entre 23,75% et 11,25% observé chez la souche *F.oxysperum* et absent dans la souche *F.graminearum*, pour une concentration de 30 µL/ml. Cette disparité est attribuable aux différences dans la composition chimique des deux plantes et à la résistance des souches fongiques.

Mots clé: *Neatostema apulum*, *Helianthemum ruficomum*, Activité antifongique, *Fusarium*.

Abstract

The main objective of our study is to evaluate, *in vitro*, the anti-mycopathogenic power of some extracts of the aerial parts of the plants *Neatostema apulum* and *Helianthemum ruficomum* vis-à-vis three fungal species, *Fusarium oxysperum*, *Fosarium culmorum*, and *Fusario graminearum*. This evaluation was carried out in the presence of different concentrations of the two extracts (hexane and ethyl acetate) using direct contact methode in a solid medium. The results indicate that ethyl acetate extract demonstrates high antifungal activity, with inhibition rates ranging from 46.25% to 36.25% observed in *F. culmorum* strain and between 28.75% and 32.5% for *F. oxysperum* and between 15% to 37.5% observed with *F. graminearum*. In contrast, the hexane extract has moderate activity, with inhibition rates ranging from 32% to 30% observed in the *F. culmorum* strain, and between 23.75% and 11.25% observed for the *F. oxysperum* strains, and absent in the strain *F.graminearum*, at a concentration of 30 µL/ml. This difference is attributable to differences in the chemical composition of the two plants and to the resistance of the fungal strains.

Key words: *Neatostema apulum*, *Helianthemum ruficomum*, Antifungal activity, *Fusarium*.

ملخص

الهدف الرئيسي لدراستنا هو تقييم، في المختبر، القوة المضادة للأمراض الفطرية لبعض مستخلصات الأجزاء الهوائية من نباتات *Neatostema apulum* و *Helianthemum ruficomum* ضد ثلاثة أنواع من الفطريات، *Fusarium oxysperum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*. تم إجراء هذا التقييم بوجود تراكيز مختلفة من المستخلصين (الهكسانيك وخلات الإيثيل) باستخدام طريقة الاتصال المباشر في وسط صلب.

تشير النتائج إلى أن مستخلص أسيتات الإيثيل يظهر نشاطاً قوياً مضاداً للفطريات، حيث تتراوح معدلات التثبيط بين 46.25% و 36.25% في سلالة *F. culmorum* وبين 28.75% و 32.5% في سلالة *F. oxysperum* وبين 15% و 37.5% لوحظت في سلالة *F. graminearum* من ناحية أخرى، يظهر المستخلص الهكساني نشاطاً معتدلاً، مع معدلات تثبيط تتراوح بين 32% و 30% في سلالة *F. culmorum* وبين 23.75% و 11.25% في سلالة *F. oxysperum* وتغيب في سلالة *F. graminearum*، بتركيز 30 ميكرو لتر/ مل. ويعود هذا التباين إلى الاختلافات في التركيب الكيميائي للنباتين ومقاومة السلالات الفطرية

الكلمات المفتاحية: *Neatostema apulum*، *Helianthemum ruficomum*، النشاط المضاد للفطريات،

Fusarium

Dédicace

À l'aide de dieu tout puissant, qui m'a tracé le chemin de ma vie, J'ai pu réaliser ce travail que je dédie :

À la lumière de mes yeux, mon ange, l'ombre de mes pas et le bonheur de ma vie ma mère la lune de mes nuits et le soleil de mes jours, à celle qui m'a toujours soutenu qui m'apporté son appui durant toutes mes années d'étude, pour son sacrifice et soutien qui m'ont donné confiance, courage et sécurité.

Et à mon cher père qui m'appri le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour son sacrifice ses conseils et ses encouragements, et son amour et leur prière tout au long de mes études et mes recherches.

Je ne cesserais jamais de remercier mon dieu pour m'avoir donnée une mère et un père comme vous.

Mes adorables sœurs *Roufida*, *Imane*, et *Nour el houda* pour leurs encouragements permanents, et leurs amour et soutien moral, et vos conseils tout au long de mon parcours universitaire.

À mes collègues *Wahiba* et *Imane* qui m'ont aidé à achever ce mémoire merci Pour leur amour, leurs encouragements et leur soutien moral tout au long de la réalisation de ce mémoire.

À tous mes professeurs du primaire jusqu'au niveau universitaire.

À ceux qui m'aiment, qui font partis de ma vie. à tous ceux qui m'ont consacré temps, patience, et conseils surtout dans les moments difficiles., à toute mes amies sans exception et à tous ceux qui m'ont soutenu durant tout le chemin que j'ai dû passer pour en arriver là où j'en suis aujourd'hui et à tous ceux qui m'ont aidé même avec un mot Un grand merci pour vos encouragements et votre patience .

Kaouthar

Dédicace

Avec l'aide de Dieu, on a pu réaliser ce modeste travail que je dédie À :

À mes très chers parents qui ont été toujours à mes côtés tout au long de ces longues années d'études et dans les moments les plus difficiles de ma vie, et qui m'ont appris le sens de la persévérance, pour leur amour, leur soutien inestimable, leurs sacrifices, leur aide, leurs précieuses conseils, leurs encouragements et leurs prières, Pour tous les efforts qu'ils ont déployés pour mon instruction et mon bien être. Le témoignage de reconnaissance qu'ils trouvent ici est l'expression de ma profonde gratitude. Que dieu vous protège et vous accorde une longue vie.

À mon cher frère Mohammed Islem, et mes chères Sœurs Maria et Fasmine Pour leur soutien moral et leur encouragement Permanent.

À mes chers grands-parents paternels et maternels et à toute ma famille pour leurs encouragements et leur soutien moral.

À mes amis Imane et Kaouthar pour leur soutien moral, leur patience et leur sincérité pour réaliser ce travail.

À tous ceux qui m'aiment et m'ont soutenu de près ou de loin et m'ont souhaité du succès.

Wahiba

Dédicace

Avec l'aide de Dieu, on a pu réaliser ce travail que je dédie À :

À mon père, aucune dédicace ne saurait

Exprimer l'amour, l'estime, le dévouement, le respect que j'ai toujours eu pour toi.

Rien au monde ne vaut l'effort fourni jour et nuit pour mon éducation et mon bien être.

Ce travail est le fruit des sacrifices consentis pour mon éducation

À Ma mère, qui a œuvré pour ma réussite, de par son amour, son soutien, tous les sacrifices consentis et ses précieux conseils, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.

Reçois à travers ce travail, aussi modeste soit-il, l'expression de mes sentiments et de mon éternelle gratitude, Que Dieu prolonge votre vie.

A mes sœurs Khadija et Samia, et mes frères Bachir et Foussef

À la femme de mon frère

Pour votre soutien moral et vos encouragements.

À la petite fille, Fatima Al-Zahra.

À toute ma famille.

À mon ami Wahiba et cher Kaouthar, merci pour

Votre soutien moral, votre patience et votre sincérité dans la réalisation de ce travail.

Imane

Remerciement

Avant toute choses nous tenons à remercier ALLAH le tout puissant de nous avoir donné la santé, la volonté, la force, le courage et la patience pour mener à terme nos formations et pourvoir réaliser ce travail de recherche.

*On tient à exprimer nos vifs remerciements à notre promotrice **Dr ELHOUITI Fatiha** pour avoir accepté d'encadrer notre mémoire de fin d'étude. Pour l'aide précieuse qu'elle nous a apporté, pour ses orientations, pour ses remarques ses efforts et ses conseils avisés, qui nous ont permis de mener à bien ce travail. Ainsi que notre Co promotrice **Mlle ZEGRIR Anfal** pour sa disponibilité, sa patience conseille aviser son aide et son soutien précieux, ses remarques et son encouragement.*

*Nos remerciements vont aussi à **Mlle AISSAOUI Abir** pour son orientation son aide, ses conseils et son encouragement.*

Nos remerciements s'adressent à l'ensemble des membres de jury d'avoir bien voulu accepter de juger ce modeste travail :

***Pr. OUINTEN Mohamed** qui nous a fait l'honneur de présider ce Jury.*

***Dr. MESSAOUDI Omar** qui a bien voulu examiner ce travail*

Nous tenons à remercier nos familles, nos parents qui nous ont soutenus durant tous ses années d'études et qui nous ont encouragés sans cesse.

Également nous remercions tous le personnel du laboratoire du département de Biologie, Université de Amar Telidji, LAGHOUAT

*On adresse nos sincères remerciement à **Pr. YOUSFI Mohamed** de nous avoir donné l'accès au Laboratoire de recherche des Sciences Fondamentales. Nous souhaiterions également remercier nos enseignants du département de Biologie. Et finalement un grand merci à tous ceux qui nous ont aidé de loin ou de près pour accomplir ce travail.*

Table de matière

Liste des Abréviations.....	i
Liste des Tableaux.....	ii
Liste des figures	iii
INTRODUCTION.....	2
I ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE	6
I.1 GENERALITES SUR LES PLANTES MEDICINALES	6
I.1.1 Le genre <i>Neatostema</i> :	7
I.1.2 Le genre <i>Helianthemum</i>	7
I.1.3 L'espèce <i>Neatostema apulum</i> (L.)	7
I.1.3.1 Place dans la systématique	8
I.1.3.2 Synonymes de la plante	9
I.1.4 L'espèce <i>Helianthemum ruficomum</i>	9
I.1.4.1 Place dans la systématique	10
I.1.4.2 Synonymes de la plante	11
I.1.4 Les métabolites secondaires et leurs intérêts thérapeutiques.....	11
I.2 TRAVAUX ANTERIEURS.....	12
I.2.1 <i>Neatostema apulum</i>	12
I.2.2 <i>Helianthemum ruficomum</i>	13
I.3 ACTIVITE ANTIFONGIQUE	14
I.4 LES CHAMPIGNONS PHYTOPATHOGENES	15
I.4.1 Pouvoir pathogène	15
II MATERIELS ET METHODES	18
II.1 MATERIELS BIOLOGIQUES	18
II.1.1. Matériel végétal	18
II.1.1.1 Collectes et extraction	18
II.1.2 Description botanique des espèces étudiées	18
II.1.3 Répartition géographique des espèces étudiées.....	20
II.2 MATERIELS FONGIQUES	21
II.2.1 Le genre <i>Fusarium</i>	21
II.2.2 <i>Fusarium oxysporum</i>	22
II.2.3 <i>Fusarium graminearum</i>	22

II.2.4 <i>Fusarium culmorum</i>	23
II.3 MATERIELS EXPERIMENTALES	25
II.3.1 Evaluation de l'activité antifongique par la méthode de contact direct :.....	25
II.3.2 Préparation des souches :.....	25
II.3.3 Protocole :.....	25
II.3.4 Calcul du pourcentage d'inhibition I% :.....	29
II.3.5 L'analyse statistique :.....	29
III. RESULTATS ET DISCUSSIONS	31
III.1 EVALUATION DE L'ACTIVITE ANTIFONGIQUE DES EXTRAITS DES DEUX PLANTES	31
III.1.1 Evaluation de la croissance mycélienne vis-à-vis des différents extraits	31
III.1.1.1 Extrait Hexanique	32
III.1.1.2 Extrait d'acétate dethyle	35
III.1.2 Evaluation du taux d'inhibition vis-à-vis de des différents extraits	39
III.1.2.1 L'effet de l'extrait hexanique	39
III.1.2.2 L'effet de l'extrait d'acétate	41
III.2 VALORISATION DE L'ACTIVITE ANTIFONGIQUE DES LES EXTRAITS DES DEUX PLANTES	45
DISCUSSION	46
CONCLUSION	50
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	53

Abréviation

% : Pourcentage

812 : Souche de *Fusarium graminearum*

Act: Acétate d'éthyle

AC-O-Et : Acétate d'éthyle

Ag : Agar-agar

C : Concentration

CMI : Concentration minimal inhibitrice

DON : Déoxynivalénol

Ex : Extrait

F. culmorum: *Fusarium culmorum*

F. graminearum: *Fusarium graminearum*

F. oxysperum: *Fusarium oxysperum*

FHB: *Fusarium* Head Blight

FOP: Souche de *Fusarium oxysperum*

Hex: Hexane

H. ruficomum: *Helianthemum ruficomum*

H. r. *Helianthemum ruficomum*

I (%): Pourcentage d'inhibition

N. apulum: *Neatostema apulum*

N. a. *Neatostema apulum*

NIV: Nivalénol

PDA: Potato Dextrose Agar

T7 : Souche de *Fusarium culmorum*

ZEN : Zéaralénone

Liste des Tableaux

Tableau 1 : les travaux antérieurs sur la plante <i>Neatostema apulum</i>	12
Tableau 2 : les travaux antérieurs sur la plante <i>Helianthemum ruficomum</i>	13
Tableau 3 : La description complète des espèces étudiées.....	18

Liste des figures

Figure 1 : Photos illustrâtes <i>Neatostema apulum</i> L. (Plimiri et Rhodes, 2015).....	8
Figure 2: Schéma représenter les synonymes de <i>Neatostema apulum</i> , réalisé par le logiciel Canva (Johnston, 1953).....	9
Figure 3: Photos illustrant <i>Helianthemum ruficomum</i>	10
Figure 4 : Schéma représenter les synonymes de <i>Helianthemum ruficomum</i> , réalisé par le logiciel Canva(Chemam et al., 2017; Ibn Tattou, 2001; Sweet, 1830).....	11
Figure 5 : photographies illustrant les différentes parties de la plante <i>Helianthemum ruficomum</i> prises dans les Plateaux du Maroc oriental.....	19
Figure 6 : photos illustrant les différentes parties de la plante <i>Neatostema apulum</i>	20
Figure 7 : La répartition géographique de l'espèce <i>Neatostema apulum</i> (Mifsud, 1953) ...	20
Figure 8 : Répartition géographique de l'espèce <i>Helianthemum ruficomum</i>	21
Figure 9: photographie illustrant la souche FOP (<i>Fusarium oxysperum</i>)	22
Figure 10: Spore de <i>Fusarium oxysperum</i>	22
Figure 11: photographie illustrant la souche 812 (<i>fusarium graminearum</i>).	23
Figure 12: Spore de <i>Fusarium graminearum</i> (Leslie & Summerell, 2006).....	23
Figure 13: photographie illustrant la soucheT7 (<i>Fusarium culmorum</i>)	24
Figure 14: les spores du <i>F. culmorum</i> (Barron,2013)	24
Figure 15: Schéma du protocole expérimental pour la dilution des extraits, conçu à l'aide du logiciel Chemix.org.....	26
Figure16: Photographie représentant(a) un tube à essai contenant du PDA ; (b) des boîtes de Petri contenant un mélange de PDA et une dilution de l'extrait, (c)une boîte de Petri repiquée avec un disque mycélien.	27
Figure 17: Protocole expérimentale de l'activité antifongique des extraits testés vis à vis des souches fongiques réalisé en utilisant le logiciel Bio-Rendre.	27
Figure 18 : Illustration de la méthode de contact direct (Sifi, 2010).....	28

Figure 19: Cinétique de la croissance mycélienne de <i>F. oxysporum</i> en présence de différentes concentrations de l'extrait hexanique des deux plantes étudiées.....	32
Figure 20: Cinétique de la croissance mycélienne de <i>F. culmorum</i> en présence de différentes concentrations de l'extrait hexanique des deux plantes étudiées.....	33
Figure 21: Cinétique de la croissance mycélienne de <i>F. graminearum</i> en présence de différentes concentrations de l'extrait hexanique des deux plantes étudiées.....	34
Figure 22: Cinétique de la croissance mycélienne de <i>F. oxysporum</i> , en présence de différentes concentrations de l'extrait d'acétate des deux plantes étudiées.....	35
Figure 23: Cinétique de la croissance mycélienne de <i>F. culmorum</i> , en présence de différentes concentrations de l'extrait d'acétate des deux plantes étudiées.....	36
Figure 24: Cinétique de la croissance mycélienne de <i>F. graminearum</i> , en présence de différentes concentrations de l'extrait d'acétate des deux plantes étudiées.....	37
Figure 25: Les taux d'inhibition de l'extrait hexanique de la plante <i>Helianthemum ruficomum</i> sur la croissance mycélienne des souches fongiques étudiées.....	40
Figure 26: Les taux d'inhibition de l'extrait hexanique de la plante <i>Neatostema apulum</i> sur la croissance mycélienne des souches fongiques étudiées.....	41
Figure 27: Les Taux d'inhibition de l'extrait d'acétate de la plante <i>Helianthemum ruficomum</i> sur la croissance mycélienne des souches fongiques étudiées.....	42
Figure 28: Les Taux d'inhibition de l'extrait d'acétate de la plante <i>Neatostema apulum</i> sur la croissance mycélienne des souches fongiques étudiées.....	43
Figure 29: comparaison des taux d'inhibition des extraits hexanique et d'acétate d'éthyle des deux plantes <i>Neatostema apulum</i> et <i>Helianthemum ruficomum</i> vis à vis des trois souches testées enregistrés à la concentration 30µL /ml.....	44

Introduction

Introduction

La lutte contre les champignons phytopathogènes repose principalement sur l'utilisation de produits chimiques, mais l'emploi intensif et non raisonné de ces produits a entraîné de nombreux effets non intentionnels tels que la contamination de la biosphère ou de la chaîne alimentaire. Afin de remédier à cette situation, il est impératif de mener des recherches approfondies en vue d'identifier des méthodes alternatives de préservation des végétaux, moins tributaires des produits chimiques et plus respectueuses de l'environnement (**Prapagdee et al., 2008**). C'est pourquoi les chercheurs s'efforcent de trouver des solutions moins nocives, en se tournant notamment vers la lutte biologique à travers l'utilisation de substances naturelles antifongiques comme alternative aux produits chimiques. Les biopesticides d'origine végétale, comme mentionné par (**Grainge & Ahmed, 1988**)

D'un point de vue économique, le genre *Fusarium* est reconnu comme un agent phytopathogène capable de provoquer des maladies chez diverses plantes. Il affecte des cultures telles que les légumes, les plantes ornementales, de nombreux arbres fruitiers, le blé et la tomate (**Lauzon et al., 2007 ; Hibar et al., 2007**).

