

Université Abdelhamid Ibn Badis Mostaganem
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département : Sciences agronomiques

جامعة عبد الحميد ابن باديس مستغانم
كلية العلوم الطبيعية و الحياة
قسم العلوم الزراعية

Mémoire de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Protection des végétaux

Intitulé :

***Évaluation de l'activité antifongique de l'extrait de
Pistacia lentiscus contre Fusarium oxysporum, agent
causal de Fusariose chez la Tomate.***

Présenté et soutenu par :

BENFATMA Nesrine et BELAKHDAR Houda

Jury d'évaluation :

Président	Adjoudj Fatma	Maître de conférences A	Université de Mostaganem
Examineur	Yahiaoui Hassiba	Maître de conférences B	Université de Mostaganem
Encadreur :	Maghnia Djamilia	Maître de conférences A	Université de Mostaganem

Année universitaire : 2025 – 2026

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah le Tout-Puissant de nous avoir donné la force, la patience et le courage pour mener à bien ce travail.

*Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre encadrante, Mme **Maghnia Djamila**, pour son accompagnement, ses précieux conseils, sa disponibilité et son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer notre travail.

Nous remercions chaleureusement tous les enseignants du département de Protection des végétaux de l'Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, pour la qualité de la formation qu'ils nous ont assurée durant notre parcours universitaire.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance à nos chers parents et à nos familles respectives pour leurs sacrifices, leur amour, leurs encouragements et leur soutien moral et matériel.

Nos remerciements vont également à nos amis, collègues et à toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, nous nous remercions mutuellement pour nos efforts, notre patience et notre esprit d'équipe tout au long de ce travail.

Merci à tous.

Dédicace

➤ *À mes chers parents : Rachid, Assia*

Aucune parole ne saurait exprimer pleinement l'amour, la gratitude et le respect que je vous porte. Vous avez été, tout au long de mon parcours, mon refuge, ma force et ma source de courage. Grâce à vos sacrifices, votre patience et votre soutien inconditionnel, j'ai pu avancer et atteindre ce stade de ma vie.

Ce travail est le fruit de vos efforts autant que des miens. Je vous le dédie avec tout mon cœur, en témoignage de ma profonde reconnaissance et de mon amour infini.

Que Dieu vous protège et vous garde toujours à mes côtés.

➤ *Ma chère binôme Houda*

Merci pour ta présence, ton aide et ton partage tout au long de ce travail.

Cette réussite est aussi le résultat de notre effort commun.

Nesrine

Dédicace

➤ *Ce projet fin d'étude est dédié à mes chers parents qui m'ont toujours poussé et motivé dans mes études. Sans eux, je n'aurais certainement pas fait d'études longues. Ce projet fin d'étude représente donc l'aboutissement du soutien et des encouragements qu'ils m'ont prodigués tout au long de ma scolarité. Qu'ils en soient remerciés par cette trop modeste dédicace.*

C'est un moment de plaisir de dédier cet œuvre, à mes sœurs, ma cousine

Merci pour votre tendresse, votre présence rassurante et votre soutien dans les moments où j'en avais le plus besoin.

A ma fidèle ma meilleure amie Nesrine

Merci pour vos mots encourageants, vos encouragements qui m'ont portée jusqu'au bout.

Houda

Sommaire

Introduction.....	01
Chapitre I : Plante hôte et agents <i>Alternaria solani</i>	01
I. Généralités sur la tomate	01
II. Origine et historique de la tomate :.....	01
III. Classification botanique :.....	03
IV. Situation et importance économique de la tomate :.....	04
V. Conditions de la germination :	06
VI. Classification variétale :.....	08
VII. Classification génétique :.....	09
VIII. Les caractères morphologiques de la tomate :.....	09
IX. Cycle biologique de tomate :.....	12
X. Les exigences climatiques et édaphiques de la tomate :.....	14
XI. Exigences édaphiques :.....	15
XII. Les principales maladies de tomate :.....	16
XIII. Données sur le champignon <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp <i>lycopersicon</i> :.....	18
XIV. Généralités sur <i>Fusarium oxysporum</i> :.....	18
XV. Classification de l'agent pathogène :.....	19
XVI. La morphologie et caractère de culture :.....	19
XVII. Gamme d'hôte :	20
XVIII. Cycle biologique :.....	21
XIX. La lutte contre <i>Fusarium oxysporum</i> :	21
Chapitre II : Les huiles essentielles et les plantes étudiées	22
I. Généralités sur les huiles essentielles :.....	22
II. Localisation des huiles essentielles dans la plante :.....	22
III. Composition chimique des HEs :.....	23
IV. Propriétés physico-chimiques des HEs :.....	24
V. Les principes méthodes d'extraction des huiles essentielles :.....	25

VI.	Activités biologiques des huiles essentielles :	29
VII.	Origine et répartition de la plante :	30
VIII.	Noms communs :	30
IX.	Classification taxonomique :	30
X.	Description botanique :	31
XI.	La répartition géographique :	32
XII.	Composition de l'huile essentielle Lentisque :	33
A.	Matériel végétal, extraction et préparation de l'huile essentielle	34
I.	Objectif général.....	34
II.	Matériel végétal (<i>Pistacia lentiscus</i> L. utilisées pour l'extraction) :	34
III.	Extraction de l'huile essentielle :	34
IV.	Rendement d'extraction :	35
V.	Conservation de l'huile essentielle :	35
VI.	Préparation des différentes concentrations de l'huile essentiel :	35
B.	Isolement et identification du champignon pathogène	36
I.	Collecte des échantillons de tomates pourries :	36
II.	Isolement des champignons sur milieu de culture :	36
III.	Purification et obtention des cultures pures :	37
IV.	Identification morphologique du champignon isolé :	37
V.	Conservation des souches isolées :	37
C.	Évaluation de l'activité antifongique in vitro :	37
I.	Test de diffusion sur gélose (méthode des disques imprégnés) :	37
II.	Test des puits (Well Diffusion Assay) :	39
D.	Évaluation de l'activité antifongique in vivo sur des plants de tomate :	41
I.	Matériel végétal :	41
II.	Préparation de l'inoculum du champignon pathogène :	41
III.	Contamination artificielle des plantes :	41
IV.	Traitements par l'huile essentielle :	42
V.	Dispositif expérimental :	42
VI.	Évaluation de l'incidence et de la sévérité de la maladie :	42

VII.	Calcul du pourcentage d'inhibition fongique :.....	42
E.	Evaluation de la bio conservation des tomates :.....	43
I.	Matériel végétal :.....	43
II.	Préparation des traitements :.....	43
III.	Application des traitements :.....	43
IV.	Conditions de conservation :.....	43
V.	Suivi des paramètres de conservation :.....	44
VI.	Perte de poids :.....	44
VII.	Qualité organoleptique :.....	44
I.	L'huile essentielle :.....	45
II.	Isolement et identification du pathogène :.....	45
III.	Activité antifongique in vitro de l'huile essentielle :.....	47
XX.	Efficacité de l'huile essentielle sur plants de tomate inoculés in vivo :.....	49
XXI.	Effet de l'huile essentielle sur la conservation post-récolte des fruits de tomate :.....	52
XXII.	Perte de poids :.....	57
	Conclusion :.....	58
	Références bibliographiques :.....	60
	Annexes :.....	65

LISTE DES FIGURES

Figure1 : Principaux producteurs de la tomate dans le monde (Fao-stat. 2022) :.....	04
Figure2 : Graines à l'intérieur d'une tomate. (Parlons sciences, s.d) :.....	06
Figure3 : Comparaison entre la croissance indéterminée et déterminée chez la tomate(Adapté de Heuvelink, 2018)...	07
Figure4 : Racines de plant de tomate isolées sur fond blanc (Dreams time, s.d.) :.....	09
Figure5 : La tige de la tomate (Terra Potager, 2022) :.....	10
Figure6 : Feuille de la tomate (Futura, s.d.) :.....	10
Figure7 : Schéma d'une fleur de tomate (Société Nationale d'Horticulture de France, 2020) :.....	11
Figure8 : Plant de tomate portant des fruits mûrs. (Herbe, s.d.) :.....	12
Figure10 : Diagramme du cycle de vie de la tomate (2020 Parlons sciences) :.....	13
Figure11 : Vue microscopique, Fusarium oxysporum (adaptée de Fourie et al., 2011) :.....	19
Figure 12 : Schéma du principe de la technique d'hydrodistillation (Clevenger, 1928) :.....	26
Figure 13 : Extraction par entraînement à la vapeur d'eau (Clevenger, 1928) :.....	27
Figure 14 : l'extraction par la pression à froid (Clevenger, 1928) :.....	28
Figure 15 : Feuille de la plante Pistacia lentiscus (Lies Van Rompaey, 2017) :.....	31
Figure 16 : Fruit de Pistacia lentiscus (Wunderlin, s.d.) :.....	32
Figure 17 : Carte de distribution de lentisque.....Lentiscus. (Al Saghir, 2006).....	33
Figure 18 : Extraction de l'huile essentielle au laboratoire biochimie 2 (photo originale,2026).....	35
Figure 19 : Les différentes concentrations de l'huile essentielle (photo originale,2026).....	36
Figure 20 : Etapes d'ensemencement Par écouvillonnage (Photo originale,2026) :.....	38
Figure 21 : Illustration de la méthode de diffusion par puits sur boîte de Pétri(Bouamara, 2016).....	39
Figure 22 : Etape de test des puits(Well Diffusion Assay) (photos originales,2026).....	40
Figure 23 : Test des puits(Well Diffusion Assay) (photos originales,2026).....	40
Figure 24 : Matérielle végétale des plants de tomate (photo originale,2026) :.....	41
Figure 25 : Isolement des champignons sur milieu de culture Sabouraud (photo originale,2026).....	46
Figure 26 : Observation microscopique du champignon fusariose (photo originale,2026).....	46
Figure 27 : Plante témoin saine (photo Originale,2026) :.....	51
Figure 28 : Évaluation des plantes après inoculation fongique.....2026) :.....	51
Figure 29 : Incidence de la pourriture (%) des tomates à 25°C :.....	52
Figure 30 : Tomate traitées au contact direct de 10 % après 20 jours.....2026) :.....	53
Figure 31 : Taux de pourriture des tomates à 25 °C après 20 jours :.....	54
Figure 32 : Incidence de la pourriture (%) des fruits de tomate à 4 °C :.....	55
Figure 33 : Tomate traitées au contact direct de 100 % apr.....originale,2026) :.....	55

Figure 34 : Taux de pourriture des tomates à 4 °C après 20 jours :.....	56
Figure 35 : Perte de poids cumulée (%) des tomates à 20 jours :.....	57

LISTE DES TABLEAU

Tableau1 : Production de la tomate en Algérie (Fao stat. 2022) :.....	05
Tableau 2 : Rendement et caractéristiques feuilles de lentisque Algérien. :.....	45
Tableau 3 : Zones d'inhibition (mm) de l'huile essentielle..... d'incubation à 25 °C :.....	48
Tableau 4 : Diamètres des zones d'inhibition par la méthode des puits sur <i>Fusarium oxysporum</i>	48
Tableau 5 : Résultats d'Observation l'effet de différentes concentrations sur la plante :.....	50

Liste des abréviations

Abréviation	Signification
HE	Huile Essentielle
HEs	Huiles Essentielles
L.	Linnaeus (autorité taxonomique, ex. <i>Pistacia lentiscus</i> L.)
f. sp.	Forma specialis (forme spéciale, ex. <i>Fusarium oxysporum</i> f. sp. <i>lycopersici</i>)
F. oxysporum	<i>Fusarium oxysporum</i> (abrégé dans le texte)
P. lentiscus	<i>Pistacia lentiscus</i> (abrégé dans le texte)
C. albicans	<i>Candida albicans</i> (abrégé dans le texte)
ATCC	American Type Culture Collection (collection de souches, ex. ATCC 10231)
JAI	Jours Après Inoculation
HR	Humidité Relative
ZI	Zone d'Inhibition
°C / C°	Degrés Celsius
G	Gramme
Ml	Millilitre
Mm	Millimètre
%	Pourcentage
H	Heure
Fig.	Figure

Résumé

Ce mémoire de fin d'étude, réalisé à l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, évalue le potentiel antifongique de l'huile essentielle de lentisque (*Pistacia lentiscus*) contre *Fusarium oxysporum*, agent responsable de la fusariose vasculaire de la tomate. Face aux limites des fongicides chimiques (pollution, résistances), l'étude explore une alternative biologique fondée sur les propriétés antimicrobiennes de cette plante méditerranéenne. Les tests in vitro montrent une activité strictement dose-dépendante, la concentration pure inhibant 77,4 % de la croissance mycélienne, un résultat proche du fongicide de référence. Sur plants de tomate inoculés, la concentration de 50 % apparaît comme la dose optimale : elle offre une protection satisfaisante tout en préservant la santé de la plante, alors que la concentration pure, bien que très efficace, provoque une phytotoxicité sévère. Enfin, pour la conservation post-récolte, l'association de l'huile essentielle à 100 % avec un stockage réfrigéré à 4 °C permet de réduire drastiquement la pourriture et les pertes de poids des fruits. Dans l'ensemble, ces travaux démontrent que l'huile essentielle de lentisque constitue une alternative crédible et prometteuse aux fongicides de synthèse dans une stratégie de protection intégrée des cultures de tomate.

Mots-clés : *Pistacia lentiscus*, *Fusarium oxysporum*, *Solanum lycopersicum*, biocontrôle, conservation post-récolte, fongicides naturels.

Abstract

This final-year dissertation, conducted at Abdelhamid Ibn Badis University of Mostaganem, evaluated the antifungal potential of the essential oil of mastic tree (*Pistacia lentiscus*) against *Fusarium oxysporum*, the causal agent of tomato vascular wilt. In response to the limitations of chemical fungicides, including environmental pollution and the development of resistant pathogen strains, this study investigated a biological alternative based on the antimicrobial properties of this Mediterranean plant. The in vitro assays revealed a strictly dose-dependent antifungal activity, with the pure essential oil inhibiting 77.4% of mycelial growth, a result comparable to that obtained with the reference fungicide. In inoculated tomato plants, the 50% concentration proved to be the optimal dose, providing effective disease control while maintaining plant health. In contrast, the pure essential oil, although highly effective against the pathogen, caused severe phytotoxic effects. Regarding postharvest preservation, the combination of 100% essential oil treatment and refrigerated storage at 4°C significantly reduced fruit decay and weight loss. Overall, the findings demonstrate that mastic tree essential oil represents a promising and environmentally friendly alternative to synthetic fungicides and could be integrated into sustainable tomato crop protection strategies.

Keywords: *Pistacia lentiscus*, *Fusarium oxysporum*, *Solanum lycopersicum*, biological control / Biocontrol, Post-harvest conservation, Natural fungicides

ملخص

هذا المذكرة، التي نجزت في جامعة عبد الحميد بن باديس بمستغانم، تُقيم الإمكانية المضادة للفطريات لزيت البطم ضد فوزاريوم/أوكسيسبوروم، المسبب لذبول الفيوزاريوم الوعائي في الطماطم (*Pistacia lentiscus*) العطري في ظل المحدوديات التي يفرضها استخدام المبيدات الفطرية الكيميائية (التلوث، ظهور السلالات المقاومة)، تستكشف الدراسة بديلاً بيولوجياً يعتمد على الخصائص المضادة للميكروبات لهذا النبات المتوسطي أظهرت الاختبارات المخبرية فعالية تتبع بدقة العلاقة بين الجرعة والاستجابة، حيث أحدث التركيز النقي تثبيطاً لنمو الغزل الفطري، وهو نتيجة مقارب لأداء المبيد الفطري المرجعي 77.4% بنسبة كالجرعة المثلّ: إذ يوفر حماية مرضية مع الحفاظ على 50% على نباتات الطماطم الملقحة، برز التركيز بنسبة صحة النبات، بينما التركيز النقي، رغم فعاليته العالية، يسبب سمية نباتية حادة درجات 4 وأخيراً، في مجال الحفظ ما بعد الحصاد، أتاح دمج الزيت العطري بنسبة 100% مع التخزين المبرد عند منوية تقلصاً حاداً للتعفن وخسارة وزن الثمار بشكل عام، تُثبت هذه الأعمال أن زيت البطم العطري يشكل بديلاً موثقاً وواعداً للمبيدات الفطرية الصناعية ضمن استراتيجية الحماية المتكاملة لمحاصيل الطماطم.

الكلمات المفتاحية: البطم الشائع فوزاريوم/أوكسيسبوروم مغنولية الطماطم المكافحة البيولوجية حفظ ما بعد الحصاد المبيدات الفطرية الطبيعية

Introduction

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) constitue l'une des cultures maraîchères d'importance majeure à l'échelle mondiale. Par sa valeur nutritionnelle considérable et sa consommation diversifiée — tant à l'état frais qu'après transformation — elle occupe une place centrale dans l'alimentation humaine. Sur le plan national, la culture de cette espèce revêt un caractère stratégique en Algérie, où elle participe activement au développement économique du secteur agricole et à la consolidation de la sécurité alimentaire. Néanmoins, la productivité de cette culture demeure fréquemment entravée par l'incidence de nombreuses pathologies d'origine fongique, lesquelles compromettent substantiellement le rendement ainsi que la qualité sanitaire et commerciale des fruits.

Parmi ces affections, la fusariose vasculaire, due à l'action de *Fusarium oxysporum*, se distingue par sa gravité et sa virulence. Ce pathogène tellurique s'introduit préférentiellement par l'appareil radicalaire, envahit par la suite les tissus conducteurs et induit un ensemble de symptômes délétères : décoloration foliaire, flétrissement systémique et, in fine, une baisse drastique de la production. Ajoutons à cela sa remarquable longévité dans le sol, qui confère à cette maladie un caractère particulièrement tenace et difficile à maîtriser.

À l'heure actuelle, la gestion de cette pathologie repose encore massivement sur l'application de fongicides de synthèse. Or, l'usage récurrent et souvent non maîtrisé de ces substances chimiques génère des externalités préoccupantes : pollution environnementale, atteintes à la santé publique et, sur le plan biologique, l'émergence de souches résistantes au pathogène. Confrontés à ces limites, les communautés scientifiques et agronomiques investissent de plus en plus dans l'élaboration de stratégies alternatives, respectueuses des agrosystèmes et de la santé humaine. À cet égard, l'exploitation d'extraits végétaux dotés de propriétés antimicrobiennes apparaît comme une piste d'avenir particulièrement séduisante.

À titre illustratif, le lentisque (*Pistacia lentiscus* L.), arbuste méditerranéen de la famille des Anacardiaceae largement distribué sur le pourtour littoral de l'Afrique du Nord, présente un intérêt considérable. Reconnu depuis longtemps dans la pharmacopée traditionnelle pour ses vertus thérapeutiques, cette espèce a fait l'objet d'investigations scientifiques approfondies qui ont révélé la richesse de sa composition chimique. Feuilles, fruits et résines renferment en effet une palette de métabolites secondaires d'intérêt — polyphénols, flavonoïdes et tanins notamment — reconnus pour leurs activités biologiques, et singulièrement leurs effets antimicrobiens et antifongiques.

Dans cette optique, l'évaluation rigoureuse du potentiel antifongique des extraits végétaux offre une voie prometteuse pour le développement de moyens de protection phytosanitaire innovants, en rupture avec la dépendance aux molécules de synthèse. Plusieurs études ont déjà corroboré l'efficacité d'extraits issus de plantes médicinales contre *Fusarium oxysporum*, renforçant ainsi l'hypothèse de leur valorisation en tant qu'alternative crédible aux fongicides conventionnels.

Cette étude porte sur la tomate (*Solanum lycopersicum*), le champignon pathogène *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* et l'huile essentielle de lentisque (*Pistacia lentiscus* L.). Elle est organisée en deux parties principales : théorique et expérimentale.

La **partie théorique** comporte deux chapitres. Le premier présente la tomate (origine, classification, importance économique, morphologie, cycle biologique et exigences écologiques) ainsi que le pathogène *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (classification, morphologie, gamme d'hôtes, cycle biologique et méthodes de lutte). Le second chapitre est consacré aux huiles essentielles (généralités, composition, propriétés, méthodes d'extraction et activités biologiques) et à la lentisque (origine, répartition, description botanique et composition de son huile essentielle).

