



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche



Scientifique Université Abdel Hamid Ben Badis

Faculté des sciences de la Nature et de la Vie

Département : Sciences agronomiques

Filière : Sciences agronomiques

Spécialité : Protection Des Végétaux

Au niveau de : Master 2

Intitulé

Évaluation antifongique de l'huile essentielle de
***Rosmarinus officinalis* contre**
***Fusarium sp* agent causal de fusariose de la Tomate**

Présenté par :

Le :

Mme. Abdelbaki ferial

Ms. Cherifi Houaria

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 Djamila

Maître de conférences A

Université de Mostaganem

Année universitaire : 2025/2026

Remerciements

Avant tout, nous remercions Allah, le Tout-Puissant, qui nous a donné la force, la patience et la volonté nécessaires pour mener à bien ce travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à notre Encadreuse,

Mme Maghnia Djamila

pour son encadrement, sa disponibilité, ses précieux conseils, sa confiance ainsi que son soutien tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Nous adressons également nos sincères remerciements aux membres du jury :

Mme Adjoudj Fatma

Mme Yahiaoui Hassiba

Qui nous font l'honneur d'examiner et d'évaluer ce travail.

Nos remerciements les plus respectueux s'adressent à l'ensemble des enseignants du Département des Sciences Agronomiques pour la qualité de leur enseignement et les connaissances qu'ils nous ont transmises durant notre cursus universitaire.

Nous remercions également tout le personnel du laboratoire pour son aide et sa collaboration lors de la réalisation des travaux expérimentaux.

Nous remercions spécialement M. **Mohamed**, ingénieur de laboratoire, pour son aide précieuse.

À toutes les personnes et qui ont contribué, de près ou de loin, à l'aboutissement de ce travail, nous adressons nos plus sincères remerciements.

Qu'elles trouvent ici l'expression de notre profonde gratitude et de notre respect.

Dédicace

Avant tout, je dois rendre grâce à dieu de m'assavoir donner le courage de terminer ce travail

Je dédie ce travail spécialement :

Ames très chers parents, mon père **Moubarak** et ma mère **Mokhtari**, pour leur amour, leurs sacrifices, leurs encouragements et leurs prières.

A ma chère sœur “ **Sana** ” et mes frères “**Mohamed** et **Djamel Eddine** “, avec toute mon affection et ma reconnaissance.

À mon cher époux **Ben Salah Baghdad**, pour son soutien, sa patience et ses encouragements constants.

À mon fils adoré **Ramzi**, source de bonheur et d'espoir.

À la famille de mon époux, particulièrement à son père **Habib** et à **sa mère**, pour leur soutien et leur bienveillance.

À mes chères familles **Abdelbaki**, **Mokhtariet Ben Salah**, en témoignage de ma gratitude et de mon profond respect.

À ma collègue **CherifiHouaria**, partenaire de ce travail, ainsi qu'à mes amies, mes camarades de promotion et toute notre classe.

À mes enseignants et à l'Université de Mostaganem.

Enfin, à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.

Je dédie humblement ce travail à tous ceux qui occupent une place particulière dans mon cœur.

Ferial

Dédicace

Avant tout, je dois rendre grâce à dieu de m'assavoir donner le courage de terminer ce travail

Je dédie ce travail spécialement :

A ma **mère**, pour son amour, ses encouragements et ses sacrifices.

A mon **père**, pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'accorde.

A ma chère sœur “ **Sofia** ” et mes frères “ **Nourdine** et **Miloud** “

À ma chère grand-mère,

Aux enfants de mon frère : **Mawada** et **Mondir**.

Aux enfants de ma sœur : **Rihab** et **Jawad**.

A tous mes amis de promotion de 2^{ème} année Master en
Protection des végétaux

A mes amies proches, **Ismahane**, **Rajaa**, **wissam** et **Hizia**

À ma cousine proche : **Imane**.

À la femme de mon frère : **Soussou**

A ma chère amie et binôme, **Ferial** pour son entente et sa sympathie

A toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

A tous les membres de mes familles et toute personne qui porte le

Nom **CHERIFI**

À toutes les personnes que nous n'avons pas nommées ici, ainsi

Qu'à toutes celles que j'ai connues

Houaria

Résumé

Cette étude a pour objectif d'évaluer l'activité antifongique de l'huile essentielle de romarin (*Rosmarinus officinalis*) ainsi que son effet sur la conservation des tomates. L'activité antifongique de l'huile essentielle a été évaluée par des essais in vitro selon les méthodes des puits et des disques contre *Fusarium* sp. Et *Candida* sp. Des essais in vivo ont également été réalisés sur des plants de tomate infectés par *Fusarium oxysporum*, ainsi que sur des fruits conservés à température ambiante et à 4 °C. Les résultats ont montré que l'huile essentielle de romarin possède une activité antifongique dépendante de la concentration. *Fusarium* sp. s'est révélé plus sensible que *Candida* sp. Avec une zone d'inhibition maximale de 7,5 cm obtenue par la méthode des disques à la concentration de 100 %. Les essais réalisés sur les plantules de tomate ont indiqué que la concentration de 50 % représente le meilleur compromis entre efficacité antifongique et tolérance de la plante, en limitant significativement l'évolution des symptômes durant la période d'observation, tandis que la concentration de 100 % a présenté un effet phytotoxique. Concernant la conservation des fruits, l'association de l'huile essentielle et du froid (4 °C) a donné les meilleurs résultats en réduisant le développement fongique et en prolongeant la durée de conservation des tomates. En conclusion, l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* présente un potentiel important comme agent naturel de lutte contre *Fusarium oxysporum* comme moyen de bioconservation des tomates après récolte, constituant ainsi une alternative écologique prometteuse pour la protection des cultures.

Mots-clés : *Solanum lycopersicum*, *Fusarium oxysporum*, *Rosmarinus officinalis*, huile essentielle, activité antifongique, bioconservation, tomate.

Abstract

This study aims to evaluate the antifungal activity of rosemary essential oil (*Rosmarinus officinalis*) as well as its effect on tomato preservation. The antifungal activity of the essential oil was assessed through in vitro assays using well and disc diffusion methods against *Fusarium* sp. and *Candida* sp.. In vivo experiments were also conducted on tomato plants infected with *Fusarium oxysporum*, as well as on fruits stored at room temperature and at 4 °C. The results showed that rosemary essential oil exhibits concentration-dependent antifungal activity. *Fusarium* sp. was more sensitive than *Candida* sp., with a maximum inhibition zone of 7.5 cm obtained by the disc diffusion method at 100% concentration. In vivo tests on tomato plants indicated that 50% concentration provided the best balance between antifungal efficacy and plant tolerance, significantly reducing symptom development throughout the observation period, whereas 100% concentration exhibited phototoxic effects. Regarding fruit preservation, the combination of essential oil and cold storage (4 °C) produced the best results by reducing fungal growth and extending tomato shelf life. In conclusion, *Rosmarinus officinalis* essential oil shows strong potential as a natural antifungal agent against *Fusarium oxysporum* and as a bio preservation method for postharvest tomatoes, representing a promising eco-friendly alternative for crop protection.

Keywords: *Solanum lycopersicum*, *Fusarium oxysporum*, *Rosmarinus officinalis*, essential oil, antifungal activity, bio preservation, tomato.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم النشاط المضاد للفطريات للزيت العطري لإكليل الجبل (*Rosmarinus officinalis*) ، بالإضافة إلى دراسة تأثيره على حفظ الطماطم. تم تقييم النشاط المضاد للفطريات للزيت العطري من خلال اختبارات مخبرية (in vitro) باستعمال طريقتي الأحواض والأقراص ضد *Fusarium* sp. و *Candida* sp. كما أجريت اختبارات حيوية (in vivo) على نباتات طماطم مصابة بـ *Fusarium oxysporum* ، وعلى ثمار محفوظة في درجة حرارة الغرفة وعند 4 درجات مئوية. أظهرت النتائج أن الزيت العطري لإكليل الجبل يمتلك نشاطاً مضاداً للفطريات يعتمد على التركيز. وقد تبين أن *Fusarium* sp. أكثر حساسية من *Candida* sp. ، حيث تم تسجيل أكبر قطر تثبيط بلغ 7.5 سم بطريقة الأقراص عند تركيز 100%. وأشارت التجارب على نباتات الطماطم إلى أن تركيز 50% يمثل أفضل توازن بين الفعالية المضادة للفطريات وتحمل النبات، حيث حدّ بشكل ملحوظ من تطور الأعراض خلال فترة الملاحظة، في حين أظهر تركيز 100% تأثيراً ساماً على النبات. أما فيما يخص حفظ الثمار، فقد أدى دمج الزيت العطري مع التبريد (4 درجات مئوية) إلى أفضل النتائج من خلال تقليل النمو الفطري وإطالة مدة حفظ الطماطم. في الختام، يُظهر الزيت العطري لإكليل الجبل (*Rosmarinus officinalis*) قدرة واعدة كعامل طبيعي لمكافحة *Fusarium oxysporum* وكوسيلة للحفظ الحيوي للطماطم بعد الحصاد، مما يجعله بديلاً بيئياً واعداً لحماية المحاصيل.

الكلمات المفتاحية: *Solanum lycopersicum* ، *Fusarium oxysporum* ، *Rosmarinus officinalis* ، الزيت العطري، النشاط المضاد للفطريات، الحفظ الحيوي، الطماطم.

Table des matières

Remerciements.....	2
Dédicace.....	3
Résumé	5
Abstract.....	6
المخلص 7	
Liste des abréviations.....	13
Liste des figures	14
Liste des tableaux	16
Introduction	1
Partie Bibliographique.....	18
CHAPITRE I :	18
Généralités sur la tomate	18
I. CHAPITRE I : Généralité sur la tomate.....	4
1.1. Origine et historique	4
1.2. Nomenclature et classification botanique :	4
1.3. Caractéristiques morphologiques de la tomate	5
1.3.1. L'appareil végétatif.....	5
1.3.2. L'appareil reproducteur	8
1.4. Caractéristiques physiologiques de la tomate.....	10
1.4.1. Les exigences climatiques	10
1.4.2. Exigences édaphiques	11
1.5. Cycle Biologie de la tomate.....	12
1.5.1. La germination	12
1.5.2. La croissance	12
1.5.3. La floraison	13
1.5.4. La pollinisation.....	13
1.5.5. La fructification et la maturité.....	13
1.6. Les variétés.....	13
1.6.1. La pollinisation.....	14
1.6.2. La fructification et la maturité.....	14
1.7. Les variétés.....	14
1.7.1. La pollinisation.....	15
1.7.2. La fructification et la maturité.....	15