Les plantes ont toujours été intégrés à la vie quotidienne de l'homme, étant utilisés pour l'alimentation et les soins de santé, ce qui les positionne comme des éléments fondamentaux de la biodiversité. L'histoire des plantes aromatiques et médicinales est étroitement liée à l'évolution des civilisations à travers le monde (**Mpondo et al., 2015**).

Les plantes renferment divers composants chimiques qui se répartissent en des grands groupes : les protides, les glucides, les lipides, les acides nucléiques d'une part, les pigments, les tanins, les polymères, les hormones et les huiles essentielles d'autre part. Les premiers sont les constituants du métabolisme primaire. Ils existent en permanence au sein de la plante. Les autres proviennent du métabolisme secondaire et ne sont pas toujours présents chez tous les végétaux (**Bouamer et al., 2005**). De nombreuses plantes, telles que les plantes aromatiques, médicinales et les épices, possèdent des propriétés biologiques remarquables (**Mohammedi, 2006**).

Les plantes synthétisent une grande variété de composés, parmi lesquels les métabolites secondaires, qui présentent une diversité structurale considérable. Ces

composés ont la capacité d'inhiber l'invasion et la croissance des micro-organismes pathogènes, offrant ainsi un avantage de survie aux plantes productrices. Les polyphénols, tels que les flavonoïdes, les tanins et les coumarines, font partie de ces métabolites secondaires. Il est envisagé que ces composés puissent être exploités pour le traitement efficace de la maladie du Bayoud, sans causer de dommages à l'environnement. Cette hypothèse constitue le fondement de l'étude menée par (Zeghouane, 2014).

L'Algérie, de par sa localisation biogéographique, présente une végétation abondante et variée. Un très grand Un grand nombre de diversité écologique et floristique ainsi que de plantes aromatiques y croissent naturellement, totalisant plus de 3000 espèces appartenant à diverses familles botaniques. Parmi celles-ci, 15 % des espèces endémiques demeurent largement méconnues tant sur le plan phytochimique que pharmacologique (Hanifi, 1991).

Dans cette optique, et dans le contexte de la valorisation de la flore algérienne, notre attention s'est portée sur des espèces spontanées à vocation médicinale du Sahara, en raison du manque de recherches sur ces espèces et de l'absence d'études concernant l'évaluation de l'activité inhibitrice de *Fusarium* par les extraits de ces plantes. De plus, il convient de noter que cette plante, largement répandue en Algérie et plus spécifiquement dans la région de Laghouat, notamment à Gueltet Sidi Saad, n'a pas fait l'objet d'investigations approfondies.

Neatostema apulum et *Helianthemum ruficomum* appartiennent à la famille des plantes à fleurs et se caractérisent par leur nature herbacée annuelle.

Dans ce cadre, l'objectif principal de cette étude consiste à évaluer *in vitro* l'efficacité anti-mycopathogène de divers extraits des parties aériennes des plantes *Neatostema apulum* et *Helianthemum ruficomum* sur la croissance de trois espèces fongiques, à savoir *Fusarium oxysporum*, *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum*. Cette évaluation vise à déterminer leur potentiel en tant qu'agents de biocontrôle naturels (biofongicides), en tant qu'alternatives aux produits chimiques conventionnellement utilisés en agriculture, et à évaluer leur activité antifongique par le biais de la méthode de contact direct.

Les différentes sections de cette étude seront abordées en suivant le plan ci-dessous :

- ✓ La première section de ce mémoire portera sur l'étude de la littérature existante ;
- ✓ La deuxième partie exposera la méthodologie expérimentale employée ;

- ✓ La troisième partie sera dédiée à la présentation des résultats obtenus ainsi qu'aux discussions qui en découlent.
- ✓ En dernier lieu, une conclusion globale sera rédigée pour récapituler l'ensemble des résultats obtenus, ainsi que les perspectives à envisager.

Etude

Bibliographique

I Etude bibliographique

I.1 Généralités sur les plantes médicinales

Depuis des millénaires, l'homme utilise les plantes trouvées dans la nature pour traiter et soigner toutes sortes de maladies (SANOGO, 2006). L'utilisation des plantes en phytothérapie est très ancienne et connaît actuellement une région d'intérêt public, selon l'Organisation Mondiale de la Santé. Les produits phytochimiques étaient utilisés en médecine humaine traditionnelle bien avant l'histoire (OMS, 2003).

La plante, organisme vivant, marque son identité par des spécificités morphologiques, à l'origine de la classification botanique, mais aussi biochimiques, liées à des voies de biosynthèses inédites, mettant en lumière l'intérêt de l'usage des plantes médicinales. (D'Amelia *et al.*, 2021).

Le champignon menace les humains, les animaux et les plantes. Par conséquent, l'utilisation d'engrais organiques peut être meilleure que l'utilisation de pesticides car ils se dégradent rapidement, ne polluent pas l'environnement et ne contiennent pas de substances résiduelles ou phytotoxiques (Boisneau & Toubon, 2009).

Les plantes médicinales et aromatiques jouent un rôle important dans la lutte naturelle contre les champignons, c'est pourquoi de nombreuses études ont été réalisées sur l'effet des plantes ou parties de plantes sur la charge fongique ou la production de mycotoxines (Kwazou *et al.*, 2009).

La principale caractéristique des plantes médicinales est la composition complexe de composés (composés phénoliques, alcaloïdes, etc.) liés à de nombreuses fonctions d'interaction de l'activité totale. Ces composés sont utilisés comme agents anti-inflammatoires, antifongiques et antiseptique (Bourgaud *et al.*, 2001).

Les plantes médicinales contiennent une infinité de produits métaboliques secondaires. Ces composés se retrouvent partout dans les plantes. Il a une activité antioxydante qui peut éliminer les radicaux libres, empêchant la peroxydation lipidique en réduisant les radicaux hydroxyles et le superoxyde (Delattre *et al.*, 2005).

Leur effet dû à leurs composés (métabolites primaires ou secondaires) ou à la synergie entre les différents composés existants (SANOGO, 2006).

L'Algérie de par son climat (méditerranéen, aride) ainsi que la nature de ses sols, abrite une flore particulièrement abondante en plantes médicinales et aromatiques dont la plupart existe à l'état spontané. Il est particulièrement intéressant de développer la valorisation des plantes médicinales et aromatiques, car cela représente une source de produits à haute valeur ajoutée (Felidj *et al.*, 2010).

I.1.1 Le genre *Neatostema*:

Neatostema appartient à la famille des Boraginacées la famille des plantes à fleurs (angiospermes dicotylédones) qui comprend environ 148 genres et plus de 2 700 espèces (Kumar *et al.*, 2020), Il possède une seule espèce *N. apulum* (L.) répartis dans Méditerranée et Macaronésie (Kadereit & Bittrich, 2016).

I.1.2 Le genre *Helianthemum*

Le genre *Helianthemum* appartient à la famille des *Citaceae*, contient environ 110 espèces certaines d'entre elles sont considérées comme des plantes médicinales importantes utilisées dans de nombreux pays à des fins différentes (Chemam *et al.*, 2017). Beaucoup de ces espèces poussent dans des régions aux climats arides ou semi-arides (Pérez-García & González-Benito, 2006). réparti et concentré dans la région méditerranéenne et présente dans et autour de la péninsule ibérique et une seule espèce se trouve dans les steppes asiatiques et trois espèces en Grande-Bretagne (Rapparini & Peñuelas, 2014) et quelques espèces se rencontrent dans l'ouest Sahara, également en Amérique (Brizicky, 1964), certaines d'entre elles ont une distribution plus excentrique les unes vers le nord européenne et les autres vers l'Asie centrale (Raynaud, 1984)

L'Hélianthème présente la plus grande variation dans les traits floraux comme la couleur et la taille des pétales, le nombre d'étamines et ovules, forme et taille du style, et l'ouverture des fleurs. Tous les espèces d'*Helianthemum* présentent des disques voyants, ouverts, fleurs inodores, principalement pollinisées par des pollinisateurs généralistes appartenant aux Hyménoptères et Coléoptères (Martín-Hernanz *et al.*, 2021). Certains espèces européennes d'*Helianthemum* sont autogame (Brizicky, 1964).

I.1.3 L'espèce *Neatostema apulum* (L.)

Neatostema apulum est une plante Thérophyte herbacées, annuelle de 3 à 20 cm dressée ou ascendante, des coteaux arides de la région méditerranéenne (sud de Europe, Asie occidentale et Afrique du Nord) (**Chézeau & Lahondère, 1986**)

D'après le nom de *Neatostema apulum* L. est composé de deux mots :

Neatostema : emprunté au grec classique "naetos" pour étamine basse et, dans ce contexte, fait référence à la position des étamines comme trait distinctif du genre *Neatostema*

Apulum : emprunté au latin "apulus", Apulia signifie Pouilles (région du sud de l'Italie] = de ou des Pouilles, qui vient des Pouilles (**Johnston, 1953**).



Figure 1 : Photos illustrâtes *Neatostema apulum* L. (**Plimiri et Rhodes, 2015**)

I.1.3.1 Place dans la systématique

Nous avons établi la systématique de *Neatostema apulum* selon Angiosperm Phylogeny Group APG IV. (**APG, 2016**).

- **Règne** : *Plantae*
- **Sous-Règne** : *Viridaeplantae*
- **Embranchement** : *Streptophyta*
- **Classe** : *Equisetopsida*
- **Sous-Classe** : *Magnoliidae*

•Ordre : Boraginales

•Famille : *Boraginaceae*

•Genre : *Neatostema*

•Espèce : *Neatostema apulum* (L)

I.1.3.2 Synonymes de la plante

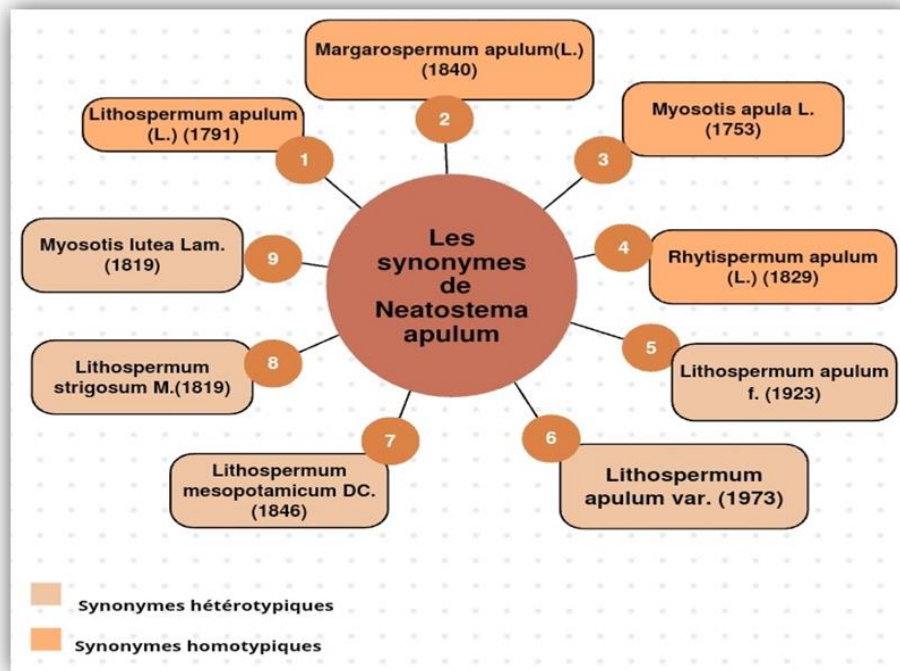


Figure 2: Schéma représentant les synonymes de *Neatostema apulum*, réalisé par le logiciel Canva (Johnston, 1953)

I.1.4 L'espèce *Helianthemum ruficomum*

Le *Helianthemum ruficomum* illustré dans la (figure 3) est un arbuste au Tige suffrutescentes appelé aussi *Cistus ruficomus* et originaire du Nord de l'Afrique (Sweet, 1830).

Est une espèce endémique du Sahara septentrional et son nom scientifique *Helianthemum ruficomum* (Viv) Spreng (Chemam et al., 2017).

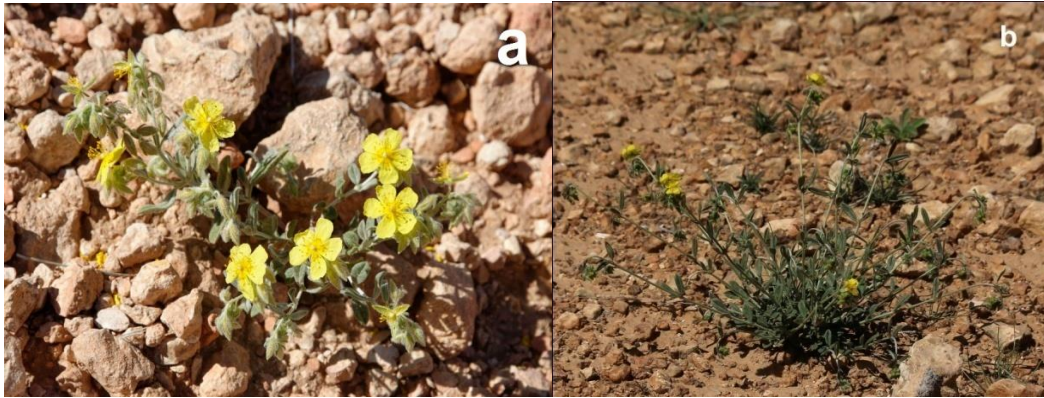


Figure 3: Photos illustrant *Helianthemum ruficomum*.

a. Les fleurs ; b. Le pied de *Helianthemum ruficomum*

(Bakali, 2017)

I.1.4.1 Place dans la systématique

- Règne : *Plantae*
- Embranchement : Tracheophytes (plantes à graines)
- Sous embranchement : Angiospermes (plantes à fleurs)
- Classe : Magnolipsida (Dicotylédones)
- Sous classe : Magnoliidae
- Ordre : Malvales
- Famille : *Cistaceae*
- Genre : *Helianthemum* Mill.
- Espece: *Helianthemum ruficomum*

<https://www.gbif.org/species/8155611>

I.1.4.2 Synonymes de la plante

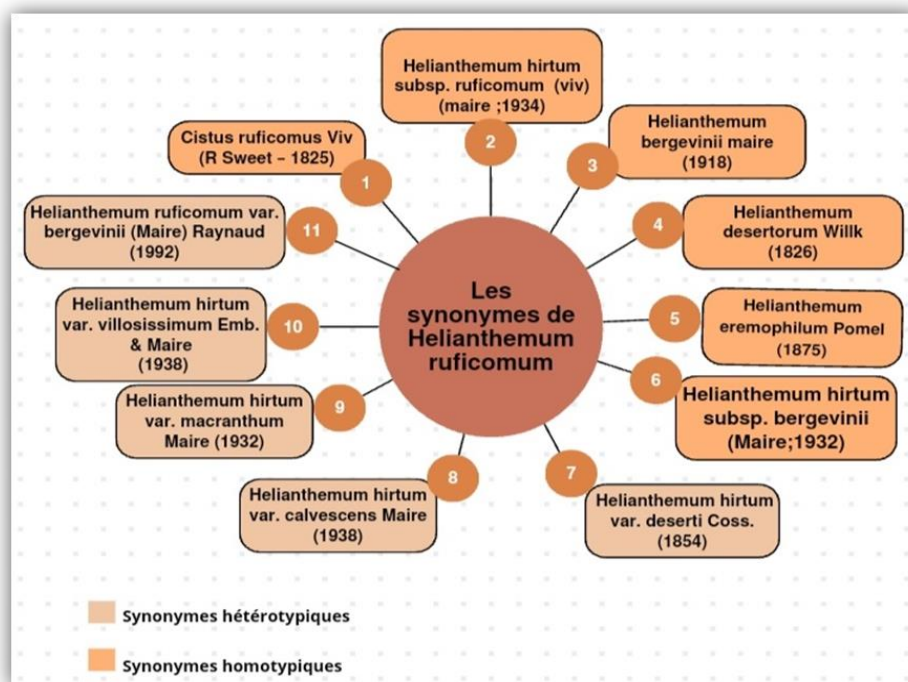


Figure 4 : Schéma représenter les synonymes de *Helianthemum ruficomum*, réalisé par le logiciel Canva(Chemam et al., 2017; Ibn Tattou, 2001; Sweet, 1830)

I.1.4 Les métabolites secondaires et leurs intérêts thérapeutiques

Les plantes ont une capacité remarquable de produire des métabolites secondaires, sont des composés qui ne sont pas directement impliqués dans leurs propres processus métaboliques. Ces métabolites secondaires, bien que non essentiels à la survie des plantes, possèdent des propriétés thérapeutiques exploitées dans le domaine de la médecine humaine.(Guillaume & Charrouf, 2005)

Afin de se protéger, les plantes ont la capacité de générer des métabolites secondaires qui servent de mécanisme de défense contre divers herbivores, micro-organismes pathogènes et pressions environnementales. Ces métabolites secondaires peuvent être classés en différents groupes principaux en fonction de leur biosynthèse, notamment les composés phénoliques, les terpènes et les stéroïdes, ainsi que les composés azotés tels que les alcaloïdes. Au sein de chacun de ces groupes, il existe une vaste gamme de composés qui présentent une gamme diversifiée d'effets sur la biologie humaine(Krief, 2003; Mazid et al., 2011).

Les métabolites secondaires sont utilisés dans de nombreux domaines et sont largement utilisés à des fins médicales, pharmaceutiques ou agricoles (Vinale et al., 2008).