La **partie expérimentale** décrit le matériel et les méthodes : extraction et caractérisation de l'huile essentielle, isolement et identification du champignon, évaluation de l'activité antifongique *in vitro* (diffusion sur gélose et puits) et *in vivo* sur plants de tomate, ainsi que l'effet de l'huile sur la bioconservation post-récolte des tomates (perte de poids et qualité organoleptique). Le travail se termine par la présentation et la discussion des résultats, suivies d'une conclusion générale.

Partie Bibliographie

Chapitre I : Plante hôte et agents *Alternaria solani*

I. Généralités sur la tomate :

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est une plante herbacée annuelle appartenant à la famille des Solanacées, originaire d'Amérique du Sud. Elle est cultivée à grande échelle à travers le monde en raison de ses fruits juteux, qui sont riches en nutriments et en antioxydants tels que le lycopène. Cette plante produit des fleurs de couleur jaune, qui donnent naissance à des fruits de formes variées, connus sous le nom de baies. Elle constitue une source significative de vitamines et de minéraux essentiels pour l'alimentation humaine. Sa culture requiert un climat chaud, bien qu'elle soit vulnérable à plusieurs maladies, en particulier celles d'origine fongique. (Agrios, 2005 ; FAO, 2021)

II. Origine et historique de la tomate :

La tomate, connue sous le nom scientifique de *Solanum lycopersicum* L., provient de la région andine en Amérique du Sud et a été domestiquée au Mexique par des civilisations précolombiennes. Son introduction en Europe remonte au XVI^e siècle, suite à la découverte du continent américain. À l'origine, elle était cultivée comme plante ornementale avant de devenir un aliment prisé. Au fil du temps, sa culture s'est répandue à l'échelle mondiale, touchant des régions telles que l'Asie, l'Afrique et le Moyen-Orient, et elle est désormais considérée comme l'une des cultures maraîchères les plus significatives. Ce processus de domestication progressive a engendré une multitude de variétés cultivées que l'on trouve aujourd'hui (Blanca et al., 2012 ; Shankara et al., 2005).

III. Classification botanique :

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) appartient au règne végétal et se classe comme suit :

- **Règne** : Plantae (Plantes)
- **Embranchement** : Magnoliophyta (Angiospermes)
- **Classe** : Magnoliopsida (Dicotylédones)
- **Ordre** : Solanales
- **Famille** : Solanaceae
- **Genre** : *Solanum*
- **Espèce** : *Solanum lycopersicum* L.

IV. Situation et importance économique de la tomate :

- Dans le monde :

La production mondiale de la tomate a connu une évolution importante depuis l'année 2011, où la production évoluait de 160153427.38 tonnes vers 189281485.32 tonnes en 2022. En 2019 on constate une baisse de la production de tomates en raison de l'épidémie de Corona, la production de tomates a diminué, notamment dans les principaux pays producteurs

L'Asie et l'Afrique sont les principaux producteurs de la tomate du monde, présentent un pourcentage de 85% de la superficie mondiale en 2022. En matière de production l'Asie représente 64 % de la production mondiale, l'Amérique 13%, l'Afrique 12%, l'Europe 11% et Bien que les récoltes de l'Océanie soient 0.10%, Le rendement le plus élevé enregistré en l'Océanie 73.48 (t/h), l'Amérique 61.46 (t/h), l'Europe 54.59 (t/h), l'Asie 44.15(t/h), En dernière place l'Afrique avec 15.66 (t/h)

Les plus grands producteurs de la tomate au monde sont ; la Chine en premier lieu avec plus de 68 millions de tonnes soit 36,66% de la production mondiale, suivi par l'Inde avec 20 Millions de tonnes soit 11,11% de la production mondiale, ensuite la Turquie avec 13 millions de tonnes soit 6,98% de la production mondiale, l'état unis plus de 10 millions de tonnes et l'Égypte avec plus de 06 millions de tonnes soit 3.37% (Fig. 1)

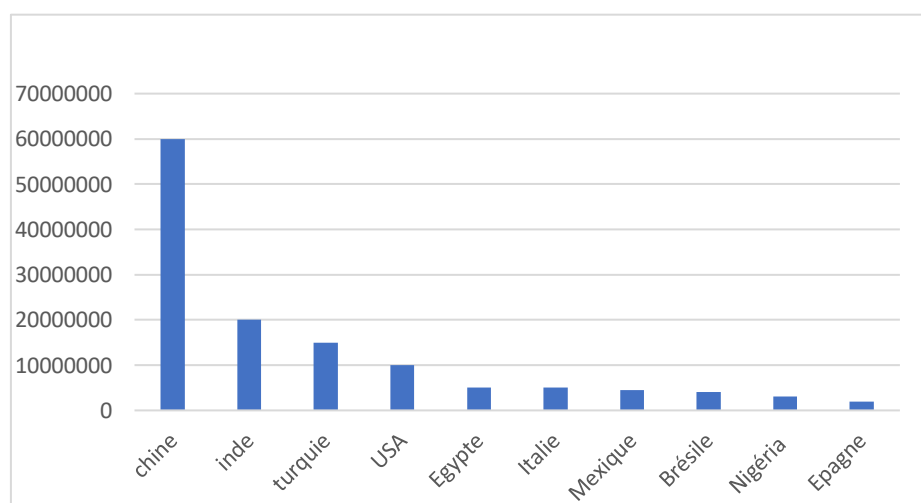


Figure1 : Principaux producteurs de la tomate dans le monde (Fao-stat. 2022)

- **En Algérie :**

La tomate en Algérie est en pleine expansion, à la faveur de nombreux programmes mis en place par le ministère de l'agriculture et de développement rurale. Pour son développement, de nouvelles techniques de production sont introduites ces dernières années, permettant plus de rendement à l'hectare (Benlahcene et Chemeur, 2018). Le tableau suivant présente la production et la superficie de la tomate en Algérie (2012-2022), On constate une augmentation de la superficie de 21542 Ha en 2012 vers 25050 Ha en 2022. La production augmente de 796963 tonnes en 2012 à 1661664.37 tonnes en 2022, cette augmentation a eu un impact sur le rendement des tomates qui a passé de 369 958 t/ha en 2012 vers 663 327t/ha en 2022

Tableau1 : Production de la tomate en Algérie (Fao stat. 2022)

Année	Superficie (Ha)	Quantité (T)	Rendement (T/Ha)
2012	21542	796963	369958
2013	22497	975075	4332424
2014	22646	1065609.3	470551
2015	24065	1163766	483593
2016	22556	1280570	567729
2017	23977	1286286	536467
2018	22323	1309745.15	586729
2019	24996	1477878	591246
2020	26311	1635616.3	621647
2021	25755	1641636	637408
2022	25050	1661664.37	663327

V. Conditions de la germination :

La germination est le processus par lequel une plante se développe à partir d'une graine jusqu'à devenir une plantule. Les graines restent en dormance jusqu'à ce que les conditions soient favorables à la germination. Toutes les graines ont besoin d'eau, d'oxygène et d'une température optimale pour germer (Bennett, M. B. (2021, Février 1))

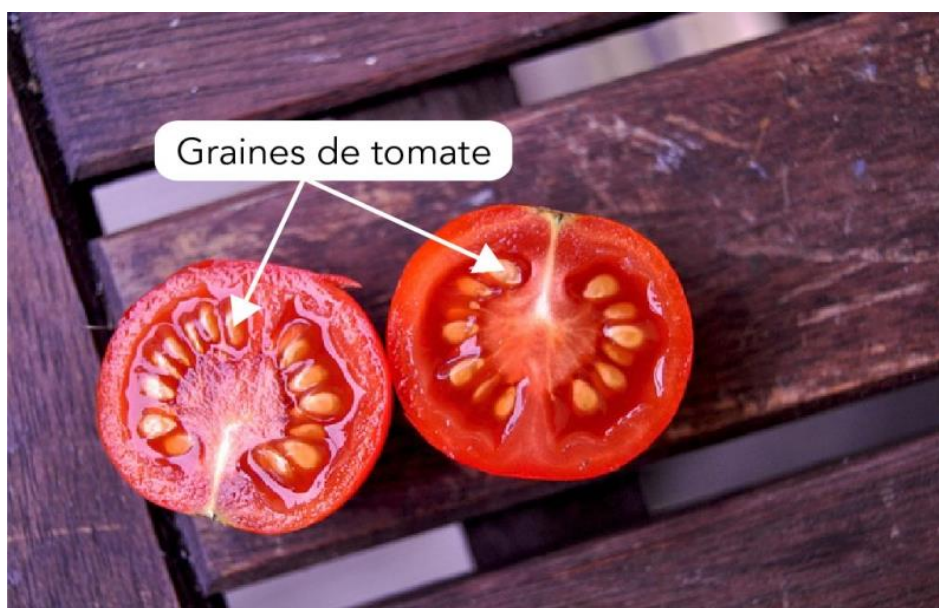


Figure2 : Graines à l'intérieur d'une tomate. (Parlons sciences, s.d)

- **Conditions internes :**

Avant la germination, la graine doit répondre à de nombreuses conditions internes qui sont : La maturité c'est-à-dire que toutes les parties qui la constituent soient complètement différenciées morphologiquement (Bewley et al., 2013).

La deuxième condition de germination interne est la disponibilité de l'amidon, des protéines, des lipides et des nutriments pour l'embryon de la graine à travers l'activité des enzymes et des voies spécifiques (Taiz et al., 2015). La troisième condition de germination interne est la longévité des semences, autrement dit, la durée pendant laquelle les semences restent vivantes et gardent leur pouvoir germinatif. Cette dernière condition varie considérablement en fonction des espèces (Raven et al., 2005).

- **Les conditions de germination externes :**

La germination des graines exige donc des conditions favorables – externes qui sont la disponibilité en eau, en oxygène et une température compatible avec un métabolisme cellulaire actif-et internes, la levée des dormances (Taiz et al., 2015 ; Université of Minnesota, 2020). Pour germer, toute graine a besoin en plus d'eau, d'oxygène, de la chaleur et éventuellement de lumière.

- ✓ **L'eau :** est évidemment indispensable et doit être disponible dans le milieu extérieur en quantité suffisante mais aussi sous des liaisons suffisamment faibles pour que la graine puisse l'absorber (Bewley et al., 2013).
- ✓ **L'oxygène :** doit être à la pression ordinaire de l'atmosphère ; les graines ne germent ni dans le vide ni sous une pression trop élevée. Cet oxygène se combine avec les glucides et les lipides que renferme la graine lors des processus de respiration. Sous l'influence de l'humidité, la graine se gonfle, les enveloppes éclatent ou se ramollissent (Corbineau, 2022).
- ✓ **La température :** nécessaire à la germination est variable suivant les graines. Le cresson (Finch-Savage & Footitt, 2022). Par exemple, germe entre 1,8 et 48 °C, mais la température optimum est de 31 °C ; l'orge (*Hordeum vulgare* L. Poacée) germe entre 5 et 37,7 °C, son optimum est 28,7 °C ; le maïs (*Zeamays* L. Poacée) germe entre 9,5 et 46,2°C, son optimum est 33,7 °C. Il existe des graines, notamment celles des plantes dites pyrophytes, qui vivent dans des milieux sujets aux fréquents incendies, survivent très bien au passage du feu. Chez certaines espèces mêmes (Labrèche, 2001).
- ✓ **La lumière :** est aussi un facteur externe de la germination. On a cru pourtant, dans le passé, que la lumière n'était pas nécessaire à la germination. Mais, chez certaines espèces, on note une nette action positive de la lumière sur la germination. Il est aussi bien connu que certaines graines ne doivent pas être recouvertes. Elles germent en surface, exposées à Chapitre I Synthèse bibliographique 06 l'alternance jour/nuit. Inversement chez d'autres espèces, la germination est meilleure en obscurité totale. La lumière joue un rôle prépondérant dans la germination des graines qui possèdent, au même titre que les feuilles, des récepteurs photosensibles (phytochrome) (Taiz et al., 2015).

VI. Classification variétale :

- **Variétés à croissance déterminées :** Dans ce groupe, on trouve des variétés dont la tige émet un nombre donné de bouquets à fleurs. Mais cette tige principale est terminée par un bouquet à fleurs, comme d'ailleurs les rameaux anticipés, il en résulte que faute de bourgeon terminal la croissance de la tige s'arrête d'elle-même. Ce groupe est donc à retenir lorsque l'on souhaite disposer d'une récolte élevée en tonnage, mais dans un éventail de production peu étendu, de 6 à 7 semaines environ. Elles sont utilisées généralement lors de la culture en plein champs (Laumonnier, 1979). En Algérie on trouve des variétés fixées (AICHA) et des variétés hybrides. Ces dernières sont les plus utilisées, elles contiennent essentiellement : FAROUNA, JUKER, LUXOR, SUPER RED, TOP 48, TOMALAND, SUZANA, et ZIGANA ZERALDA (Senoussi, 2010).
- **Variétés à croissance indéterminées :** Ces variétés présentent une tige principale poussant avec régularité et formant un bouquet à fleurs toutes les trois feuilles généralement. Il en résulte que la production des fruits est prolongée. On peut l'arrêter par un pincement du bourgeon terminal à la hauteur souhaitée. Ce groupe se caractérise par un rendement important qui s'étale sur une longue période (Laumonnier, 1979). En Algérie les variétés hybrides sont les plus utilisées citant quelques une ACTANA, AGORA, BOND, NEDJMA, TAFNA, TAVIRA, TOUFAN, TYERNO et ZAHRA (Senoussi, 2010).

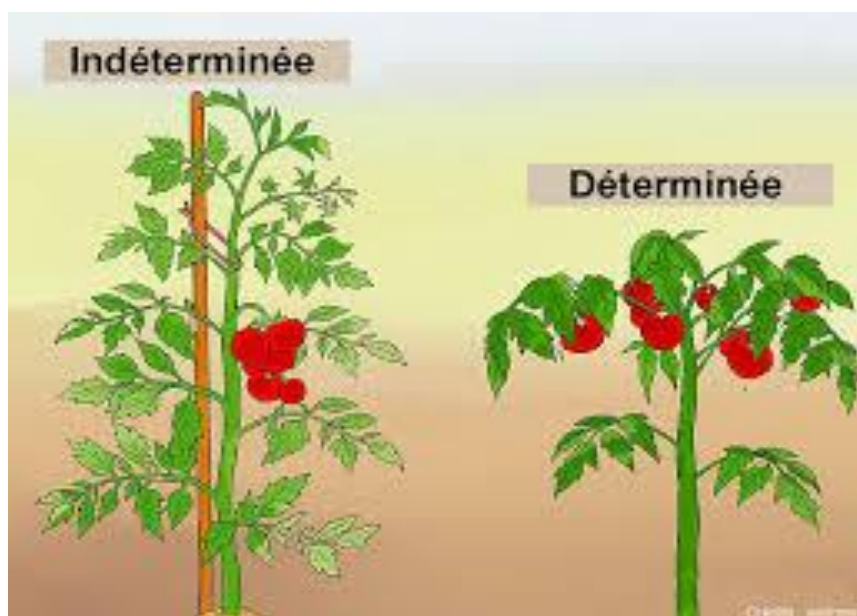


Figure3 : Comparaison entre la croissance indéterminée et déterminée chez la tomate (Adapté de Heuvelink, 2018)

VII. Classification génétique :

- **Les variétés fixées :** Il existe plus de cinq cents variétés fixées (conservent les qualités parentales). Leurs fruits sont plus ou moins réguliers, sont sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative (Polese, 2007).
- **Variétés hybrides :** Les variétés hybrides sont plus nombreuses. Elles sont relativement récentes, puisqu'elles n'existent que depuis 1960 (Polese, 2007).

•

VIII. Les caractères morphologiques de la tomate :

La tomate est une plante annuelle, de la famille des solanacées à apport buissonnant nécessitant de nombreuses interventions manuelles. C'est une plante autogame a fleurs groupées en inflorescence, les fruits ont une forme très variable selon la variété (Clement ,1990).

- **Systèmes racinaires :** Le système racinaire est puissant, très ramifié à tendance fasciculée. Il est très actif sur les 30 à 40 premiers centimètres. En sol profond, on peut trouver des racines jusqu'à 1 mètre de profondeur (Chaux et Foury, 1994).



Figure4 : Racines de plant de tomate isolées sur fond blanc (Dreams time, s.d.)

- **Tige :** Elle est pubescente et présente une certaine épaisseur au niveau des entre-nœuds. On distingue deux types de poils sur la tige et les feuilles : des poils simples et des poils glanduleux renfermant une huile essentielle, responsable de l'odeur caractéristique de la tomate ainsi que de sa coloration verte (KokibaliIkkoko, 2009).



Figure5 : La tige de la tomate (Terra Potager, 2022)

- **Les feuilles :** Indispensables pour la photosynthèse. Elles sont persistantes. Les vieilles feuilles perdent leur pouvoir photosynthétique et deviennent même nuisibles pour la plante, responsables du retard de croissance des fruits. Les professionnels les coupent, ce qui est problématique en main-d'œuvre puisque cette opération doit se renouveler toutes les semaines (feuilles au-dessus des prochains fruits à récolter). Les feuilles sont composées, de 5 à 7 folioles et sont alternes sur la tige. (RongKc, 2015)



Figure6 : Feuille de la tomate (Futura, s.d.)

- **Fleurs :** La fleur est hermaphrodite. Le pistil est entouré d'un cône de 5 à 7 étamines à déhiscence introrse et longitudinale. Les fleurs, à corolles soudées en forme d'étoile à cinq pointes sont jaune vif. Elles sont réunies en cymes et s'épanouissent de fin mai à septembre. D'un point de vue anatomique, la fleur de la tomate comprend 5 sépales, 5 pétales, 5 étamines et 2 carpelles. (RongKc, 2015)

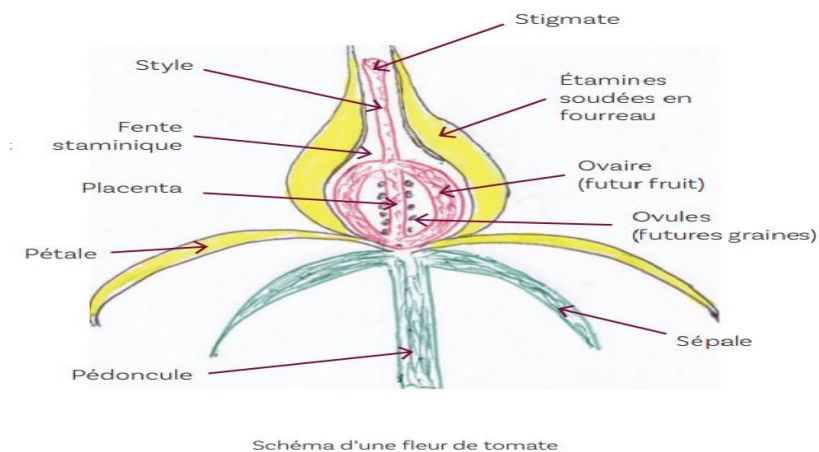


Figure7 : Schéma d'une fleur de tomate (Société Nationale d'Horticulture de France, 2020)

- **Fruits :**

Les fruits charnus sont des baies à 2 ou 3 loges, à graines très nombreuses, de taille, de forme et de couleur très variées :

- ✓ La taille va de quelques grammes (tomate groseille) à près de 2 kg :
- ✓ La forme est généralement sphérique, plus ou moins aplatie. Plus ou moins côtelée, mais il en existe en forme de cœur ou de poire
- ✓ Couleur, d'abord verte, vire généralement au rouge à maturité, mais il en existe des blanches, des jaunes, des noires, des roses, des vertes, des violettes, des oranges et des bicolores. (RongKc, 2015)

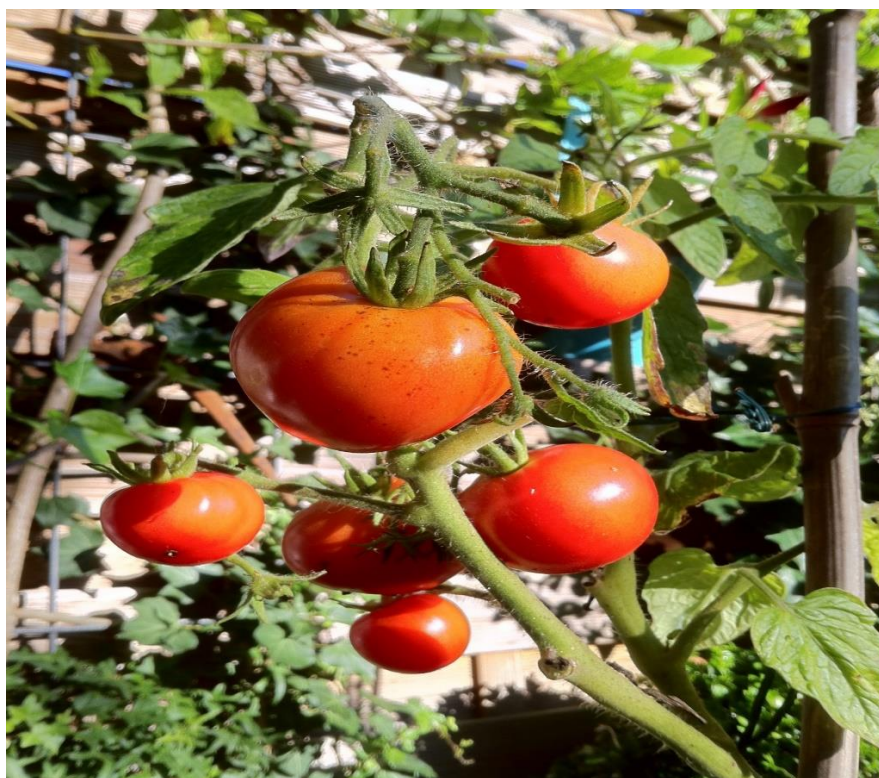


Figure8 : Plant de tomate portant des fruits mûrs. (Herbe, s.d.)