1.8. Les variétés.....	15
1.9. Importance économique de la tomate.....	16
1.9.1. Au niveau mondial	16
1.9.2. En Algérie.....	16
1.9.3. En wilaya de Mostaganem	17
1.10. Principales maladies de la tomate.....	17
1.10.1. Maladies cryptogamiques :.....	17
1.10.2. Maladies bactériennes :	18
1.10.3. Maladies virales :	18
1.11. Les ravageurs de la tomate :.....	19
II. CHAPITRE II: Fusarium sp	21
2.1. Généralités	21
2.2. Écologie et Habitat	21
2.3. Classification du genre Fusarium	22
2.4. Critères d'identification de Fusarium	22
2.5. Symptomatologie	23
2.6. Cycle biologique.....	24
III. CHAPITRE III: les huiles essentielles	27
3.1. Généralité sur les huiles essentielles	27
3.2. Localisation.....	27
3.3. Rôle physiologique des huiles essentielles	28
3.4. Composition chimique et biosynthèse des huiles essentielles	28
3.4.1. Les compositions chimiques	28
3.4.2. La biosynthèse.....	29
3.5. Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles	30
3.6. Actions biologiques et effets thérapeutiques des huiles essentielles.....	31
3.6.1. Effets antibactériens	31
3.6.2. Effets antifongiques.....	31
3.6.3. Effets virucides.....	31
3.7. Effets pharmacologiques des huiles essentielles	32
3.8. Méthodes d'extraction des huiles essentielles	32
3.8.1. Hydro distillation.....	32
3.8.2. Entrainement à la vapeur d'eau :.....	33
3.8.3. Expression à froid :	33

3.8.4.	L'extraction assistée par micro-ondes :	34
3.8.5.	Extraction par CO2 supercritique :	34
3.9.	Conservation des huiles essentielles	35
IV.	CHAPITRE IV :Rosmarinus officinalis	37
4.1.	Origine	37
4.2.	Distribution géographique	38
4.3.	Distribution botanique	38
4.4.	Classification	38
4.5.	Caractéristiques	39
4.5.1.	Partie souterraine	39
4.5.2.	Partie aérienne :	39
4.6.	Les composants chimiques	40
4.6.1.	Polyphénol :	40
4.6.2.	Tanins	41
4.6.3.	Flavonoïdes	41
4.6.4.	Terpène	42
4.6.5.	Coumarines	42
4.6.6.	Alcaloïdes	43
PARTIE		44
EXPÉRIMENTALE		44
I.	Présentation et situation de la zone d'étude	45
II.	Matériel végétal	45
2.1.	Échantillonnage	45
2.2.	Séchage :	46
III.	Processus d'extraction des huiles essentielles	46
3.1.	Extraction de l'huile essentielle :	46
3.2.	Principe de la méthode :	46
3.3.	Description du processus	47
3.4.	Conservation de l'huile essentielle obtenue	47
3.5.	Détermination de rendement de l'HE	47
3.6.	Préparation des concentrations de l'huile essentielle	47
IV.	Isolement et indentification du champignon pathogène	48
4.1.	Collecte des échantillons de tomates pourries	48
4.2.	Isolement des microorganismes	48

4.3.	Identification des souches	49
4.4.	Conservation des souches isolées.....	49
V.	Évaluation de l'activité antifongique in vitro	50
5.1.	Souches fongiques testées	50
5.2.	Préparation de la suspension sporale.....	50
5.3.	Méthode des disques (Diffusion sur milieu solide).....	50
5.4.	Diffusion sur milieu solide par la technique des puits.	51
VI.	Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de romarin sur les plants de tomate	52
6.1.	Matériel végétal :	52
6.2.	Préparation de l'inoculum fongique.....	53
6.3.	Inoculation artificielle des plants	53
6.4.	Dispositif expérimental	53
6.5.	Évaluation de l'évolution de la maladie	54
6.6.	Traitement des plants par l'huile essentielle	54
VII.	Test de bio conservation des tomates.....	55
7.1.	Matériel végétal.....	55
7.2.	Préparation des traitements	55
7.3.	Application des traitements.....	55
7.4.	Conditions de conservation	55
7.5.1.	Aspect visuel des tomates	56
7.5.2.	Qualité organoleptique	56
7.5.3.	Durée de conservation.....	57
7.5.4.	La perte de poids (%)	57
7.5.5.	Taux de pourriture	57
7.5.6.	Calcul du pourcentage de protection.....	57
	Résultats	58
	Et	58
	Discussion.....	58
1.	Rendement en huile essentielle	60
2.	Identification des isolats.....	60
2.1.	Isolat de <i>fusarium</i> macroscopique.....	60
2.2.	Observation microscopique de <i>Fusarium</i>	60
2.	Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de romarin	61

2.1.	Par la méthode des puits	61
2.2.	Par la méthode des disques.....	62
2.	Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de Romarin sur les plants de tomate (in vivo).....	64
3.	Effet de la concentration de l'huile essentielle et de la température sur le développement fongique.....	66
3.1.	La température ambiante	66
3.2.	La température 4°C	66
4.	Effet de l'huile essentielle sur la conservation des tomates	68
4.1.	Perte de poids.....	68
4.1.1.	Calcul de la perte de poids (%)	69
4.2.	Taux de pourriture	71
4.3.	Pourcentage de protection	72
	Conclusion.....	74
	Références Bibliographiques.....	77
	ANNEXE	83

Liste des abréviations

T : temps

HE : huile essentielle

RO : romarin

M : Mostaganem

PH : potentiel d'hydrogène

L : croissance mycélienne

D : diamètre de colonie

D : diamètre de l'explant

V : vitesse de croissance

F : formulation

Ti : témoin inoculé

Tn : témoin non inoculé

DMSO: Diméthylsulfoxyde

Liste des figures

Figure 1 : Origine et diffusion de la tomate dans le monde.	4
Figure 2 : système racinaire de la tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.).(Originale, 2026).	6
Figure 3: Tige de la tomate (Originale, 2026).....	7
Figure 4: Feuille de la tomate (Originale, 2026).....	7
Figure 5: Fleurs de la tomate (Originale, 2026).	8
Figure 6: Fruits de la tomate (Originale, 2026).....	9
Figure 7: les graine de la tomate (Originale, 2026).	9
Figure 8: le cycle végétatif de la tomate.	12
Figure 9 : Principaux pays producteurs de la tomate (million de tonnes) (FAO STAT, 2011)	16
Figure 10: Les Symptômes qui causé par le <i>fusarium oxysporum</i> . Sp.	24
Figure 11: Cycle biologique de <i>Fusarium oxysporum</i> f.sp.(Marion Triolet,2014).....	25
Figure 12: Structure chimique de quelques composés aromatiques des huiles essentielles (Mayer, 2012).	30
Figure 13: Schéma du montage d'extraction par hydro distillation. (Anonyme 02).	33
Figure 14: Schéma du montage d'extraction par Entrainement à la vapeur d'eau	33
Figure 15 : Schéma du montage d'extraction par Expression à froid.	34
Figure 16: Schéma du montage d'extraction par micro-ondes.	34
Figure 17: Schéma du montage d'extraction par CO2 supercritique (Anonymes).	35
Figure 18: <i>Rosmarinus officinalis</i>	37
Figure 19 : caractères morphologiques de <i>Rosmarinusofficinalis</i>	40
Figure 20: localisation géographique de sidi Ali (Mostaganem) sur Google maps.	45
Figure 21: Appareil d'extraction des huiles essentielles par entraînement à la vapeur d'eau.	46
Figure 22: Etapes de l'isolement de l'agent phytopathogène	49
Figure 23: La technique des disques (Original, 2026)	51
Figure 24 : La technique des puits. (Original, 2026).	52
Figure 25 : Desplantules de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) (Original, 2026).	53
Figure 26 : Schéma du protocole expérimental de l'évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de romarin contre la fusariose de la tomate.(ChatGPT – OpenAI, adapté par l'auteur).	54
Figure 27: Les boîtes conservées à température ambiante. (Originale, 2026).	56

Figure 28: Les boîtes conservées au réfrigérateur à une température de 4 °C. (Originale, 2026).....	56
Figure 29 : Aspect macroscopique de <i>Fusarium</i> sp.	60
Figure 30: Aspect microscopique de <i>Fusarium</i> sp.	61
Figure 31: Résultat de la méthode des puits de <i>Fusarium</i> sp.	61
Figure 32 : Résultat de la méthode des disques (10%) contre <i>Candida</i> sp.	62
Figure 33: Résultat de la méthode des disques (50%) contre <i>Candida</i> sp.	63
Figure 34: Résultat de la méthode des disques (100%) contre <i>Candida</i> sp.	63
Figure 35: Résultat de la méthode des disques (100%) contre <i>Fusarium</i> sp.....	63
Figure 36 : Efficacité antifongique de l'huile essentielle de romarin à température ambiante.	67
Figure 37: Efficacité antifongique de l'huile essentielle de romarin à 4°C.	68
Figure 38 Histogramme de la perte de poids (%) des tomates après 20 jours de conservation.	69
Figure 39 : Taux de pourriture des tomates après 20jours de conservations	71
Figure 40 : pourcentage de protection contre la pourriture (J20).....	72

Liste des tableaux

Tableau 1 : Les maladies cryptogamiques de la tomate. (Senoussi, 2010).....	17
Tableau 2: Les maladies bactériennes de la tomate. (Snoussi, 2010).....	18
Tableau 3 : maladies virales de la tomate.	18
Tableau 4: les ravageurs de la tomate. (Ziris, 2021).....	19
Tableau 5: Classification du genre Fusarium (Hoog et al, .1995 ; Thomas, 2017).	22
Tableau 6: partie utilisée et quantité de la prise d'essai.....	46
Tableau 8 : Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de romarin Par la méthode des puits.	61
Tableau 9: Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de romarin Par la méthode des disques.....	62
Tableau 10 : Effet des différentes concentrations de l'huile sur les plantes de tomate après 20 jours de traitement.....	65
Tableau 11 : Effet de la concentration d'huile essentielle de romarin sur la conservation des tomates à température ambiante.	66
Tableau 12: Effet de différentes concentrations d'huile essentielle de romarin sur la conservation des tomates à température 4°C.....	66

Introduction

Introduction

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) constitue l'une des cultures maraîchères les plus importantes au monde en raison de sa grande valeur nutritionnelle et de son intérêt économique. En Algérie, elle occupe une place essentielle dans le secteur agricole et représente une source importante de revenus pour de nombreux producteurs. Toutefois, l'amélioration de sa production reste confrontée à plusieurs contraintes, notamment les maladies cryptogamiques responsables de pertes considérables aussi bien sur le plan quantitatif **(Faostat, et al 2023)**.

Parmi les agents phytopathogènes les plus redoutables, *Fusarium oxysporum* est considéré comme l'un des champignons les plus destructeurs de la culture de la tomate. Ce pathogène est responsable de la fusariose vasculaire, une maladie qui provoque le flétrissement des plantes, le brunissement des tissus vasculaires et, dans les cas les plus sévères, leur dépérissement complet, entraînant ainsi d'importantes pertes économiques. **(El-Aswad, A. F. et al. 2023)**.

Afin de limiter les dégâts causés par cette maladie, les producteurs ont largement recours aux fongicides chimiques. Bien que ces produits assurent souvent une efficacité rapide, leur utilisation intensive et répétée peut entraîner de nombreux inconvénients, notamment l'apparition de souches résistantes, la contamination de l'environnement, la présence de résidus dans les produits agricoles ainsi que des risques potentiels pour la santé humaine et animale.

Face à ces préoccupations, la recherche scientifique s'oriente de plus en plus vers des méthodes de lutte alternatives, respectueuses de l'environnement et compatibles avec les principes d'une agriculture durable. Parmi ces approches, les huiles essentielles occupent une place importante grâce à leur richesse en composés bioactifs et à leurs nombreuses propriétés biologiques, notamment leurs activités antimicrobiennes et antifongiques démontrées contre plusieurs agents phytopathogènes.