Il existe de nombreux types de métabolites secondaires dotés de structures chimiques diverses et complexes et d'un grand nombre d'activités biologiques, notamment :

- ✚ La capacité de tuer ou d'inhiber la croissance de bactéries (ici nous appelons antibiotiques), de champignons (antifongiques) ou d'autres organismes eucaryotes tels que les protistes ou les helminthes (antiparasitaires).(**Haas, 2017**)
- ✚ La modification de la structure moléculaire de ces composés améliore leur activité anticancéreuse et leur sélectivité, ainsi que leur capacité d'absorption, de distribution, de métabolisme et d'excrétion, tout en réduisant leur toxicité et leurs effets secondaires indésirables (**Bhatti et al., 2022**).
- ✚ Les extraits de plantes ont un effet bénéfique sur la santé car ils contiennent de nombreux composés à effet anti-radicalaire, comme des phénols, des anthocyanes, des caroténoïdes et des vitamines. Les composés phénoliques antioxydants courants jouent un rôle important dans la promotion et la prévention de la formation de radicaux libres et sont principalement connus sous le nom d'acides phénoliques et de flavonoïdes. Ces composés ont effets biologiques puissants, tels que anticancéreux, antibactériens, antiviraux et antioxydants (**Benabderrahim et al., 2019**)

Les composés phénoliques, notamment les flavonoïdes, seraient impliqués dans un certain nombre de fonctions :

- Constituent un système de défense contre les organismes micro pathogènes
- Protègent les plantes contre les radiations UV en absorbant à la fois ces radiations et les espèces réactives de l'oxygène formées.
- Contribueraient à la fertilité des plantes et à la germination du pollen
- Ils assurent la pigmentation des fleurs, des fruits et des graines afin d'attirer les pollinisateurs et les disperseurs de graines.(**Alleche, 2017**)

I.2 Travaux antérieurs

I.2.1 *Neatostema apulum*

Tableau 1: les travaux antérieurs sur la plante *Neatostema apulum*.

Travaux antérieurs réalisés	Référence
Une description botanique complète de <i>Neatostema apulum</i> . Et elle est considérée comme une espèce très rare et menacée.	(S Mifsud – Jour et Arnold Arb ,1953)
De nouvelles séquences des régions d'ADN sélectionnées ont été générées dans ce étude portant sur 180 espèces de <i>Lithospermeae</i> et 13 sous-espèces parmi ces especes <i>Neatostema apulum</i> .	(J. Chacón, et al.,2019)
Un livre contenant une description complète de la plante <i>Neatostema apulum</i> , dans lequel il était mentionné que c'est une modeste herbacée annuelle.	(Maurice Reille,2018)
Une étude de la famille <i>Boraginaceae</i> décrivant et classifiant ses genres, y compris une description du genre <i>Neatostema</i> .	(IM Johnston 1954)
Description monographique de <i>Neatostema apulum</i> .	(Schweingruber, et al.,2013)
Une extraction des alcaloïdes pyrrolizidine et de leurs N-oxydes correspondants de <i>Neatostema apulum</i> et leur identification à l'aide de techniques spectroscopiques. Parmi eux, l'amabilin-N-oxyde, un composé jusqu'alors non décrit, a été identifié.	(Roeder et al.,1992)
Une étude cytogénétique de <i>Neatostema apulum</i> montre que le diamètre de la cellule de celle-ci est de 10ul et le nombre de chromosomes 2n :28.	(Britton.,1951)

I.2.2 *Helianthemum ruficomum*

Tableau 2 : les travaux antérieurs sur la plante *Helianthemum ruficomum*.

Travaux antérieurs réalisés	Référence
Une description complète de <i>cistus ruficomus (Helianthemum ruficomum)</i>	(Sweet, 1830)
Une étude montre que les extraits AC-O-Et et n-BuOH de l'espèce <i>Helianthemum hirtum</i> ssp. <i>ruficomum</i> ont fourni 11 composés connus, constitués principalement de composés poly-phénoliques dont un néolignane glucoside, six flavonoïdes, deux dérivés d'acide benzoïque et deux dérivés d'acide quinique. L'évaluation <i>in vitro</i> des activités antioxydantes de ces extraits montrent que le extraits AC-O-Et ainsi que les cinq flavonoïdes présentent un bon pouvoir antioxydant	(Benchadi ,2020)
Une étude de la composition chimique de <i>Helianthemum ruficomum</i> et l'évaluation de potentiel antioxydant de ses extraits obtenus à partir de la partie aérienne montre que l'extrait d'EtOAc et de n-BuOH et les 14 composants isolés et identifiés par l'analyse	(Chemam et al ,2017)

spectrométrie démontrent une forte activité antioxydante	
--	--

I.3 Activité antifongique

Les métabolites avancés sont bien connus pour leur capacité à inhiber d'autres organismes. (Coleman *et al.*, 2011)

Les champignons pathogènes sont l'un des agents infectieux des plantes, provoquant des modifications des stades de croissance, y compris la récolte.

La plante est une riche source de divers métabolites secondaires tels que des tanins, des terpénoïdes, des saponines, des alcaloïdes, des flavonoïdes et d'autres composés qui auraient des propriétés antifongiques *in vitro*. Un effet antifongique synergique a été constaté entre les glycoalcaloïdes et les composés phénoliques. (Sánchez.Maldonado *et al.*, 2016).

Le métabolisme secondaire des antifongiques représente une alternative pour obtenir une protection permanente contre les champignons phytopathogènes et pour réduire la forte dépendance aux pesticides de synthèse utilisés pour leur protection.

Un métabolisme végétal élevé se caractérise par une grande variété de formes chimiques, un faible coût, une haute disponibilité, une activité antimicrobienne et antifongique élevée et de faibles effets secondaires. Par conséquent, les métabolites secondaires des plantes peuvent constituer des sources importantes pour l'identification et le développement de nouveaux médicaments antifongiques. (Zhou *et al.*, 2023)

Certaines plantes génèrent des substances efficaces contre certaines souches résistantes aux produits de synthèse en inhibant la germination des spores. C'est le cas de cinnaldehyde et de salicylaldehyde a une activité contre *Fusarium* et sont résistants aux fongicides synthétiques (Cho *et al.*, 2007).

également, ont proposé l'utilisation de composés phénoliques provenant des plantes afin de prévenir les effets défavorables des toxines fongiques sur la santé humaine, anisé que le chlorophorin de stilbène était le composé le plus efficace pour inhiber la croissance fongique et réduire la production de toxines. (Vermeris *et al.*, 2006)

Les phénols ont une meilleure activité antifongique que les aldéhydes et des propriétés fongistatiques plus prononcées(**Elhouiti, 2018**).

I.4 Les champignons phytopathogènes

Les maladies des plantes représentent un réel problème pour les cultures agricoles, et les dégâts causés par ces maladies et les ravageurs deviennent de plus en plus pénibles en raison de l'extension des cultures intensives.

La majorité des maladies des plantes sont provoqué par les champignons phytopathogènes entraînant les pourritures des cultures et endommageant de nombreuses espèces d'arbres, Ces maladies sont probablement les plus grands obstacles à la production et au rendement global des récoltes, est l'un des principaux facteurs limitants et altérant la qualité (**Morcia et al., 2015**)

Les champignons phytopathogènes sont des organismes eucaryotes dépourvus de chlorophylle et dont ses structures somatiques ramifiées filamenteuses, appelées hyphes, sont habituellement revêtues de parois cellulaires possédant soit de la chitine ou de la cellulose Les champignons ont la capacité de se reproduire simultanément de manière sexuée et asexuée à travers la production des spores et d'autres structures. La dispersion des spores par l'air et l'eau peut se faire sur des longues distances comme elles peuvent se propager par le sol (**Sharma,2021**).

Ce sont responsables de la majorité des maladies cryptogamiques qui affectent les plantes (**Abdelkader, 2012**). Ils appartiennent aux basidiomycètes.

Les champignons phytopathogènes sont responsable d'environ de 70% des pathologies végétales(phytopathologie).Capables de provoquer des infections racinaires chez les plantes sauvages ou cultivées et d'entraîner des dégâts considérables tels que : *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Alternaria*, *Pythium*, *Verticilium*, *Botrytis*...(Agrios, 2005 ; Deacon, 2006)

I.4.1Pouvoir pathogène

Les *Fusarium* sont de nombreux phytopathogènes. Ce champignon affecte le maïs, les légumes et les arbres fruitiers et provoque une maladie appelée flétrissement fusariés. La fusariose provoque généralement la pourriture des racines, des tiges et des fruits ; réduction du système vasculaire. La pathogénie est différente chez les humains et les

animaux. Certaines espèces provoquent des kératites et des endophtalmies. D'autres types sont impliqués dans maladies virales (**Barron, 2013**).

Par conséquent, *Fusarium* phytopathogène se trouve dans les terres cultivées des zones tropicales et subtropicales. Dans les zones tempérées, le *Fusarium* attaque de nombreuses plantes, ce qui provoque des dégâts économiques importants.

Provoque de lourdes pertes dans ces usines. Par exemple, *Fusarium* a causé une perte de 2,7 milliards de dollars dans la production de blé dans le nord et le centre des États-Unis entre 1998 et 2002. Dans les zones tropicales, les maladies causées par les espèces de *Fusarium* sont courantes et entraînent des pertes importantes dans les cultures qui jouent un rôle économique (**Nganje et al., 2002**).

Matériels Et Méthodes

II Matériels et Méthodes

Ce travail a été réalisé au sein du le laboratoire de recherche des sciences fondamentale de l'université Amar Telidji-Laghouat, dans le but de valoriser certains extraits de plantes *Neatostema apulum* et *Helianthemum ruficomum*, en évaluant leur pouvoir anti-mycopathogène.

La section suivante présente en détail le matériel et les méthodes expérimentales employés dans cette étude.

II.1 Matériels biologiques

II.1.1. Matériel végétal

II.1.1.1 Collectes et extraction

Afin d'explorer l'activité antifongique des extraits hexanique et d'acétate des plantes *Neatostema apulum* et *Helianthemum ruficomum*, la collecte a été effectuée en avril 2023 dans la région de Gueltat Sidi Saad Laghouat. Les extraits ont été préparés selon la méthode de Soxhlet.

II.1.2 Description botanique des espèces étudiées

Tableau 3 : La description complète des espèces étudiées

- *Neatostema apulum* (Johnston, 1953; Mifsud, 1953)
- *Helianthemum ruficomum* (Sweet, 1830 ; Benchadi, 2020)

Parties de la plante	<i>N. apulum</i>	<i>H. ruficomum</i>
<u>Tiges</u>	Rameuses au sommet densément feuillées.	Dressées ou peu étalées suffrutescentes, densément recouverte de fascicules de poils canescents étoilés
<u>Feuilles</u>	Petits linéaires rudes à 1 nervure les caulinaires sessiles	Situées sur de courts pétioles, les inférieures elliptiques, obtuses, les supérieures plates plus étroites, oblongues ou linéaires, les marges quelque peu révolutes, toutes recouvertes en dessous de touffes de poils étoilés, stipulent
<u>Pilosité</u>	Hérissée de poils raides.	Fascicules de poils

		canescents étoilés
<u>Fleurs</u>	Jaunes petites subsessiles en grappes recourbées les fructifères rapprochées courtes et compactes	Approximatives, racémeuses, aux pétales jaunes
<u>Période de floraison</u>	Mars, Avril, Mai, Juin	En mai et juin de leur deuxième saison de croissance ; de sorte que la floraison se poursuit dans une certaine mesure jusqu'à la fin de l'été. (Proctor ;1956)
<u>Racines</u>	Grêles	
<u>Calice</u>	Très hispide à lobes lancéolés linéaires à la fin dressés et ouverts.	Très hérissé, brunâtre, très poilus, à poils blancs, nombreux, serrés.
<u>Corolle</u>	4 à 6 mm à tube grêle dépassant un peu le calice pubescent en dehors	Formée de 5 pétales libres.

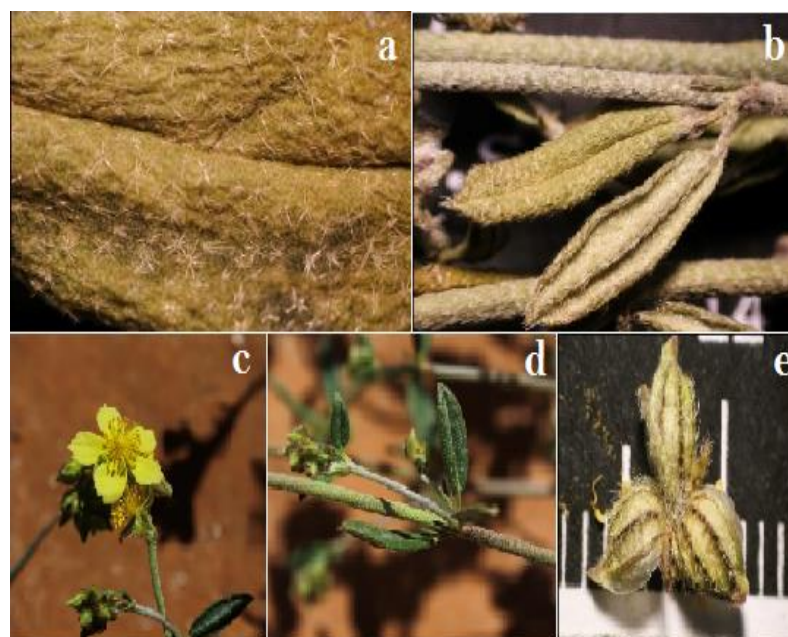


Figure 5 : photographies illustrant les différentes parties de la plante *Helianthemum ruficomum* prises dans les Plateaux du Maroc oriental

a. Pilosités ; **b.** Feuilles ; **c.** Fleurs ; **d.** Tige ; **e.** Calice

(Bakali, 2017)

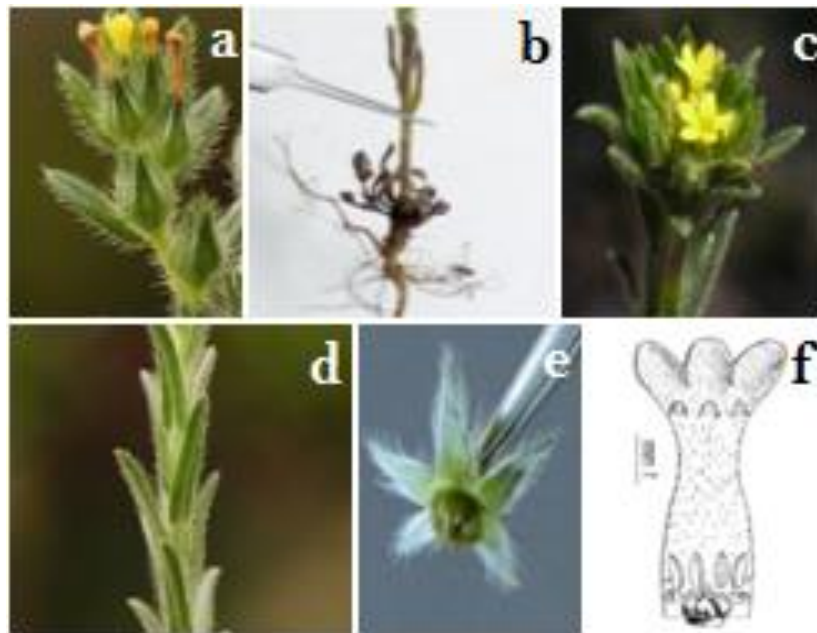


Figure 6 : photos illustrant les différentes parties de la plante *Neatostema apulum*

a. Feuilles et pilosités ; b. Racine ; c. Fleurs ; d. Tige ; e. Calice ; f. Corolle

(John, 2011 ; Liliane, 2013 ; Tahri et Rhodes, 2015 ; Reille, 2016)

II.1.3 Répartition géographique des espèces étudiées

a) *Neatostema apulum*



Figure 7 : La répartition géographique de l'espèce *Neatostema apulum* (Mifsud, 1953)

- **Continental Afrique du Nord :** Algeria, Libya, Maroc, Tunisia/ Macaronesia
- **Continental Europe du Sud :** Baléares, Bulgarie, Corse, Chypre, Îles, Égée orientale, France, Grèce, Italie, Krym, Portugal, Sardaigne, Sicile, Espagne, Turquie en Europe, Yougoslavie
- **Continental Asie-Tempéré (Asia occidentale) :** Iraq, Kriti, Kuwait, Liban-Syrie, Turquie.

(APG, 2016)

b) *Helianthemum ruficomum*

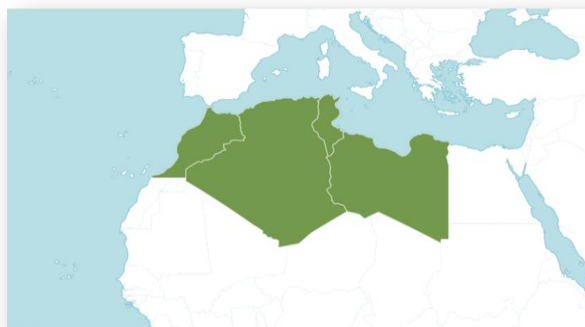


Figure 8 : Répartition géographique de l'espèce *Helianthemum ruficomum*
ruficomum(<https://powo.science.keew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:169134-1>)

- **Originaire du Nord de l'Afrique** : Algérie, Libye Maroc, Tunisie (Dobignard et al., 2011; Greuter, 1984 ; Le Floc'h et al., 2010; Valdés, 2002)

II.2 Matériels fongiques

II.2.1 Le genre *Fusarium*

Le genre *Fusarium* est considéré comme l'un des genres les plus agressifs et les plus Pathogènes, car il comprend un nombre d'espèces qui attaquent une variété de plantes cultivées et causent une maladie très grave connue sous le nom de fusariose ainsi que des dégâts agricoles économiquement importants. Parmi ces plantes cultivées figurent : les céréales (maïs, blé, orge, avoine), les légumes et les fruits (tomate, banane), les légumineuses ...etc.(Lepoivre, 2003; Wulff et al., 2010;Gomes et al., 2015; Shikur Gebremariam et al., 2018).

La majorité des espèces de *Fusarium* capables de produire de dangereuses toxines contaminant les denrées alimentaires et provoquant ainsi des maladies graves chez les animaux (et parfois chez l'homme) qui les consomment (mycotoxicoles) Les principales espèces ayant potentiel toxigène sont : *F. culmorum*, *F. graminearum*, *F. oxysporum*, *F. verticilloides* et *F. moniliforme*(Tabuc, 2007).

Sont des champignons filamenteux cosmopolites elles se trouvent couramment dans les sols et persistent sous forme de chlamydo-spores ou d'hyphes dans les résidus de plantes et des matières organiques, abondamment dans les zones fertiles des sols cultivés et elles

peuvent se trouver dans les habitats aquatiques, y compris l'eau de mer, l'eau de rivière et l'eau potable (Gupta *et al.*, 2019)

II.2.2 *Fusarium oxysporum*

Fusarium oxysporum est un champignon commun, en particulier dans le sol, où il survit pendant les mois d'hiver grâce à ses chlamydospores.