IX. Cycle biologique de tomate :

Le cycle de la tomate est très variable, sa durée totale s'étend de quatre mois à sept mois et demi en fonction des conditions de culture et de la variété. La levée des graines est assez rapide et prend généralement 1 semaine. Est recommandé d'élever les jeunes plants en pépinière durant 4 à 6 semaines et de les repiquer en plein champ par la suite. Généralement, les premières fleurs apparaissent entre 3 et 6 semaines après le repiquage et la nouaison (formation des fruits) commence 1 semaine après l'apparition des premières fleurs.

Lorsque les conditions de maturation des fruits sont bonnes, ceux-ci peuvent être récoltés 1 mois après la nouaison soit 3 à 4 mois après le semis. La récolte est elle aussi très dépendante des conditions de culture et notamment de la pression des nuisibles (oiseaux, mouches des fruits) et des intempéries. Elle peut être écourtée à moins d'un mois comme s'étendre sur plus de 2 mois. La tomate peut se cultiver toute l'année mais il est conseillé d'éviter la saison des pluies qui peut causer des dégâts importants en cas de fortes intempéries, sauf en cas de culture sous abris. (Direction de l'agriculture [DAG], 2016)

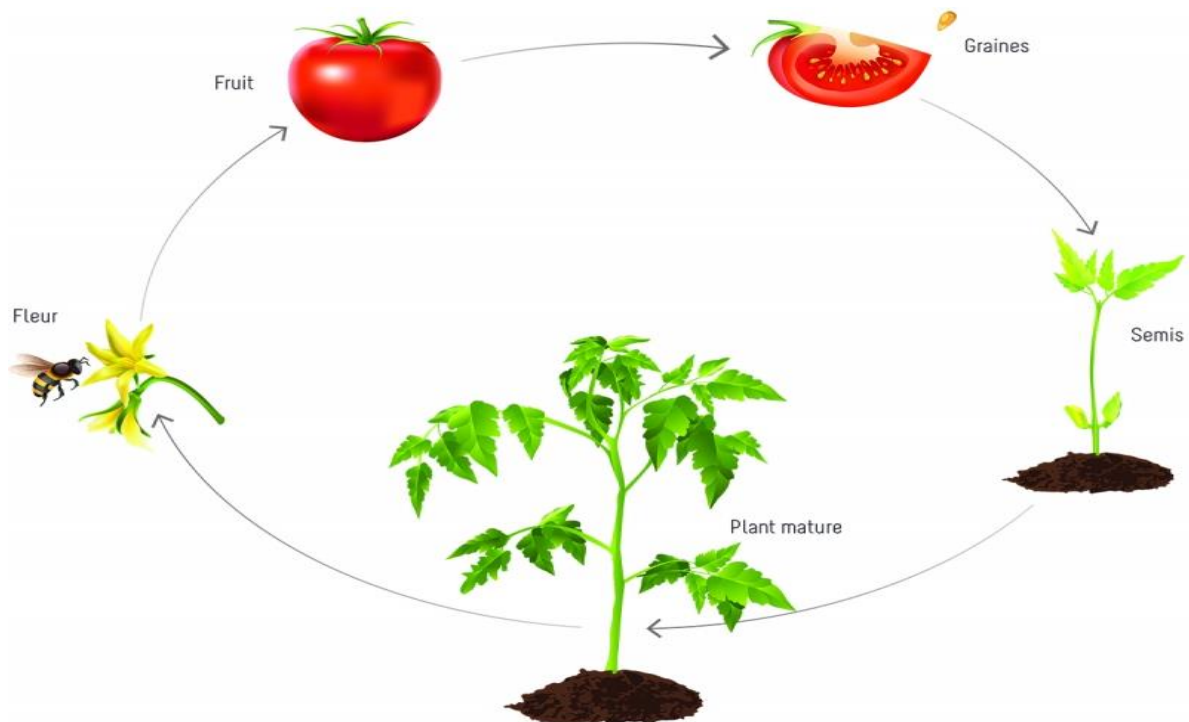


Figure10 : Diagramme du cycle de vie de la tomate (2020 Parlons sciences).

- **Phase de germination :** À une température ambiante de 18 à 24°, la fermentation a lieu après environ 6 à 8 jours. La tigelle et deux feuilles cotylédonaire simples et opposées émergent au-dessus du sol. Sous terre, la racine présente un manchon de poils absorbants clairement observable.
- **Phase d'expansion :** La racine se prolonge et adopte l'apparence d'un filament de couleur blanche sur lequel surgissent des racines secondaires. Les deux premières feuilles véritables commencent à se former autour du onzième jour. Elles ne sont véritablement développées qu'à partir du vingtième jour. Après environ un mois, on observe 3 à 4 paires de feuilles qui sont coupées. La plantule atteint en moyenne une hauteur de 15 à 20 cm, et c'est à ce moment-là qu'il est opportun de la transplanter directement sur le terrain
- **Phase de floraison :** Pendant une phase spécifique de développement des plantes, qui s'étend généralement sur environ un mois. La floraison de la tomate se produit simultanément, les fleurs apparaissant sur les écrans de boutons. Le processus de floraison est influencé par la durée du jour, la température et les besoins nutritionnels spécifiques. La plante nécessite une exposition lumineuse à la floraison. La durée de vie de la plante est déterminée par ses propres caractéristiques, parallèlement à une consommation équilibrée de sève.
- **Phase de fructification /maturation :** Il commence au stade de floraison. Il commence par le fruit de. Ce motif commence par l'inflorescence basale et persiste dans les plus hautes.

L'émergence des grappes de fleurs et la pollinisation des fleurs. La main-d'œuvre féminine est en expansion, mais une fois atteint son sommet, le nombre commence à diminuer. La couleur passe du vert au jaune, puis au rouge, avec l'intensité croissante progressivement. Ce stade dure. Environ deux mois, ou entre quatre et six mois après la plantation. La durée de la phase végétative. Les tomates ont besoin d'environ quatre à cinq mois pour mûrir lorsqu'elles sont semées directement à l'extérieur, ou de cinq à six mois autrement. Plusieurs mois sont nécessaires pour les plantes transplantées. Contrairement au cycle saisonnier, la période végétative s'étend et peut atteindre. 7 mois.

X. Les exigences climatiques et édaphiques de la tomate :

- **Les exigences climatiques :** La température, la lumière et l'humidité sont les trois éléments essentiels. La croissance de la Tomate est incohérente. (CHAUX et FOURY, 1994).
- **La température :** Les tomates ont besoin d'un environnement relativement frais et aride pour produire une récolte. Cependant, la plante s'est adaptée à un large éventail de conditions. Le climat varie de tempéré à chaud, des conditions tropicales humides. La plupart des variétés prospèrent mieux à des températures allant de 21 à 24°C. Il peut s'étendre sur une plage de température donnée, mais il est inférieur à 10°C et dépasse celle-ci. Les tissus végétaux ont subi des dommages à 38°C (SHANKARA et al. (2005))
- **La lumière :** Comme pour l'ensemble des espèces végétales, la croissance et la production de la Tomate sont largement conditionnées par le rayonnement solaire reçu par la plante. Cette énergie joue un rôle crucial dans le processus de photosynthèse et de transpiration, ce dernier permettant à la plante de synthétiser des sucres ou assimilés à partir du dioxyde de carbone absorbé de l'air et de l'eau extraite du sol, constituant ainsi la base de la matière sèche. L'intensité de la photosynthèse est proportionnelle à la quantité d'énergie reçue et à l'interception de cette lumière par le feuillage. Elle est également influencée par des facteurs tels que la température, la concentration en CO₂ dans l'air et l'ouverture des stomates (NAVEZ, 2011)
- **Eau et Humidité :** La Tomate nécessite une quantité importante d'eau, ce qui requiert une irrigation adéquate tout en évitant l'asphyxie des racines. Un stress hydrique prolongé peut entraîner la chute des bourgeons et des fleurs, ainsi que le fendillement des fruits. Les risques sont accrus lors de pluies particulièrement intenses. Une humidité excessive peut également provoquer la pourriture des fruits (LAMBERT, 2006). Malheureusement, les conditions climatiques favorables à la culture de la tomate sont également propices au développement des bioagresseurs (GUENAOUI, 2008)

XI. Exigences édaphiques :

- **Le sol :**

Les préférences concernant le type de sol sont variées. Il est essentiel que le sol soit bien aéré et possède un bon drainage. L'asphyxie des racines, même de manière temporaire, est nuisible à la culture. La teneur en matière organique du sol doit être suffisamment élevée (entre 2 et 3 %) afin d'assurer des rendements satisfaisants (ZIRI, 2011). La Tomate se développe de manière optimale dans la plupart des sols minéraux dotés d'une bonne capacité de rétention d'eau et d'une aération adéquate. Elle privilégie les sols limoneux, profonds et bien drainés (SHANKARA et al., 2005). La couche superficielle du sol doit être perméable, et une profondeur de 15 à 20 cm est favorable à la croissance saine de la culture. Dans les sols argileux lourds, un labour profond favorise une meilleure pénétration des racines (ZIRI, 2011)

- **Le pH :**

La tomate présente une tolérance à une large gamme de pH, avec un intervalle optimal compris entre 4,5 et 8,5, les meilleures conditions nutritionnelles étant assurées à des pH variants entre 6 et 7. Toutefois, dans les sols à pH basique, certains microéléments (Fe, Mn, Zn, Cu) peuvent être peu disponibles pour la plante (CHAUX et FOURY, 1994). De plus, des valeurs de pH inférieures ou supérieures peuvent entraîner des carences minérales ou des toxicités (VAN DER VOSSSEN et al., 2004)

- **La salinité :**

La Tomate présente une sensibilité modérée à la salinité ; les engrais chlorurés semblent toutefois inadaptés à sa culture (LETARD et al., 1995). Cette culture tolère une conductivité électrique (CE) comprise entre 3 et 4,5 mmohs/cm. L'impact de la salinité est plus prononcé sur le rendement, en raison de la réduction du calibre des fruits. Il est donc recommandé de maintenir la salinité entre 1 et 2 mmohs/cm à 25°C, en fonction du stade de développement de la culture et de la saison (SKIREDJ, 2005)

XII. Les principales maladies de tomate :

Mildiou <i>Phytophthora</i> <i>infestant</i>	Le mildiou est l'une des maladies fongiques les plus courantes qui affectent fréquemment les plantes de tomates. Il est causé par le champignon <i>Phytophthora infestants</i>, qui se propage rapidement par temps humide et chaud.	 Tomates touchées par le mildiou
Oïdium <i>Oïdium</i> <i>neolycopersici</i>	L'oïdium de la tomate, parfois appelé le « blanc », est causé par un champignon : <i>Oïdium neolycopersici</i>. Ce dernier se développe sur les feuilles, les tiges et les fruits et se propage par les spores du champignon qui peuvent être transportées par le vent sur de longues distances.	 L'oïdium est reconnaissable au duvet blanc qui recouvre généralement les feuilles
Pourriture grise (Botrytis)	La pourriture grise est une maladie fongique causée par le champignon <i>Botrytis cinerea</i>. Ce dernier se développe dans des conditions humides et fraîches, par exemple en cas de pluies prolongées ou d'un arrosage inadapté	 Infection par <i>Botrytis cinerea</i>
La tache septorienne	Le coupable de la tache septorienne n'est autre que le champignon <i>septoria lycopersici</i>, de la famille des mycosphaerellacées. Il laisse comme empreintes des taches grises avec des points noirs qui se multiplient au niveau du feuillage des plants de tomate	 La tache septorienne

Cul noir (Nécrose apicale)	Le cul noir de la tomate est facilement reconnaissable par les taches noires ou brunes sur la partie inférieure des fruits. Cette nécrose apicale est causée par une carence en calcium qui peut être due à plusieurs facteurs : sol insuffisamment riche ou trop acide, excès d'engrais azoté...	 Le « cul noir » ou nécrose apicale est facilement reconnaissable
Mosaïque du tabac	La mosaïque du tabac est une maladie virale courante chez les tomates, causée par un virus du genre Tobamovirus (Tobacco Mosaic Virus ou TMV). Cette maladie virale est transmise par le contact avec des plantes infectées, les outils de jardinage ou les mains sales, ou des insectes vecteurs. Les tomates cultivées dans un sol contaminé peuvent également contracter la maladie	 Feuilles de tomate touchée par la mosaïque du tabac Feuilles de tomate touchées par la mosaïque du tabac
Éclatement des fruits	Le phénomène d'éclatement des tomates n'est pas dû à une maladie particulière. En revanche, il peut conduire au développement rapide de maladies sans des mesures de prévention appropriées.	 Éclatement des tomates
La chlorose	La maladie de la chlorose, due à une carence nutritionnelle, induit un vieillissement prématuré du plant de tomate lequel ne donne alors pas de fruits.	 La chlorose

L'alternariose de la tomate	Maladie cryptogamique causée par les champignons <i>Alternaria solani</i> ou <i>Alternaria tomatophila</i>, l'alternariose de la tomate apprécie les climats doux et humides. Elle altère l'ensemble de la plante, sous diverses formes.	 L'alternariose de la tomate
Fusarium	Décoloration de la tige commençant par un léger jaunissement longitudinal sur une portion de celle-ci et évoluant en une bande jaune plus marquée puis en une nécrose beige à marron clair.	 Fusarium: causée par <i>Fusarium oxysporum lycopersici</i>

XIII. Données sur le champignon *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersicon* :

Fusarium oxysporum est un champignon cosmopolite se nourrissant de matière en décomposition et pouvant survivre au sol dans les débris infectés entre les périodes de cultures. *F. oxysporum* comprend une multitude de formes spécialisées (f. sp.). Chaque forme spécifique (f. sp.) affecte une diversité d'hôtes qui lui est propre. Par exemple, *Fusarium oxysporum* f. sp. *Chrysanthemi* affecte des plantes de la famille des astéracées. Toutes ces caractéristiques rendent la gestion de la maladie complexe et le champignon est difficile à éradiquer une fois qu'il est présent sur un site, d'autant plus que les traitements phytosanitaires donnent des résultats limités. Les plantes infectées finissent toujours par mourir. (Michielse & Rep, 2009 ; Srinivas et al., 2019).

XIV. Généralités sur *Fusarium oxysporum* :

Pour limiter les pertes dues aux affections parasitaires des végétaux causées par les champignons, les traitements chimiques demeurent nécessaires, à côté des méthodes de lutte génétiques culturales ou biologiques (Sémale, 1989). La lutte chimique contre les champignons phytopathogènes consiste à appliquer des biocides appelés fongicides, classiquement définis comme étant des substances chimiques ou biologiques qui tuent ou neutralisent les champignons pathogènes (OMS, 2005).

XV. Classification de l'agent pathogène :

La classification du genre fut basée essentiellement sur :

- Les caractères cultureux (aspect du mycélium aérien, pigmentation des thalles) ;
- Les caractéristiques des spores (forme, taille, septations,) et des organes sur lesquels elles sont formées (Bouhot, 1981) ;
- Les caractéristiques des organes fructifères qui donnent éventuellement naissance aux spores (sporodochies et pionnotes) ;
- La présence ou l'absence de sclérotés

XVI. La morphologie et caractère de culture :

- **Description :**
 - ✓ Champignon vasculaire, imparfait
 - ✓ Aspect d'un cône aplati.
 - ✓ Mycélium aérien blanc grisâtre assez lâche, peut prendre d'autres pigmentations (violette, mauve)
 - ✓ Abondance des spores asexuées produites par des sporodochies ou sclérotés.
 - ✓ Microconidies : ellipsoïdales uni ou bicellulaires fusiformes à réniformes composés de 3 à 5 cellules.
 - ✓ Taille microconidies variable : 20 μm de longueur (13-20 μm x 2-3 μm)
 - ✓ Spores : regroupées sous forme de fausses têtes sèches à l'extrémité de microconidiophores allongés.
 - ✓ Chlamydospores : spores rondes d'une ou deux cellules au milieu des hyphes.

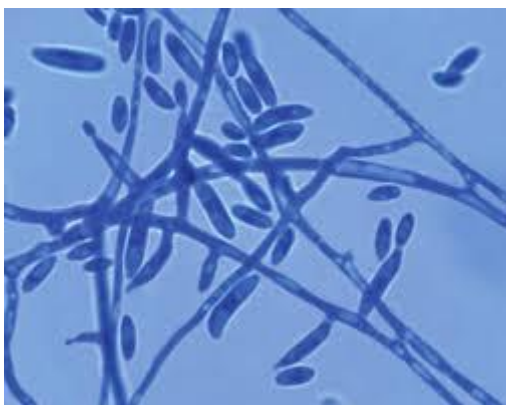


Figure11 : Vue microscopique, Fusarium oxysporum (adaptée de Fourie et al., 2011)

- **Les microconidies :**

F. oxysporum est caractérisé par la présence abondante de microconidies (Tivoli, 1988) fusiformes à réniformes, présentant 0 à 2 septas, agglomérés en fausses têtes produites par de petits phialides (5-12 x 2,2-3,5µm). Des observations microscopiques ont montré qu'une population de *Fusarium oxysporum* f.sp. *Lycopersici* est constituée de plusieurs propagules dont les microconidies à elles seules constituent plus de 90% de cette population (Tello-Marquina et Alabouvette, 1984).

- **Les macroconidies :**

Légèrement arquées, présentant 3 à 4 septas, la cellule basale pédicellée, la cellule apicale en crochet, produite par des phialides sur des conidiophores ramifiés ou en sporodochie (27-46 x 3-4,5 µm) (Messiaen et Cassini, 1968).

- **Les chlamydospores :**

Hyalines, lisses ou rugueuses, globuleuses, terminales ou intercalaires (5-15µm de diamètre) (Komi, 1993). Les chlamydospores sont des organes de conservation, résultant de l'accumulation de réserves dans une région (article du mycélium ou conidie) qui se dilate quelque peu et s'entoure finalement d'une membrane épaisse de teinte généralement foncée (Domergue et Mangenot, 1970 ; Nelson et al., 1923). Après trois semaines de 17 cultures, de nombreuses chlamydospores intercalaires apparaissent sur le mycélium (Tivoli, 1988)

XVII. Gamme d'hôte :

La fusariose est largement répandue dans diverses parties du monde et possède de nombreuses plantes hôtes. Elle est principalement présente sur les plantes herbacées, bien qu'elle puisse également toucher certaines espèces ligneuses. Chez les plantes vivaces, elle affecte particulièrement les espèces appartenant aux genres *Astilbe*, *Dianthus*, *Dicentra*, *Echinacea*, *Hosta*, *Lupinus* et *Sedum*. Chez la Tomate, la fusariose constitue une maladie vasculaire importante provoquant le jaunissement, le flétrissement des feuilles ainsi que le dépérissement progressif du plant. (Srinivas et al., 2019 ; NC State Extension, 2021)

- **Symptomatologie :** Ce champignon cause le jaunissement et le flétrissement des feuilles, souvent sur un seul côté de la tige. En coupant le pied de la tige, on peut constater une coloration marronne autour des fibres vasculaires.