L'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* est particulièrement reconnue pour sa richesse en composés terpéniques et phénoliques susceptibles d'inhiber la croissance et le développement de nombreux microorganismes. Sa valorisation dans la lutte biologique représente ainsi une

alternative prometteuse permettant de réduire l'utilisation des pesticides de synthèse tout en préservant la productivité agricole et l'équilibre des écosystèmes (**Abuzaitoun, S. Y. et al. 2026**).

C'est dans cette optique que s'inscrit le présent travail, dont l'objectif principal est d'évaluer l'activité antifongique de l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* (romarin) vis-à-vis des espèces phytopathogènes du genre *Fusarium*, à travers une démarche expérimentale combinant des essais in vitro et in vivo, dans le but d'apprécier son potentiel en tant qu'alternative naturelle aux fongicides chimiques conventionnels (Rhouma *et al.*, 2024). Cette étude s'articule autour de la problématique suivante : quelle est l'efficacité de l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* dans l'inhibition du développement des espèces du genre *Fusarium*, et dans quelle mesure peut-elle constituer une alternative naturelle aux fongicides chimiques dans la lutte contre la fusariose de la tomate ?

Pour répondre à cette problématique, trois hypothèses ont été formulées : les huiles essentielles exercent un effet inhibiteur sur la croissance mycélienne de *Fusarium oxysporum* ; elles réduisent la sporulation et la germination des spores du champignon ; et elles contribuent à limiter la propagation des symptômes de la fusariose sur les plants de tomate. Afin de répondre à ces objectifs, le présent mémoire est structuré en six chapitres : le premier présente des généralités sur la tomate, le deuxième est consacré à l'agent pathogène *Fusarium*, le troisième aborde les huiles essentielles de manière générale, le quatrième traite spécifiquement du romarin (*Rosmarinus officinalis*), le cinquième expose l'évaluation de l'activité antifongique in vitro par les méthodes de diffusion sur disques et sur puits, et le sixième présente l'évaluation de l'activité antifongique in vivo à travers le traitement des plantes et les tests de bioconservation des fruits de tomate.

Partie Bibliographique

CHAPITRE I :

Généralités sur la tomate

I. CHAPITRE I : Généralité sur la tomate

1.1. Origine et historique

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est originaire de la région nord-ouest de l'Amérique du Sud, où se situe le centre d'origine du genre *Solanum*. Sa domestication a eu lieu au Mexique, où elle était cultivée par les civilisations précolombiennes, notamment les Aztèques.

Le terme « tomate » dérive du mot nahuatl « tomatl », utilisé par les populations locales pour désigner certaines espèces voisines, tandis que la tomate cultivée était appelée « jitomate ». Après sa découverte, la plante a été introduite en Europe au cours de la première moitié du XVI^e siècle, d'abord en Espagne et en Italie, avant de se diffuser progressivement dans les autres pays européens.

En Algérie, la culture de la tomate a été introduite par des agriculteurs originaires du sud de l'Espagne, attirés par des conditions climatiques favorables à son développement. Sa consommation a débuté vers 1905 dans la région d'Oran, avant de s'étendre progressivement vers le centre du pays, notamment le littoral algérois.

Par ailleurs, la première description de la tomate en Europe remonte à 1544, grâce au botaniste italien Pietro Andrea Mattioli. À cette époque, elle était connue sous différentes appellations, telles que « pomme d'or » (pomodoro en italien) ou encore « pomme d'amour », en référence aux propriétés aphrodisiaques qui lui étaient autrefois attribuées.



Figure 1 : Origine et diffusion de la tomate dans le monde.

1.2. Nomenclature et classification botanique :

La nomenclature de la tomate a connu plusieurs modifications au cours de l'histoire, suite aux divergences entre les botanistes quant à sa classification. Cette plante appartient à la famille des Solanacées.

En 1753, le botaniste suédois Carl Linnaeus a attribué à la tomate le nom scientifique *Solanum lycopersicum*. Par la suite, Philip Miller a proposé, quelques années plus tard, la

Généralité sur la tomate

Dénomination *Lycopersicum culent*, qui a été largement utilisée pendant une longue période.

Le terme « *Lycopersicum* » est d'origine gréco-latine et signifie « pêche de loup », tandis que « *esculentum* » signifie « comestible ». Cependant, cette comestibilité concerne uniquement les fruits mûrs, car les parties végétatives et les fruits verts contiennent des alcaloïdes toxiques tels que la tomatine et la solanine, qui disparaissent progressivement lors de la maturation.

Les études phylogénétiques récentes ont permis de confirmer l'appartenance de la tomate au genre *Solanum*, ce qui a conduit à l'adoption du nom scientifique actuellement reconnu : *Solanum lycopersicum* L.

- La classification botanique de la tomate est la suivante :

Règne : Plantae

Sous-règne : Tracheobionta

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Sous-classe : Asteridae

Ordre : Solanales

Famille : Solanaceae

Genre : *Solanum*

Espèce : *Solanum lycopersicum*.

1.3. Caractéristiques morphologiques de la tomate

La tomate est une plante herbacée annuelle appartenant au groupe des légumes-fruits. Elle présente deux principaux systèmes : l'appareil végétatif et l'appareil reproducteur.

1.3.1. L'appareil végétatif

L'appareil végétatif de *Solanum lycopersicum* regroupe l'ensemble des organes responsables de la croissance, de la nutrition et de la survie de la plante. Il est principalement constitué des racines, de la tige et des feuilles. Ces organes fonctionnent de manière coordonnée afin d'assurer l'absorption de l'eau et des éléments minéraux du sol, le transport de la sève dans la plante, ainsi que la réalisation de la photosynthèse. L'appareil végétatif joue également un rôle important dans l'adaptation de la plante aux différentes conditions environnementales (Shankara, 2005).

a) Racines

Généralité sur la tomate

Le système racinaire de la tomate est de type pivotant et bien développé. Il peut atteindre une profondeur d'environ 50 cm ou plus selon la nature du sol et la disponibilité en eau. Il est constitué d'une racine principale robuste donnant naissance à de nombreuses racines latérales, ce qui augmente la surface d'absorption.

La densité racinaire est surtout concentrée dans les couches superficielles du sol (30 à 40 cm), où les éléments nutritifs sont les plus disponibles. Les racines assurent la fixation de la plante, l'absorption de l'eau et des éléments minéraux, ainsi que le stockage de certaines substances de réserve. L'efficacité du système racinaire influence directement la croissance et la productivité de la plante (Chaux et Foury, 1994 ; Shankara, 2005).



Figure 2 :

système racinaire de la tomate (*Solanum lycopersicum L.*). (Originale, 2026).

b) Tige

La tige de la tomate est un organe essentiel assurant le soutien de la plante et la connexion entre ses différentes parties. Elle peut être dressée ou rampante selon la variété et les conditions de culture, et Vient semi-ligneuse avec l'âge. Sa surface est recouverte de poils et présente une forme anguleuse.

Au stade initial, la croissance est monopodiale, avec un allongement continu de l'apex, puis elle devient sympodiale après l'apparition de plusieurs feuilles, entraînant une ramification de la tige. Dans des conditions favorables, notamment en culture protégée, la tige peut dépasser 2 mètres de longueur. Elle assure également le transport de la sève brute et élaborée entre les racines et les feuilles (Shankara et al. 2005).



Figure 3: Tige de la tomate (Originale, 2026)

c) Feuilles

Les feuilles de la tomate sont composées, imparipennées et disposées en spirale sur la tige. Elles comportent 5 à 7 folioles à bords dentés et à lobes profonds. Leur longueur varie généralement entre 10 et 25 cm.

Les feuilles constituent le principal site de la photosynthèse, où l'énergie lumineuse est transformée en énergie chimique utilisée pour la croissance de la plante. Elles participent également à la transpiration et à la régulation hydrique. Elles possèdent des poils glanduleux qui libèrent des composés aromatiques responsables de l'odeur caractéristique de la plante et pouvant contribuer à sa protection contre certains insectes (Anonyme, 1999).



Figure 4: Feuille de la tomate (Originale, 2026)

Généralité sur la tomate

1.3.2. L'appareil reproducteur

L'appareil reproducteur regroupe l'ensemble des organes responsables de la reproduction de la plante, principalement les fleurs qui, après fécondation, donnent naissance aux fruits contenant les graines. Il joue un rôle fondamental dans la pérennité de l'espèce et est influencé par plusieurs facteurs environnementaux tels que la température, l'humidité et la nutrition minérale (Shankara, 2005 ; Polese, 2007).

a) Fleurs

Les fleurs de la tomate sont de petite taille, jaunes et de forme étoilée caractéristique. Elles sont regroupées en inflorescences portant généralement de 3 à 8 fleurs. Ce sont des fleurs bisexuées et régulières, dont le diamètre varie entre 1,5 et 2 cm.

Le calice est formé de sépales verts, courts et pubescents, qui restent souvent attachés au fruit après sa formation. La corolle est composée d'environ 6 pétales jaunes qui se recourbent vers l'arrière à maturité. La fleur possède 6 étamines dont les anthères sont regroupées autour du style, facilitant ainsi l'autopollinisation.

L'ovaire est supère et composé de 2 à 9 carpelles, et il donne naissance au fruit après fécondation. Bien que la tomate soit une plante autogame, une pollinisation croisée peut se produire sous l'action du vent ou des insectes (Shankara, 2005 ; Polese, 2007).



Figure 5: Fleurs de la tomate (Originale, 2026).

b) Fruits

Le fruit de la tomate est une baie charnue, de texture molle et riche en eau. Il varie fortement en forme, taille et poids selon les variétés : de petites tomates cerises (~1,5 cm) jusqu'à de gros fruits dépassant 10 cm et 1 kg.

Le fruit passe par plusieurs stades de développement, débutant par une couleur verte due à la chlorophylle, puis évoluant vers l'orange, le rouge ou le jaune à maturité, en raison de l'accumulation de pigments tels que le lycopène.

Généralité sur la tomate

Le fruit contient de nombreuses graines (pépins) situées dans des loges, entourées d'un mucilage gélatineux assurant leur protection et facilitant leur dispersion. La qualité du fruit (taille, couleur, goût) dépend à la fois des facteurs génétiques et environnementaux (Chaux et Foury, 1994 ; Blancard, 2009 ; Naika et al. 2005 ; Papadopoulos, 1991 ; Polese, 2007).



Figure 6: Fruits de la tomate (Originale, 2026).

c) Les graine

Les graines se caractérisent par leur couleur beige et leur petite taille, avec une longueur comprise entre 3 et 5 mm et une largeur entre 2 et 4 mm. Elles sont présentes en grand nombre dans des loges remplies de gel, avec une densité d'environ 300 à 350 graines par gramme (Shankara, 2005).

Elles peuvent également conserver leur pouvoir germinatif pendant une période de 4 à 5 ans lorsqu'elles sont maintenues dans des conditions ordinaires (Rey et Costes, 1965).

Exigences de la culture.



Figure 7: les graine de la tomate (Originale, 2026).