Phytopathogènes, dont de nombreuses espèces uniques (plus de 72 connues). Cette dernière convient à espèces végétales spécifiques et espèces attaquent des plantes hôtes spécifiques *Fusarium oxysporum* est l'un des types de microflore fongique les plus importants dans les terres cultivées, car il représente 40 à 70 % de la flore totale de *Fusarium* La fusariose de la tomate est une maladie vasculaire, l'une des maladies les plus graves de cette plante au monde et est causée par le *Fusarium oxysporum*(Booth, 1971 ; Bettache, 1993 ;Haas, 2015).

Il existe deux types différents de fusariose de tomate :

- *F. oxysporum f. sp lycopersici (Fol)*, qui provoque des mycoses vasculaires.
- *F. oxysporumf.sp. Radicis-lycopersici (Forl)*, qui fait pourrir le sol.

Dans les deux cas, *Fusarium* détruit la plante, ce qui peut provoquer le dessèchement des feuilles (Laterrot *et al.*, 1988).

Ils sont capables de pénétrer dans tout le système vasculaire de la plante, provoquant ainsi son blocage, puis la fatigue puis la mort (DUVAL, 1991).



Figure 9:photographie illustrant la souche FOP (*Fusarium oxysperum*)



Figure 10: Spore de *Fusarium oxysperum*

(Van Dam & M, 2017)

II.2.3 *Fusarium graminearum*

Fusarium graminearum Schwabe est le principal pathogène responsable de la fusariose de l'épi (FHB) *Fusarium* Head Blight des petites céréales et de l'épi Gibberella de blée l'orge, du riz et de l'avoine, ainsi que la pourriture des tiges et du maïs et qui provoque de pertes significatives de rendement des cultures et de qualité, il infecte les épis de blé dès l'anthèse jusqu'au stade pâteux mou du développement du grain, ce qui entraîne la production de graines visiblement endommagées d'un blanc crayeux (galeuses) et ratatinées. Les grains sont infectés par trichothécènes et des mycotoxines œstrogéniques, telles que, le déoxynivalénol (DON), le nivalénol (NIV) et la zéaralénone résistante aux maladies (ZEN). Ces toxines ont des effets graves sur la santé humaine et les animaux car elles sont de puissants inhibiteurs de la biosynthèse des protéines eucaryotes, de plus, elles peuvent également moduler la fonction immunitaire humaine et favoriser les cancers et les maladies auto-immunes (Merhej, 2010 ; Kant et al., 2019; Yu & Kim, 2020).

Gibberella zeae est une espèce connue sous le nom de son anamorphe, *Fusarium graminearum*. Cette espèce est un champignon ascomycète de la famille des Nectriaceae. (Trail & Common, 2000).

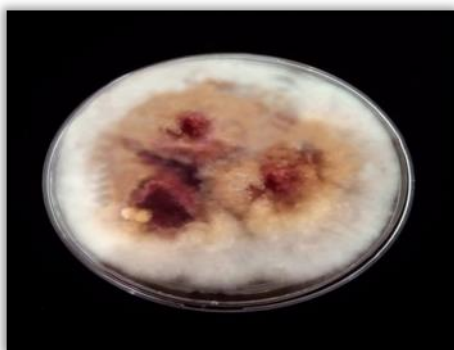


Figure 11: photographie illustrant la souche 812 (*Fusarium graminearum*).

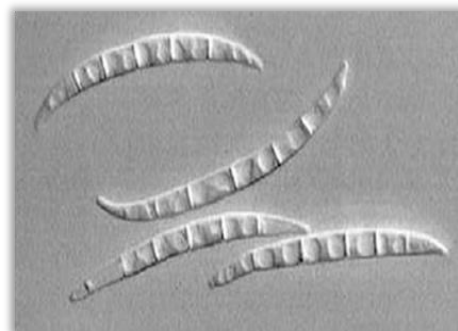


Figure 12: Spore de *Fusarium graminearum* (Leslie & Summerell, 2006)

II.2.4 *Fusarium culmorum*

Fusarium culmorum est un agent pathogène important du blé causant la brûlure des semis, la pourriture du piétin et la brûlure de l'épi ou la gale. Cet agent est répandu dans les zones plus froides telles que l'Europe du Nord, centrale et occidentale. Le champignon se reproduit de manière asexuée au moyen de conidies, qui constituent le principal mode de dispersion. La brûlure de l'épi est de loin la préoccupation la plus grave en matière

d'infection par *Fusarium* sur le blé en pré-récolte et d'autres céréales à petits grains. L'importance de *F. culmorum* dans la production de blé est due à la fois à la brûlure de l'épi et à la contamination par les mycotoxines des grains récoltés sur les épis infectés. L'infection de l'oreille survient principalement pendant l'anthèse et est favorisée par un temps humide ou une humidité élevée et des températures chaudes. Les principales mycotoxines produites par *F. culmorum* sont le nivalénol, déoxynivalénol et la zéaralénone, qui représentent un risque potentiel pour la santé humaine et des animaux. Et qui contribueraient au développement de la maladie des planes (**Wagacha & Muthomi,2007**)

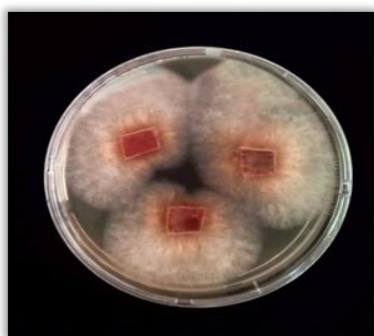


Figure 13:photographie illustrant la soucheT7 (*Fusarium culmorum*)



Figure 14: les spores du *F. culmorum* (**Barron,2013**)

II.3 Matériels expérimentales

II.3.1 Evaluation de l'activité antifongique par la méthode de contact direct :

Cette méthode est employée afin d'évaluer l'efficacité antifongique de nos extraits naturels d'origine végétale sur des champignons phytopathogènes du genre *Fusarium* où ces extraits à évaluer sont incorporés à diverses concentrations dans le milieu de culture gélosé. Une fois solidifié, le milieu estensemencé et placé en incubation.

II.3.2 Préparation des souches :

Des implants de souche fongique filamenteuse ont été prélevés à l'aide d'un emporte-pièce à partir des cultures pures conservées préalablement préparées, puis ont été déposés sur des boîtes de pétri contenant du milieu PDA solide. Ils ont ensuite été incubés pendant 05 jours dans l'étuve à une température de 25° C, en suivant la méthode décrite par qui recommande l'utilisation du milieu PDA pour évaluer l'activité des extraits de plantes vis-à-vis des champignons. (Sreenivasan Sasidharan *et al.*, 2012)

II.3.3 Protocole :

Afin d'évaluer l'activité antifongique des deux extraits (hexane, acétate d'éthyle) de deux plantes distinctes préparés en 2024 par le laboratoire de recherche de l'université Ammar Thelidji.

Des dilutions de 1/3, 1/5 et 1/15 ont été préparées et l'agar à 0,2 % a été sélectionné comme émulsifiant pour la préparation des dilutions en raison de son absence d'impact sur l'activité de l'extrait, la concentration mère des extraits est de 33,33 mg/ml.

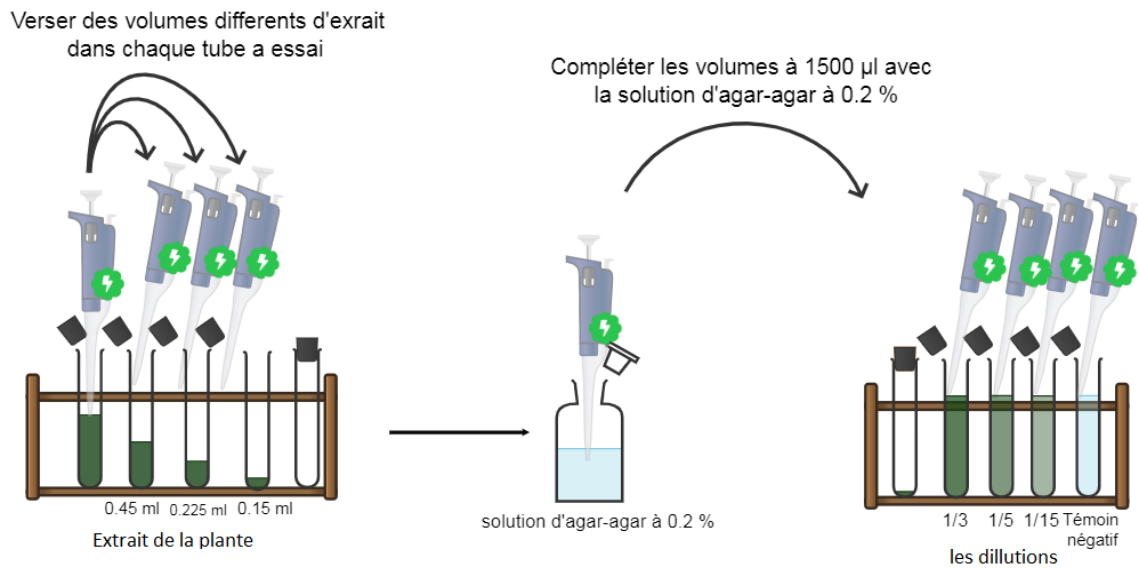


Figure 15: Schéma du protocole expérimental pour la dilution des extraits, conçu à l'aide du logiciel Chemix.org.

Après avoir dilué les extraits, et dans une zone stérile, nous ajoutons 1,5 ml de chaque dilution dans des tubes à essai contenant 13,5 ml du milieu de PDA gélosé qui a été stérilisé à l'autoclave 20 min 121 °C et refroidis-en 45 °C, Les tubes ont été agités au vortex avant de verser leurs contenus dans des boîtes de Pétri.

Des tubes supplémentaires, renfermant 13,5 ml de milieu de culture et 1,5 ml de solution d'agar-agar à 2,0 %, ont été également préparés pour servir de témoins négatifs. Pour les témoins positifs, un fongicide commercial était appliqué à une concentrations de 15 µl/ml pour trois répétitions, Les concentrations sont ajustées en ajoutant une solution d'agar à 0,2 % pour atteindre un volume final de 1,5 ml (El Ajjouri *et al.*, 2008).

Une fois que le mélange s'est refroidi et solidifié sur la pailleasse, des disques mycéliens de 5 mm de diamètre étaient prélevés à l'aide d'un emporte-pièce, puis inoculés au centre de chaque boîte (1 disque par boîte).

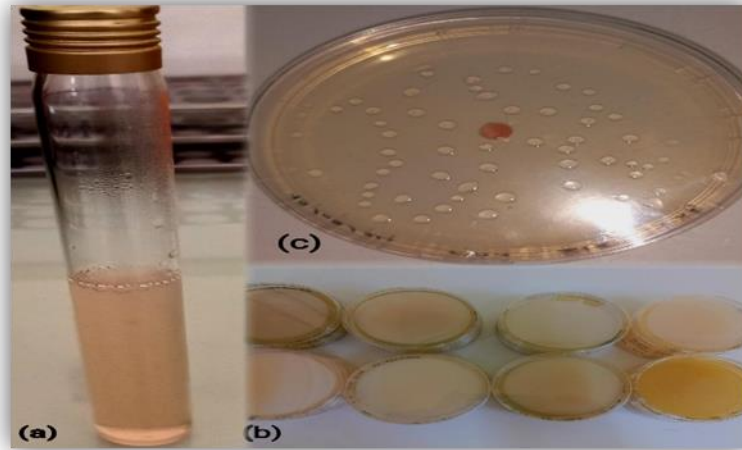


Figure 16: Photographie représentant (a) un tube à essai contenant du PDA ; (b) des boîtes de Petri contenant un mélange de PDA et une dilution de l'extrait, (c) une boîte de Petri repiquée avec un disque mycélien.

Cette procédure a été répétée trois fois pour chaque concentration des extraits (Hex, Act) provenant des deux plantes et pour chaque souche. Un contrôle est réalisé dans des conditions identiques, mais sans l'extrait.

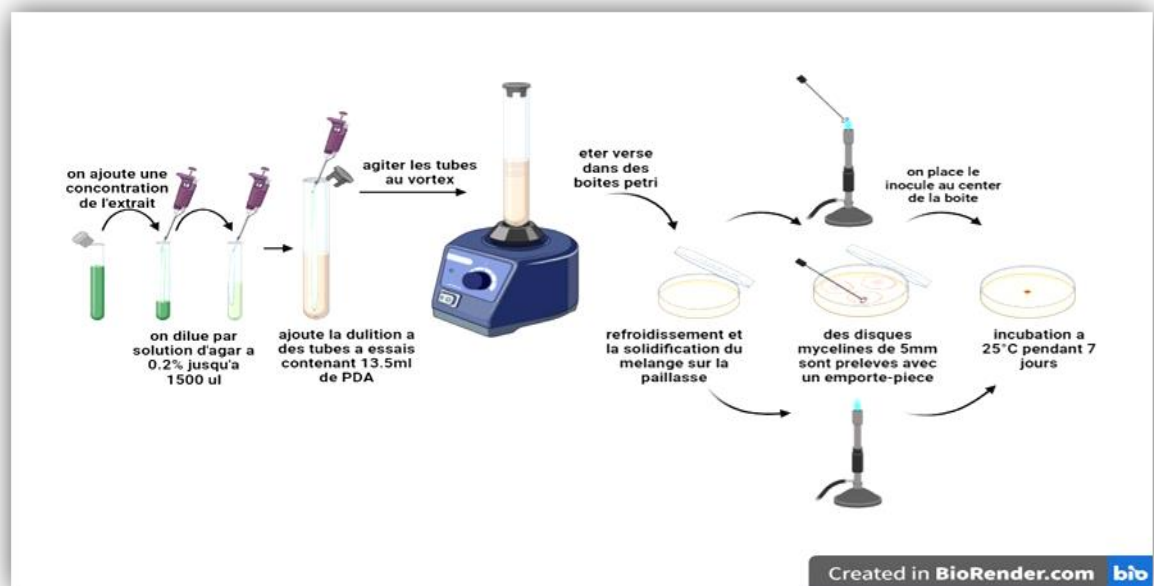


Figure 17: Protocole expérimentale de l'activité antifongique des extraits testés vis à vis des souches fongiques réalisé en utilisant le logiciel Bio-Rendre.

Toutes les boîtes sont placées en incubation dans l'obscurité à une température de 26 °C les mesures sont effectuées après 48 heures d'incubation quotidiennement.

Cinétique de croissance fongique en milieu solide :

L'activité de deux extraits de plantes sur le développement du mycélium a été évaluée par méthode de contact direct, en calculant le pourcentage d'inhibition du mycélium. Après 7 jours d'incubation à $25 \pm 2^\circ$ (Elhouiti, 2018).

La cinétique de la croissance des souches sélectionnées a été déterminée en mesurant le diamètre du thalle à la même heure chaque jour, après avoir introduit les extraits testés des deux plantes *Helianthemum ruficomum* et *Neatostema apulum* à différentes concentrations Allant de 10 à 30 $\mu\text{l/ml}$.

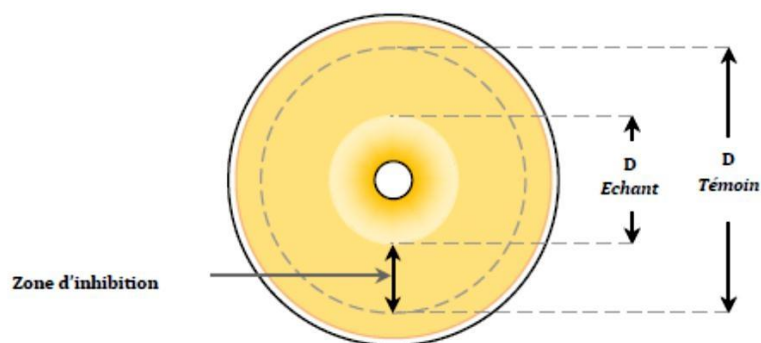
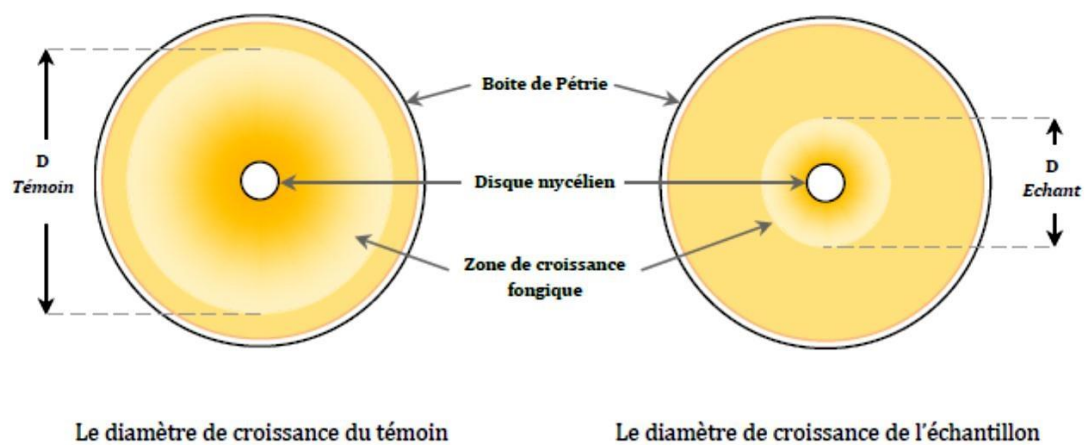


Illustration de la zone d'inhibition, par comparaison du traitement avec le témoin.
Cette zone constitue la différence entre le diamètre du témoin ($D_{\text{Témoin}}$) et le diamètre de l'échantillon

Figure 18 : Illustration de la méthode de contact direct (Sifi, 2010)

II.3.4 Calcul du pourcentage d'inhibition I% :

Le pourcentage d'inhibition de la croissance mycélienne est calculé quotidiennement en calculant la moyenne des trois diamètres obtenus lors des trois essais dans les mêmes conditions opératoires.