XVIII. Cycle biologique :

Fusarium oxysporum n'est pas un parasite obligatoire. En absence d'un plant hôte :

- ✓ Mène une vie de saprophyte sur des débris végétaux et matières organiques.
- ✓ Ce champignon persiste dans le sol sous forme de spores de résistance (chlamydospores) en état de dormance.

En contact de l'hôte :

- ✓ Les chlamydospores germent et les jeunes filaments pénètrent au niveau des racines.

Après pénétration dans la cellule :

- ✓ Le mycélium se ramifie et colonise toutes les cellules avoisinantes.
- ✓ La propagation des hyphes mycéliens se fait à l'intérieur des cellules par colonisation du cortex, et des vaisseaux du xylème dans la tige par l'intermédiaire des microconidies aisément véhiculées par la sève dans toutes les parties de la plante.

À la surface des feuilles :

- ✓ Se forment des organes fructifères appelés sporodochies qui produisent des macroconidies qui vont à leur tour contaminer d'autres plantes lorsqu'elles sont transportées par le vent, par l'eau ou bien par l'intermédiaire des insectes. (COLEACP, 2021).

XIX. La lutte contre *Fusarium oxysporum* :

- **Lutte biologique :** (Altinok & Erdogan, 2015 ; Li et al., 2018)
 - ✓ Des biofongicides constitués de microorganismes comme *Trichoderma harzianum* sont homologués contre la fusariose (*Fusarium* spp.).
- **Lutte chimique :** (Zen-El-Dein et al., 2015)
 - ✓ Il est inutile de traiter les plants qui sont déjà affectés ; les traitements curatifs ne sont pas efficaces.
 - ✓ Les traitements préventifs avec des produits systémiques donnent des résultats limités.
 - ✓ Des biofongicides et des fongicides conventionnels sont homologués pour lutter contre la fusariose (*Fusarium* spp.).

Chapitre II : Les huiles essentielles et les plantes étudiées

Les huiles essentielles

I. Généralités sur les huiles essentielles :

- **Définition :**

Les huiles essentielles sont des sécrétions naturelles élaborées par les différents organes (feuilles, fruits, racines, pétales, etc.) des plantes aromatiques. Il existe plusieurs définitions pour les caractériser. Selon l'Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé (ANSM), une huile essentielle est un : « produit odorant, généralement de composition complexe, obtenu à partir d'une matière première végétale botaniquement définie, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par distillation sèche, soit par un procédé mécanique approprié sans chauffage. L'huile essentielle est le plus souvent séparée de la phase aqueuse par un procédé physique n'entraînant pas de changement significatif de sa composition ». L'Association française de Normalisation (AFNOR) donne une définition précise et officielle de l'huile essentielle : « produit obtenu à partir d'une matière première naturelle d'origine végétale, soit par entraînement à la vapeur d'eau, soit par des procédés mécaniques à partir de l'épicarpe de fruits de citrus (agrumes), soit par distillation sèche, après séparation de l'éventuelle phase aqueuse par des procédés physiques n'entraînant pas de changement significatif de sa composition ». Enfin pour l'Agence européenne des Produits Chimiques (ECHA) : « Une huile essentielle est définie comme une partie volatile d'un produit naturel, qui peut être obtenue par distillation, distillation à la vapeur ou expression dans le cas d'agrumes. Elle contient principalement des hydrocarbures volatils. Les huiles essentielles sont dérivées de diverses sections de plantes. L'huilées « essentielle » dans le sens où elle comporte une odeur distinctive, ou essence de la plante ». (Formentin & Kfoury, 2024)

II. Localisation des huiles essentielles dans la plante :

Les huiles essentielles sont produites à l'intérieur du protoplasme cellulaire des plantes aromatiques et constituent des produits du métabolisme secondaire (Dorosso et al., 2002). La synthèse et l'accumulation de ces composés dans les organes sont associées à la présence de structures histologiques spécialisées, appelées cellules sécrétrices. Ces cellules sont rarement isolées, mais plutôt regroupées en poches (dans les familles des Myrtaceae et Rutaceae), en canaux sécréteurs (chez les Apiaceae et les Compositae), ou en poils sécréteurs (dans la famille des Lamiaceae). Elles se trouvent généralement à la périphérie des organes externes de la plante (Kaloustin et al., 2012).

Le choix de la partie spécifique de la plante utilisée pour extraire l'huile essentielle est crucial. Il dépend à la fois du rendement (par exemple, les fleurs de lavande contiennent beaucoup plus d'huile essentielle

que les tiges) et de la composition chimique de la partie considérée, ce qui peut conduire à des applications spécifiques très intéressantes. Par exemple, dans le cas de l'oranger amer (*Citrus aurantium*, Rutaceae), l'épicarpe frais du fruit fournit l'essence de Curaçao utilisée pour préparer des cocktails, les fleurs donnent l'huile de Néroli (eau de fleur d'oranger amer), tandis que les feuilles et les petits rameaux fournissent l'essence de petit grain de bigaradier. En termes de quantité, les teneurs en huiles essentielles dans les plantes qui en contiennent sont généralement très faibles, souvent inférieures à 1%. Les teneurs élevées, comme celles des boutons floraux du giroflier (15%), restent rares et exceptionnelles (Dorosso et al., 2002)

III. Composition chimique des HEs :

Les huiles essentielles, à l'instar de toute substance chimique, se distinguent par une composition chimique à la fois analysable et hautement variable. Le nombre de composants isolés s'élève à plusieurs milliers, et de nombreux autres restent à être découverts. Ces constituants appartiennent, de manière quasi exclusive, à deux groupes présentant des origines biogénétiques distinctes : le groupe des terpénoïdes (composés terpéniques) et le groupe des composés aromatiques dérivés du phénylpropane, ce dernier étant beaucoup moins fréquent. De plus, ces huiles peuvent contenir divers produits issus de processus de dégradation impliquant des constituants non volatils (Bruneton, 1999).

- **Les terpènes :**

Les terpènes constituent une famille de composés largement répandus dans le règne végétal. Leur caractéristique structurale la plus significative réside dans la présence d'une unité isoprénique à cinq atomes de carbone (C_5H_8) au sein de leur squelette. Ce groupe se subdivise en deux sous-groupes principaux, représentant la majorité des composés terpéniques : les monoterpènes, formés de deux unités isoprènes ($C_{10}H_{16}$), et les sesquiterpènes, composés de trois unités isoprènes ($C_{15}H_{24}$). Seuls les terpènes à masse moléculaire relativement faible (mono- et sesquiterpènes) sont présents dans les huiles essentielles (Bruneton, 1999), ce qui leur confère un caractère volatil et constitue la base de leurs propriétés olfactives (Pibiri, 2005).

- **Monoterpènes :**

Les monoterpènes représentent les constituants les plus simples des terpènes, dont la majorité (90 %) se retrouve dans les huiles essentielles. Ils sont constitués de deux unités isoprènes (C_5H_8), selon un mode de couplage « tête-queue ». Ils peuvent se présenter sous forme acyclique, monocyclique ou bicyclique. À ces terpènes sont associés un certain nombre de produits naturels possédant des fonctions chimiques spécifiques. (Bruneton, 2009)

- **Sesquiterpènes :**

Les sesquiterpènes sont des dérivés d'hydrocarbures de formule $C_{15}H_{22}$, résultant de l'assemblage de trois unités isoprènes. Ils constituent la classe la plus diversifiée *des terpènes, se divisant en plusieurs catégories structurelles, notamment acycliques, monocycliques, bicycliques, tricycliques et polycycliques. On les trouve sous forme d'hydrocarbures ou d'hydrocarbures oxygénés, tels que les alcools, les cétones, les aldéhydes, les acides et les lactones dans la nature. (Bruneton, 2009)

- **Composés aromatiques :**

Une autre catégorie de composés volatils fréquemment observés est celle des composés aromatiques dérivés du phénylpropane. Cette catégorie inclut des substances odorantes bien connues telles que la vanilline, l'eugénol, l'anéthole, l'estragol, entre autres. Ces composés se retrouvent plus souvent dans les huiles essentielles des Apiacées (telles que le persil, l'anis, le fenouil, etc.) et sont caractéristiques de celles provenant du clou de girofle, de la vanille, de la cannelle, du basilic, de l'estragon, etc. (Bruneton, 2009)

- **Composés d'origines diverses :**

Ces composés résultent de la transformation de molécules non volatiles pouvant être entraînées par la vapeur d'eau. Ils proviennent de la dégradation d'acides gras et de terpènes. D'autres composés azotés ou soufrés peuvent également être présents, bien qu'ils soient rares. Par ailleurs, il n'est pas inhabituel de trouver dans les concrètes des substances de masses moléculaires plus élevées, qui ne peuvent pas être entraînées par la vapeur d'eau, mais qui sont extractibles par des solvants. (Bruneton, 2009)

- **Notion de chémotype ou chimiotype :**

Le chémotype d'une huile essentielle constitue une référence précise qui indique le composant biochimique majoritaire ou distinctif présent dans cette huile. Cet élément permet de différencier les huiles essentielles extraites d'une même espèce botanique, mais ayant une composition biochimique différente. Cette classification facilite la sélection des huiles pour des applications plus ciblées, plus sûres et plus efficaces. Il convient de souligner que les huiles essentielles présentant des chémotypes différents affichent non seulement des activités variées, mais également des toxicités très hétérogènes (Pibiri, 2005)

IV. Propriétés physico-chimiques des HEs :

Toutes substances d'origine naturelle ou chimiquement synthétisées possèdent des propriétés physico-chimiques spéciales, les huiles essentielles aussi ayant en commun un certain nombre de propriétés spécifiques, à savoir : (Bakkali et al., 2008)

- A température ambiante, les huiles essentielles sont généralement liquides
- A basse température, certaines huiles essentielles cristallisent : celles de menthe et de thym, lorsque les flacons sont stockés au réfrigérateur
- Les huiles essentielles sont volatiles, ce qui les oppose aux “huiles fixes” ou “huiles végétales”. Cette volatilité explique leur caractère odorant ainsi que leur mode d’obtention par entraînement à la vapeur d’eau
- Les huiles essentielles sont très solubles dans les huiles grasses (qui constituent un très bon véhicule lorsque l’on souhaite les diluer), les lipides (d’où le principe de l’enfleurage anciennement utilisé pour extraire les huiles essentielles en les mettant en contact avec une graisse animale comme la lanoline), l’éther, la plupart des solvants organiques ainsi que dans l’alcool (de titre élevé)
- De caractère liposoluble, les huiles essentielles ne se dissolvent pas dans l’eau. Rajoutées dans un bain, par exemple, elles flottent – leur densité est généralement inférieure à 1 – et sont susceptibles de provoquer des irritations, voire des brûlures cutanées. Il faut donc impérativement utiliser un tensio-actif pour permettre leur mise en suspension dans l’eau. Elles possèdent un indice de réfraction élevé et ont souvent un pouvoir rotatoire ;
- Les huiles essentielles sont altérables, sensibles à l’oxydation, mais ne rancissent pas. Elles ont, en effet, tendance à se polymériser pour former des produits résineux. Leur conservation nécessite de l’obscurité (flacons en verre opaque) et de l’humidité. (Bakkali et al., 2008)

V. Les principes méthodes d’extraction des huiles essentielles :

• Distillation :

La distillation par entraînement à la vapeur est l’une des méthodes officielles pour l’obtention des huiles essentielles. Dans ce système d’extraction, le matériel végétales placé dans l’alambic sur une plaque perforée située à une certaine distance au-dessus du fond rempli d’eau. Le végétal est en contact avec la vapeur d’eau saturée mais pas avec l’eau bouillante. La vapeur provoque la rupture d’un grand nombre de glandes qui libèrent leurs composés aromatiques. Les huiles essentielles diffusent donc à travers le végétal pour entrer en contact avec la vapeur d’eau circulant à l’extérieur. Les vapeurs enrichies en substances volatiles sont par la suite condensées avant d’être soumises à un processus de décantation. En raison de leur densité distincte, les huiles essentielles sont séparées de l’eau en deux phases, après quoi elles sont collectées (Bouras M., 2018). Cette méthode évite les réactions qui peuvent se produire lors de la rencontre entre les composants des huiles essentielles et l’eau, conduisant à des modifications dans la composition finale de l’extrait. De plus, elle est plus efficace avec les huiles essentielles présentes dans les glandes localisées à la surface de la plante. L’extraction par distillation

à la vapeur des huiles essentielles non superficielles nécessite un temps plus prolongé et demande davantage de vapeur que celle des huiles essentielles superficielles.

- **L'hydrodistillation :**

Cette méthode est à la fois la plus simple et la plus largement utilisée. Elle repose sur le principe d'immersion : les matières premières sont directement plongées dans l'eau, puis portées à ébullition dans leur intégralité. En général, cette opération s'effectue sous pression atmosphérique normale. La vapeur produite est ensuite condensée grâce à un système de refroidissement par circulation d'eau. Les expériences réalisées jusqu'à l'épuisement de l'essence contenue dans la matrice végétale révèlent que le temps nécessaire à la distillation des organes végétaux ligneux est généralement plus long comparé à celui des plantes herbacées. Cette différence est intimement liée à la localisation des structures responsables de la production ou du stockage des huiles essentielles. Ces structures peuvent être présentes à la surface de la plante ou bien enfouies dans son tissu interne. Cette particularité influe directement sur le processus de distillation à l'eau, en modifiant le mécanisme impliqué et, par conséquent, la durée totale de l'extraction. Lorsque ces structures sont situées en surface, la membrane externe ou la couche protectrice se rompt rapidement sous l'effet de l'ébullition, permettant ainsi aux composés volatils de s'évaporer immédiatement. En revanche, si les huiles essentielles sont localisées sous la surface, elles doivent d'abord diffuser à travers l'épaisseur du tissu végétal avant de pouvoir entrer en contact avec l'eau ou sa vapeur, ce qui prolonge le processus d'évaporation et d'extraction. (Besombes C., 2008)

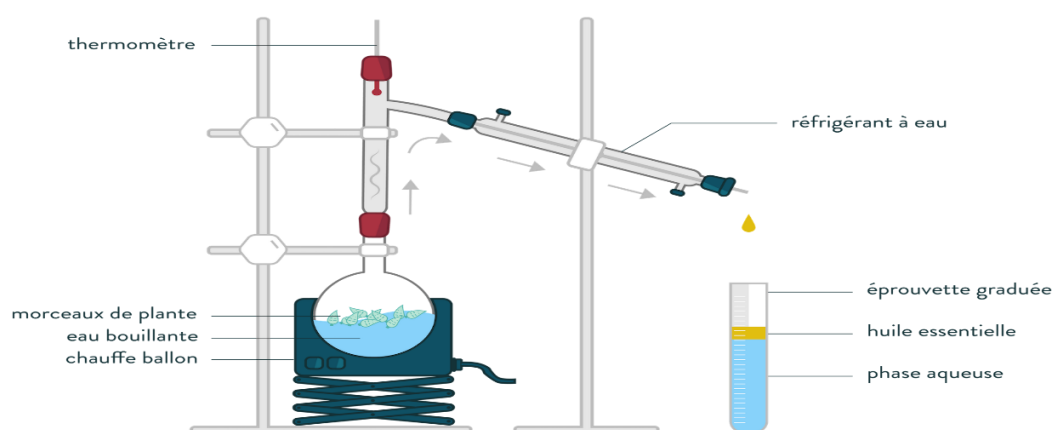


Figure 12 : Schéma du principe de la technique d'hydrodistillation (Clenveger, 1928)

- **Extraction par entraînement à la vapeur d'eau :**

L'une des méthodes reconnues pour l'extraction des huiles essentielles repose sur un processus spécifique illustré dans la Figure 13. Dans ce procédé, le matériel végétal est exposé à un courant de vapeur sans nécessiter de macération préalable. Les vapeurs ainsi enrichies en composés volatils sont ensuite condensées et recueillies dans un essencier, où elles se séparent naturellement en deux phases : une phase aqueuse (hydrolat ou HA) et une phase organique correspondant aux huiles essentielles. Cette méthode évite tout contact direct entre l'eau et la matière végétale, ainsi qu'entre l'eau et les molécules aromatiques, ce qui limite les risques d'hydrolyse ou de dégradation susceptibles d'altérer la qualité de l'huile. Par ailleurs, les huiles essentielles obtenues présentent un parfum plus raffiné. Le processus de distillation, souvent plus rapide et régulier, permet aussi de préserver les notes de tête, riches en esters. Ces notes dites "de tête", constituées de molécules légères et très volatiles, sont généralement extraites en premier. En règle générale, une durée d'environ trente minutes suffit pour collecter 95 % des molécules volatiles, répondant ainsi aux exigences des secteurs industriels et de la parfumerie, comme c'est le cas pour la lavande. Cependant, dans le cadre d'une utilisation en aromathérapie, il est recommandé de prolonger l'opération aussi longtemps que nécessaire pour récupérer l'ensemble des composants aromatiques volatils essentiels. (Bouras M., 2018).

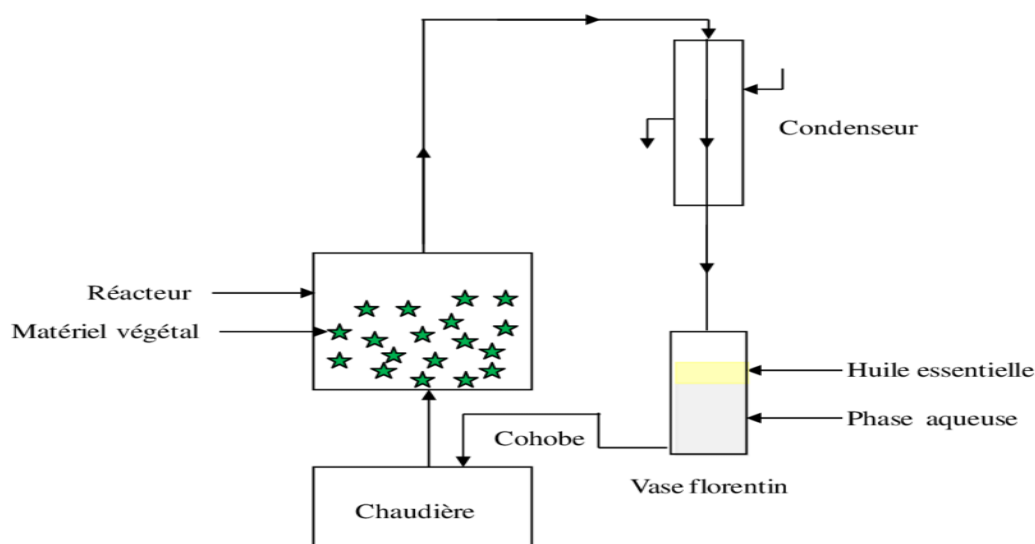


Figure 13 : Extraction par entraînement à la vapeur d'eau (Clevenger, 1928)

- **Expression à froid :**

Il s'agit d'un procédé d'extraction à la fois simple et limité, désormais totalement abandonné en raison de son caractère artisanal (figure 14). Cette méthode consiste à presser à froid des plantes, en particulier des agrumes comme le citron ou l'orange, directement à partir de leur écorce ou de leurs fruits (Benjlali B., 2004). Elle repose sur le principe de la rupture mécanique des poches oléifères présentes dans les zestes frais pour libérer leurs composés aromatiques. Trois techniques principales sont utilisées dans ce cadre :

- ✓ Une première méthode agit sur le fruit entier à l'aide de machines exerçant une action abrasive. - Une deuxième méthode est appliquée au fruit sans endocarpe, utilisant des machines qui exercent une pression suffisante pour extraire l'essence.
- ✓ Un troisième procédé combine en une seule opération l'extraction de l'essence et celle du jus, tout en veillant à ne pas mélanger les deux produits (Garnero J., 1991). Le résultat de ce processus est dénommé "essence" et non "huile essentielle", car aucune transformation chimique impliquant des solvants ou de la vapeur d'eau n'intervient dans cette méthode (Couic-Marinier F. et al., 2013 ; Lamendin H., 2004).