1.4.Caractéristiques physiologiques de la tomate

1.4.1. Les exigences climatiques

Relativement frais et sec est le climat que la tomate exige pour fournir une récolte de quantité et de qualité.

a) Température

La tomate est une plante de saison chaude, adaptée à différents climats (Elattir et al. 2003). Elle se développe de manière optimale dans un climat modérément frais et relativement sec.

La germination débute à partir de 12°C, et la température optimale de croissance se situe entre 18 et 26°C (Benton, 1999). Le développement des racines est favorisé entre 15 et 18°C. Durant le grossissement des fruits, des températures d'environ 25°C le jour et 15°C la nuit sont idéales, avec un écart thermique d'environ 10°C.

Des températures extrêmes, surtout pendant la floraison, peuvent réduire la viabilité du pollen et affecter la croissance et la qualité des fruits (Messiaen et al. 1993 ; Naika et al. 2005 ; Shankara, 2005).

b) Lumière

La croissance et le rendement de la tomate dépendent fortement de la lumière reçue. Une intensité lumineuse suffisante favorise la formation des fleurs et améliore la production.

À l'inverse, un faible éclaircissement provoque un étiolement des plantes, une réduction du nombre de fleurs et une baisse du rendement (Cirad et Gret, 2002 ; Ray et Costes, 1965). La photopériode ne doit pas dépasser 18 heures par jour, et l'alternance entre lumière et obscurité joue un rôle essentiel dans la croissance, la floraison et la qualité des fruits (Shankara et al. 2005).

c) L'eau et l'humidité :

La plante de tomate est très sensible à l'hygrométrie ; elle ne supporte ni les sols saturés en eau ni une humidité excessive. Pour assurer une bonne fécondation, une humidité relative comprise entre 60 % et 65 % est recommandée. Lorsque l'humidité dépasse 80 %, la libération du pollen devient difficile.

En outre, des conditions de forte humidité associées à la chaleur favorisent le développement des maladies cryptogamiques (Laumonier, 1979). Les périodes nuageuses ralentissent le mûrissement des fruits, tandis que le stress hydrique et les longues périodes de sécheresse entraînent la chute des bourgeons et des fleurs, ainsi que la fissuration des fruits.

Généralité sur la tomate

Il est donc indispensable d'assurer un apport en eau adapté afin de garantir une bonne croissance de la plante (Munro et Small, 1998). L'irrigation doit être ajustée en fonction du stade de développement de la culture et de l'intensité du rayonnement solaire. Les besoins en Eau sont estimés à environ 500 litres/100 m²/jour durant les 40 jours suivant la transplantation, et à près de 1000 litres/100 m²/jour pendant les phases de floraison et de maturation (Desvals, 2006)

1.4.2. Exigences édaphiques

a) Le sol

La tomate peut se développer dans différents types de sols, à condition qu'ils soient bien aérés et capables de retenir l'eau. Elle préfère toutefois les sols limoneux profonds, bien drainés, légers, meubles et riches en matière organique, qui se réchauffent rapidement (Laumonier, 1979). Une bonne perméabilité de la couche superficielle (15 à 20 cm) favorise une croissance saine de la culture (Shankara et al. 2005). Selon Khorsi (1993), le rendement peut augmenter d'environ 50 % en passant de sols sableux légers à des sols limoneux plus lourd

b) La température de sol

La germination dépend fortement de la température du sol. Celle-ci augmente progressivement jusqu'à atteindre un optimum de 25°C, tandis que les meilleurs taux de levée sont observés entre 15°C et 20°C (Rey et Costes, 1965). À des températures inférieures à 12°C, la croissance devient faibles et les inflorescences sont peu développées et portent peu de fleurs (Kolev, 1976).

c) PH du sol

La tomate tolère une certaine variation du pH, mais elle se développe mieux dans des sols légèrement acides, avec un pH compris entre 5,5 et 6,8 (Shankara, 2005)

d) Salinité du sol

La tomate présente une sensibilité moyenne à la salinité. Elle peut tolérer des concentrations en sels comprises entre 2 et 4 g/L. Cependant, elle est plus sensible durant la germination et les premiers stades de croissance (Bentvelsen, 1980). Ainsi, le contrôle de la salinité de la

Généralité sur la tomate

solution nutritive est essentiel pour assurer un bon développement des jeunes plants (Brun et Montarone, 1987)

1.5. Cycle Biologie de la tomate

Selon Gallais et Bannerot (1992), le cycle végétatif complet de la tomate varie selon les variétés et les conditions de culture. Il dure en moyenne de 3,5 à 4 mois, du semis jusqu'à la dernière récolte, avec environ 7 à 8 semaines de la graine à la floraison et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit.

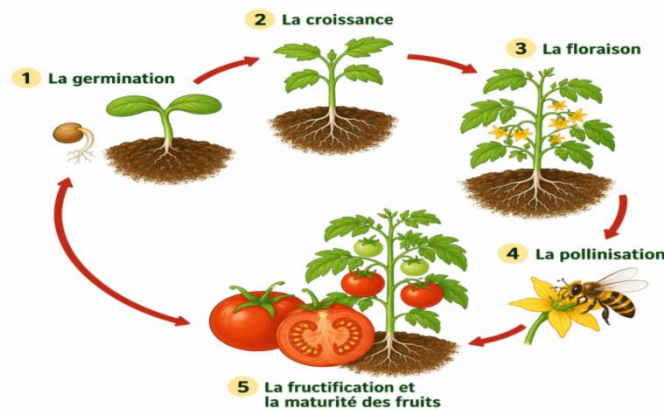


Figure 8: le cycle végétatif de la tomate.

1.5.1. La germination

La tomate présente une germination épigée, au cours de laquelle l'axe hypocotylé porte deux cotylédons de forme ovale. Le cycle végétatif de la plante dure entre 4 et 6 mois. L'initiation florale débute environ deux semaines après l'apparition des cotylédons. La première inflorescence se forme généralement entre le deuxième et le troisième nœud, tandis que les ramifications secondaires apparaissent à raison d'une toutes les quatre feuilles. La tomate possède un port de croissance indéterminé, caractérisé par la formation continue de nouvelles inflorescences sur les rameaux issus des bourgeons axillaires situés à l'aisselle des feuilles. La germination nécessite des conditions favorables de température et d'aération du sol (Dupont et Guignard, 2012).

1.5.2. La croissance

La croissance est un processus d'augmentation irréversible de la taille de la plante (Thiman, 1956). Elle se déroule en deux phases : en pépinière, où apparaissent les racines et les premières feuilles jusqu'au stade 6 feuilles, puis en plein champ, où la plante développe ses feuilles, sa tige s'épaissit et sa croissance végétative s'intensifie.

Généralité sur la tomate

1.5.3. La floraison

La floraison correspond au passage du méristème du stade végétatif au stade reproducteur avec l'apparition des fleurs. La pollinisation est suivie de la fécondation en 2 à 3 jours (Ray et Costes, 1965). La première inflorescence apparaît environ deux mois et demi après le semis (Benton, 1999). Ce stade dépend de la température, de la photopériode et des conditions de croissance.

1.5.4. La pollinisation

La pollinisation est influencée par les conditions climatiques. Une température inférieure à 13°C peut entraîner la formation de pollen non viable, tandis qu'une faible humidité dessèche les stigmates et gêne le dépôt du pollen (Louveaux, 1984). Elle est assurée principalement par le vent ou les insectes comme les bourdons (Chaux et Foury, 1994). Les températures extrêmes réduisent la production de pollen (Shankara, 2005).

1.5.5. La fructification et la maturité

La fructification débute par la nouaison des fleurs et suit un développement progressif des fruits du bas vers le haut de l'inflorescence. Les fruits atteignent leur taille finale puis changent de couleur du vert au jaune puis au rouge à maturité (Benton, 1999). Ce processus est influencé par la production d'auxines, la lumière et la température, une condition optimale étant d'environ 27°C le jour et 18°C la nuit (Ray et Costes, 1965 ; Shankara, 2005).

1.6. Les variétés

On distingue plusieurs types de tomates en fonction du mode de croissance de la plante et surtout de la forme et du type de fruit.

Les variétés à fruits plats et côtelés, comme la tomate de type Marmande, se caractérisent par des fruits volumineux pouvant dépasser 1 kg.

Les variétés à fruits ronds présentent un poids compris entre 100 et 300 g. Elles comprennent de nombreux hybrides dont les fruits possèdent une bonne aptitude à la conservation.

Les variétés à fruits allongés, à extrémité arrondie (type Roma) ou pointue (type Chico), sont principalement destinées à l'industrie. Elles présentent généralement un port déterminé et leurs fruits répondent à des critères technologiques spécifiques liés à la transformation, certaines étant adaptées à la récolte mécanique.

Généralité sur la tomate

Enfin, les variétés de petite taille et de faible poids regroupent les tomates cerise et cocktail (Coll., 2006).

1.6.1. La pollinisation

La pollinisation est influencée par les conditions climatiques. Une température inférieure à 13°C peut entraîner la formation de pollen non viable, tandis qu'une faible humidité dessèche les stigmates et gêne le dépôt du pollen (Louveaux, 1984). Elle est assurée principalement par le vent ou les insectes comme les bourdons (Chaux et Foury, 1994). Les températures extrêmes réduisent la production de pollen (Shankara, 2005).

1.6.2. La fructification et la maturité

La fructification débute par la nouaison des fleurs et suit un développement progressif des fruits du bas vers le haut de l'inflorescence. Les fruits atteignent leur taille finale puis changent de couleur du vert au jaune puis au rouge à maturité (Benton, 1999). Ce processus est influencé par la production d'auxines, la lumière et la température, une condition optimale étant d'environ 27°C le jour et 18°C la nuit (Ray et Costes, 1965 ; Shankara, 2005).

1.7. Les variétés

On distingue plusieurs types de tomates en fonction du mode de croissance de la plante et surtout de la forme et du type de fruit.

Les variétés à fruits plats et côtelés, comme la tomate de type Marmande, se caractérisent par des fruits volumineux pouvant dépasser 1 kg.

Les variétés à fruits ronds présentent un poids compris entre 100 et 300 g. Elles comprennent de nombreux hybrides dont les fruits possèdent une bonne aptitude à la conservation.

Les variétés à fruits allongés, à extrémité arrondie (type Roma) ou pointue (type Chico), sont principalement destinées à l'industrie. Elles présentent généralement un port déterminé et leurs fruits répondent à des critères technologiques spécifiques liés à la transformation, certaines étant adaptées à la récolte mécanique.

Enfin, les variétés de petite taille et de faible poids regroupent les tomates cerise et cocktail (Coll., 2006).

Généralité sur la tomate

1.7.1. La pollinisation

La pollinisation est influencée par les conditions climatiques. Une température inférieure à 13°C peut entraîner la formation de pollen non viable, tandis qu'une faible humidité dessèche les stigmates et gêne le dépôt du pollen (Louveaux, 1984). Elle est assurée principalement par le vent ou les insectes comme les bourdons (Chaux et Foury, 1994). Les températures extrêmes réduisent la production de pollen (Shankara, 2005).