Le pourcentage d'inhibition est déterminé par rapport au témoin et calculé selon la formule suivante (**Kwazou *et al.*, 2009**).


$$(I\%) = [(X-X_i) / X] \times 100$$

Où :

X : Croissance mycélienne moyenne dans le milieu sans extrait (témoin).

X_i : croissance mycélienne moyenne dans le milieu en présence de l'extrait.

II.3.5 L'analyse statistique :

Toutes les expériences ont été répétées trois fois et l'analyse des données était effectuée à l'aide d'outils statistiques tels que des histogrammes et des courbes, en utilisant le logiciel Excel 2010, afin de déterminer la signification des résultats.

Résultats Et Discussions

III. Résultats et discussions

III.1 Evaluation de l'activité antifongique des extraits des deux plantes

Plusieurs méthodes d'évaluation de l'activité antifongique sont largement employées, telles que la méthode de dilution en séries et autres, tandis que cette étude se concentre sur l'incorporation directe de l'extrait dans le milieu de culture PDA. La méthode de contact direct est appliquée pour identifier l'extrait actif en mesurant le taux d'inhibition.

L'effet des deux extraits de plantes de *Neatostema apulum* et *Helianthemum ruficomum* ont été étudié selon deux paramètres principaux :

✓ Cinétique de croissance du mycélium.

✓ L'effet inhibiteur des extraits des plantes *Neatostema apulum* et *Helianthemum ruficomum* sur la croissance mycélienne

III.1.1 Evaluation de la croissance mycélienne vis-à-vis des différents extraits

La croissance du *mycélium* a été évaluée quotidiennement en mesurant les diamètres perpendiculaires à travers de la rondelle d'implant, à l'aide d'un pied à coulisse. En comparant ces mesures à celles des témoins démarrés simultanément et dans des conditions identiques, il a été observé que notre extrait avait un effet inhibiteur sur la croissance fongique des trois espèces de *Fusarium* testées.

La cinétique de la croissance mycélienne

La cinétique de la croissance mycélienne des trois espèces de *Fusarium* (*F. oxysperum*, *F. culmorum*, *F. graminearum*) a été analysée au fil du temps en présence de diverses concentrations de deux extraits distincts (hexane, acétate d'éthyle) provenant des deux plantes différentes (*Neatostema apulum*, *Helianthemum ruficomum*). Un effet antifongique a été constaté entre le troisième et le septième jour, à l'exception de *F. graminearum* pour lequel cet effet a été observé dès le premier jour. Les souches étudiées ont montré des sensibilités variables aux extraits en fonction de l'extrait et de sa concentration.

Les graphiques ci-dessus présentent de manière synthétique les mesures des diamètres de croissance mycélienne en millimètres.

III.1.1.1 Extrait Hexanique

a) *Fusarium oxysporum*

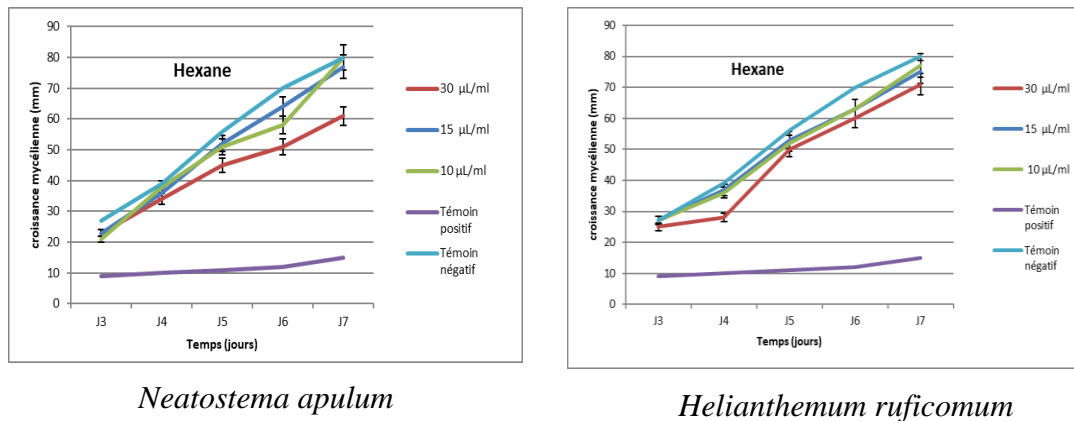


Figure 19: Cinétique de la croissance mycélienne de *F. oxysporum* en présence de différentes concentrations de l'extrait hexanique des deux plantes étudiées.

Nous remarquons que la croissance mycélienne de la souche *F. oxysporum* est ralenti par l'extrait hexanique de l'espèce *Neatostema apulum* dès le 3^{ème} jour et jusqu'au 7^{ème} jour d'incubation, où la croissance du diamètre du mycélium à la concentration 10µl/ml est de 80 mm elle ressemble au témoin négatif 80 mm, à la concentration 15µl/ml la croissance mycélienne n'atteint que 71 mm, et à la concentration la plus élevée de 30µl/ml, la croissance s'arrête à un diamètre de 61mm.

L'extrait d'hexanique de l'espèce *Helianthemum ruficomum* a légèrement retardée la pour des concentrations de 30 µL/ml, 15 µL/ml, 10 µL/ml respectivement. Par conséquent un pouvoir antifongique faible par rapport à l'extrait hexanoïque de cette espèce.

Il est observé que le témoin négatif atteint son niveau maximal. En revanche, le témoin positif présente un diamètre en augmentation progressive sur une période de sept jours, pour finalement se stabiliser à un diamètre de 15 mm à la concentration de 15 µl/ml

b) *Fusarium culmorum*

III. Résultats et discussions

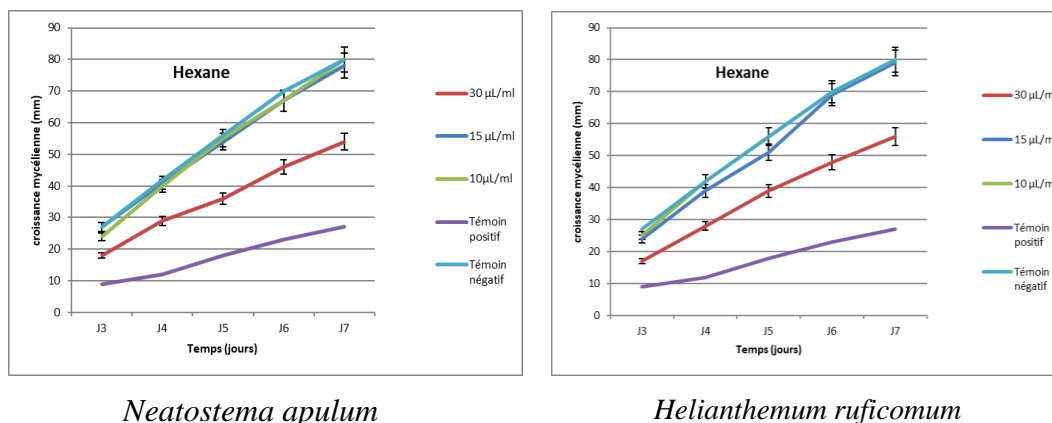


Figure 20: Cinétique de la croissance mycélienne de *F. culmorum* en présence de différentes concentrations de l'extrait hexanique des deux plantes étudiées.

Il est observé pour l'espèce *Neatostema apulum* que l'effet de son extrait hexanique sur la croissance mycélienne de la souche *Fusarium culmorum* au 7^e jour d'incubation est proche de son maximum à une concentration de 15 µL/ml, avec un diamètre de 78 mm, et atteint son maximum à une concentration de 10 µL/ml, avec un diamètre de 80 mm, similaire au témoin négatif de 80 mm, ce qui indique une inhibition faible. En revanche, la concentration la plus élevée, soit 30 µL/ml, présente une croissance mycélienne réduite avec un diamètre de 54 mm, démontrant ainsi une activité antifongique significative.

Nous remarquons que la croissance mycélienne de la souche *F. culmorum* varie selon les différentes concentrations d'extrait hexanique de plante *Helianthemum ruficomum* utilisées d'où la différence du pouvoir antifongique, cette croissance est maximale aux deux concentration 15 µL/ml et 10 µL/ml au 7^{ème} jour, elle est similaire au témoin négatif 80 mm. Alors que l'effet de cet extrait à 30 µL/ml induit la plus faible croissance mycélienne avec un diamètre de 56 mm le 7^{ème} jour, démontrant ainsi un fort pouvoir antifongique.

Également pour cette souche Il est observé que le diamètre du témoin négatif atteint son maximum le septième jour. En revanche, le témoin positif présente une croissance lente de son diamètre sur une période de sept jours, pour finalement atteindre un diamètre de 27 mm à une concentration de 15 µL/ml.

c) *Fusarium graminearum*

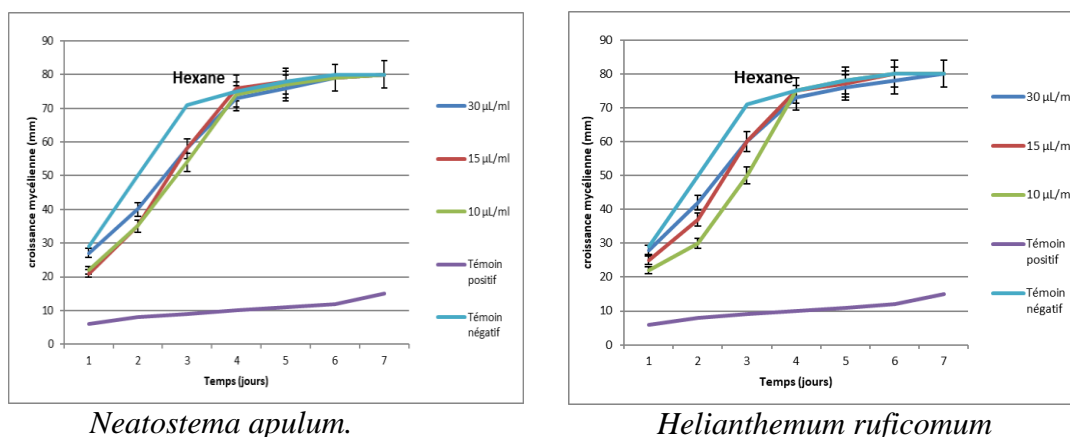


Figure 21: Cinétique de la croissance mycélienne de *F. graminearum* en présence de différentes concentrations de l'extrait hexanique des deux plantes étudiées.

Nous remarquons que La croissance mycélienne de la souche *F. graminearum* varie selon les différentes concentrations d'extrait hexanique de plante *Neatostema apulum*, pour la concentration d'extrait à 30 µL/ml, La croissance augmenter du premier jour à 30 mm jusqu'au quatrième jour 75 mm, puis elle commence à augmenter progressivement jusqu'au sixième jour le diamètre le plus élevé 80 mm, puis elle reste stable par la suite.

Pour les concentrations d'extrait de 15 µL/ml et 10 µL/ml, on observe une croissance similaire et robuste dans les deux cas, bien que la concentration de 15 µL/ml montre une progression légèrement plus rapide. La croissance débute à partir de 20 mm le premier jour, atteint son maximum au quatrième jour 75 mm, Puis il commence à augmenter progressivement jusqu'au sixième jours 80 mm est stabiliser.

Nous remarquons que la croissance mycélienne de la souche *F. graminearum* varie selon les différentes concentrations d'extrait hexanique de plante *Helianthemum ruficomum*.

Pour la concentration d'extrait à 30 µL/ml et 15 µL/ml, L'augmentation est rapide du premier jour 30 mm au quatrième jour 75 mm, ensuite, la croissance mycélienne commence à augmenter progressivement dans les deux concentrations 30 µL/ml et 15 µL/ml jusqu'à ce que le septième jour atteigne un diamètre de 80 mm , et pour la concentration d'extrait 10 µL/ml, Le taux de croissance mycélienne est de 20 mm au premier jour puis il commence à augmenter progressivement jusqu'au quatrième jour à diamètre 75 mm ,puis il augmente lentement jusqu'au septième jour 80 mm .

III. Résultats et discussions

Il a été observé que le diamètre de témoins négatifs sont beaucoup plus grands que ceux du témoin positif. On remarque le premier jour, le diamètre est de 30 mm et commence à croître rapidement jusqu'à ce que le troisième jour atteigne de diamètre 72 mm, puis il commence à augmenter progressivement jusqu'à. Le diamètre le plus élevé de croissance mycélienne est enregistré le sixième jour, atteignant 80 mm, puis il se stabilise le septième jour. Quant au témoin positif, on enregistre le diamètre minimum le premier jour à 5 mm, jusqu'à ce que le septième jour atteigne un diamètre de 15 mm et soit fixé.

III.1.1.2 Extrait d'acétate dethyle

a) *Fusarium oxysporum*

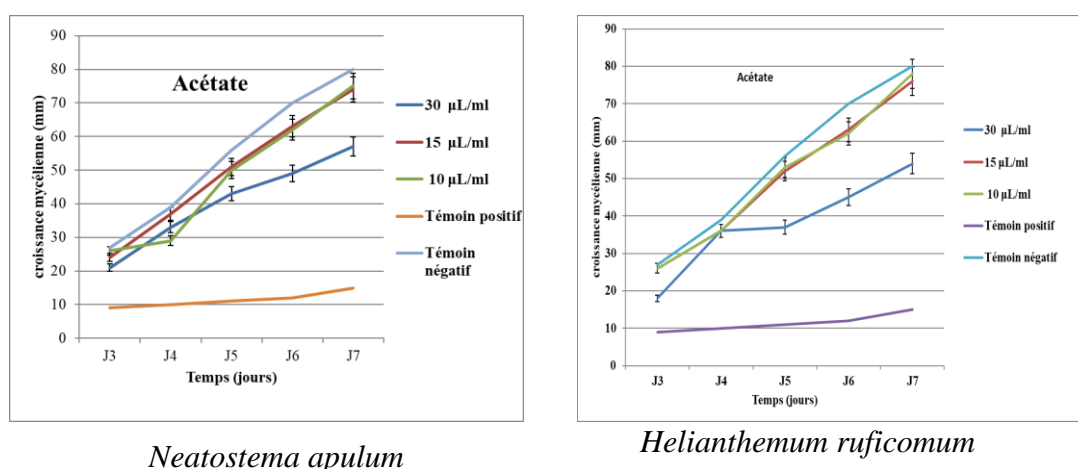


Figure 22: Cinétique de la croissance mycélienne de *F. oxysporum*, en présence de différentes concentrations de l'extrait d'acétate des deux plantes étudiées.

Nous observons que la cinétique de croissance mycélienne de *F. oxysporum* en fonction de temps et en présence de différentes concentrations d'extrait d'acétate de la plante *Neatostema apulum* diminue en fonction de la concentration, aux concentrations les plus faibles 10 µl/ml, 15 µl/ml le diamètre croît faiblement tout au long des sept jours et s'arrête à 75 mm, 74 mm respectivement et à forte concentrations 30 µl/ml on remarque un résultat important où la croissance du diamètre est enregistrée 57 mm.

Il est possible de constater que l'extrait d'acétate de la plante *Helianthemum ruficomum* a présenté un pouvoir excellent vis-à-vis de la cinétique de croissance mycélienne de *F. oxysporum*. En effet, à la concentration la plus élevée (30 µl/ml) et à la dernière journée d'incubation, le diamètre atteint 54 mm. À une concentration de 15 µl/ml, un diamètre de 76 mm est enregistré, tandis qu'à 10 µl/ml, le diamètre atteint 78 mm.

III. Résultats et discussions

On remarque que le témoin négatif enregistrait le plus grand diamètre. En revanche, le contrôle positif à un diamètre qui augmente progressivement sur sept jours pour finalement se stabiliser à un diamètre faible à une concentration de 15 $\mu\text{L}/\text{ml}$.

b) *Fusarium culmorum*

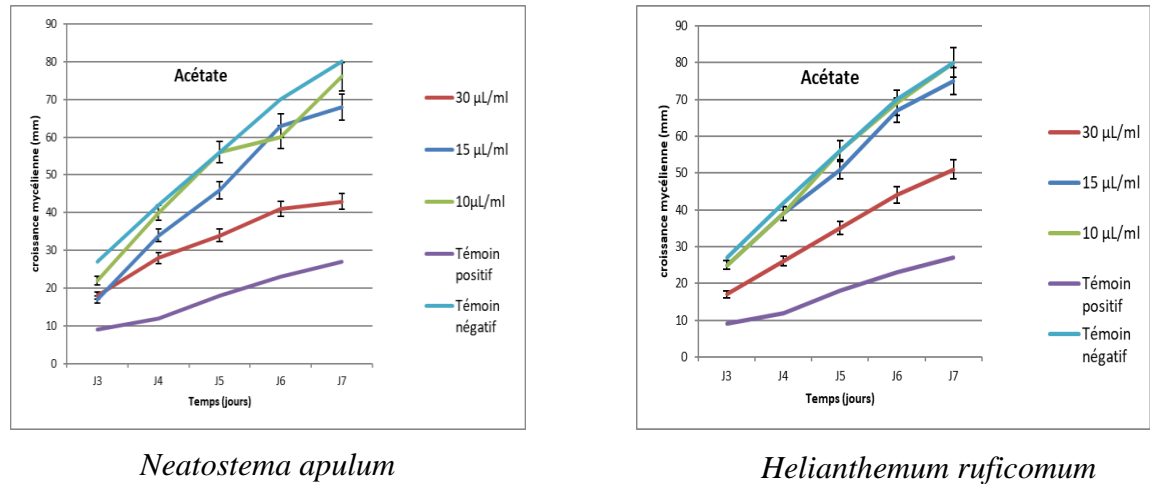


Figure 23: Cinétique de la croissance mycélienne de *F. culmorum*, en présence de différentes concentrations de l'extrait d'acétate des deux plantes étudiées.

Ces résultats indiquent une activité antifongique significative pour l'extrait acétate de l'espèce *Neatostema apulum*. La concentration la plus élevée, soit 30 $\mu\text{L}/\text{ml}$, présente une croissance mycélienne faible, n'excédant pas 34 mm. En ce qui concerne la concentration de 10 $\mu\text{L}/\text{ml}$, on constate, une allure proche de celle du témoin négatif avec une augmentation rapide de la croissance mycélienne à partir du troisième jour pour atteindre des diamètres de 76 mm.