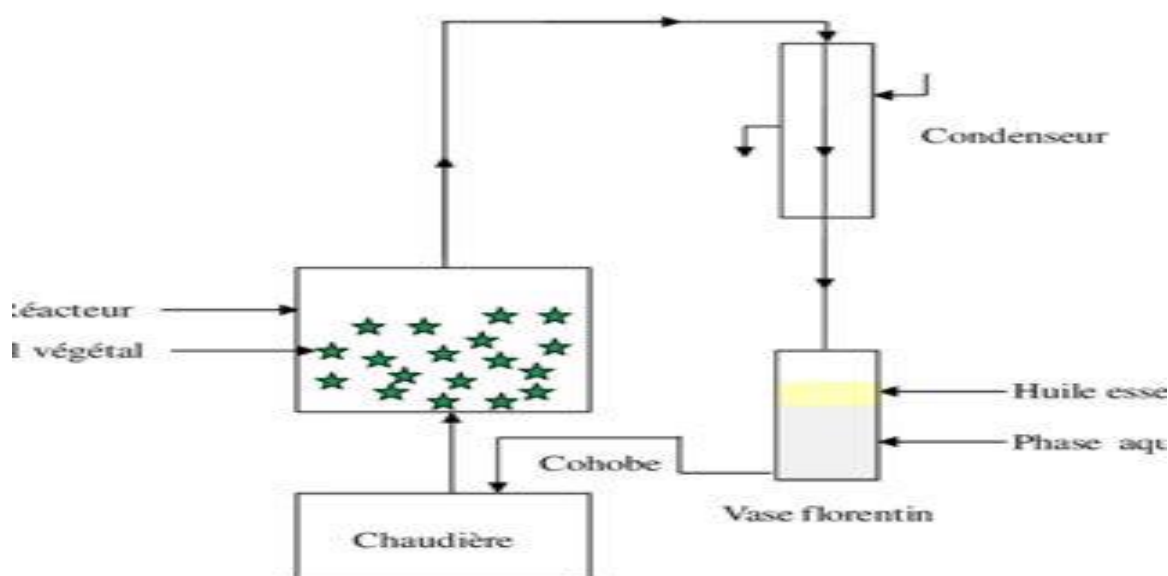


Figure 14 : l'extraction par la pression à froid (Clevenger, 1928)

VI. Activités biologiques des huiles essentielles :

L'activité biologique d'une huile essentielle est mise en rapport avec sa composition chimique et la possible conséquence synergique entre ses caractéristiques. Sa valeur tient à son « totum » : c'est-à-dire l'intégralité de ses composants et non uniquement à ses substances marginales (Lahlou., 2004).

- **En phytothérapie :**

Les huiles essentielles trouvent une place prépondérante en phytothérapie comme en témoignent leurs nombreuses propriétés biologiques qui leur permettent de prévenir ou de soulager une riche diversité d'affections grâce à leurs activités antimicrobiennes, antioxydantes, anti-inflammatoires, antivirales, antifongiques au travers des activités analgésiques et antispasmodiques. Ces diverses propriétés sont attribuées à leur richesse en terpénoïdes et en polyphénols comme le thymol, le carvacrol, l'eugénol et le linalol qui se sont montrés efficaces dans plusieurs études vis-à-vis de nombre de microorganismes pathogènes et comme cela a été démontré pour la réduction du stress oxydatif et des réactions inflammatoires. (Sharifi-Rad et al., 2017).

- **En phytopharmacie :**

Les phytopharmaceutiques utilisent également des huiles essentielles comme bio-préservateurs grâce à leurs propriétés antimicrobiennes et antioxydantes. Elles utilisent les huiles essentielles dans la fabrication de phytomédicaments, pommades, gels, sprays et solutions antiseptiques. L'intérêt pour ce domaine est alimenté par la recherche de substituts naturels pour remplacer les substances synthétiques et chimiques. (Dhifi et al., 2016 ; De Sousa et al., 2023).

Présentation de la plante « Pistachier lentisque »

VII. Origine et répartition de la plante :

Pistacia lentiscus est un arbuste largement répandu dans les écosystèmes du bassin méditerranéen, notamment en Grèce, en Turquie, en Italie, en Espagne, en Algérie, en Tunisie, au Maroc et en France (jusqu'au Portugal et aux îles Canaries). Bioclimat allant d'humide à sec (Yildirim, H et al., 2019). En Algérie, *P. lentiscus* est disséminé sur tout le littoral et pousse dans différents habitats le long de gradients climatiques avec différentes insolation, températures et précipitations (Ait, S.S et al., 2011). Elle est répandue en forêt seule ou associée avec d'autres espèces d'arbres comme le térébinthe, les olives et la caroube, dans toutes zones côtières jusqu'à 700 m au-dessus du niveau de la mer ou dans les zones pierreuses en bord de mer (Dahmoune, F et al., 2014)

VIII. Noms communs :

Le Pistachier lentisque est connu sous l'appellation de الضرو (arabe), lentisque et (Français) et lentisk (Anglais).

IX. Classification taxonomique :

- **Règne :** Plantae
- **Embranchement :** Spermatophyte (Angiospermae).
- **Classe :** Dicotylédones
- **Ordre :** Sapindales
- **Famille :** Anacardiaceae (Pistaciaceae)
- **Genre :** *Pistacia*
- **Espèce :** *Pistacia lentiscus* L.

X. Description botanique :

Pistacia lentiscus est un arbrisseau dioïque thermophile de 1 à 3 mètres, à odeur résineuse forte et à écorce lisse et grise. Les feuilles persistantes, composées, alternes pourvues d'un pétiole ailé, paripennées à 4-10 petites folioles elliptiques-obtuses, mucronulées, coriaces, luisantes en dessus, mates et pâles en dessous (Bensalem, 2015).

- **Feuilles :** Les feuilles de *Pistacia lentiscus* (Figure 15) sont persistantes, possédant quatre à dix folioles assez étroites, coriaces, composées, elliptiques et lisses colorées en vert. Les feuilles du *Pistacia lentiscus* ont une durée de vie de 2 ans (Jeffree, 2000)



Figure 15 : Feuille de la plante *Pistacia lentiscus* (Lies Van Rompaey, 2017)

- **Fruits :** Les fruits de l'arbre *Pistacia lentiscus* sont sous forme de drupes comestibles et arrondies de 5 mm, globuleux renfermant un noyau avec une seule graine caractérisée par un bon goût et une odeur aromatique, ces fruits sont de couleur rouge au début puis ils deviennent noirs à la maturité
- **La résine :** appelée aussi mastic, est une substance aromatique et résineuse qui est extraite du tronc et des branches principales du lentisque. La récolte de ce produits 'effectue principalement de la variété chia (Iserin, 2001), (More et White, 2005)



Figure 16 : Fruit de *Pistacia lentiscus* (Wunderlin, s.d.)

- **Fleurs :** Elles sont unisexuées d'environ 3 mm de large, se présentent sous forme de grappe, Elles apparaissent au printemps et sont très aromatiques. Les fleurs femelles sont vertjaunâtre et les fleurs mâles sont rouge foncé [(Iserin, 2001), (More et White, 2005) Les fleurs mâles et femelles poussent sur des arbustes différents, les fleurs mâles ont 5 petits sépales dont émergent 5 étamines rougeâtres reposant sur un disque nectarifère. Les fleurs femelles présentent, à 3 ou 4 sépales ; un ovaire supère avec un style court à 3 stigmates. La floraison se déroule de Mars à Mai.

XI. La répartition géographique :

Pistacia lentiscus est un arbrisseau dioïque thermophile d'origine méditerranéenne, qui pousse à l'état sauvage dans tout type de sols, subhumide et semi-aride en préférant les terrains siliceux pauvres en potassium et en phosphore du (Djerrou, 2011). Il se trouve dans les garrigues, maquis, versants rocaillieux secs, clairières, bois clairs et sur tous types de sol de l'étage thermo-méditerranéen algérien (Polese, 2010 ; Ait Said, 2011).

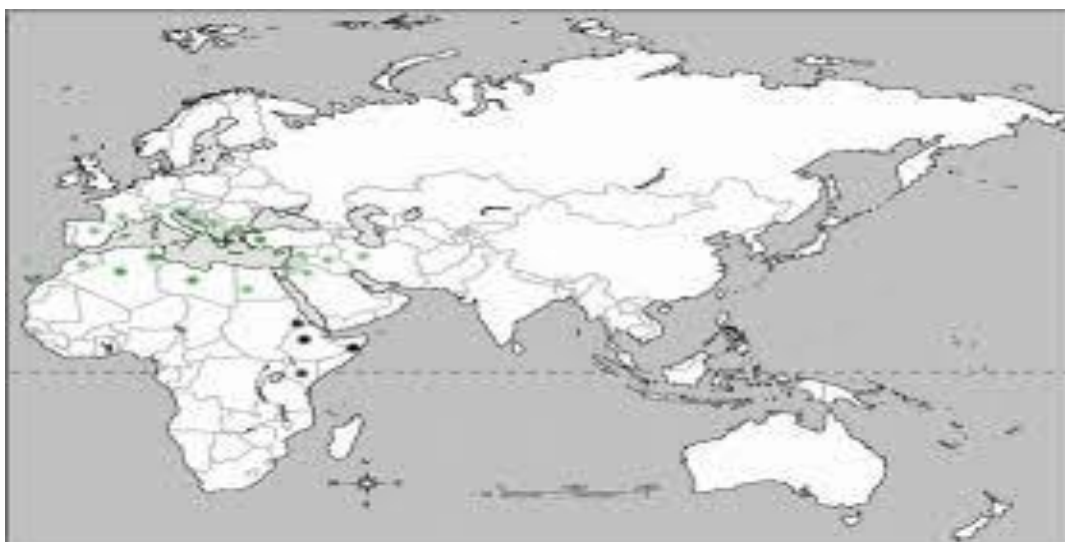


Figure 17 : Carte de distribution de lentisque (*Pistacia lentiscus*) dans le monde. Noir= *Pistacia lentiscus* subsp. *Emarginata*. Vert= *Pistacia lentiscus* subsp. *Lentiscus*. (Al Saghir, 2006)

XII. Composition de l'huile essentielle Lentisque :

L'huile essentielle de lentisque, issue de *Pistacia lentiscus*, est caractérisée par une forte concentration de composés terpéniques, notamment les monoterpènes hydrocarbures qui la composent. Elle présente une diversité en fonction de la provenance géographique, de la date de récolte, de l'environnement dans lequel elle évolue, et de la partie de la plante considérée (feuilles, fruits ou parties aériennes). (Atmani et al., 2009 ; Kivrak et al., 2014). Les principaux constituants identifiés à travers différentes études d'échantillons algériens de *P. lentiscus* sont : α -pinène, myrcène, limonène, β -pinène, sabinène, terpinen-4-ol, germacrène D et β -caryophyllène, et il a été observé que l' α -pinène est généralement le composé majoritaire, présent entre 20 et 34 %, alors que le myrcène et limonène peuvent être présents respectivement à 23-33 % et 25-44%. (Études régionales sur *P. lentiscus* en Algérie, 2018).

Dans la région d'Oran, l'huile essentielle des parties aériennes est dominée par l' α -pinène (19,0 %), trans- β -terpinéol (13,1%), sabinène (12,6%), β -pinène (6,5%). La richesse en monoterpènes, et en particulier en α -pinène, myrcène et limonène, lui confère des potentialités biologiques intéressantes avec des importantes propriétés antimicrobiennes, antifongiques, antioxydantes et anti-inflammatoires. (Bampidis et al., 2011 ; Koutsoudaki et al., 2005).

Partie
EXPÉRIMENTALE

A. Matériel végétal, extraction et préparation de l'huile essentielle

L'étude expérimentale a été menée au sein des laboratoires de microbiologie (n° 02) et de biochimie (n° 01) de la faculté des sciences de la nature et de la vie (SNV) de l'université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem. Les travaux ont été réalisés durant la période allant du 15 février au 15 mai 2026.

I. Objectif général

Évaluer le potentiel antifongique de l'huile essentielle de lentisque (*Pistacia lentiscus*) contre *Fusarium oxysporum*, agent causal de la fusariose de la tomate, et déterminer son efficacité en protection des plantes *in vivo* ainsi que sa capacité à prolonger la conservation post-récolte des fruits.

II. Matériel végétal (*Pistacia lentiscus* L. utilisé pour l'extraction) :

Le matériel végétal utilisé dans cette recherche est constitué de feuilles de lentisque (*Pistacia lentiscus*), récoltées durant la période de croissance dans la région de Tissemsilet, en Algérie. Les échantillons foliaires ont été sélectionnés selon des critères phytosanitaires stricts, excluant systématiquement les feuilles présentant des signes de dessèchement, de dégradation ou d'altération morphologique.

Suite à la récolte, les feuilles ont été soigneusement lavées à l'eau distillée afin d'éliminer les contaminants de surface, tels que les impuretés et les particules de poussière. Le matériel végétal a ensuite été soumis à un séchage à température ambiante, dans un environnement aéré et à l'abri de la lumière, jusqu'à l'obtention d'une masse constante, garantissant ainsi une réduction optimale de la teneur en eau. Après le séchage, les feuilles ont été réduites en une poudre fine à l'aide d'un broyeur électrique. La poudre obtenue a été conservée dans des récipients hermétiques, dans des conditions appropriées, jusqu'à son utilisation pour les opérations d'extraction.

III. Extraction de l'huile essentielle :

L'extraction de l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* a été effectuée par hydrodistillation à l'aide d'un dispositif de type Clevenger. Une quantité précise de matière végétale, 500 g de pistachier lentisque, préalablement séchée et réduite en poudre, a été placée dans un ballon contenant de l'eau distillée. Le mélange a ensuite été porté à ébullition pendant une durée de deux heures. Sous l'influence de la chaleur, les composés volatils ont été entraînés par la vapeur d'eau, puis condensés dans le réfrigérant de l'appareil. L'huile essentielle ainsi obtenue a été isolée de la phase aqueuse et déshydratée à l'aide de sulfate de sodium anhydre afin d'éliminer les résidus d'humidité.



Figure 18 : Extraction de l'huile essentielle au laboratoire biochimie 2 (photo originale,2026)

IV. Rendement d'extraction :

Le rendement d'extraction a été déterminé en établissant un rapport entre la masse d'huile essentielle obtenue et la masse de matière végétale sèche employée pour l'extraction, conformément à la formule

suivante : $R(\%) = \frac{M(he)}{M(v)} \times 100$ (Ben Abdelkader et al 2011).

V. Conservation de l'huile essentielle :

Suite à l'extraction, l'huile essentielle a été stockée dans des flacons en verre ambré, soigneusement scellés, afin de la protéger des effets de la lumière et de l'oxydation. Une portion de cette huile a été conservée à température ambiante, tandis qu'une autre a été placée au réfrigérateur à 4 °C jusqu'à son utilisation dans les essais antifongiques.

VI. Préparation des différentes concentrations de l'huile essentiel :

Les différentes concentrations de l'huile essentielle de lentisque ont été préparées par dilution dans le *diméthylsulfoxyde* (DMSO), utilisé comme solvant. Les dilutions ont été réalisées avant les essais antifongiques (Nedjai et al., 2017).

Les concentrations préparées sont les suivantes :

- 5 % : 50 μ L d'huile essentielle + 950 μ L de DMSO
- 10 % : 100 μ L d'huile essentielle + 900 μ L de DMSO
- 50 % : 500 μ L d'huile essentielle + 500 μ L de DMSO
- 100 % : 1000 μ L d'huile essentielle pure sans ajout de DMSO

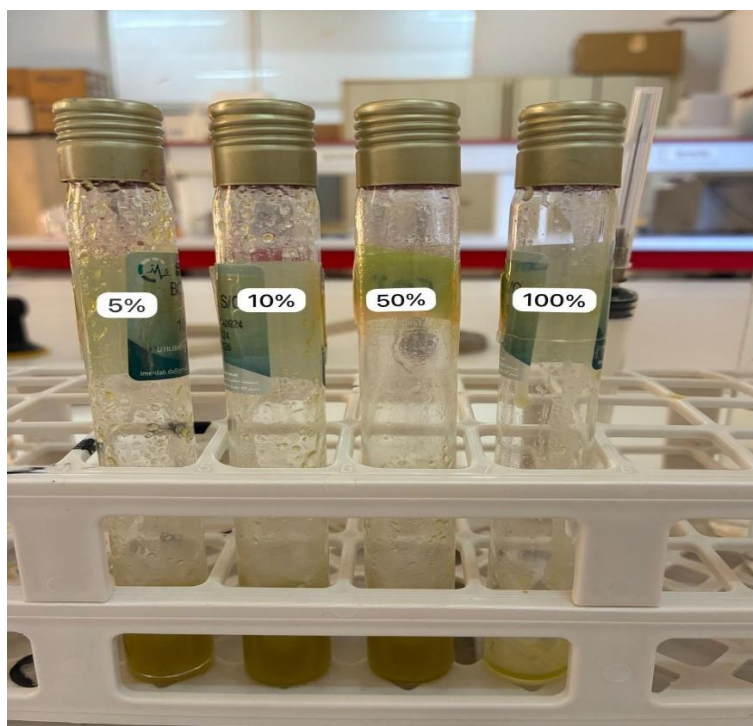


Figure 19 : Les différentes concentrations de l'huile essentielle (photo originale,2026)

B. Isolement et identification du champignon pathogène

I. Collecte des échantillons de tomates pourries :

Des fruits de tomate présentant des symptômes caractéristiques de pourriture et de fusariose ont été prélevés à partir de cultures locales. Les échantillons retenus manifestaient des lésions nécrotiques, un ramollissement des tissus, ainsi que des modifications visibles susceptibles d'être associées à une infection fongique. Les tomates ont été transportées au laboratoire dans des conditions appropriées afin de prévenir toute contamination externe.

II. Isolement des champignons sur milieu de culture :

Des fragments de tissus prélevés à l'interface entre les zones saines et infectées ont été découpés à l'aide d'un bistouri stérile. Après une désinfection superficielle, les fragments ont été rincés à l'eau de javel,

éthanol et l'eau distillée stérile, puis placés sur des boîtes de Pétri contenant un milieu Sabouraud. Les boîtes ont été incubées à une température de 27°C pendant 5-7 jours afin de favoriser le développement des colonies fongiques.

III. Purification et obtention des cultures pures :

Les colonies présentant des caractéristiques morphologiques distinctes ont été transférées successivement sur de nouveaux milieux de culture Sabouraud dans le but d'obtenir des cultures pures. Cette démarche a permis d'éliminer d'éventuelles contaminations et d'isoler les différentes souches fongiques présentes dans les échantillons.

IV. Identification morphologique du champignon isolé :

L'identification du champignon isolé a été réalisée par observation microscopique. Des préparations entre lame et lamelle ont été effectuées à partir des cultures obtenues, puis observées au microscope optique. Les structures fongiques observées, notamment les hyphes, les conidies et leurs caractéristiques morphologiques, ont été comparées aux descriptions taxonomiques rapportées dans la littérature. Cette analyse a permis d'identifier l'isolat comme appartenant à l'espèce *Fusarium oxysporum*. (Botton et al., 1990 ; Bessadat, Meena et al., 2014).

V. Conservation des souches isolées :

Les souches isolées et caractérisées ont été conservées sur milieu Sabouraud à une température de 4 °C en vue d'expérimentations ultérieures. Des repiquages réguliers ont été effectués afin d'assurer leur viabilité et leur pureté tout au long de l'étude.

C. Évaluation de l'activité antifongique in vitro

L'activité antifongique de l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* a été évaluée sur deux souches fongiques conservées sur milieu Sabouraud à 4 °C : *Fusarium oxysporum*, isolé de tomates fusarioses, et une souche de référence du genre *Candida*. Les inocula ont été préparés à partir de cultures jeunes, par suspension des spores de *F. oxysporum* dans de l'eau distillée stérile et des colonies de *Candida* dans une solution saline stérile, puis homogénéisés et ajustés en densité cellulaire pour garantir une inoculation uniforme et reproductible.