1.7.2. La fructification et la maturité

La fructification débute par la nouaison des fleurs et suit un développement progressif des fruits du bas vers le haut de l'inflorescence. Les fruits atteignent leur taille finale puis changent de couleur du vert au jaune puis au rouge à maturité (Benton, 1999). Ce processus est influencé par la production d'auxines, la lumière et la température, une condition optimale étant d'environ 27°C le jour et 18°C la nuit (Ray et Costes, 1965 ; Shankara, 2005).

1.8. Les variétés

On distingue plusieurs types de tomates en fonction du mode de croissance de la plante et surtout de la forme et du type de fruit.

Les variétés à fruits plats et côtelés, comme la tomate de type Marmande, se caractérisent par des fruits volumineux pouvant dépasser 1 kg.

Les variétés à fruits ronds présentent un poids compris entre 100 et 300 g. Elles comprennent de nombreux hybrides dont les fruits possèdent une bonne aptitude à la conservation.

Les variétés à fruits allongés, à extrémité arrondie (type Roma) ou pointue (type Chico), sont principalement destinées à l'industrie. Elles présentent généralement un port déterminé et leurs fruits répondent à des critères technologiques spécifiques liés à la transformation, certaines étant adaptées à la récolte mécanique.

Enfin, les variétés de petite taille et de faible poids regroupent les tomates cerise et cocktail (Coll., 2006).

1.9.Importance économique de la tomate

1.9.1. Au niveau mondial

La tomate est cultivée dans la majorité des pays du monde, avec une production dépassant les 140 millions de tonnes. Elle est présente dans toutes les zones climatiques, y compris les régions froides, grâce au développement des cultures sous abri. À l'échelle mondiale, la tomate est considérée comme la deuxième culture légumière la plus importante après la pomme de terre en termes de volume de production.

En effet, près de 4,98 millions d'hectares sont consacrés chaque année à cette culture, pour une production d'environ 140 millions de tonnes et un rendement moyen estimé à 28,3 tonnes par hectare (FAO STAT, 2011).

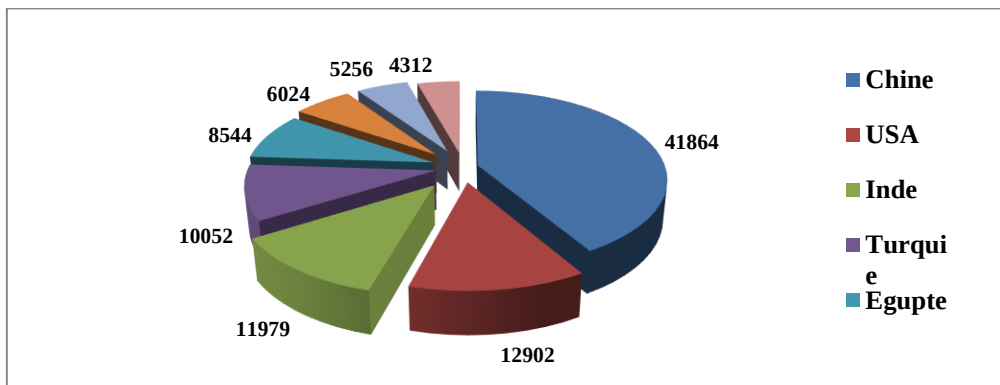


Figure 9 : Principaux pays producteurs de la tomate (million de tonnes) (FAO STAT, 2011)

1.9.2. En Algérie

La tomate occupe une place de plus en plus importante dans l'économie nationale. Elle se classe au deuxième rang des cultures maraîchères après la pomme de terre, constituant un légume de base dont la consommation a fortement augmenté en raison de la croissance démographique rapide.

En 2010, la tomate fraîche est cultivée sur l'ensemble du territoire national à des fins vivrières. En revanche, la tomate industrielle est principalement concentrée dans dix-sept wilayas, notamment Skikda, Annaba, El Tarf, Guelma, Jijel, Batna, Souk Ahras, Béjaïa, Boumerdès, Chlef, Alger, Blida, Aïn Defla, Tipaza, Mostaganem, Mascara et Sidi Bel-Abbès (MADR, 2010).

Généralité sur la tomate

1.9.3. En wilaya de Mostaganem

La culture de la tomate constitue l'une des principales filières agricoles dans wilaya de Mostaganem, en raison de sa contribution significative à la production agricole et à la sécurité alimentaire. Les superficies consacrées à cette culture sont estimées entre 1 500 et 1 600hectares, pour une production variante entre 500 000 et 900 000 quintaux selon les campagnes agricoles et les conditions climatiques. Cette filière se caractérise également par des rendements élevés, notamment en cultures sous serre où ils peuvent dépasser 800 quintaux par hectare, ce qui renforce sa rentabilité économique. Par ailleurs, les prix de la tomate connaissent des fluctuations en fonction de la loi de l'offre et de la demande, influençant ainsi directement les revenus des agriculteurs. En outre, cette activité joue un rôle important dans la création d'emplois et la dynamisation des zones rurales, tout en contribuant à l'approvisionnement des marchés locaux et nationaux en un produit de large consommation. Ainsi, la culture de la tomate apparaît comme un pilier essentiel du développement agricole et économique de la région.

1.10. Principales maladies de la tomate

La culture de la tomate peut être affectée par plusieurs maladies : maladie cryptogamiques, bactérienne, virales.

1.10.1. Maladies cryptogamiques :

Tableau 1 : Les maladies cryptogamiques de la tomate. (Senoussi, 2010)

Maladies	Symptôme et dégâts
Mildiou	Grandes taches brunes sur les feuilles et les tiges.
Alternariose	Tâches noires de taille variables sur les feuilles.
Fusariose	Flétrissement des feuilles avec brunissement des vaisseaux et pourriture des racines.
Verticilliose	Flétrissement des feuilles accompagné d'un jaunissement. Unilatéral suivi de dessèchement des feuilles de la base.
Anthraxnose	Tâches circulaires de 05 à 10 mm sur les fruits rouges.
Oïdium	Feutrage blanc sur feuilles.
Pourriture gris	Feutrage gris sur les feuilles et sur les fruits.

Généralité sur la tomate

1.10.2. Maladies bactériennes :

Tableau 2: Les maladies bactériennes de la tomate. (Snoussi, 2010).

Maladies	Nome scientifique	Symptômes et dégâts
Chancre bactérien	<i>Clavibacter michiganensis</i> subsp. <i>michiganensis</i> .	Flétrissement unilatéral sur feuille, suivi d'un dessèchement total des coupes longitudinales Sur tige et pétioles. Sur fruits, se forment des taches blanchâtres.
Gale bactérienne	<i>Xanthomonas campestris</i> pv. <i>vesicatoria</i> .	De nombreuses taches entraînent le dessèchement des folioles et la chute des feuilles. Sur fruit, de petits chancres pustuleux Apparaissent et prennent un aspect liégeux.
Flétrissement Bactérienne des Solanacées	<i>Pseudomonas solanacearum</i>	Flétrissement de type <i>Verticillium</i> ou <i>Fusarium</i> mais suivi de la mort très rapide de la plante.

1.10.3. Maladies virales :

Tableau 3 : maladies virales de la tomate.

Maladie virale	Symptômes et dégâts
Virus de la mosaïque du tabac (TMV)	Transmis par la semence et par voie mécanique donnant des plages vert clair et vert foncé sur feuilles jeunes.
Virus de la mosaïque du tabac (pep MV)	Donne des décolorations de feuilles et une stérilisation des inflorescences, également transmis par les semences et par voie mécanique.
Virus Y de la pomme de terre (PVY)	Donne des nécroses sur feuilles avec dessèchement.

1.11. Les ravageurs de la tomate :

Tableau 4: les ravageurs de la tomate. (Ziris, 2021).

Insectes et ravageurs	Nom scientifique	Symptômes et dégâts
Nématodes à galles	<i>Meloidogyne incognita</i> Chitwood. Et <i>Meloidogyne arenaria</i> Neal.	Des galles sur les racines des plants attaqués. La tige rabougrit, les feuilles jaunissent, puis la plante dépérit.
Aleurodes	<i>Trialeurodes vaporariorum</i> (Westwood, 1856). Et <i>Bemisia tabaci</i> (Gennadius, 1889).	Rabougrissement des apex et développement de fumagine sur le miellat produit par les larves, transmission des virus TOCV, TICV et TYLCV.
Mineuses	<i>Liriomyza trifolii</i> (Burgess, 1880), <i>Liriomyza strigata</i> (Meigen, 1830) et <i>Tuta absoluta</i> Meyrick.	Galeries dans le limbe des feuilles âgées par les larves.
Pucerons	<i>Macrosiphum euphorbiae</i> (Buninge, 1985). <i>Myzus persicae</i> (Sulze, 1776).	Enroulement des feuilles, développement de la fumagine et transmission de virus.
Acariens	<i>Tetranychus urticae</i> (Koch, 1836). Et <i>Tetranychus cinnabarinus</i> (Boisduval, 1867).	La face inférieure des folioles devient brune à bronzée. Sur fruit, la peau présente des craquelures

CHAPITRE II:

Fusarium sp

II. CHAPITRE II: *Fusarium sp*

2.1. Généralités

Le genre *Fusarium sp* est économiquement très important (Anaissie et al. 1986 ; 1989) car il regroupe plus de 50 espèces de champignons filamenteux non pigmentés (hyalohyphomycètes). Ce genre est largement distribué dans l'environnement (ubiquiste), cosmopolite, opportuniste et saprophyte du sol, des plantes (Bastides, 2010), à la surface des végétaux, dans la poussière de l'air ainsi que dans les eaux marines (Swathi et al. 2013). Les espèces de *Fusarium* se trouvent aussi dans la mycoflore normale des produits de base comme le riz, le haricot, le soja et d'autres cultures (Pitt et al. 1994). Alors que la plupart des espèces sont plus fréquentes dans les zones tropicales et subtropicales, certaines colonisent les sols dans les climats froids (Al-Bakkali, 2016). Elles vivent en saprophytes mais seules une douzaine d'espèces d'entre elles sont pathogènes chez l'homme et parmi les plus fréquentes: *Fusarium solani* (50 %), *Fusarium oxysporum* (20 %), *Fusarium verticilloides* (10%), *Fusarium moniliforme* (10 %) (Nucci et al. 2007), ils peuvent produire de mycotoxines par la contamination des denrées alimentaires, sont susceptibles d'attaquer un grand nombre de plantes, provoquant des maladies appelées Fusarioses (Anaissie et al. 1986, 1989) en plus peuvent engendrer des maladies graves et assez large chez les animaux et les êtres humains.

Les infections dues à l'agent opportuniste *Fusarium sp*. Ont une notion primordiale, que leur pathologie est dépend du terrain sur lequel se développe.

2.2. Écologie et Habitat

Les *Fusarium* sont des champignons filamenteux cosmopolites (Gupta et al. 2019). On distingue près de 40 espèces largement répandues dans la nature et vivant en saprophytes (Chabasse et al. 2002).