Egalement pour l'extrait d'acétate de l'espèce *Helianthemum ruficomum* À la concentration de 10 $\mu\text{L}/\text{ml}$, le diamètre maximal de 80 mm atteint par la croissance mycélienne de la souche *Fusarium culmorum* au 7e jour est comparable à celui du témoin négatif, indiquant une inhibition faible. Pour la concentration de 15 $\mu\text{L}/\text{ml}$, la croissance atteint rapidement 75 mm et se rapproche de la courbe du témoin négatif. En revanche, à la concentration la plus élevée (30 $\mu\text{L}/\text{ml}$), l'extrait d'acétate induit la plus faible croissance mycélienne avec un diamètre de 51 mm au 7e jour, démontrant ainsi une activité significative.

III. Résultats et discussions

Il est observé que les diamètres des témoins négatifs sont significativement plus grand que celui des divers traitements atteignant 80 mm au septième jour, inversement aux témoins positifs où nous avons enregistré les diamètres les plus faibles.

c) *Fusarium graminearum*

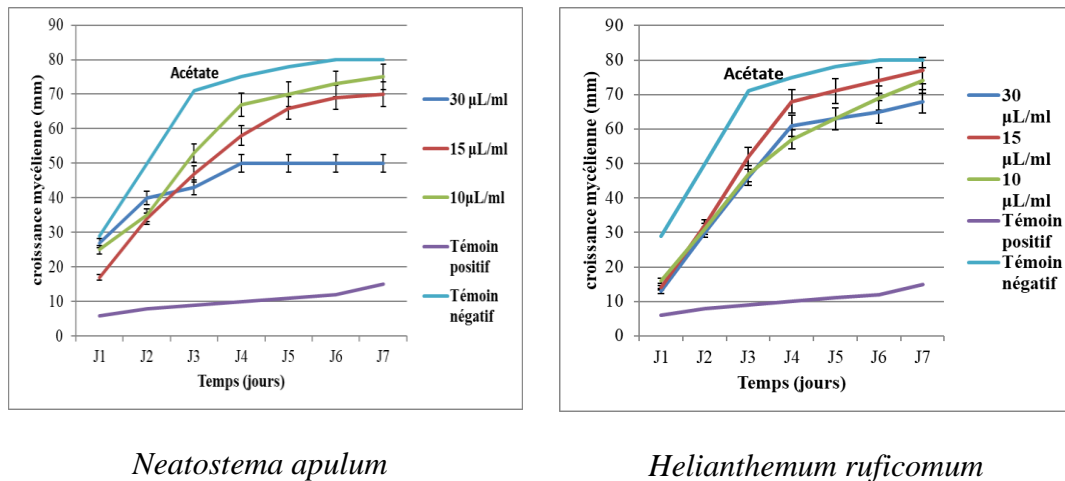


Figure 24: Cinétique de la croissance mycélienne de *F. graminearum*, en présence de différentes concentrations de l'extrait d'acétate des deux plantes étudiées.

Ces graphiques illustrent l'effet de différentes concentrations d'extrait d'acétate (exprimées en µL/ml) des deux espèces étudiées sur la croissance de *F. graminearum* (la souche 812) par rapport au témoin sur une période de sept jours.

Pour l'espèce *Neatostema apulum*, l'évolution de la croissance à la concentration d'extrait 30 µL/ml semble être modérée au début à 40 mm, suivie d'une augmentation après le troisième jour, atteignant un plateau à partir le quatrième jour 50 mm et reste stable par la suite.

Concernant une concentration d'extrait de 15 µL/ml, la croissance augmente de manière progressive au cours des jours jusqu'au sixième jour 70 mm puis ça se stabilise, bien que de façon moins rapide que pour la concentration à 30 µL/ml. En ce qui concerne la concentration d'extrait de 10 µL/ml, on observe une augmentation rapide de la croissance Jusqu'au quatrième jour, pour ensuite commencer à augmenter de manière relativement plus lente Jusqu'au septième jour à 75 mm.

À des concentrations de 15 µL/ml et de 10 µL/ml, on observe une croissance moins prononcée, bien que toujours détectable. Néanmoins, la croissance à 10 µL/ml semble plus constante et moins sensible au temps que celle observée à une concentration de 15 µL/ml.

Pour l'espèce *Helianthemum ruficomum*, Il est observé que pour les concentrations de 15 $\mu\text{L/ml}$, 30 $\mu\text{L/ml}$ et 10 $\mu\text{L/ml}$, le diamètre de croissance initial est de 15 mm au bout du quatrième jour, la concentration 15 $\mu\text{L/ml}$ est 65 mm suivi d'une augmentation progressive jusqu'au septième jour 75 mm, et le diamètre de croissance mycélienne de la concentration 30 $\mu\text{L/ml}$ est 60 mm dans le quatrième jour, ensuite la croissance est très lente jusqu'au septième jour 65mm.

Concernant la concentration de l'extrait à 10 $\mu\text{L/ml}$, il est observé que cette croissance mycélienne augmente de manière progressive et constante jusqu'au septième jour de diamètre 75 mm.

En observant la croissance de la souche 812 en présence et en absence d'extrait d'acétate, il est possible de constater que la présence de l'extrait semble entraîner une inhibition de la croissance, particulièrement à des concentrations plus élevées (30 $\mu\text{L/ml}$). Néanmoins, il semble exister une limite à cette croissance, car une fois qu'un certain seuil de concentration est atteint, la croissance cesse d'augmenter de façon significative.

Il a été observé que le diamètre de témoin négatifs sont beaucoup plus grands que ceux du témoin positif. On remarque le premier jour, le diamètre est de 30 mm et commence à croître rapidement jusqu'à ce que le troisième jour atteigne de diamètre 72 mm, puis il commence à augmenter progressivement jusqu'à. Le diamètre le plus élevé de croissance mycélienne est enregistré le sixième jour, atteignant 80 mm, puis il se stabilise le septième jour. Quant au témoin positif, on enregistre le diamètre minimum le premier jour à 5 mm, jusqu'à ce que le septième jour atteigne un diamètre de 15 mm et soit fixé.

III.1.2 Evaluation du taux d'inhibition vis-à-vis de des différents extraits

L'effet inhibiteur des extraits des plantes *Neatostema apulum* et *Helianthemum ruficomus* la croissance mycélienne a été évalué. Les résultats obtenus mettent en évidence une corrélation significative entre les taux d'inhibition et les concentrations. Dans cette étude, les extraits hexanique et d'acétate de deux plantes, *N. apulum* et *H.ruficomum*, ont évalués pour leur activité contre les trois souches fongiques.

III.1.2.1L'effet de l'extrait hexanique

III.1.2.1.1 De *Helianthemum ruficomum*

Selon la **figure 25** les résultats issus de l'extrait hexanique de la plante *H.ruficomum* montrent une variation du taux d'inhibition compris entre 0 et 30% .

Pour la souche FOP, une légère différence est observée dans les taux d'inhibition enregistrés aux concentrations de 10 µL/ml et 15 µL/ml et 30 µL/ml, qui s'élèvent respectivement à 3,75 µL/ml et 6,25 µL/ml.et 11 ,25 µL/ml.

Concernant la souche T7, nous observons le taux d'inhibition le plus élevé, soit 30 %, pour une concentration de 30 µL/ml. Cela suggère une activité significative de l'extrait sur cette souche, suivie par des taux plus faibles de 1,25 % et même négligeables pour les concentrations de 15 µL/ml et 10 µL/ml respectivement.

Aucun effet inhibiteur n'a été observé pour la souche 812, quelle que soit la concentration testée, suggérant ainsi une absence d'activité de l'extrait sur cette souche.

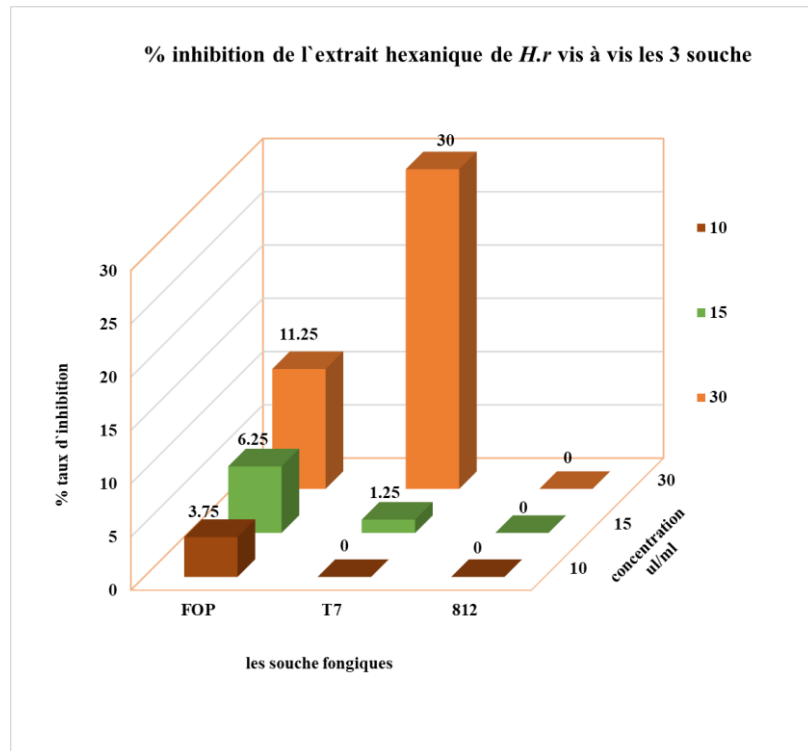


Figure 25: Les taux d'inhibition de l'extrait hexanique de la plante *Helianthemum ruficomum* sur la croissance mycélienne des souches fongiques étudiées.

III.1.2.1.2 De *Neatostema apulum*

D'après la **Figure 26** l'analyse obtenue de l'extrait hexanique de *N. apulum* révèle un taux d'inhibition variant entre 0% et 32,5%.

La souche FOP a montré une inhibition de 23,75 % à une concentration d'extrait de 30 µL/ml, ce qui représente un résultat significatif. À une concentration plus faible de 15 µL/ml, l'inhibition a été mesurée à 3,7 %, tandis qu'à la concentration la plus basse de 10 µL/ml, un taux d'inhibition très faible, voire nul, a été observé.

Concernant la souche T7, nous avons observé le taux d'inhibition le plus élevé, soit 32,5 %, pour une concentration de 30 µL/ml. Cela indique une activité significative de l'extrait sur cette souche, suivie par un taux plus faible de 2,5 %, et des taux très faibles voire nuls pour les concentrations de 15 µL/ml et 10 µL/ml respectivement.

Pour la souche 812, des taux d'inhibition nuls ont été enregistrés pour toutes les concentrations effectuées ce qui indique que l'extrait n'a eu aucun effet sur cette souche.

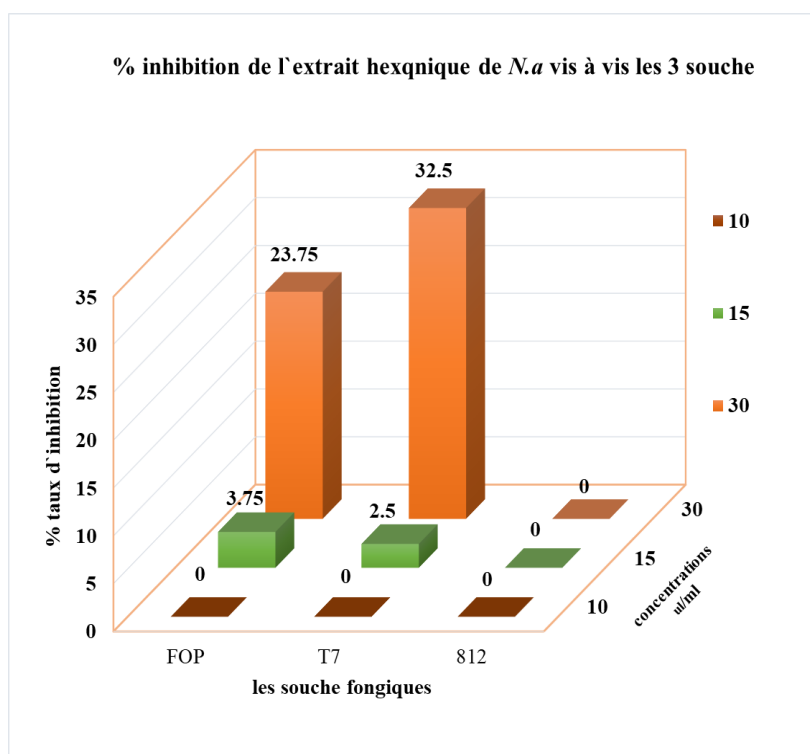


Figure 26: Les taux d'inhibition de l'extrait hexanique de la plante *Neatostema apulum* sur la croissance mycélienne des souches fongiques étudiées.

III.1.2.2 L'effet de l'extrait d'acétate

III.1.2.2.1. De *Helianthemum ruficomum*

Selon la **figure 27** les données issues de l'extrait d'acétate de la plante *H. ruficomum* révèlent un pourcentage d'inhibition variant entre 0 et 36,25.

Il est observé que l'activité de l'extrait d'acétate de la plante *H. ruficomum* vis-à-vis les trois espèces fongiques est plus prononcée à une concentration de 30 µL/ml, entraînant des taux d'inhibition supérieurs à 30 % pour les souches fongiques FOP et T7. Ces résultats suggèrent une forte et significative efficacité de l'extrait à cette concentration.

Pour la souche FOP, un taux d'inhibition élevé de 32 % a été observé à une concentration de 30 µL/ml, tandis que des taux d'inhibition modérés de 5 % et 2,5 % ont été enregistrés aux concentrations de 15 µL/ml et 10 µL/ml respectivement.

Concernant la souche T7, nous avons observé un taux d'inhibition maximal de 36,25 % pour la concentration de 30 µL/ml, suivi d'un taux moyen de 6,25 %, et enfin un taux très faible voire nul pour la concentration de 10 µL/ml.

III. Résultats et discussions

La souche 812 a présenté un taux d'inhibition moyen de 15 % pour une concentration de 30 μ L/ml, suivi de taux d'inhibition modérés de 7,5 % et 3,7 % pour des concentrations de 15 μ L/ml et 10 μ L/ml respectivement.

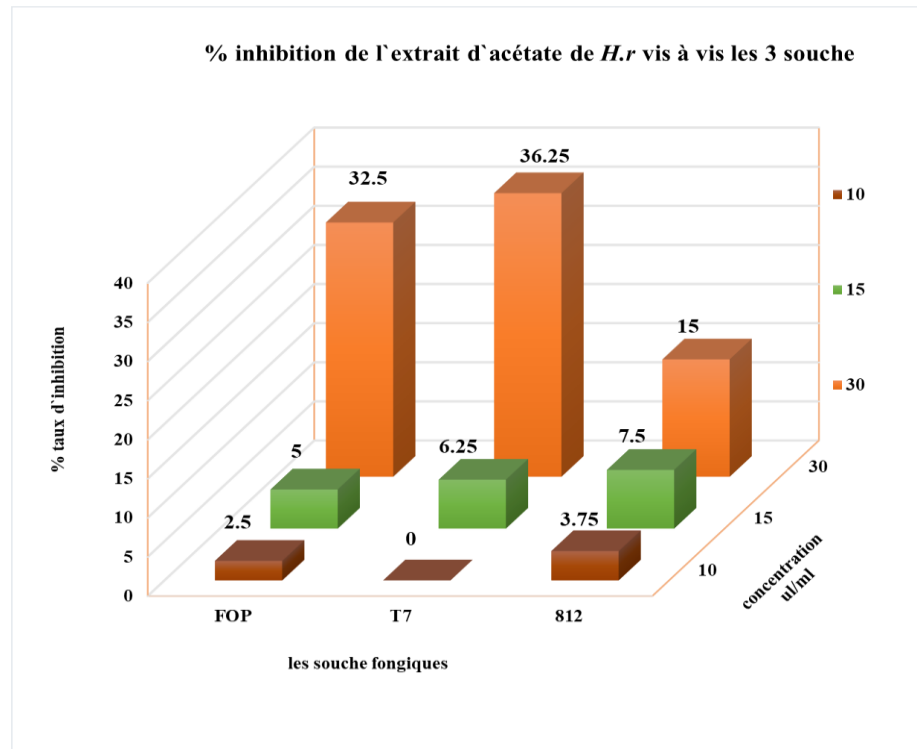


Figure 27: Les Taux d'inhibition de l'extrait d'acétate de la plante *Helianthemum ruficomum* sur la croissance mycélienne des souches fongiques étudiées.

III.1.2.2.1 De *Neatostema apulum*

Par ailleurs, il a été remarqué que cet extrait présentait une activité optimale à une concentration de 30 μ L /ml contre la souche FOP. Son efficacité a montré une légère diminution à T7, mais s'est révélée significative contre la souche 812, avec une concentration de 30 μ L /ml.

Selon la **Figure 28** les résultats obtenus de l'extrait d'acétate d'éthyle de *N. apulum* révèle un taux d'inhibition variant entre 0 et 46,25%.

Concernant la souche FOP, Il arrive en dernière position en termes de pourcentage d'effet et d'inhibition le plus élevé de cet extrait, 28,75% à la concentration la plus élevée de 30 μ L/ml, et il diminue à 7,5% à la concentration de 15 μ L/ml la concentration de 10 μ L /ml ont convergé vers une inefficacité et une inhibition minimale 6,25%.

Pour la souche T7, à la concentration 30 μ L/ml, l'extrait a montré un pouvoir inhibiteur très fort d'où la sensibilité observée de cette souche, atteignant le pourcentage le

III. Résultats et discussions

plus élevé (46,25 %). Les pourcentages d'inhibition aux concentrations de 15 $\mu\text{l/ml}$ et 10 $\mu\text{l/ml}$ étaient respectivement de 22,5 % et 15 %.

La souche 812 a montré une inhibition de 37,5 % à une concentration plus faible que les souches précédentes, soit 30 $\mu\text{L/ml}$. L'effet de l'extrait sur cette souche était significatif et observable, diminuant à 12,5 % à une concentration de 15 $\mu\text{L/ml}$, et atteignant une inhibition minimale de 6,25 % à 10 $\mu\text{L/ml}$.