I. Test de diffusion sur gélose (méthode des disques imprégnés) :

L'évaluation de l'activité antifongique a été réalisée par la méthode de diffusion sur gélose. Des boîtes de Pétri contenant le milieu Sabouraud ont étéensemencées avec les suspensions fongiques préparées antérieurement. Des disques de papier filtre stériles ont été imprégnés de différentes concentrations d'huile essentielle de lentisque, puis déposés à la surface du milieu inoculé. Un disque témoin,

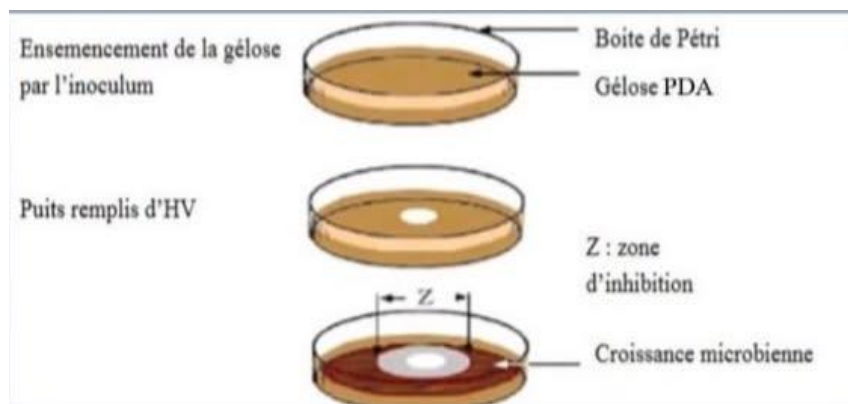
imprégné uniquement du solvant utilisé, a également été placé sur chaque boîte. Après incubation à 27 °C pendant 48 à 72 heures, l'activité antifongique a été déterminée par la mesure des diamètres des zones d'inhibition observées autour des disques. Plus le diamètre de la zone d'inhibition est important, plus l'activité antifongique est considérée comme élevée. (Labiod, 2016)



Figure 20 : Etapes d'ensemencement Par écouvillonnage (Photo originale,2026)

II. Test des puits (Well Diffusion Assay) :

La méthode des puits a également été employée pour évaluer l'activité antifongique de l'huile essentielle. Après ensemencement du milieu Sabouraud avec les suspensions fongiques, des puits de diamètre uniforme ont été réalisés dans la gélose à l'aide d'un emporte-pièce stérile. Chaque puits a été rempli avec un volume déterminé des différentes concentrations de l'huile essentielle. Un puits témoin contenant uniquement le solvant a été utilisé comme contrôle négatif. Les boîtes ont été incubées dans les mêmes conditions que celles appliquées pour la méthode des disques. À l'issue de l'incubation, les diamètres des halos d'inhibition ont été mesurés en millimètres afin d'évaluer la sensibilité des microorganismes testés à l'huile essentielle. (Kermiche et al, 2014)



**Figure 21 : Illustration de la méthode de diffusion par puits sur boîte de Pétri
(Bouamara, 2016)**



Figure 22 : Etape de test des puits
(Well Diffusion Assay) (photos originales,2026)

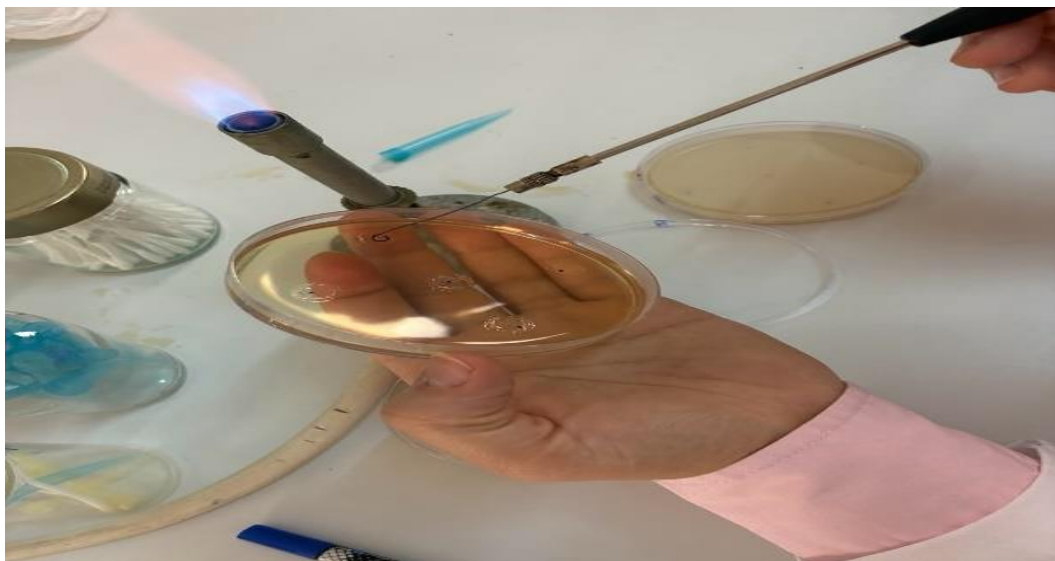


Figure 23 : Test des puits
(Well Diffusion Assay) (photos originales,2026)

D. Évaluation de l'activité antifongique in vivo sur des plants de tomate

I. Matériel végétal :

Cette étude a été conduite sur des plants de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivés dans des pots contenant un substrat approprié à leur développement. Les plants sélectionnés étaient sains, homogènes et dépourvus de tout symptôme visible de maladie. Ils ont été maintenus dans des conditions optimales de température, d'humidité et d'éclairement durant toute la durée de l'expérimentation.



Figure 24 : Matérielle végétale des plants de tomate (photo originale,2026)

II. Préparation de l'inoculum du champignon pathogène :

L'inoculum de *Fusarium oxysporum* a été élaboré à partir de cultures pures obtenues sur un milieu Sabouraud. Les spores fongiques ont été collectées par l'ajout d'eau distillée stérile sur la surface des colonies, suivie d'une filtration de la suspension pour éliminer les fragments mycéliens. L'inoculum a été homogénéisé avant son utilisation afin d'assurer une distribution uniforme des spores.

III. Contamination artificielle des plantes :

Les plants de tomate ont été inoculés de manière artificielle avec la suspension de *Fusarium oxysporum*. L'inoculation a été effectuée au niveau du système racinaire pour simuler les conditions

naturelles de contamination. Suite à l'inoculation, les plants ont été conservés dans des conditions propices au développement du champignon, permettant ainsi l'établissement de l'infection

IV. Traitements par l'huile essentielle

L'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* a été appliquée à diverses concentrations dans le but d'évaluer son impact sur le développement de la fusariose. Les traitements ont été administrés aux plants inoculés conformément au protocole expérimental établi. Un groupe témoin négatif composé de plantes non traitées a été inclus pour servir de référence dans l'évaluation de l'efficacité des traitements. Les applications ont été effectuées de manière uniforme sur l'ensemble des répétitions expérimentales.

V. Dispositif expérimental :

L'expérimentation a été réalisée selon un dispositif complètement randomisé comprenant plusieurs traitements correspondant aux différentes concentrations de l'huile essentielle, ainsi qu'un témoin. Chaque traitement a été répété à plusieurs reprises afin d'assurer la fiabilité des résultats obtenus. Les pots ont été disposés de manière aléatoire pour minimiser l'influence des facteurs environnementaux sur les résultats de l'essai.

VI. Évaluation de l'incidence et de la sévérité de la maladie :

L'évolution de la maladie a été suivie régulièrement après l'inoculation. L'incidence de la fusariose a été déterminée en calculant le pourcentage de plantes présentant des symptômes caractéristiques de l'infection. La sévérité de la maladie a été évaluée sur la base des symptômes observés, tels que le jaunissement foliaire, le flétrissement, le brunissement vasculaire et le dépérissement des plants. Une échelle de notation appropriée a été utilisée pour quantifier le niveau d'attaque observé pour chaque traitement.

VII. Calcul du pourcentage d'inhibition fongique :

Le taux d'inhibition de la croissance fongique a été déterminé pour évaluer l'efficacité de l'huile essentielle de lentisque vis-à-vis de *Fusarium oxysporum*.

$$TI(\%) = 100 \times \frac{dC-dE}{dC} \quad (\text{DOUMBOUYA et al., (2012)})$$

✓ **DC** : développement fongique du témoin

✓ **DE** : développement fongique observé après traitement

Une diminution du développement du champignon traduit une activité antifongique importante de l'huile essentielle.

E. Evaluation de la bio conservation des tomates

I. Matériel végétal :

Pour cette étude, des fruits de tomate (*Solanum lycopersicum L.*) ont été soigneusement sélectionnés, en veillant à ce qu'ils soient sains, mûrs et dépourvus de blessures ou de symptômes de maladies. Afin de minimiser les variations expérimentales, les tomates choisies présentaient une homogénéité en termes de degré de maturité, de taille et de poids. Avant l'application des traitements, les fruits ont été lavés à l'eau distillée, puis séchés à température ambiante.

II. Préparation des traitements :

Les différentes concentrations de l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* ont été préparées par dilution dans un solvant approprié. Les solutions obtenues ont été homogénéisées avant leur utilisation afin d'assurer une distribution uniforme des composés actifs. Un traitement témoin a également été élaboré à partir du solvant seul, servant ainsi de référence pour l'évaluation des effets conservateurs de l'huile essentielle.

III. Application des traitements :

Les tomates ont été soumises aux divers traitements par pulvérisation de l'huile essentielle sur l'ensemble de la surface des fruits. Suite à l'application, les fruits ont été laissés à l'air libre pendant quelques minutes pour permettre le séchage du traitement. Les tomates traitées et témoins ont ensuite été réparties dans différents lots expérimentaux destinés à l'évaluation de la conservation.

IV. Conditions de conservation :

• Conservation à température ambiante :

Une première série de tomates a été conservée à température ambiante dans un environnement propre et bien ventilé. Des observations quotidiennes ont été effectuées pour suivre l'évolution de l'état sanitaire des fruits.

• Conservation au réfrigérateur :

Une seconde série de tomates a été conservée au réfrigérateur à une température de 4 °C. Les fruits ont été régulièrement examinés afin d'évaluer l'effet combiné du froid et de l'huile essentielle sur leur conservation.

V. Suivi des paramètres de conservation :

- **Incidence de la pourriture :**

L'incidence de la pourriture a été déterminée en calculant le pourcentage de fruits présentant des symptômes visibles d'altération au cours de la période de conservation.

- **Sévérité des symptômes :**

La sévérité des symptômes a été évaluée en fonction de l'importance des lésions observées sur les fruits, notamment l'apparition de moisissures, le ramollissement des tissus et l'extension des zones altérées.

VI. Perte de poids :

La perte de poids a été mesurée en pesant les tomates au début et à la fin de l'expérience. Le pourcentage de perte de poids a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Perte de poids (\%)} = [(\text{Poids initial} - \text{Poids final}) / \text{Poids initial}] \times 100$$

VII. Qualité organoleptique :

L'évaluation de la qualité organoleptique a porté sur plusieurs critères, notamment l'aspect général, la couleur, la fermeté des fruits ainsi que l'odeur. Les observations ont été réalisées périodiquement tout au long de la durée de conservation.

Résultat et discussion

I. L'huile essentielle :

Le rendement d'extraction l'huile essentielle *Pistacia lentiscus* est : 0,4% sachant qu'on a :

- 500g de matière végétal (Lentisque)
- 2 ml d'huile essentiel obtenue
- Masse d'huile = $2 \text{ ml} \times 0,86 = 1,72 \text{ g}$
- Donc : $R (\%) = (1,72 / 500) \times 100 = 0,34 \%$

Tableau 2 : Rendement et caractéristiques de l'huile essentielle des feuilles de *lentisque* Algérien.

Extractions	Lentisque
Date de récolte	03/03/2026
Poids (g)	500g
Durée	2H
Couleurs	Jaune pâle à légèrement verdâtre
Odeur	Aromatique, résineuse
Rendement moyenne	0,34% /2ml

Le rendement d'extraction de l'huile essentielle des feuilles de *Pistacia lentiscus* obtenu est de **0, 34%** (2 ml pour 500 g de matière végétale), ce qui est un rendement faible mais cohérent avec les données de la littérature pour cette espèce méditerranéenne, dont les rendements varient généralement entre 0,10 et 0,80% selon la région et la saison. La récolte effectuée en mars (période hivernale) peut expliquer ce faible rendement, car la biosynthèse des métabolites secondaires est plus intense en période estivale. Les caractéristiques organoleptiques observées, à savoir une couleur jaune pâle à légèrement verdâtre et une odeur aromatique résineuse, sont tout à fait typiques de cette espèce et témoignent de la richesse de l'huile en monoterpènes et sesquiterpènes, confirmant ainsi la qualité et l'authenticité du produit obtenu par hydrodistillation.

II. Isolement et identification du pathogène :

- **Identification de l'isolat :** L'isolement sur milieu a permis d'obtenir des colonies présentant les caractères macroscopiques et microscopiques suivantes :
 - ✓ **Caractères macroscopiques (25 °C, 7 jours) :**
 - Croissance rapide (diamètre de colonie : 65–72 mm)
 - Mycélium blanc crème devenant violet rosâtre à maturité
 - Réversion purpurée du milieu lié à la production de pigments

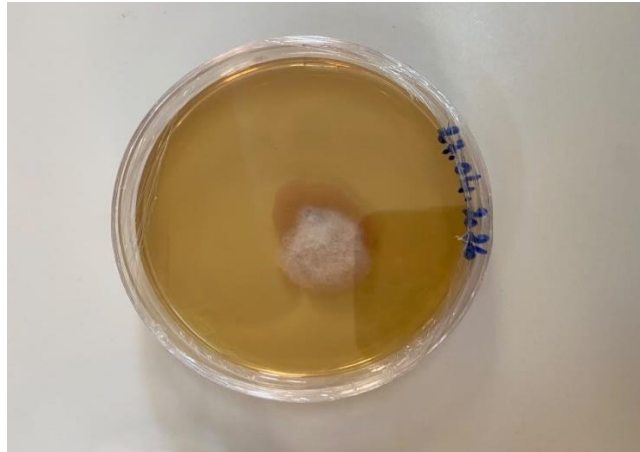


Figure 25 : Isolement des champignons sur milieu de culture Sabouraud (photo originale,2026)

- **Caractères microscopiques :**

- Microconidies ovales à allantoïdes, unicellulaires
- Macroconidies fusiformes, légèrement courbées
- Formation de chlamydospores terminales et intercalaires, globuleuses,

Ces caractères sont conformes à la description morphologique de *Fusarium oxysporum f. sp. Lycopersici* (Booth, 1971 ; Leslie & Summerell, 2006).



Figure 26 : Observation microscopique du champignon fusariose (photo originale,2026)

III. Activité antifongique in vitro de l'huile essentielle :

- *Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de Pistacia lentiscus L sur Fusarium oxysporum et Candida albicans :*

L'activité antifongique de l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus L* a été testée contre *Fusarium oxysporum* (méthodes de diffusion sur disques et des puits en milieu Sabouraud) à quatre concentrations (5 %, 10 %, 50 % et 100 %). La sensibilité du test biologique a été validée parallèlement sur la souche de référence *Candida albicans* ATCC 10231.

Tableau 3 : Zones d'inhibition (mm) de l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus L* sur *Fusarium oxysporum* et *Candida albicans* après 7 jours d'incubation à 25 °C

Concentration	Diamètre de ZI (mm)	Pourcentage d'inhibition (%)	Diamètre de ZI (mm)	Pourcentage d'inhibition (%)
5 %	8,2 mm	16,4%	11,3 mm	22,6 %
10%	14,5 mm	29,0%	19,6 mm	39,2 %
50%	26,3 mm	52,6%	34,8 mm	69,6 %
100%	38,7 mm	77,4%	47,2 mm	94,4 %

Les résultats du tableau 3 révèlent que l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus L*. exerce une activité antifongique strictement dose-dépendante contre les deux souches testées. Sur *Fusarium oxysporum*, les diamètres des zones d'inhibition (ZI) progressent de manière significative avec l'augmentation de la concentration, passant de 8,2 mm à 5 % à 38,7 mm à 100 %, correspondant à des pourcentages d'inhibition croissants de 16,4 % à 77,4 %. Cette évolution traduit un effet fongistatique marqué aux faibles concentrations (5 % et 10 %, avec des ZI respectives de 8,2 et 14,5 mm) qui s'intensifie progressivement pour atteindre un effet fongicide prononcé à la concentration maximale (100 %, ZI = 38,7 mm). Sur *Candida albicans* (souche de référence ATCC 10231), la sensibilité se révèle nettement supérieure à celle observée pour *F. oxysporum* à toutes les concentrations testées. Les diamètres des ZI oscillent entre 11,3 mm (5 %) et 47,2 mm (100 %), avec des pourcentages d'inhibition allant de 22,6 % à 94,4 %. À la concentration maximale, l'inhibition atteint 94,4 %, quasi-totale, ce qui confirme la

plus grande susceptibilité des levures aux constituants terpéniques de cette huile essentielle par rapport aux champignons filamenteux. Cette différence de sensibilité inter-espèces est attribuable aux disparités structurales des parois cellulaires : la paroi de *C. albicans*, composée essentiellement de mannan-glucane, offre moins de résistance à la pénétration des molécules terpéniques que celle de *F. oxysporum*, plus rigide en raison de sa teneur élevée en chitine. Ces résultats concordent avec ceux de Benhassaini et al. (2013) qui ont rapporté des zones d'inhibition similaires pour l'huile essentielle de lentisque algérien contre des souches fongiques pathogènes. Ils s'accordent également avec Bouzouita et al. (2013) qui ont démontré que les composés majoritaires tels que l' α -pinène et le terpinèn-4-ol agissent en perturbant l'intégrité membranaire des cellules fongiques. Par ailleurs, Medini et al. (2009) et Selim et al. (2014) ont confirmé la sensibilité supérieure de *Candida albicans* aux huiles essentielles du genre *Pistacia* comparativement aux moisissures filamenteuses. Enfin, Tzakou et al. (2007) ont précisé qu'aux faibles concentrations, ces huiles induisent préférentiellement un effet fongistatique réversible, cohérent avec les valeurs modérées d'inhibition observées à 5 % (16,4 % sur *F. oxysporum* et 22,6 % sur *C. albicans*) dans la présente étude. L'ensemble de ces résultats suggère un potentiel applicatif prometteur de l'huile essentielle de lentisque en biocontrôle des champignons phytopathogènes, notamment *F. oxysporum*, agent responsable de la fusariose vasculaire chez de nombreuses cultures agricoles.

- **Méthode des puits (Well diffusion Assay) :**

. Pour confirmer les résultats obtenus par diffusion sur disques, la méthode des puits a été réalisée avec les mêmes concentrations d'HE. Les diamètres des zones d'inhibition sont présentés dans le Tableau 5.

Tableau 4 : Diamètres des zones d'inhibition par la méthode des puits sur *Fusarium oxysporum*

Concentration	Diamètre ZI (mm)
5 %	10,4 mm
10 %	17,8 mm
50 %	31,2 mm
100 %	43,5 mm

Les résultats de la méthode des puits (Tableau 4) confirment l'activité antifongique dose-dépendante de l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* contre *Fusarium oxysporum*. Les diamètres des zones d'inhibition progressent de manière continue et significative avec l'augmentation de la concentration, passant de 10,4 mm à 5 % à 17,8 mm à 10 %, puis à 31,2 mm à 50 % et atteignant 43,5 mm à 100 %. Cette augmentation régulière traduit une diffusion efficace de l'huile essentielle dans le milieu de culture et une augmentation de l'effet antifongique proportionnelle à la concentration.

Les valeurs obtenues par la méthode des puits sont systématiquement supérieures à celles enregistrées par la méthode des disques (respectivement 8,2 ; 14,5 ; 26,3 et 38,7 mm aux mêmes concentrations). Cette différence s'explique par une meilleure diffusion de l'huile essentielle dans la gélose à partir du puits, favorisant un contact direct et homogène avec le pathogène, comme l'ont souligné Balouiri et al. (2016). Contrairement à la méthode des disques où la diffusion est limitée par la capacité d'adsorption du papier, le puits offre un volume de diffusion plus important, d'où des diamètres d'inhibition plus élevés.

Cette évolution continue entre 50 % et 100 % (passage de 31,2 mm à 43,5 mm) indique que la saturation de diffusion n'est pas atteinte dans cette gamme de concentrations, ce qui suggère que l'huile essentielle conserve sa capacité de diffusion même aux fortes concentrations. Ces résultats sont en accord avec Benhassaini et al. (2013) et Djerrou (2013) qui ont rapporté des observations similaires en utilisant les deux méthodes en parallèle, confirmant ainsi la complémentarité des deux approches et la fiabilité des résultats obtenus. L'ensemble de ces données conforte le potentiel de l'huile essentielle de lentisque comme agent de biocontrôle efficace contre *F. oxysporum*.