Elles se trouvent couramment dans les sols et persistent sous forme de chlamydospores ou d'hyphes dans les résidus de plantes et des matières organiques, abondamment dans les zones fertiles des sols cultivés plutôt que dans les sols forestiers (Gupta et al. 2019). Elles peuvent se trouver dans les habitats aquatiques, y compris l'eau de mer, l'eau de rivière et l'eau potable (Gupta et al. 2019)

2.3. Classification du genre *Fusarium*

Les *Fusarium* sont très complexes et nécessitent pour leur identification exacte des techniques de biologie moléculaire. Ils appartiennent au règne des Fungi, au phylum des Ascomycota, à la classe des Pezizomycotina, à l'ordre des Hypocreales et à la famille des Hypocreaceae.

Tableau 5: Classification du genre *Fusarium* (Hoog et al, 1995 ; Thomas, 2017).

Rang	Taxon
Règne	Fungi
Division	Ascomycota
Sous -embranchement	Pezizomycotina
Classe	Sordariomycetes
Sous –classe	Hypocreomycetidae
Ordre	Hypocreales
Famille	Hypocreaceae
Genre	<i>Fusarium</i>

2.4. Critères d'identification de *Fusarium*

Ce genre, pratiquement in vitro, pousse sur un milieu Sabouraud sans cycloheximide (Actidione) et surtout sur milieu PDA, à une température entre 22 et 37°C. Les colonies sont d'un aspect duveteux ou cotonneux, de couleur variable selon l'espèce (blanche à crème, jaune brunâtre, rose, rouge, violet ou lilas).

Microscopiquement, les *Fusarium* sont caractérisés par un thalle végétatif naissant des conidiospores courts et généralement ramifiés. Ce dernier porte des phialides qui permettent la production des conidies, par des sites de bourgeonnement unique (monophialide) situé à l'extrémité d'un col allongé (cas de *F.solani*) ou court et trapus (cas de *F.oxysporum*).

Fusarium sp

Chez d'autres espèces, on trouve plusieurs sites de bourgeonnement (polyphialides) (Chabasse, et al. 2002). Il existe deux types de conidies (Al-bakkali, 2016) :

- Des macros conidies fusiformes, souvent courbées, assez pointues aux extrémités avec une cellule basale pédicellée formant une sorte de talon. Ils sont pluriseptés des
- Des micros conidies petites, généralement septées, piriformes, fusiformes ou ovoïdes.

Il est à noter que certaines espèces produisent les deux types de spores, d'autres enforment que des macros conidies. D'autres espèces présentent, en plus des macros conidies et les micros conidies, des méso conidies (appelées aussi blast conidies) (Thomas, 2017).

Les chlamydospores sont parfois présentes ou absentes, terminales ou intercalaires, différenciées par le mycélium ou par les conidies. Les *Fusarium* étant connus par leur mycélium septé (cloisonné) et incolore (Debourgogne, 2013)

Ce genre correspond à des espèces anamorphes (formes asexuées) mais certains complexes d'espèces possèdent des formes téléomorphes (formes sexuées) ; c'est notamment le cas de *Fusarium solani* ou de *Fusarium verticillioides*. Autres complexes d'espèces, comme *Fusarium oxysporum* sont connus exclusivement sous formes anamorphes (Thomas, 2017).

2.5. Symptomatologie

a) Le flétrissement fusarien ou fusariose vasculaire

Les symptômes de *Fusarium Oxysporum* f. sp. *Lycopersici* (FOL) se manifestent en une 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.

Les vaisseaux à l'intérieur de la tige brunissent. Il cause également un jaunissement du rachis, d'une foliole et éventuellement de la feuille entière (Arino et al, 2007).

b) La pourriture de la racine et du collet

Les symptômes de *Fusarium Oxysporum* f. sp. *Radicis Lycopersici* (FORL) se manifestent en un brunissement des racines, de leur cylindre central et des vaisseaux situés au niveau du pivot et du collet. On le reconnaît aussi par l'apparition d'un chancre brun, légèrement déprimé se développant sur un seul côté du collet et de la tige, en forme de flamme (Adejumo et al, 2007).

Fusarium sp

Le système racinaire devient brun et pourri, les vaisseaux, les tissus corticaux et le collet brunissent. On peut remarquer également un flétrissement juste avant que les premiers fruits soient prêts à cueillir. Les feuilles hautes fanent avant les feuilles basses, il y a décoloration jaune ou doré (**Fandohan et al, 2005**).



Figure 10: Les Symptômes qui causé par le fusarium oxysporum. Sp.

2.6. Cycle biologique

Fusarium oxysporum f.sp. *Lycopersici* présente une phase saprophyte et une autre parasitaire au cours de son cycle biologique. Cela dépend de la présence ou absence de sa plante hôte (tomate) (**Nelson et al. 1981 ; Beckman, 1988**).

La phase saprophytique se caractérise par la conservation du champignon au niveau du sol sous les trois formes de spores (macroconidies, microconidies et chlamydospores), il survit grâce aux matières organiques qui proviennent des débris végétaux (**Beckman, 1988**). En présence de la plante hôte et des conditions favorables, le champignon germe pour atteindre les sites privilégiés sur les racines et initier le processus de l'infection, c'est ce qu'on appelle la phase parasitaire (**Van Loon, 2007**). Par la suite, le champignon a tendance à coloniser rapidement l'hôte exclusivement à l'intérieur des vaisseaux du xylème. Dans les vaisseaux, le champignon commence à produire des microconidies, qui sont transportées vers le haut à travers le flux de la sève lors du détachement. De plus, la germination des microconidies entraîne une pénétration mycélienne des vaisseaux supérieurs (**McGovern, 2015**). Au cours de cette phase, le champignon qui reste limité aux vaisseaux du xylème, se propage à travers le tissu parenchymateux et commence à sporuler abondamment à la surface

Fusarium sp

de la plante, comme la feuille, la vapeur, etc. La dissémination du pathogène peut se produire via les graines, les greffes, le sol ou d'autres moyens (Joshi, 2018).

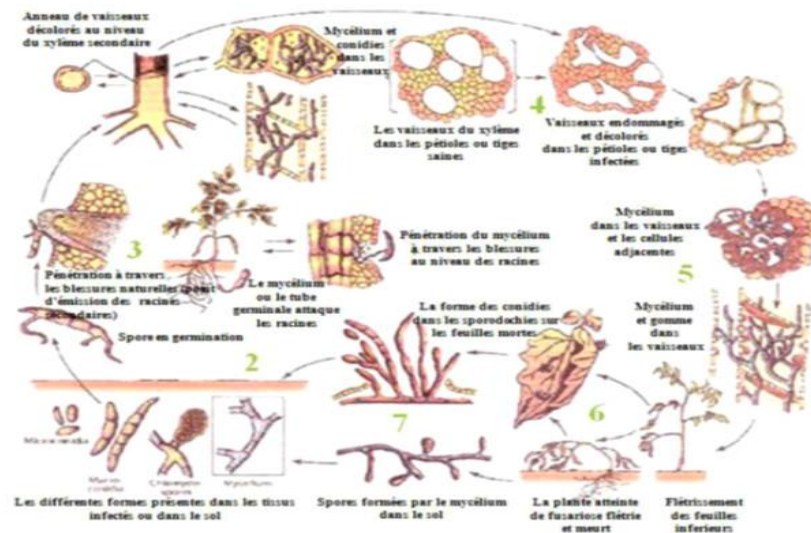


Figure 11: Cycle biologique de *Fusarium oxysporum* sp. (Marion Triolet, 2014).

CHAPITRE III :

Les huiles essentielles

III. CHAPITRE III: les huiles essentielles

3.1. Généralité sur les huiles essentielles

Une huile essentielle est un mélange de composés aromatiques volatils, généralement peu complexes, produits par les plantes comme mécanisme de défense contre les agents phytopathogènes (Nadja et al. 2017).

Ces substances correspondent à des mélanges naturels de métabolites secondaires volatils, extraits des végétaux principalement par hydro distillation ou par expression mécanique (Tayeb-Cherif et al. 2016).

Du point de vue scientifique, une huile essentielle est constituée d'un ensemble de molécules chimiques, tandis que pour un parfumeur, elle représente avant tout une source d'arôme. Il s'agit donc d'un produit odorant et volatil, élaboré par certaines plantes, et responsable de leur parfum caractéristique.

Le caractère « volatil » signifie que ces composés s'évaporent facilement à température ambiante, ce qui nécessite des conditions de conservation appropriées afin de préserver leurs propriétés actives. Les huiles essentielles sont ainsi à l'origine de l'odeur spécifique des plantes (Bouaine, 2017).

Selon la Pharmacopée française (1965), les huiles essentielles sont définies comme des « produits de composition généralement complexe, contenant les principes volatils des végétaux, susceptibles d'être modifiés au cours des procédés de préparation » (Boumaaza et al. 2013).

3.2. Localisation

Les huiles essentielles se rencontrent principalement chez les végétaux supérieurs, où elles sont synthétisées comme produits du métabolisme secondaire (Sanon et al. 2002).

Elles peuvent être accumulées dans différents organes de la plante, notamment les fleurs, les feuilles, les écorces, le bois, les racines, les rhizomes, ainsi que les fruits et les graines (Bouaine, 2017).

La production et le stockage des huiles essentielles sont généralement liés à la présence de structures histologiques spécialisées, souvent localisées à la surface ou à proximité des tissus

végétaux. On distingue en effet quatre principaux types de structures sécrétrices responsables de leur synthèse et de leur accumulation (Ghenaiet, et al. 2016).

Les cellules sécrétrices : Chez les Lauracées et les Zingibéracées.

- Les poils glandulaires épidermiques : Chez les Lamiacées, Géraniacées, etc.
- Les poches sphériques schizogènes : Les glandes de type poche se rencontrent chez les familles des : Astéracées, Rosacées, Rutacées, Myrtacées, etc.
- Les canaux glandulaires lysigènes : Chez les Conifères, Ombellifères, etc.

3.3. Rôle physiologique des huiles essentielles

Beaucoup de plantes produisent les H.Es en tant que métabolites secondaires. Leur rôle exact dans le processus de la vie de la plante reste encore mal connu. Selon Bakkali (2008), les H.Es peuvent avoir plusieurs effets « utiles » pour la plante : repousser ou au contraire attirer les insectes pour favoriser la pollinisation, comme source énergétique, facilitant certaines réactions chimiques, permettant de conserver l'humidité des plantes désertiques, réduction de la compétition des autres espèces de plante par inhibition chimique de la germination des graines, par protection contre la flore microbienne infectieuse, action répulsive sur les prédateurs par goût et effets défavorables (Hellal, 2011).

Les composés terpéniques possèdent un caractère toxique et répulsif vis-à-vis de nombreux insectes ravageurs de plantes, ainsi ils semblent jouer un rôle de défense important dans le règne végétal. Par exemple, les esters de mono terpènespyrethroides qui se produisent dans les feuilles et les fleurs des espèces de Chrysanthemum montrent une activité insecticide très saisissante. Les huiles essentielles offrent aussi un caractère de toxicité pour la plante vis-à-vis des herbivores potentiels avant même que ces derniers fassent une morsure d'essai. Ces substances attirent les ennemis naturels des ravageurs, ce qui empêche la manifestation d'autres dégâts (Menaceur, 2015).

3.4. Composition chimique et biosynthèse des huiles essentielles

3.4.1. Les compositions chimiques

Les huiles essentielles se répartissent en différentes familles biochimiques, et leur activité thérapeutique dépend de leur structure chimique, des fonctions présentes (alcools, phénols, terpènes...) ainsi que des interactions synergiques entre leurs constituants (Mayer, 2012).