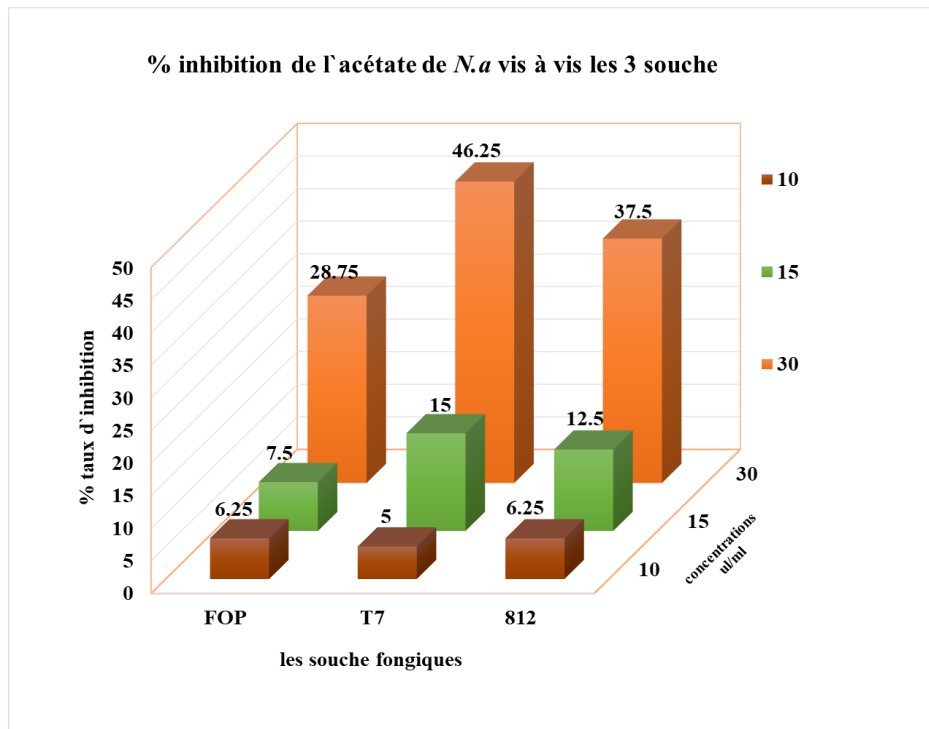


Figure 28: Les Taux d'inhibition de l'extrait d'acétate de la plante *Neatostema apulum* sur la croissance mycélienne des souches fongiques étudiées.

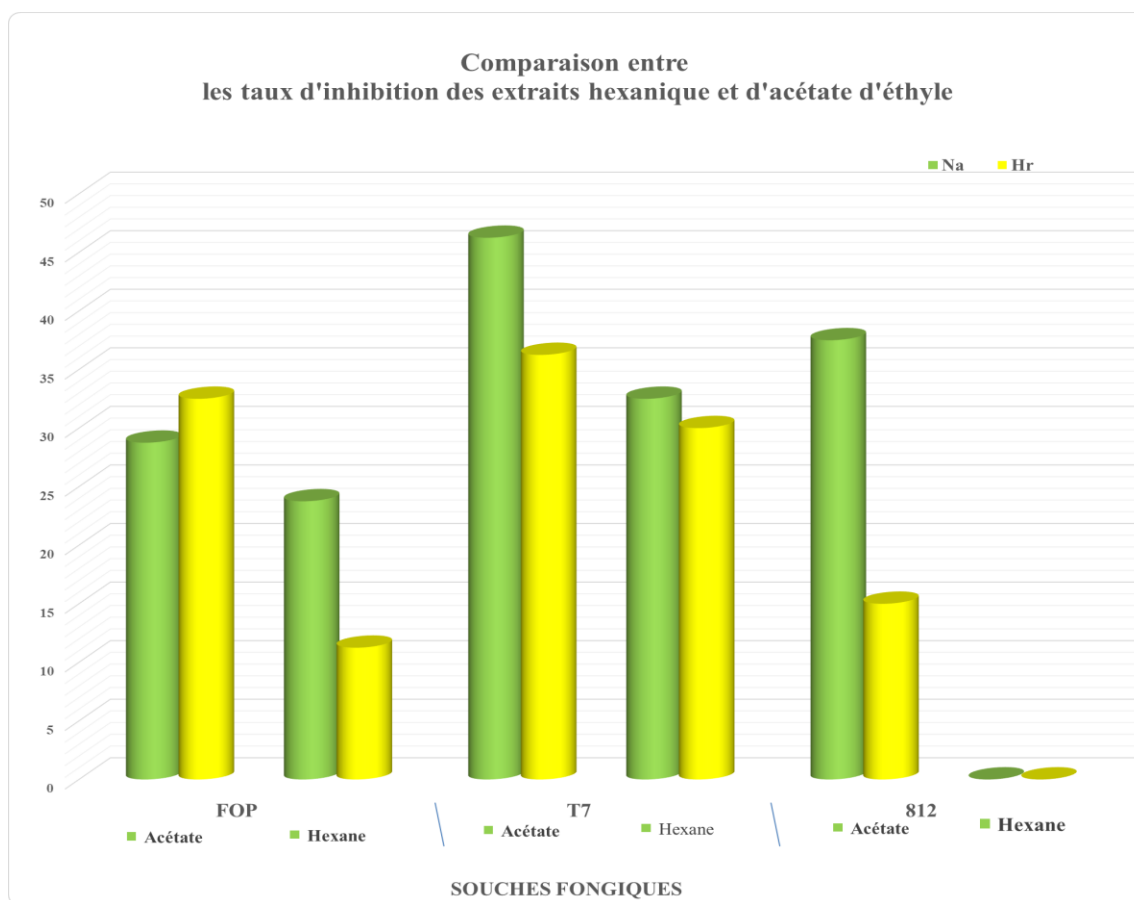


Figure 29: comparaison des taux d'inhibition des extraits hexanique et d'acétate d'éthyle des deux plantes *Neatostema apulum* et *Helianthemum ruficomum* vis à vis des trois souches testées enregistrés à la concentration 30 μ L /ml

L'histogramme représente le pourcentage d'inhibition de l'extrait hexanique et de l'extrait d'acétate d'éthyle pour trois souches différentes des deux plantes.

Il est observé que, dans la première souche FOP, le taux d'inhibition de l'extrait d'acétate d'éthyle est élevé et similaire pour les deux plantes. Pour la plante *N.a*, le taux d'inhibition est de 28.75 %, tandis que pour la plante *H.r*, il est de 32.5 %. En revanche, dans l'extrait d'hexane, le taux d'inhibition est plus faible par rapport à l'extrait d'acétate d'éthyle pour les plantes *N.a* et *H.r*. Plus précisément, un taux d'inhibition de 23.75 % est observé pour la plante *N.a*, et de 11.25 % pour la plante *H.r*.

Dans la deuxième souche, T7, on observe un taux d'inhibition élevé de l'extrait d'acétate d'éthyle dans les deux plantes, en particulier dans la plante *N.a*. Ce taux d'inhibition atteint une valeur maximale de 46.25 %, le plus élevé parmi toutes les souches.

En comparaison avec la plante *H.r.*, où le taux d'inhibition est de 36.25 %, on constate que le taux d'inhibition de l'hexane est nettement plus bas dans les deux plantes : 32.5 % pour la plante *N.a* et 30 % pour la plante *H.r.*

La souche 812, l'extrait d'acétate d'éthyle présente un taux d'inhibition significativement plus élevé dans la plante *N. a* que dans la plante *H. r*, avec des valeurs respectives de 37.5 % et 15%. En ce qui concerne l'extrait d'hexane, aucun effet inhibiteur n'est observé dans les deux plantes, le taux d'inhibition étant de 0 %. Ces résultats confirment l'absence d'effet de cet extrait hexanique sur la croissance fongique des deux souches.

Lors de la comparaison des trois souches, nous constatons que le taux d'inhibition de l'extrait d'acétate d'éthyle est significativement élevé dans toutes les souches, variant entre 28.75% et 46.25 % en tant que valeur d'inhibition maximale. Ce taux est particulièrement marqué dans la plante *N.a* par rapport à la plante *H.r* chez les souches T7 et 812, avec une fourchette de 36.25 % à 46.25 %. Tandis que chez la souche FOP ce taux est marqué dans la plante *H.r* par rapport à la plante *N.a*.

En effectuant une comparaison des taux d'inhibition de l'extrait d'hexane pour les trois souches, nous remarquons que ces taux sont inférieurs à ceux de l'extrait d'acétate d'éthyle pour toutes les souches. En effet, ces taux se situent entre 11.25 % et 30 % pour la plante *H.r.*, tandis que pour la plante *N.a*, ils varient entre 23.75 % et 32.5 % à la fois pour la souche FOP et la souche T₇. En ce qui concerne la souche 812, aucun taux n'a été relevé.

La souche T₇ se distingue par des taux d'inhibition significativement plus élevés que les autres souches pour les deux plantes testées avec l'extrait d'acétate d'éthyle, en particulier la plante *N.a* qui a affiché le taux d'inhibition le plus élevé, atteignant 46.25 %.

III.2 Valorisation de l'activité antifongique des extraits des deux plantes

L'analyse de l'activité antifongique des extraits a révélé que l'extrait d'acétate éthyle des plantes *Neatostema apulum* et *Helianthemum ruficomum* testées s'avère être le plus efficace, affichant des taux d'inhibition supérieurs à ceux de l'extrait hexanique. En effet, cet extrait a démontré une capacité plus élevée à inhiber la croissance mycélienne des champignons, atteignant un taux de 46 %. Cette valeur seuil souligne le potentiel de valorisation de cet extrait, bien que les niveaux d'activité varient en fonction des souches et

des espèces des plantes étudiées. Cette différence pourrait résulter de différences dans la composition chimique des extraits des deux plantes ainsi que de la résistance des souches. Les résultats de **la Figure 29** confirment que l'extrait d'acétate d'éthyle de *Neatostema apulum* présente une forte activité antifongique.

Il a été observé que *F. culmorum* est la souche la plus sensible à l'extrait d'acétate d'éthyle parmi les deux plantes.

Les résultats de l'évaluation du taux d'inhibition et de la croissance mycélienne des différents extraits, ainsi que l'analyse de l'histogramme (**Figure29**) mettant en évidence les variations entre les extraits vis à vis des trois souches testées, révèlent que l'extrait hexanique des plantes *Neatostema apulum* et *Helianthemum ruficomum* présente un effet limité sur l'inhibition de la croissance mycélienne. Cet effet varie en fonction des souches étudiées et des plantes, démontrant une activité antifongique modeste. Ces observations suggèrent une faible teneur en principes actifs dans cet extrait, ce qui pourrait conduire à un développement de la résistance du champignon, à une perturbation de la division cellulaire et à une diminution de l'efficacité des composés actifs contenus dans ces extraits.

En conséquence, les taux d'inhibition observés n'excèdent pas 32 % dans les souches de *F. culmorum* et *F. oxysperum*, tandis qu'aucun effet inhibiteur n'a été constaté dans la souche de *F. graminearum*.

Discussion

Selon **la Figure 29**, qui compare les extraits hexanique et d'acétate d'éthyle de *Neatostema apulum* et *Helianthemum ruficomum* vis-à-vis de trois souches testées, nous observons des différences dans les taux d'inhibition entre les deux plantes. Il est notable que l'inhibition maximale envers la souche T7 de *Fusarium culmorum* a été observée chez *Neatostema apulum*, avec un taux d'inhibition de 46,25 %, 32,5% ont été enregistrés respectivement pour les extraits d'acétate d'éthyle et hexanique.

En revanche, *Helianthemum ruficomum* a montré des pourcentages d'inhibition inférieurs, soit 36,25% et 30% respectivement pour les extraits hexanique et d'acétate d'éthyle, à une concentration de 30 µl/ml.

L'étude de l'activité antifongique de l'extrait hexanique et d'acétate par la méthode de contact direct (*in vitro*) vis à vis trois souches fongiques (*Fusarium oxysperum*, *Fusarium culmorum*, *Fusarium graminearum*), montre que l'extrait d'acétate présente une

III. Résultats et discussions

efficacité contre les trois agents phytopathogènes testés. De plus, il est observé que l'inhibition de la croissance est directement liée à la concentration utilisée. Une forte inhibition est enregistrée sur le *Fusarium culmorum* avec un pourcentage d'inhibitions de 64,25% et 36,25% pour une concentration de 30 µl/ml, indiquant ainsi une sensibilité plus marquée de cette souche. Les autres concentrations entraînent des inhibitions moyennes. Ces résultats suggèrent que les extraits étudiés possèdent une activité antifongique inhibitrice significative mais variable vis-à-vis des trois champignons testés.

Les résultats obtenus indiquent que l'activité inhibitrice augmente proportionnellement à la concentration en extrait dans le milieu de culture. Selon (Mohammdi, 2013), cette observation peut être attribuée à l'impact des métabolites secondaires présents dans les plantes testées. Ainsi, la capacité biologique d'une plante naturelle est étroitement liée et corrélée à sa composition chimique. Le pouvoir antifongique mis en évidence pourrait être expliqué par les composés naturels appelés métabolites secondaires que contiennent ces plantes. Cet effet inhibiteur dépend de la substance ou des substances à caractère antifongique présentes dans chaque extrait. Ces substances agissent simultanément ou différemment, empruntent des voies semblables ou différentes, agissent ensemble ou indépendamment sur une ou plusieurs cibles, conduisant ainsi à une activité antifongique efficace,

Étant donné l'absence de littérature scientifique concernant les plantes testées, nous avons tenté d'établir une comparaison entre nos résultats et d'une étude antérieure portant sur d'autres espèces végétales mais ayant recours aux mêmes extraits et appartiennent au même genre de *Helianthemum ruficomum*, et avec d'autres études antérieures portant sur d'autres espèces végétales ayant recours aux mêmes extraits, au niveau de la partie aérienne.

Benkahoul *et al.*, 2023 ont testé l'effet inhibiteur de quelques extraits de la partie aérienne des plantes du même genre de *Helianthemum ruficomum*, collectés dans la région Oued Djedida (Bechar) dans le sud-ouest de l'Algérie,, contre le *F.oxysperum*, les essais ont montré que l'extrait acétate exerce une faible action inhibitrice sur la croissance de *F.oxysperum* avec un taux d'inhibition de 2,10% pour une concentration de 100 mg/ml de l'extrait, en revanche l'extrait l'AC-O-Et de *H. ruficomum* présente une forte activité antifongique contre ce champignon avec un taux d'inhibition de 32,5 % à une concentration de 30 µl/ml ,Après la comparaison de nos résultats avec ceux de **benkahoul**

et al nous avons déduit que l'extrait l'AC-O-Et de *H. Ruficomum* a une efficacité importante que celui extraite des espèces du genre *Helianthemum* étudiés par ces auteurs .

Les résultats de cette étude sont comparés à ceux obtenus par (**Messaoudi et al., 2021**) qui ont également travaillé sur les mêmes extraits, mais en se concentrant sur la partie aérienne (feuilles et graines) de la plante *Thapsia garganica*. Il est considéré que les résultats de cette recherche dépassent ceux de ces études antérieures en raison de l'utilisation de concentrations plus élevées, ce qui a conduit à des résultats plus satisfaisants. Selon (**Messaoudi et al., 2021**) l'extrait d'acétate a montré un niveau d'inhibition plus significatif, réduisant la croissance mycélienne de *F. graminearum* de 63,13 % lorsqu'il est appliqué à une concentration de 100 mg/ml. En revanche l'extrait hexanique exerce une activité antifongique moyennement appréciable sur la souche *F. graminearum* lorsqu'il est appliqué à une concentration de 157 mg/ml. Ce qui correspond à un taux d'inhibition de 52,5% Tandis que dans notre étude nous n'avons enregistré aucun taux d'inhibition chez cette souche à la concentration 30 µl/ml

D'après les résultats phytochimiques réalisés par (**Chemam et al., 2017**) sur la même plante de *Helianthemum ruficomum* nous trouvons que cette plante est riche en composés phénoliques et en flavonoïdes. De même, les analyses phytochimiques effectuées par (**Nebeg, 2019**) sur les mêmes extraits utilisés ont révélé une richesse en phénols totaux et en flavonoïdes pour l'extrait d'acétate d'éthyle, ainsi qu'en tocophérols et stérols pour l'extrait hexanique. Il est à noter que les composés phénoliques et les lipides ont généralement la capacité d'exercer un effet fongistatique sur la croissance mycélienne de *Fusarium graminearum* ; *Fusarium oxysperum*, *Fusarium culmorum*.

Conclusion

Conclusion

L'Algérie, en tant que pays étendu, dispose de ressources naturelles considérables, telles que les plantes *Neatostema apulum* et *Helianthemum ruficomum* présentes dans le sud du pays. Ces plantes, bien que peu étudiées, présentent un intérêt particulier en termes de phytochimie, et aucune étude n'a encore été entreprise pour évaluer l'activité antifongique de leurs extraits.

Cette étude a été réalisée dans le but d'évaluer l'activité antifongique de certains extraits de la partie aérienne des plantes *Neatostema apulum* et *Helianthemum ruficomum*, collectées dans la région de Gueltet Sidi Saad (wilaya de Laghouat), contre trois souches des espèces de *Fusarium* (*Fusarium oxysporum*, *Fusarium culmorum* et *Fusarium graminearum*).

La méthode de contact direct a été utilisée pour évaluer l'activité antifongique des extraits d'acétate d'éthyle et d'hexane. Les résultats de cette étude ont révélé des taux d'inhibition variables, avec un pourcentage le plus élevé observé pour l'extrait d'acétate (46,25 %) et le plus faible pour l'extrait d'hexane (0 %).

Les résultats d'une surveillance quotidienne de l'évolution de la croissance mycélienne de trois souches de *Fusarium*, traitées avec l'extrait d'acétate révèle une forte activité antifongique significative contre les trois agents phytopathogènes testés à une concentration de C1= 30ul/ml. En revanche, l'extrait hexanique présente une activité antifongique faible, voire nulle, vis-à-vis du *Fusarium graminearum*.