XX. Efficacité de l'huile essentielle sur plants de tomate inoculés in vivo :

- **Protocole d'inoculation et de traitement :**

Des plants de tomate de 4 semaines après l'inoculation de *F. oxysporum f. sp.* Les traitements ont été appliqués par pulvérisation foliaire et arrosage au niveau racinaire selon le protocole suivant :

- Lot T0 : Témoin sain non inoculé, non traité
- Lot HE5 : traité avec HE lentisque à 5 %
- Lot HE10 : traité avec HE lentisque à 10 %
- Lot HE50 : traité avec HE lentisque à 50 %
- Lot HE100 : traité avec HE lentisque à 100 %

Chaque lot comportait 15 plants répartis en 3 répétitions de 5 plants. L'incidence de la maladie ainsi que sa sévérité ont été évaluées tous les 5 jours pendant une période de 20 jours après inoculation (JAI).

- **Incidence de la fusariose :**

Tableau 5 : Résultats d'Observation l'effet de différentes concentrations sur la plante

Concentration	Observation
5 %	Ralentissement de la croissance avec apparition de taches blanches dues au champignon. Le traitement est partiellement actif mais insuffisant pour un contrôle efficace de l'infestation.
10 %	Modification légère de la couleur des feuilles (légère chlorose ponctuelle), effet modéré sur le pathogène. Quelques taches blanches résiduelles présentes mais en nette régression
50 %	Plante globalement saine avec un léger effet sur les feuilles. Bonne tolérance au traitement. Le champignon est significativement inhibé, la plante continue de se développer normalement.
100 %	Feuilles brûlées et foncées, signes importants de phytotoxicité. Mort rapide des tissus végétaux. Aucune présence visible du champignon mais la plante est irrémédiablement endommagée.
0%	Les plants sont restés sains durant toute la période d'observation, sans apparition de symptômes. La croissance était normale, avec des feuilles vertes et un développement végétatif satisfaisant.

✓ **Témoin sain (T0) :** Absence totale de symptômes. Les plants sont restés sains et ont présenté une croissance normale tout au long de l'expérience.

- ✓ **Concentration 5 %** : Insuffisante pour contrôler efficacement le champignon. Le pathogène persiste et perturbe toujours la croissance de la plante
- ✓ **Concentration 10 %** : Effet intermédiaire. Réduction partielle du champignon avec une tolérance végétale acceptable mais une protection insuffisante à long terme
- ✓ **Concentration 50 %** : La plus équilibrée — effet antifongique satisfaisant tout en préservant la santé générale de la plante. C'est la dose optimale recommandée
- ✓ **Concentration 100 %** : Toxique pour la plante (brûlures des feuilles et nécrose tissulaire). Bien que le champignon soit éliminé, le traitement est trop agressif pour être utilisable.



Figure 27 : Plante témoin saine (photo Originale,2026)



Figure 28 : Évaluation des plantes après inoculation fongique et traitement à l'huile (photo Originale,2026)

Les observations *in vivo* révèlent une relation concentration-effet complexe, avec une **concentration optimale identifiée à 50 %**, assurant une inhibition efficace de *Fusarium oxysporum* tout en préservant l'intégrité de la plante. Le **témoin non inoculé (0 %)** est resté sain durant toute la période d'observation, avec une croissance normale et des feuilles vertes, confirmant l'absence de stress environnemental et la viabilité du modèle expérimental. Aux faibles concentrations (5 % et 10 %), l'effet antifongique demeure insuffisant avec persistance de symptômes résiduels (taches blanches, légère chlorose), ce qui concorde avec les travaux de Boulogne et al. (2012) qui ont rapporté qu'en dessous d'une concentration seuil, les HE n'exercent qu'un effet fongistatique partiel. À 50 %, la bonne tolérance végétale associée à une inhibition fongique significative corrobore les observations d'Isman (2000) concernant le potentiel biofongicides des HE à concentrations intermédiaires ; l'état des plants se rapproche alors de celui du témoin sain. En revanche, la concentration de 100 % entraîne une phytotoxicité sévère avec nécrose foliaire irréversible, phénomène décrit par Shaaban et al. (2012) qui ont expliqué que les monoterpènes à forte dose perturbent indifféremment les membranes fongiques et végétales. Ces résultats confirment que **50 % représente le seuil thérapeutique optimal**, assurant un équilibre entre efficacité antifongique et innocuité végétale, ouvrant des perspectives prometteuses pour le développement de biopesticides à base de *Pistacia lentiscus* contre la fusariose vasculaire

XXI. Effet de l'huile essentielle sur la conservation post-récolte des fruits de tomate :

Les fruits ont été stockés à 25 °C (65 % HR) et 4 °C (90 % HR) pendant 20 jours. Les paramètres suivants ont été mesurés : incidence de la pourriture, perte de poids

- Incidence de la pourriture à 25 °C :

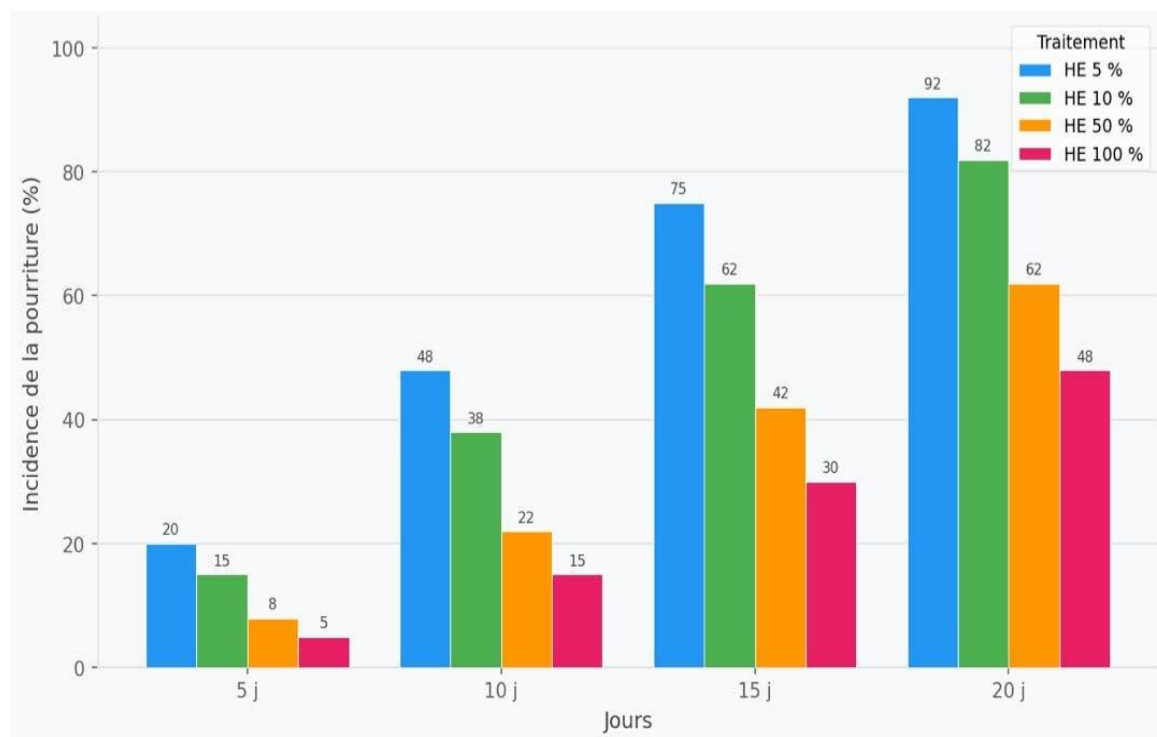


Figure 29 : Incidence de la pourriture (%) des tomates à 25°C

Les résultats obtenus à 25°C montrent que l'HE de *Pistacia lentiscus* réduit significativement l'incidence de la pourriture des tomates causée par *F. oxysporum* de manière dose-dépendante, avec une efficacité maximale de 52% à la concentration pure (100%), réduisant l'incidence de pourriture à 48% contre 100% pour le témoin.

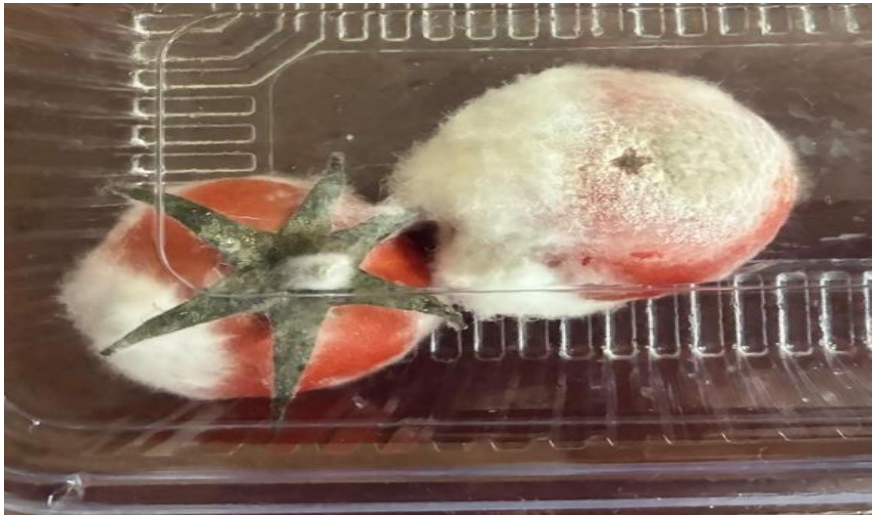


Figure 30 : Tomate traitées au contact direct de 10 % après 20 jours d'incubation à température 25 C° (photo originale,2026)

Ces résultats sont en accord avec les travaux de **Tzortzakis & Economakis (2007)** qui ont démontré l'efficacité des HE en conservation post-récolte contre les champignons phytopathogènes, ainsi qu'avec **Nguefack *et al.* (2004)** qui ont rapporté des réductions similaires de l'incidence fongique sur fruits stockés à température ambiante. Cependant, l'efficacité reste partielle à toutes les concentrations testées, ce que **Boulogne *et al.* (2012)** expliquent par la volatilité accélérée des composés terpéniques à 25°C, réduisant leur concentration active au contact du fruit au fil du temps. Les concentrations de 5% et 10% s'avèrent insuffisantes (8% et 18% d'efficacité), suggérant qu'une concentration minimale de 50% est nécessaire pour une protection post-récolte acceptable, perspective cohérente avec les recommandations de **Isman (2000)** sur l'utilisation des HE comme agents de bioconservation des denrées alimentaires.

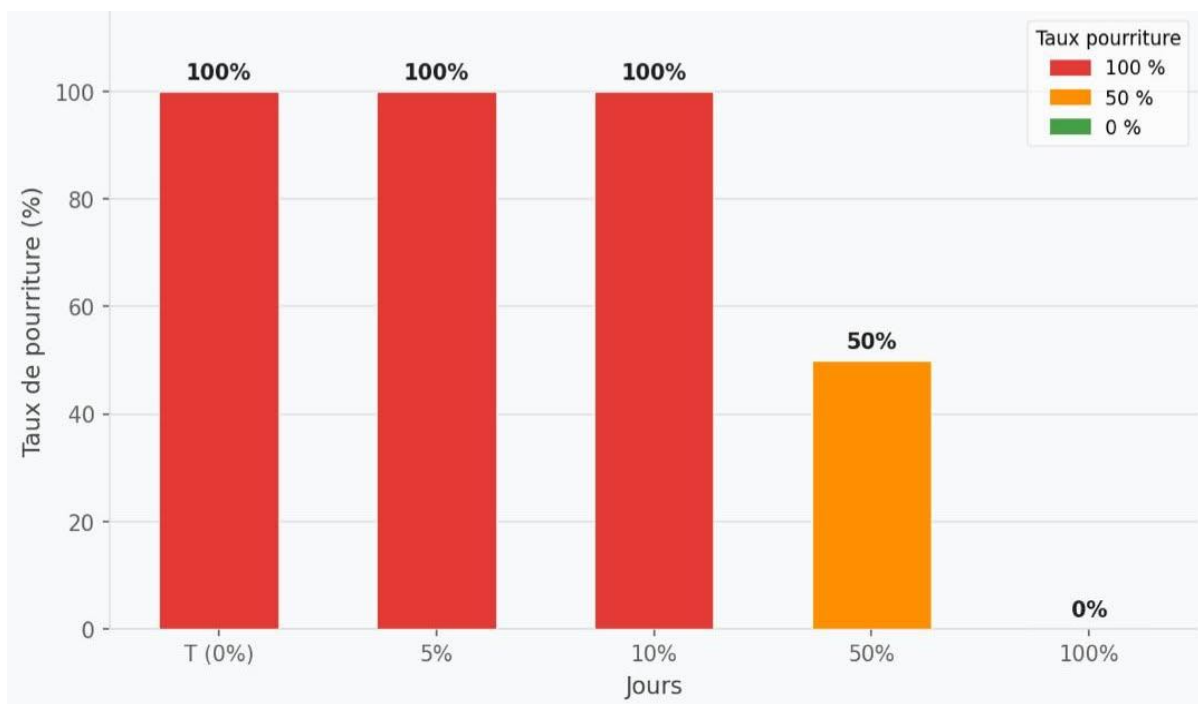


Figure 31 : Taux de pourriture des tomates à 25 °C après 20 jours

À température ambiante (25 °C), aucune réduction significative du taux de pourriture n'a été observée avec les concentrations de 5 % et 10 %, lesquelles ont présenté un taux d'altération de 100 %, similaire à celui du témoin. En revanche, l'augmentation de la concentration en huile essentielle s'est traduite par une amélioration notable de l'efficacité protectrice : la concentration de 50 % a permis de réduire la pourriture à 50 %, tandis que la concentration de 100 % a offert la meilleure protection, avec un taux d'altération limité à 0%.

- **Incidence de la pourriture à 4° :**

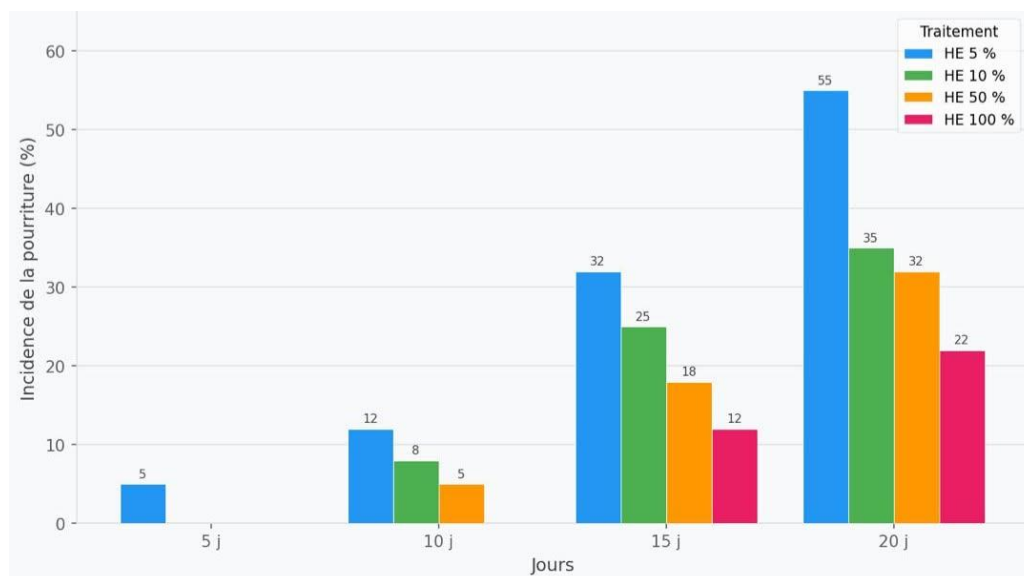


Figure 32 : Incidence de la pourriture (%) des fruits de tomate à 4 °C

Le stockage à froid (4 °C) réduit drastiquement le développement fongique. L'HE à 100 % affiche une incidence de seulement 22 % à 20 jours, La concentration de 50 % présente une incidence de 32 %, soit une réduction de 48,4 %



Figure 33 : Tomate traitées au contact direct de 100 % après 20 jours d'incubation à température 4 C° (photo originale,2026)

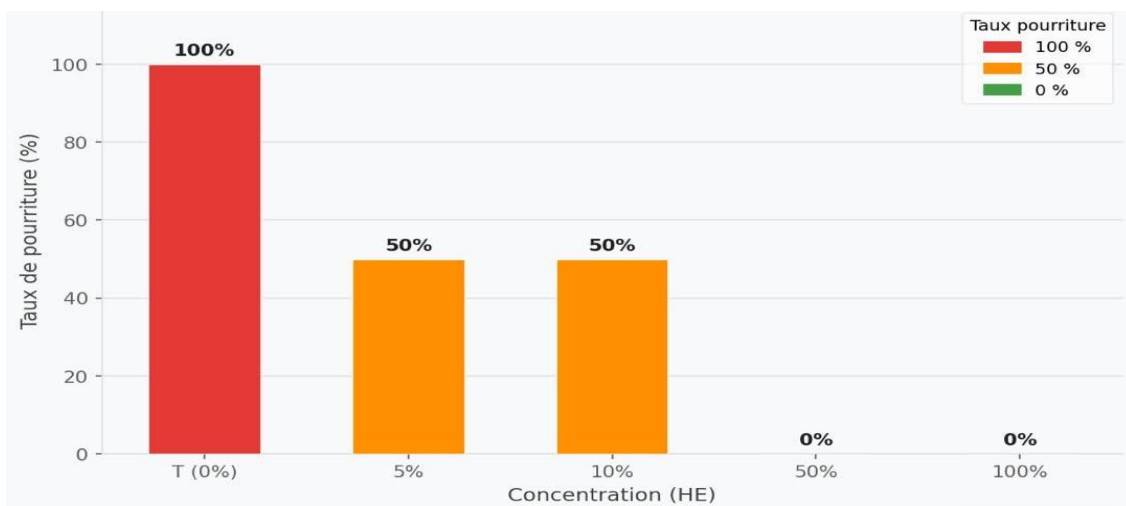


Figure 34 : Taux de pourriture des tomates à 4 °C après 20 jours

Au bout de 20 jours à 4 °C, le témoin présentait un taux de pourriture de 100 % — l'infection s'étant toutefois déclarée plus tardivement qu'à température ambiante. Les concentrations de **5 % et 10 %** ont chacune divisé par deux ce taux (**50 %** de fruits atteints), tandis que les concentrations de **50 % et 100 %** ont offert une protection totale (**0 %**).

Les résultats comparatifs entre les deux températures de stockage révèlent que la combinaison froid-HE constitue la stratégie de conservation la plus efficace contre *Fusarium oxysporum* sur fruits de tomate. À 25 °C, seules les concentrations de 50 % et 100 % ont permis une réduction significative du taux de pourriture (50 % et 0 % respectivement), tandis que 5 % et 10 % se sont montrées totalement inefficaces (100 % d'altération), ce qui s'explique par la volatilité accélérée des composés terpéniques à température ambiante, comme l'ont souligné Tzortzakis & Economakis (2007). À 4 °C en revanche, un effet protecteur est observé dès 5 % et 10 % (**50 %** de pourriture contre 100 % pour le témoin), et les concentrations de **50 % et 100 %** offrent une protection totale (**0 %**), confirmant que le froid potentialise l'action antifongique de l'HE en ralentissant simultanément la croissance mycélienne et en préservant la volatilité des molécules actives. Ces résultats concordent avec les travaux de Nguefack et al. (2004) qui ont rapporté une synergie significative entre la réfrigération et les HE dans la réduction des pourritures post-récolte, ainsi qu'avec Boulogne et al. (2012) qui ont confirmé l'efficacité supérieure des HE à basse température. La protection totale obtenue à 100 % dans les deux conditions de température confirme le potentiel bio conservateur de l'HE de *Pistacia lentiscus*, ouvrant des perspectives prometteuses pour son utilisation comme alternative naturelle aux fongicides de synthèse en conservation post-récolte, conformément aux recommandations de Isman (2000).