Ce sont des mélanges complexes et variables composés principalement de deux groupes :

Les composés terpéniques (mono terpènes et sesquiterpènes).

Les composés aromatiques dérivés du phénylpropane, moins fréquents.

Elles peuvent également contenir des produits secondaires issus de dégradations, tels que des acides, alcools, aldéhydes ou esters.

3.4.2. La biosynthèse

Ces composés reposent sur deux voies principales :

La voie de l'acide mévalonique (pour les terpènes) et la voie de l'acide shikimique (pour les phénylpropanoïdes) (Lanqueur, 2017).

a) Les terpènes

Représentent la classe la plus importante des huiles essentielles. Ce sont des molécules formées d'unités d'isoprène, de formule générale $(C_5H_8)_n$.

b) Les monoterpènes ($C_{10}H_{16}$)

Sont constitués de deux unités d'isoprène. Ils peuvent être :

Acycliques (Mycènes, ocimènes),

Monocycliques (α -, γ -terpinène, p-cymène),

Bicycliques (pinènes, camphène, sabinène).

Ils présentent diverses fonctions chimiques (alcools, cétones, esters, etc.), expliquant leur grande diversité.

c) Les sesquiterpènes ($C_{15}H_{24}$)

Sont formés de trois unités d'isoprène et constituent une classe très diversifiée. Ils peuvent être acycliques ou cycliques et exister sous forme d'hydrocarbures ou de dérivés fonctionnalisés (alcools, cétones, acides, lactones...).

Cette catégorie regroupe des composés odorants bien connus tels que la vanilline, l'eugénol, l'anéthol, l'estragole ou encore le Carvacrol. Ils sont particulièrement présents dans les huiles essentielles des Apiacées (persil, anis, fenouil) et caractérisent également celles du clou de girofle, de la vanille, de la cannelle, du basilic ou de l'estragon (Bouaine, 2017).

- Comparativement aux terpènes, les dérivés du phénylpropane sont moins abondants. Ils proviennent de la voie métabolique de l'acide shikimique, impliquée également dans la biosynthèse de la lignine.
- Dans les huiles essentielles, ces composés coexistent avec les terpènes en proportions variables, ce qui confère à ces extraits une grande complexité chimique. Leur synthèse

a lieu au niveau des mêmes structures sécrétrices, où ils constituent ensemble l'essence naturelle (Hellal, 2011)

d) Les phénols

Sont des composés aromatiques caractérisés par la présence d'un groupement hydroxyle. Ils se distinguent par leur forte activité antibactérienne et leur large spectre d'action (Mayer, 2012). Parmi les plus importants : Carvacrol, l'eugénol, le thymol.

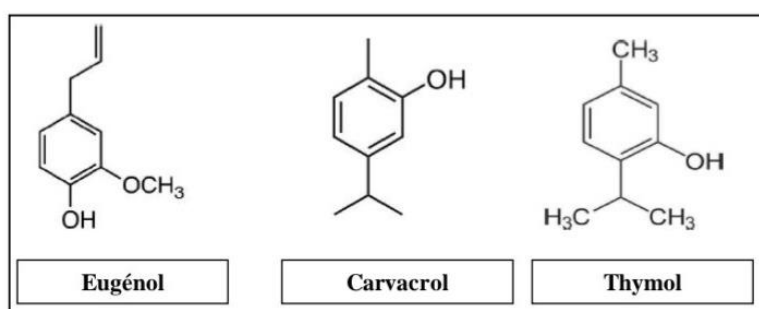


Figure 12: Structure chimique de quelques composés aromatiques des huiles essentielles (Mayer, 2012).

3.5. Propriétés physico-chimiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles se présentent généralement sous forme liquide, incolore ou légèrement jaunâtre à température ambiante. Elles sont caractérisées par leur volatilité et leur odeur aromatique.

Elles sont peu solubles dans l'eau, mais se dissolvent facilement dans les huiles végétales, les alcools ainsi que dans la majorité des solvants organiques (El-Azrak, 2017).

Leur densité est en général inférieure à celle de l'eau, et elles possèdent un indice de réfraction relativement élevé (Desmares et al. 2008). Leur coloration peut varier selon leur origine, allant du rougeâtre (comme pour certaines huiles de cannelle ou de thym) au jaune pâle (comme pour l'huile de romarin).

Enfin, les huiles essentielles sont sensibles à l'oxydation et à la dégradation. Leur conservation nécessite donc des conditions appropriées, notamment à l'abri de la lumière et de l'humidité, afin de préserver leur stabilité et leurs propriétés (Lanseur, 2017)

3.6. Actions biologiques et effets thérapeutiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles présentent une large gamme d'activités biologiques. En phytothérapie, elles sont principalement utilisées pour leurs propriétés antiseptiques, notamment contre les infections d'origine bactérienne. Elles possèdent également des effets cytotoxiques, ce qui les rapproche des désinfectants et antiseptiques en tant qu'agents antimicrobiens à large spectre (Bouaine, 2017).

3.6.1. Effets antibactériens

Les huiles essentielles exercent une double action sur les microorganismes : elles peuvent les détruire (effet bactéricide) ou inhiber leur croissance (effet bactériostatique). Plusieurs études ont montré que les huiles essentielles, ainsi que leurs composés majoritaires, possèdent une activité antimicrobienne efficace contre les bactéries à Gram positif et à Gram négatif.

Même les constituants présents en faibles quantités peuvent contribuer de manière significative à cette activité. Globalement, différentes actions toxiques ont été observées sur les bactéries, telles que la perturbation de la membrane cytoplasmique, l'altération de la force proton-motrice, la fuite des électrons et la coagulation des protéines cellulaires (Laib, 2012).

3.6.2. Effets antifongiques

De nombreuses huiles essentielles sont reconnues pour leurs propriétés antifongiques (Bouaine, 2017). Dans les domaines phytosanitaires et agroalimentaire, elles ou leurs composés actifs peuvent être utilisés comme agents de protection contre les champignons phytopathogènes ainsi que contre les microorganismes responsables de la contamination des denrées alimentaires (Laib, 2012).

3.6.3. Effets virucides

Selon Belmekki (2009), certains flavonoïdes peuvent agir au niveau de la synthèse des protéines virales. Il a été démontré que plusieurs flavonoïdes possèdent une activité inhibitrice sur différents virus de l'herpès, ainsi qu'un effet sur certains rétrovirus, notamment le VIH.

3.7. Effets pharmacologiques des huiles essentielles

Les huiles essentielles possèdent plusieurs effets pharmacologiques importants qui expliquent leur utilisation en phytothérapie et en médecine traditionnelle.

Elles exercent notamment :

- Une activité antiseptique et antimicrobienne, agissant contre les bactéries, les champignons et certains virus.
- Un effet anti-inflammatoire, en réduisant les réactions inflammatoires
- Un effet analgésique, permettant de diminuer la douleur.
- Un effet antispasmodique, en limitant les contractions musculaires involontaires.
- Un effet immunostimulant, en renforçant les défenses de l'organisme.
- Un effet sédatif ou relaxant, selon leur composition chimique.

Ces effets sont dus à la richesse chimique des huiles essentielles et aux interactions synergiques entre leurs différents constituants.

3.8. Méthodes d'extraction des huiles essentielles

Différentes méthodes sont mises en œuvre pour l'extraction des essences végétales. En général le choix de la méthode d'extraction dépendra de la nature du matériel végétal à traiter (Graines, feuilles, ...), de la nature des composés (par exemple, les flavonoïdes, les H.Es, les tanins), le rendement en l'huile et la fragilité de certains constituants des huiles aux températures élevées (Hellal, 2011).

3.8.1. Hydro distillation

Selon Hajji et al. (1985) cité dans (Touahri, et al. 2014) Cette méthode consiste à immerger la matière première dans un bain d'eau. L'ensemble est porté à ébullition et l'opération est généralement conduite à pression atmosphérique. Lors de la distillation des huiles essentielles, plusieurs phénomènes sont à la base d'échanges de matière entre les phases solide, liquide et vapeur, d'où l'influence d'un grand nombre de paramètre sur la qualité et le rendement, et la production.

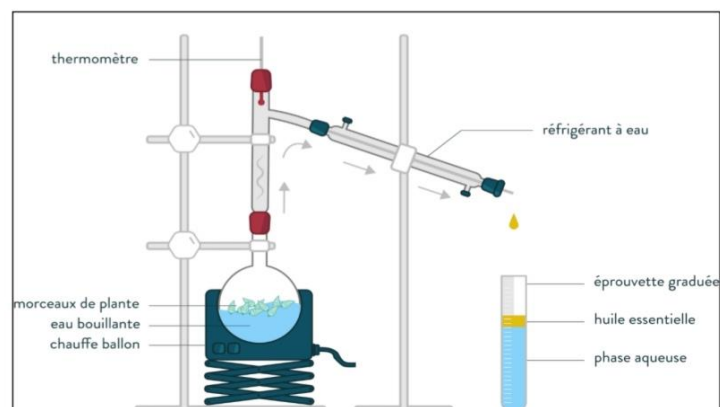


Figure 13: Schéma du montage d'extraction par hydro distillation. (Anonyme 02).

3.8.2. Entraînement à la vapeur d'eau :

Le matériel végétal est placé sur une grille perforée à travers laquelle passe la vapeur d'eau. La vapeur endommage la structure des cellules végétales et libère ainsi les molécules volatiles qui sont ensuite entraînées vers le réfrigérant. Cette méthode apporte une amélioration de la qualité de l'huile essentielle en minimisant les altérations hydrolytiques (Moderres et Aichouni, 2018).

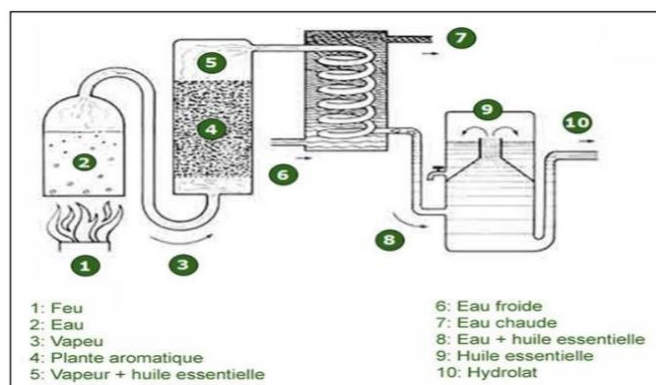


Figure 14: Schéma du montage d'extraction par Entraînement à la vapeur d'eau (Anonyme 1).

3.8.3. Expression à froid :

L'expression à froid est réservée à l'extraction des composés volatils dans les péricarpes. Il s'agit d'un traitement mécanique qui consiste à déchirer les péricarpes riches en cellules sécrétrices (Chemloul, 2014).