L'efficacité antifongique des extraits révèle une augmentation de l'inhibition de la croissance mycélienne en fonction de la concentration des extraits, laquelle varie en fonction de la physiologie de la souche fongique testée.

Suite à l'analyse des pourcentages d'inhibition des extraits sur les trois espèces fongiques, il a été déduit qu'il existe une différence de résistance entre les espèces fongiques évaluées à l'égard des deux extraits.

Fusarium culmorum se distingue par sa sensibilité particulière et remarquable aux deux extraits des deux plantes.

Cette étude préliminaire, parmi d'autres recherches sur les extraits naturels, soulève la possibilité d'utiliser ces extraits d'origine végétal comme alternatives adéquates pour la lutte contre les maladies fongiques affectant les plantes.

Nous souhaitons la poursuite de cette étude en vue de promouvoir l'utilisation des fongicides comme alternative aux produits chimiques nocifs et polluants, en faveur des fongicides d'origine végétale. Cette transition vise à réduire l'impact environnemental, notamment en préservant la santé humaine.

Il est recommandé de procéder à :

- Traiter des grains avec un biofongicide avant de les planter.
- Effectuer des essais antifongiques sur des souches fongiques différentes.
- D'élargir la diversité des échantillons prélevés dans diverses régions.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques



Agrios, G. (2005). Plant pathology 5th edition: Elsevier academic press. *Burlington, Ma. USA*, 79-103.

Alleche, n. (2017). *Activité antifongique de quelques extraits d'une plante endémique sur des moisissures du blé stocké* Université des Frères Mentouri Constantine

APG. (2016). World geographical scheme for recording plant distributions. *Botanical journal of the Linnean Society*, 951.



Barron, G. (2013). Fusarium_culmorum. In <https://atrium.lib.uoguelph.ca/items/bcbcd455-997f-44cd-af32-ce5708a96991> .

Benabderrahim, M. A., Yahia, Y., Bettaieb, I., Elfalleh, W., & Nagaz, K. (2019). Antioxidant activity and phenolic profile of a collection of medicinal plants from Tunisian arid and Saharan regions. *Industrial Crops and Products*, 138, 111-427.

Benkahoul, L., Chaib, N., & Mekhloufi, D. (2023). *Etude phytochimique et activités biologiques d'une plantesaharienne de la famille des Cistaceae* Université des Frères Mentouri Constantine].

Bettache, G. (1993). *La fusariose vasculaire de la région d'Oran* [thèse de magister en microbiologie,

Bhatti, M. Z., Ismail, H., & Kayani, W. K. (2022). Plant secondary metabolites: therapeutic potential and pharmacological properties. In *Secondary Metabolites-Trends and Reviews*. IntechOpen.

Boisneau, C., & Toubon, J. (2009). Protection phytosanitaire et biodiversité en agriculture biologique. Le cas des vergers de pommiers.

Bonnaama, F., Hadjadj, S., & Zerarka, F. (2021). *Evaluation de pouvoir antifongique de quelques extraits des feuilles de Thapsia garganica* [Mémoire de Master, Université Ammar Theledji. Laghouat].

Booth, C. (1971). *The genus Fusarium*. Kew, UK, Commonwealth Mycological Institute.

Bouamer, A., Bellagh, T., & Moulay, O. (2005). *Etude comparative entre les huiles essentielles de la menthe verte (Mentha spicata L) et de la menthe poivrée*

Références bibliographiques

(*Mentha piperita L*) dans la région de Ouargla université université de Kasdi Merbah Ouargla].

Bourgaud, F., Gravot, A., Milesi, S., & Gontier, E. (2001). Production of plant secondary metabolites: a historical perspective. *Plant science*, 161(5), 839-851.

Brizicky, G. K. (1964). The genera of Cistaceae in the southeastern United States. *Journal of the Arnold Arboretum*, 45(3), 346-357.

℘

Chemam, Y., Benayache, S., Marchioni, E., Zhao, M., Mosset, P., & Benayache, F. (2017). On-line screening, isolation and identification of antioxidant compounds of *Helianthemum ruficomum*. *Molecules*, 22(2), 239.

Chézeau, G., & Lahondère, C. (1986). Compte rendu de l'excursion du 26 mai 1985 Canal de Rompsay, Pointe du Chay, Yves (Charente-Maritime).

Cho, J. Y., Choi, G. J., Son, S. W., Jang, K. S., Lim, H. K., Lee, S. O., Sung, N. D., Cho, K. Y., & Kim, J. C. (2007). Isolation and antifungal activity of lignans from *Myristica fragrans* against various plant pathogenic fungi. *Pest Management Science: formerly Pesticide Science*, 63(9), 935-940.

Coleman, J. J., Ghosh, S., Okoli, I., & Mylonakis, E. (2011). Antifungal activity of microbial secondary metabolites. *PloS one*, 6(9), e25321.

℘

D'Amelia, V., Docimo, T., Crocoll, C., & Rigano, M. M. (2021). Specialized metabolites and valuable molecules in crop and medicinal plants: The evolution of their use and strategies for their production. *Genes*, 12(6), 936.

Deacon, J. (2006). Fungal Biology. Institut of cell and Molecular Biology. Université of Edinburgh. *Persoonia*.

Delattre, J., Beaudoux, J.-L., & Bonnefont-Rousselot, D. (2005). *Radicaux libres et stress oxydant: aspects biologiques et pathologiques*. Editions Tec & Doc.

Dobignard, A. A., Chatelain, C. A., Fisher, M. C., Orso, J. C., & Jeanmonod, D. C. (2011). Index synonymique de la flore d'Afrique du Nord (Volume 2, Dicotyledoneae: Acanthaceae-Asteraceae).

℘

El Ajjouri, M., Satrani, B., Ghanmi, M., Aafi, A., Farah, A., Rahouti, M., Amarti, F., & Aberchane, M. (2008). Activité antifongique des huiles essentielles de

Références bibliographiques

Thymus bleicherianus Pomel et Thymus capitatus (L.) Hoffm. & Link contre les champignons de pourriture du bois d'œuvre. *Base*.

Elhouiti, F. (2018). Valorisation des huiles essentielles de *Rhanterium adpressum* Goss. & Durieu par analyse chimique et étude de leurs bioactivités .

F

Felidj, M., Bouazza, M., & Ferouani, T. (2010). Note sur le cortège floristique et l'intérêt de la plante médicinale *Ammoides pussila* (verticillata) dans le Parc national des Monts de Tlemcen (Algérie occidentale). *Geo-Eco-Trop*, 34, 147-154.

G

Gomes, L., Ward, T., Badiale-Furlong, E., & Del Ponte, E. (2015). Species composition, toxigenic potential and pathogenicity of *F usarium graminearum* species complex isolates from southern Brazilian rice. *Plant pathology*, 64(4), 980-987.

Grainge, M., & Ahmed, S. (1988). *Handbook of plants with pest-control properties*

Greuter, W. (1984). Burdet h.-M. & long G. 1984: Med-Checklist 1. Genève: Conservatoire et Jardin botanique & Berlin: Botanischer Garten und Botanisches Museum.

Guillaume, D., & Charrouf, Z. (2005). Saponines et métabolites secondaires de l'arganier (*Argania spinosa*). *Cahiers Agricultures*, 14(6), 509-516

Gupta, D. R., Avila, C. S. R., Win, J., Soanes, D. M., Ryder, L. S., Croll, D., Bhattacharjee, P., Hossain, M. S., Mahmud, N. U., & Meheub, M. S. (2019). Cautionary notes on use of the MoT3 diagnostic assay for *Magnaporthe oryzae* wheat and rice blast isolates. *Phytopathology*, 109(4), 504-508.

H

Haas, D. (2015). *Métabolisme secondaire de Streptomyces ambofaciens: exploration génomique et étude du groupe de gènes dirigeant la synthèse du sphydrofurane* Université Paris Sud-Paris XI].

Haas, D. (2017). *Métabolisme secondaire de Streptomyces ambofaciens: exploration génomique et étude du groupe de gènes dirigeant la synthèse du sphydrofurane* Université Paris Sud-Paris XI].

Hanifi, N. (1991). Importance des ressources phytogénétiques et leur utilisation en Algérie. *conservation des ressources végétales. Publication des Actes éditions*, 47-49.

Hibar, K., Daami-Remadi, M., & El Mahjoub, M. (2007). Effets de certains fongicides de synthèse et biologiques sur la croissance mycélienne et l'agressivité de *Fusarium oxysporum* f. sp. *radicis-lycopersici*. *Tropicultura*, 25(3), 146-152.

ℑ

ibn Tattou, M. (2001). Nouveaux matériaux pour la flore du Maroc.(fascicule 6).

ℑ

Johnston, I. M. (1953). STUDIES IN THE BORAGINACEAE, XXIV A. THREE GENERA SEGREGATED FROM LITHOSPERMUM. *Journal of the Arnold Arboretum*, 34, 1-16.

ℑ

Kadereit, J. W., & Bittrich, V. (2016). *Flowering Plants. Eudicots: Aquifoliales, Boraginales, Bruniales, Dipsacales, Escalloniales, Garryales, Paracryphiales, Solanales (except Convolvulaceae), Icacinaceae, Metteniusaceae, Vahliaceae* (Vol. 14). Springer.

Kant, P., Reinprecht, Y., Martin, C., Islam, R., & Pauls, K. (2019). Disease resistance. *Comprehensive biotechnology*, 789-805.

Krief, S. (2003). *Métabolites secondaires des plantes et comportement animal: surveillance sanitaire et observations de l'alimentation des chimpanzés (Pan troglodytes schweinfurthii) en Ouganda. Activités biologiques et étude chimique de plantes consommées* Museum national d'histoire naturelle-MNHN PARIS].

Kumar, A., Sharma, S. S., & Kumar, B. (2020). Palynological studies on some plants of Boraginaceae. *J. Biotech. Biochem*, 6, 4.

Kwazou, N., Dongmo, P. M. J., Ngoune, L. T., Sameza, M., Dongmo, B., Zollo, P. H. A., & Menut, C. (2009). Propriétés antifongiques des huiles essentielles de quelques plantes du genre *Aframomum* du Cameroun contre *Aspergillus flavus*. *Cameroon Journal of Experimental Biology*, 5(1).

ℑ

Laterrot, H., Rouxel, F., Davet, P., Mineau, R., Nourrisseau, J. G., & et Jonan, B. (1988). La fusariose vasculaire de la tomate en France. *P.H.M.Rev.Horticol* 35-40.

Lauzon, M., Dion, Y., & Rioux, S. (2007). Fusariose de l'épi chez le blé et l'orge. *CEROM Saint-Bruno-de-Montarville, bulletin technique: phyt*

Le Floc'h, E., Boulos, L., & Véla, E. (2010). *Catalogue synonymique commenté de la flore de Tunisie*. République Tunisienne, Ministère de l'environnement et du développement

Lepoivre, P. (2003). Phytopathologie. 1ere édition de Boeck. In: Bruxelles.

Leslie, J., & Summerell, B. (2006). The Fusarium laboratory manual. *First edition, Blackwell Publishing*, 414. *opathologie*(2.1).



Martín-Hernanz, S., Albaladejo, R. G., Lavergne, S., Rubio, E., Grall, A., & Aparicio, A. (2021). Biogeographic history and environmental niche evolution in the Palearctic genus *Helianthemum* (Cistaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*, 163, 107238.

Mazid, M., Khan, T., & Mohammad, F. (2011). Role of secondary metabolites in defense mechanisms of plants. 232–249.

Merhej, J. (2010). *Mécanismes moléculaires contrôlant la biosynthèse de mycotoxines par le champignon micromycète Fusarium graminearum* Bordeaux 1].

Messaoudi, H., Mihoubi, A., & Nibouche, I. (2021). *Evaluation de pouvoir antifongique de quelques extraits des graines de Thapsia garganica*. [Mémoire de Master, Université Ammar Theledji, Laghouat.].

Mifsud, S. (1953). *Neatostema apulum* (Yellow Gromwell): MaltaWildPlants. com-the online Flora of the Maltese Islands. *Jour. Arnold Arb*, 34(6).

Mohammdi, Z. (2013). *Etude phytochimique et activités biologiques de quelques plantes médicinales de la région nord et sud ouest de l'Algérie* [Thèse de Doctorat en Biologie, Université aboubekr Belkaid. Algérie].

Mohammedi, Z. (2006). 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 Belkaïd Tlemcen*. 105p.

Morcia, C., Mehani, M., Salhi, N., Nazari, L., Khelil, A., Bara, A., Ghizzoni, G., Tumino, G., & Terzi, V. (2015). On the role of natural compounds in mycotoxigenic fungi control. *The battle against microbial pathogens: Basic science, technological advances and educational programs*, 193-198.

Mpondo, E. M., Yinyang, J., & Dibong, S. (2015). Valorisation des plantes médicinales à coumarines des marchés de Douala Est (Cameroun). *Journal of Applied Biosciences*, 85, 7804–7823-7804–7823.



Nebeg, H. (2019). *Contribution à l'étude des fractions polaire et apolaire de Thapsia garganica L* [Thèse de doctorat, Université Kasdi Merbah Ouargla].

Références bibliographiques

Nganje, W. E., Bangsund, D. A., Leistritz, F. L., Wilson, W. W., & Tiapo, N. M. (2002). Estimating the economic impact of a crop disease: the case of Fusarium head blight in US wheat and barley. National Fusarium Head Blight Forum Proceedings.

℘

OMS. (2003). Médecine traditionnelle (rapport du secrétariat). Cinquantesixième assemblée mondiale de la santé. (*Organisation Mondiale de la Santé*), (a56/18), 5.

℘

Pérez-García, F., & González-Benito, M. (2006).Seed germination of five *Helianthemum* species: Effect of temperature and presowing treatments. *Journal of Arid Environments*, 65(4), 688-693.

Prapagdee, B., Kuekulvong, C., & Mongkolsuk, S. (2008). Antifungal potential of extracellular metabolites produced by *Streptomyces hygrosopicus* against phytopathogenic fungi. *International journal of biological sciences*, 4(5), 330.

℘

Rapparini, F., & Peñuelas, J. (2014). Mycorrhizal fungi to alleviate drought stress on plant growth. *Use of microbes for the alleviation of soil stresses, volume 1*, 21-42.

Raynaud, C. (1984). Contribution à l'étude de certaines espèces du genre " *Helianthemum*" sect. " *Helianthemum*": note préliminaire. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*,

℘

Sánchez.Maldonado, A. F., Schieber, A., & Gänzle, M. G. (2016). Antifungal activity of secondary plant metabolites from potatoes (*Solanum tuberosum* L.): Glycoalkaloids and phenolic acids show synergistic effects. *Journal of Applied Microbiology*, 120(4), 955-965.

SANOOGO, R. (2006). Le rôle des plantes médicinales en médecine traditionnelle, Université de Bamako; Pharmacognosie, Faculté de Médecine de Pharmacie et d'Odonto. *Stomatologie, Université de Bamako (Mali)*, 2(7), 53.

Shikur Gebremariam, E., Sharma-Poudyal, D., Paulitz, T., Erginbas-Orakci, G., Karakaya, A., & Dababat, A. (2018).Identity and pathogenicity of *Fusarium* species associated with crown rot on wheat (*Triticum* spp.) in Turkey. *European journal of plant pathology*, 150, 387-399.

Sreenivasan Sasidharan, S. S., Selvarasoo Logeswaran, S. L., & Lachimanan Yoga Latha, L. Y. L. (2012). Wound healing activity of *Elaeis guineensis* leaf extract ointment.

Références bibliographiques

Sweet, R. (1830). *Cistinae: The Natural Order of Cistus, Or Rock-rose; Illustrated by Coloured Figures & Descriptions of All the Distinct Species, and the Most Prominent Varieties, that Could be at Present Procured in the Gardens of Great Britain; with the Best Directions for Their Cultivation and Propagation.* J. Ridgway.

ℱ

Tabuc, C. (2007). *Flore fongique de différents substrats et conditions optimales de production des mycotoxines*

Trail, F., & Common, R. (2000). Perithecial development by *Gibberella zeae*: a light microscopy study. *Mycologia*, 92(1), 130-138.

ℱ

Valdés, B. (2002). *Catalogue des plantes vasculaires du Nord du Maroc, incluant des clés d'identification.* Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

Van Dam, P., & M, R. (2017). The Distribution of Miniature Impala Elements and SIX Genes in the *Fusarium* Genus is Suggestive of Horizontal Gene Transfer. 85, 14-25.

Vermerris, W., Nicholson, R., Vermerris, W., & Nicholson, R. (2006). The role of phenols in plant defense. *Phenolic compound biochemistry*, 211-234.

Vinale, F., Sivasithamparam, K., Ghisalberti, E., Marra, R., Barbetti, M., Li, H., Woo, S. L., & Lorito, M. (2008). A novel role for *Trichoderma* secondary metabolites in the interactions with plants. *Physiological and molecular plant pathology*, 72(1-3), 80-86.

ℱ

Wulff, E. G., Sørensen, J. L., Lübeck, M., Nielsen, K. F., Thrane, U., & Torp, J. (2010). *Fusarium* spp. associated with rice Bakanae: ecology, genetic diversity, pathogenicity and toxigenicity. *Environmental Microbiology*, 12(3), 649-657.

ℱ

Yu, J., & Kim, K.-H. (2020). Exploration of the interactions between mycoviruses and *Fusarium graminearum*. *Advances in Virus Research*, 106, 123-144.

ℱ

Zeghouane, H. (2014). *Essai de caractérisation phytochimique des extraits de quelques plantes médicinales du Sahara septentrional Est- Algérien* [Mémoire MASTER, Université Kasdi Merbah, Ouargla.].

Zhou, X., Zeng, M., Huang, F., Qin, G., Song, Z., & Liu, F. (2023). The potential role of plant secondary metabolites on antifungal and immunomodulatory effect. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 107(14).

Annexes

Composition du milieu de culture

1. Potatoes dextrose Agar (PDA)

Infusion de pomme de terre ----- 200 ml

Glucose -----20 g

Agar-agar ----- 20 g

Eau distillée ----- qsp 1L



2. Solution d'Agar 0,2%

Agar-agar ----- 2 g

Eau distillée ----- qsp 1L



Photos des résultats obtenus