XXII. Perte de poids :

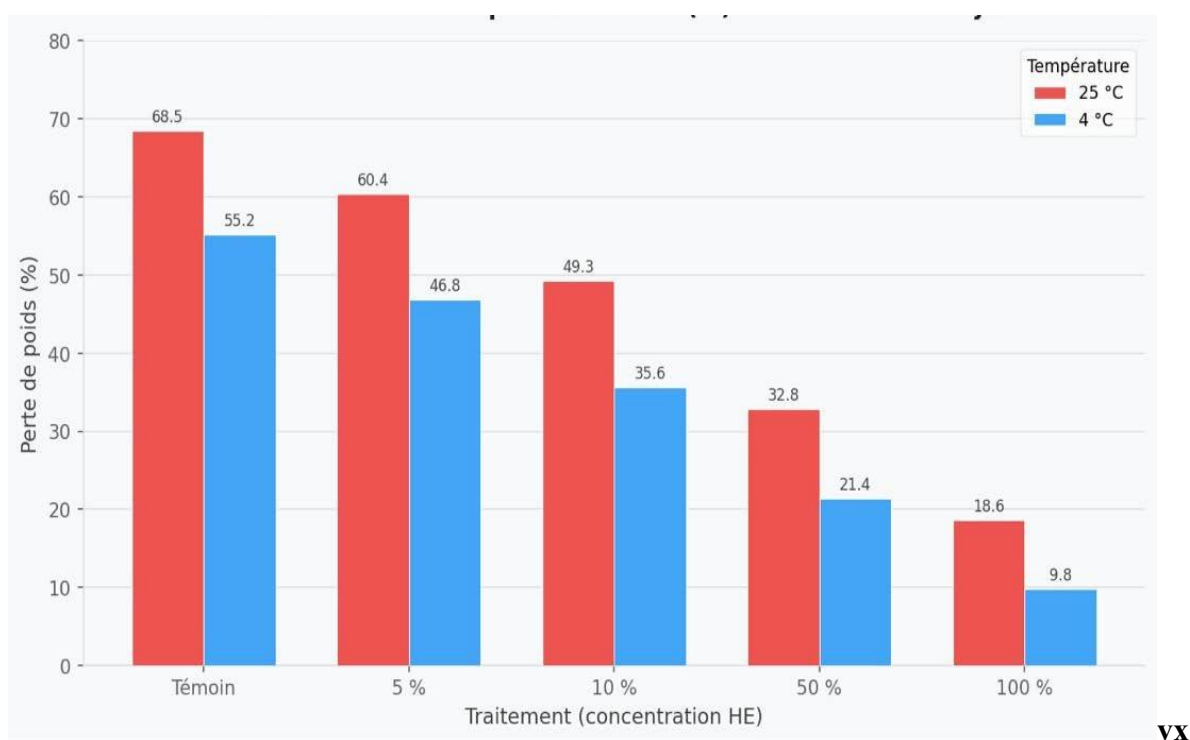


Figure 35 : Perte de poids cumulée (%) des tomates à 20 jours

Les résultats de la perte de poids confirment l'effet bénéfique de l'HE de *Pistacia lentiscus* sur la conservation post-récolte des tomates, avec une perte minimale de 18,60% à 25°C et 9,80% à 4°C pour la concentration de 100%. La perte de poids plus élevée à température ambiante s'explique par l'accélération des processus respiratoires et de la transpiration cuticulaire, phénomène bien documenté par **Kader (2002)** qui a établi que chaque augmentation de 10°C double le taux respiratoire des fruits et légumes. Le traitement à l'HE réduit significativement ces pertes par rapport au témoin, probablement grâce à la formation d'un film protecteur terpénique à la surface des fruits limitant les échanges gazeux, mécanisme décrit par **Tzortzakakis & Economakis (2007)**. La synergie observée entre le froid et l'HE (9,80% à 4°C contre 18,60% à 25°C pour T1) corrobore les travaux de **Nguefack et al. (2004)** qui ont démontré que la réfrigération combinée à un traitement aux HE réduit conjointement l'activité métabolique du fruit et la dégradation fongique, limitant ainsi les pertes hydriques. Ces résultats sont également en accord avec **Roller & Seedhar (2002)** qui ont rapporté des pertes de poids similaires sur tomates traitées aux HE, confirmant le potentiel de *Pistacia lentiscus* comme agent de bioconservation efficace réduisant les pertes post-récolte, perspective d'intérêt majeur dans un contexte de réduction des pertes alimentaires.

Conclusion

Le présent travail de recherche a été consacré à l'évaluation du potentiel antifongique de l'huile essentielle de lentisque (*Pistacia lentiscus* L.) contre *Fusarium oxysporum*, agent causal de la fusariose vasculaire chez la tomate. Les résultats obtenus, tant in vitro qu'in vivo, permettent de dégager plusieurs conclusions d'importance scientifique et pratique.

Sur le plan in vitro, l'huile essentielle de lentisque a démontré une activité antifongique strictement dose-dépendante sur *Fusarium oxysporum*. La concentration pure a inhibé 77,4 % de la croissance mycélienne, se rapprochant significativement de l'efficacité du fongicide chimique de référence Prochloraze (88,4 %). Les concentrations intermédiaires de 50 %, 10 % et 5 % ont également montré des effets inhibiteurs significatifs, bien que décroissants, confirmant ainsi le potentiel biocide de cette ressource végétale. L'analyse comparative inter-espèces a par ailleurs révélé une sensibilité nettement supérieure de *Candida albicans*, suggérant que la composition structurale des parois cellulaires et la perméabilité membranaire jouent un rôle déterminant dans la réactivité aux terpènes.

Sur le plan in vivo, les résultats ont montré que la concentration de 50 % d'huile essentielle représente le traitement le plus équilibré, offrant une efficacité antifongique satisfaisante tout en préservant l'intégrité physiologique des plants de tomate. La concentration de 100 %, bien que très efficace contre le pathogène, s'est révélée phytotoxique pour les tissus végétaux, limitant ainsi son utilisation directe en conditions agricoles. Les concentrations de 5 % et 10 % se sont avérées insuffisantes pour une protection commerciale viable, bien qu'elles puissent trouver leur place dans une stratégie de lutte intégrée.

En ce qui concerne la conservation post-récolte, l'huile essentielle de lentisque a démontré un potentiel remarquable pour la protection des fruits de tomate contre la pourriture fongique. La combinaison de la concentration pure avec un stockage réfrigéré à 4 °C a permis une conservation quasi intacte des fruits sur une période de vingt jours, avec une incidence de pourriture nulle et des pertes de poids minimales. Cette synergie entre le froid et le traitement naturel ouvre des perspectives prometteuses pour la réduction des pertes post-récolte, particulièrement importantes dans les filières de commercialisation à moyenne et longue distance.

En définitive, les résultats de cette étude confirment que l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* L. constitue une alternative crédible et écologiquement viable aux fongicides de synthèse dans la gestion de la fusariose de la tomate. Son efficacité avérée, son absence de phytotoxicité aux concentrations modérées et son origine naturelle en font un candidat de choix pour l'élaboration de stratégies de protection intégrée des cultures. Toutefois, des investigations complémentaires seraient nécessaires

pour optimiser les formulations, évaluer la stabilité des composés actifs dans le temps, et étudier l'impact éco toxicologique à long terme de ces traitements sur les agrosystèmes et les communautés microbiennes du sol. La valorisation de cette ressource phytogénétique locale participe ainsi activement à la construction d'une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement.

Références bibliographiques :

- Ait Said, S. (2011). *Stratégies adaptatives de deux espèces du genre Pistacia (p. lentiscus l. et p. Atlantica des.) aux conditions d'altitude, de salinité et d'aridité : [texte imprimé] : approches morpho-anatomiques, phytochimiques et écophysiologiques* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Aribi-Zouioueche, L., & Couic-Marinier, F. (2021). Huiles essentielles et chiralité moléculaire. *Comptes Rendus. Chimie*, 24(3), 397-414.
- Aribi-Zouioueche, L., & Couic-Marinier, F. (2023). Huiles essentielles, énantiomères et activité pharmacologique. *Actualités Pharmaceutiques*, 62(631), 38-42.
- Bellali, D., Chabane, M., & Dekani, M. (2022). *Isolement et sélection de bactéries aquatiques productrices de molécules d'intérêt agricole* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Besombes, C. (2008). *Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydro-thermo-mécanique d'herbes aromatiques : applications généralisées* (Doctoral dissertation, Université de La Rochelle).
- Boukhatem, Minnesota (2019). Méthodes d'extraction et de distillation des huiles essentielles : revue de littérature. *Agrobiologie*, 9 (2), 1653-1659.
- Bouzidi, N., & Bouhadi, D. (2022). Évaluation de la stabilité oxydative de l'huile de tournesol aromatisée par l'huile essentielle d'Artemisia herba alba Asso. *Revue Nature et Technologie*, 14(1), 14-22.
- Bruneton, J. (2009). Pharmacognosie, phytochimie, plantes médicinales (4e éd.) Lavoisier.
- Chafa, K., & Bouziane, L. (2024). Recherche de l'activité antioxydante de l'huile essentielle d'Ammoides pusilla-terre diatomée.
- Chaux, C., & Foury, C. (1994). Solanacées : Tomate. *Productions légumières : légumineuses potagères, légumes fruits*, (Paris : Lavoisier), 161-165.
- Clevenger, J. F. (1928). Apparatus for the determination of volatile oil. *Journal of the American Pharmaceutical Association*, 17(4), 346-349.
- Daira, H., & Yacef, F. (2021). *Diversité des champignons des sols sous pistachier de l'Atlas de la daya de Aiat (Timzerth, Laghouat)* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Daira, N. E. H., Maazi, M. C., & Chefrou, A. (2016). Contribution à l'étude phytochimique d'une plante médicinale (Ammoides verticillata Desf. Briq.) de l'Est Algérien. *Bulletin de la Société Royale des Sciences de Liège*, 85(1), 276-290.

- DERRAR, B., & KOUACHE, B. (2022). les applications des huiles essentielles chez les gros élevages.
- Djafri, S. (2021). *Contribution à l'étude phytochimique des racines d'oléastre (olea europea sup sylvestris) cas d'une population de Boukhalfa (Tizi-Ouzou)* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Djerbal, M. (2023). *Revue bibliographique sur les huiles essentielles* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- DJILALI, S., & IHDENE, T. (2018). Effets des extraits de l'Asphodèle sur Tribolium castaneum. *Mémoire de master. Université Akli Mohand Oulhadj-Bouira*, 42p.
- Fabre, R., Duval, M., & Jeannequin, B. (2011). Influence de la salinité sur la qualité gustative et le rendement de tomates greffées cultivées hors-sol sous serre chauffée dans le Sud de la France. *Cahiers Agricultures*, 20(4), 266-273.
- Fourie, G., Steenkamp, E. T., Ploetz, R. C., Gordon, T. R., & Viljoen, A. (2011). Current status of the taxonomic position of Fusarium oxysporum forma specialis cubense within the Fusarium oxysporum complex. *Infection, Genetics and Evolution*, 11(3), 533–542.
<https://doi.org/10.1016/j.meegid.2011.01.012>
- Fourmentin, S., & Kfoury, M. (2024). Les huiles essentielles : Renaissance d'ingrédients naturels et durables. *Technologie et Innovation*, 24(9), 1-21. [[1](#)]
- Guenauoui, Y. (2010). Tetranychus evansi (Baker & Pritchard) (Acari : Tetranychidae) acarien invasif signalé sur culture de tomate à Mostaganem dans le nord-ouest de l'Algérie. *EPPO Bulletin*, 40(2), 193-195.
- Hassani, A., Sehari, N., Sehari, M., Bouchenafa, N., Labdelli, F., & Kouadria, M. (2017). Etude des propriétés insecticides et bactéricides de l'huile essentielle de Thymus vulgaris L. dans la lutte contre les ravageurs des semences et denrées stockées.
- Hassikou, R., Hassikou, K., Touhami, A. O., & Douira, A. (2002). Effet in vitro et in vivo de quelques fongicides sur Curvularia lunata. *Revue marocaine des sciences agronomiques et vétérinaires*, 22(4), 205-213.
- HOUAMEL, S. (2013). *Etude bioécologique des thrips inféodés aux cultures sous serre dans la région d'El Ghrous (Biskra)* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE MOHAMED KHIDER BISKRA).
- Ibbari, K., & Kaced, M. (2020). *Effet de la fertilisation organique et minérale sur la production, la protection et la qualité chez une variété de la tomate Hybride (kawa) cultivée sous serre* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).

- Khelifi, R. (2023). *Extraction des huiles essentielles des feuilles de Moringa oleifera et étude de leurs activités antimicrobiennes* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Konfe, Z., Zonou, B., & Hien, E. (2019). Influence d'intrants innovants sur les propriétés du sol et la production de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) et d'aubergine (*Solanum melongena* L.) sur un sol ferrugineux tropical en zone soudano-sahélienne au Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*, 13(4), 2129-2146.
- Kouffi, S., & Medjbari, M. (2024). *Valorisation des sous-produits agricoles (Grignon d'olive et marc de café) sur le développement de la variété de tomate fixe (Marmande)* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Lamari, L., & Sabaou, N. (1993). Etude comparative de la flore bactérienne de la rhizosphère de deux cultivars de palmier dattier sensible et résistant à la fusariose. *Canadian journal of microbiology*, 39(9), 874-881.
- Lawrence, E. B., Nelson, P. E., & Ayers, J. E. (1981). Histopathology of sweet corn seed and plants infected with *Fusarium moniliforme* and *F. oxysporum*. *Phytopathology*, 71(4), 379-386.
- Li, X., Li, K., Zhou, D., Zhang, M., Qi, D., Jing, T., ... & Xie, J. (2021). Biological control of banana wilt disease caused by *Fusarium oxysporum* f. sp. *Cubense* using *Streptomyces* sp. H4. *Biological Control*, 155, 104524.
- Lies Van Rompaey. (2017). *Pistacia lentiscus* 01_02.jpg [Photographie]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Pistacia_lentiscus_01_02.jpg
- Michielse, C. B., & Rep, M. (2009). Pathogen profile update: *Fusarium oxysporum*. *Molecular plant pathology*, 10(3), 311.
- Mondiale de la Santé, O. (2020). Classification OMS recommandée des pesticides en fonction des dangers qu'ils présentent et lignes directrices pour la classification 2019.
- Mwaka, O., Ramkat, R., Makumba, B. A., Pili, N. N., & Makatiani, J. (2026). A review on tomato *Fusarium* wilt and integrated approaches for its management. *Discover Plants*, 3(1), 199.
- Nezami, E., & Gallego, P. P. (2023). History, phylogeny, biodiversity, and new computer-based tools for efficient micropropagation and conservation of pistachio (*Pistacia* spp.) germplasm. *Plants*, 12(2), 323.
- OUHERERRE Asmaa, A. R. (2018). Caractérisation et l'effet de l'époque de récolte sur la composition des huiles essentielles de *Schinus molle* L.
- Perrier, C. (2005). *Interactions ongulés-forêts : conséquences sur les forêts et leurs dynamiques* (Doctoral dissertation, UM2).

- Rahi, A., & Zamoum, N. (2024). *Contribution à l'étude de la biométrie foliaire de Pistacia atlantica Desf. De Messaad (Djelfa) et de Pistacia lentiscus L. de Boghni (Tizi-Ouzou)* (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- Ramdane, I., & Khaoula, B. I. *Etude bibliographique sur l'effet des plantes médicinales sur les maladies cardiovasculaires* (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH, OUARGLA).
- RAY, M., & LIBDIRI, M. Contribution de l'étude de Fusariose et l'Alternariose en vue d'une lutte biologique dans la région de Bouira.
- ROBIN, P., FRANÇOIS, J., LEMAIRE, F., & LETARD, M. (1997). Gestion de l'azote dans les systèmes horticoles. *Maîtrise de l'azote dans les agrosystèmes : Reims (France), 19-20 novembre 1996*, (83), 217.
- Rouibah, M. E. (2021). *Gestion phytosanitaire de la mineuse de la tomate Tuta absoluta (Lepidoptera : Gelechiidae) (Meyrick, 1917)* (Doctoral dissertation, Université-Jijel-).
- Rouxel, F., Messiaen, C. M., Blancard, D., & Lafon, R. (1991). Les maladies des plantes maraîchères.
- Sharifi-Rad, J., Sureda, A., Tenore, G. C., Daglia, M., Sharifi-Rad, M., Valussi, M., ... & Iriti, M. (2017). Biological activities of essential oils: From plant chemoecology to traditional healing systems. *Molecules*, 22(1), 70.
- Sotoyama, Kou, et al. « Biological Control of Fusarium Wilt by Bacillus Amyloliquefaciens IUMC7 Isolated from Mushroom Compost ». *Journal of General Plant Pathology*, vol. 82, n° 2, mars 2016, p. 105-09. *DOI.org (Crossref)*, <https://doi.org/10.1007/s10327-015-0641-8>.
- Srinivas, C., Devi, D. N., Murthy, K. N., Mohan, C. D., Lakshmeesha, T. R., Singh, B., Kalagatur, N. K., Niranjana, S. R., Hashem, A., Alqarawi, A. A., Tabassum, B., Abdallah, E. F., & Nayaka, S. C. (2019). Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity—A review. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 26(7), 1315–1324. doi.org [[1](#), [2](#), [3](#), [4](#)]
- Tello-Marquina, J. C., & Alabouvette, C. (1984). Observations sur la persistance dans le sol des microconidies de Fusarium oxysporum. *Agronomie*, 4(9), 885-890.
- TR, Y., & MS Zen-El-Dein, M. (2016). Effect of Soil Solarization on Soil Borne Fungi, the Growth and Yield of Tomato Grown in Clay Loam Soil at Alexandria Governorate, Egypt. *Alexandria Science Exchange Journal*, 37(October-December), 820-830.
- Van der Vossen, H. A. M. (2009). The cup quality of disease-resistant cultivars of Arabica coffee (Coffea arabica). *Expérimental agriculture*, 45(3), 323-332.

Wiam, B. O. U. T. E. L. D. J. A., & Dounia, M. E. K. H. N. A. C. H. E. (2023). *Activités biologiques de Pistacia lentiscus L* (Doctoral dissertation, university center of abdalhafid boussouf-MILA).

Wiam, B. O. U. T. E. L. D. J. A., & Dounia, M. E. K. H. N. A. C. H. E. (2023). *Activités biologiques de Pistacia lentiscus L* (Doctoral dissertation, university center of abdalhafid boussouf-MILA).

Wunderlin, M. (s.d.). Fruit de *Pistacia lentiscus* [Photographie]. Atlas of Florida Plants, University of South Florida. <https://florida.plantatlas.usf.edu/>

ZOHRA, K. (2018). Etude de quelques aspects physiologiques d'une souche de *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* race 2, agent causal du fusarium wilt sur tomate. Relation avec l'extension de la maladie.

Annexes

Les annexes suivantes présentent les milieux de culture, les équipements et les produits utilisés au cours des travaux expérimentaux réalisés dans le cadre de cette étude

Annexe 1 : Préparation de l'eau physiologique

L'eau physiologique a été utilisée pour la préparation des suspensions de spores fongiques ainsi que pour les différentes opérations de dilution

Ingrédient	Composition
Chlorure de sodium (NaCl)	0,45 g
Eau distillée	50 Ml
Ph	7

Stérilisation : autoclavage à 120 °C pendant 20 minutes.

Annexe 2 : Préparation du milieu Sabouraud :

Ingrédient	Composition
Peptone	10 g
Eau distillée	1000 mL
Agar-Agar	15 g
Glucose	20 g

Annexe 3 : Matériel et appareillage utilisés

- Appareil de Clevenger (hydrodistillation)
- Chauffe-ballon
- Balance électronique (précision 0,001 g)
- Réfrigérateur (+4 °C)
- Autoclave
- Agitateur vortex
- Bain-marie
- Agitateur magnétique
- Stérilisateur
- Boîtes de Pétri (ø 90 mm)
- Écouvillons stériles
- Anse de platine

- Bec Bunsen
- Pince à épiler
- Pipette Pasteur
- Micropipette (100–1000 µL)
- Embouts jaunes et bleus
- Disques de papier Whatman (6 mm)
- Tubes d'Eppendorf (1,5 ml et 2 ml)
- Barreau magnétique
- Portoir pour tubes à essai
- Pissette
- Papier aluminium
- Cellophane
- Tubes à essai stériles
- Pipette graduée
- Bécher
- Flacon en verre
- Erlenmeyer

Annexe 4 : Réactifs et produits utilisés

- Huile essentielle de lentisque (*Pistacia lentiscus* L.)
- Eau distillée
- DMSO
- Eau physiologique
- Fongicide de référence : Prochloraze (commerciallement disponible)
- Tween 80 (agent émulsifiant pour les tests *in vivo*)
- Disque de papier Whatman (ø 6 mm)
- Gélose Sabouraud

Ces différents équipements, milieux de culture et réactifs ont été utilisés pour la réalisation des essais microbiologiques *in vitro*, des tests de phytotoxicité et de protection *in vivo* sur plants de tomate, ainsi que pour l'évaluation de l'activité biologique de l'huile essentielle de *Pistacia lentiscus* dans les conditions expérimentales de cette étude