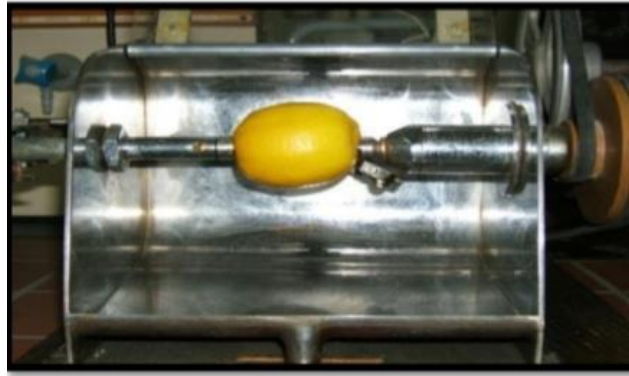


Figure 15 : Schéma du montage d'extraction par Expression à froid.

3.8.4. L'extraction assistée par micro-ondes :

Dans ce procédé, la matrice végétale est chauffée par microondes dans une enceinte close dans laquelle la pression est réduite de manière séquentielle. Les composés volatils sont entraînés par la vapeur d'eau formée à partir de l'eau propre à la plante. Ils sont ensuite récupérés à l'aide des procédés classiques de condensation, refroidissement et décantation. Ce procédé permet un gain de temps (temps d'extraction divisé par 5 à 10) et d'énergie (température plus basse) considérable (Bey-Ould-Si-Said, 2014).

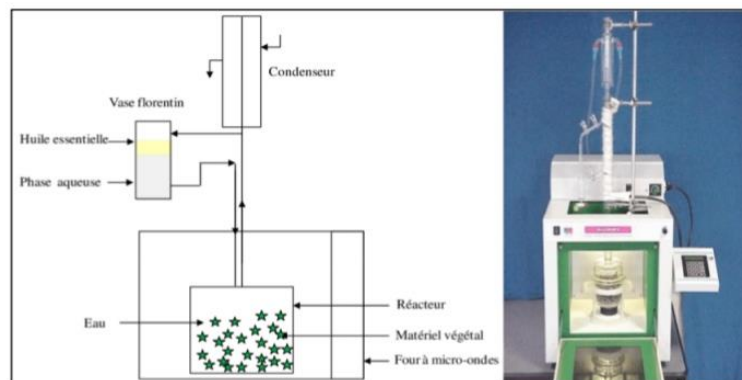


Figure 16: Schéma du montage d'extraction par micro-ondes.

3.8.5. Extraction par CO₂ supercritique :

Le CO₂ permet l'extraction dans le domaine supercritique et la séparation dans le domaine gazeux. Il est liquéfié par refroidissement et comprimé à la pression d'extraction choisie, ensuite il est injecté dans l'extracteur contenant le matériel végétal. Après le liquide se détend

pour se convertir à l'état gazeux pour être conduit vers un séparateur où il sera séparé en extrait et en solvant (Moderres et Aichouni, 2018).

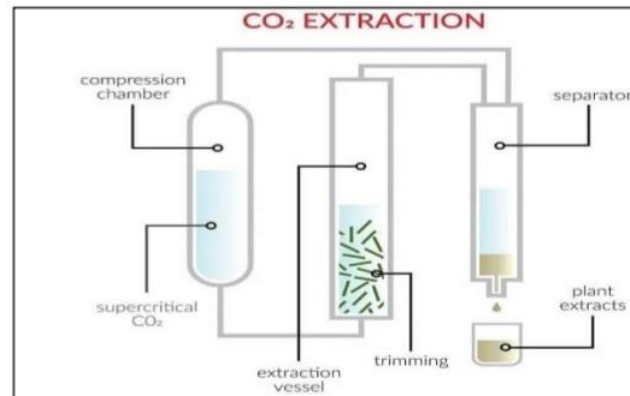


Figure 17: Schéma du montage d'extraction par CO₂ supercritique (Anonymes).

3.9. Conservation des huiles essentielles

Les huiles essentielles doivent être conservées correctement pour préserver leur qualité. Avec le temps, elles s'oxydent, ce phénomène étant amplifié par la chaleur, l'air, la lumière...etc., Il faut les conserver dans un endroit frais, à l'abri de la lumière, dans du verre brun ou de l'aluminium vitrifié. Une essence bien distillée se conserve trois ans au moins. Le stockage des matières premières avant distillation peut également influencer la composition et le rendement des huiles essentielles, à noter des pertes considérables d'huile essentielle lors d'un stockage prolongé au congélateur, mais peu d'évolution de la composition. Par ailleurs le temps de stockage des huiles essentielles après extraction tend aussi à modifier la composition de ces huiles. Les Huiles essentielles se conservent entre 12 et 18 mois après leur obtention, car, avec le temps, leurs propriétés tendent à décroître (Moderres et Aichouni, 2018)

CHAPITRE IV:

Rosmarinus officinalis

IV. CHAPITRE IV :*Rosmarinus officinalis*

4.1. Origine

L'espèce *Rosmarinus officinalis* appartient à la famille des Lamiacées, qui sont des gamopétales super ovaires et tétra cyclique appartenant à l'ordre des lamiales. Le terme *Rosmarinus* : rose des mers est un nom latin de cette plante qui se compose de deux parties. Ros : rosée apparenté à rhus : buisson cette plante habite souvent les coteaux maritimes. Marinus : marin. C'est une plante odorante à tiges quadrangulaires, à feuilles opposées décussées, sans stipules et fleur réunies en cymes axillaires, plus ou moins contractées sous forme de verticille. Cette plante est connue par les noms : Iklil Al Jabal, Klil, Hatssalouban, Hassalban, Lazir, Azlir, Ouzbir, aklel, Touzala. Habituellement, *Rosmarinus officinalis* est considérée comme monotypique et présente sur le littoral dans tout le bassin méditerranéen, surtout en région calcaire. Elle y fleurit toute l'année, ses fleurs sont mellifères. Elle peut être sous forme d'arbuste, sous-arbrisseau ou plante herbacée. Les fleurs sont des pentamères, en général hermaphrodites. Le calice est plus ou moins bilabié persistant. La corolle bilabiée, longuement tubuleuse, parfois de quatre à cinq lobes subégaux ou à une seule lèvre inférieure trilobée, la supérieure est bilobée. L'androcée est formé de quatre étamines, la cinquième étant très réduite, parfois deux étamines et deux staminodes. Le Gynécée forme deux carpelles biovulés subdivisés chacun par une fausse cloison en deux logettes uniovulées. Le style bifide gymno-basique est le fruit constitué par trois akènes plus ou moins soudées par leur face interne.



Figure 18: *Rosmarinus officinalis*.

4.2. Distribution géographique

R. officinalis est originaire du bassin méditerranéen. C'est une plante indigène poussant spontanément dans toute l'Algérie. Le commun dans les maquis, les garrigues et les forêts claires, il est sub-spontané en plusieurs endroits privilégiant un sol calcaire, de faible altitude, ensoleillé et modérément sec. Le romarin se trouve dans toutes les contrées mondiales de l'Europe, plus particulièrement sur le pourtour méditerranéen, de préférence dans les lieux secs et arides, exposés au soleil, à l'état sauvage il se trouve sur des sols calcaires.

4.3. Distribution botanique

Le romarin (*Rosmarinus officinalis*) est un arbrisseau appartenant à la famille des Lamiacées. Il peut atteindre une hauteur d'environ 1,5 mètre. Il est facilement reconnaissable tout au long de l'année grâce à ses feuilles persistantes, sessiles (sans pétiole), coriaces, plus longues que larges, aux bords légèrement enroulés. Leur face supérieure est vert foncé et brillante, tandis que la face inférieure est blanchâtre.

La floraison débute généralement dès le mois de janvier ou février et se poursuit jusqu'en avril ou mai. Les fleurs présentent une coloration variant du bleu pâle au violet, bien que la variété à fleurs blanches (*R. officinalis albiflorus*) soit plus rare.

Le calice est velu et possède des dents bordées de blanc. Les fleurs portent deux étamines, chacune présentant une petite dent à sa base.

Comme chez la plupart des Lamiacées, le fruit est un tétrakène de couleur brune.

4.4. Classification

Embranchement: Spermaphytes.

Sous-embranchement: Angiospermes.

Classe: Dicotylédones.

Sous-classe: Gamopétales.

Ordre: Tubi florales.

Sous-ordre: Lamiales.

Famille: lamiacées.

Genre: *Rosmarinus*.

Espèce: *Rosmarinus officinalis* (Hoefer, 1994).

4.5. Caractéristiques

4.5.1. Partie souterraine

a) Racine

C'est la partie souterraine de la plante qui est constituée des racines, spécialisée dans l'absorption de l'eau et des sels minéraux et dans la fixation au sol, la racine du *R. officinalis* est profonde et pivotante

4.5.2. Partie aérienne :

b) Tige :

Arbuste ou sous arbrisseau, rameau de 0.5 à 2 mètre cette tige est tortueuse, anguleuse et fragile. L'écorce est linéaire à cyme plus ou moins simulant des Épis.

c) Feuille

Les feuilles sont linéaires, gaufrées, feuilles coriaces, sessiles, opposées, rigides brillantes à bords repliés verdâtre en dessus plus ou moins hispides blanchâtre en-dessous de 18 à 50 x 1.5 à 3 mm Les feuilles sèches dégagent une forte odeur et un goût amer. Elles contiennent jusqu'à 2% d'huiles essentielles renfermant du cinéol et du borneol, des alcaloïdes et des acides organiques. Ces feuilles, voire l'essence de romarin, entrent dans la composition de nombreux produits Antirhumatismaux du fait de leur fortement rubéfiant sur la peau alcool.

d) Fleurs

Les fleurs sont des pentamères, en général Hermaphrodites. Le calice est plus ou moins bilabié persistant et la corolle bilabiée, longuement tubuleuse, parfois à 4- 5 lobes subégaux ou à une seule lèvre inférieure trilobée, la supérieure est bilobée. L'androcée est formé de 4 étamines, la cinquième étant très réduite, parfois 2 étamines et 2 staminodes. Le Gynécée forme 2 carpelles biovulés subdivisés chacun par une fausse cloison en 2 logettes uniovulées le style bifide gynodioïque est le fruit constitué par 3 akènes plus ou moins soudées par leur face inter.



Figure 19 : caractères morphologiques de *Rosmarinus officinalis*.

4.6. Les composants chimiques

4.6.1. Polyphénol :

Les polyphénols constituent une importante classe de métabolites secondaires, caractérisés par la présence d'au moins un noyau aromatique formé de six atomes de carbone disposés en cycle hexagonal, portant un ou plusieurs groupes hydroxyles, substitués ou non.

Ces composés représentent un ensemble très diversifié et largement répandu dans le règne végétal, allant de structures simples à des molécules complexes.

➤ Les polyphénols remplissent plusieurs fonctions biologiques selon les espèces végétales, notamment :

- Défense contre les pathogènes.
- Molécules de dissuasion alimentaire.
- Attraction des pollinisateurs.
- Protections des rayonnements UV.
- Molécules qui donnent couleur, arômes, parfums aux plantes.
- Rôle structurel (exemple : lignine, constituante du bois).

➤ Les polyphénols sont répartis en plusieurs classes :

- Les flavonoïdes
- Les tanins
- Les stilbènes
- Les lignanes et les coumestanes
- Autres phytoestrogènes
- Les saponines (triterpénoïdes) .
- Les phytostérols et les phytostanols

4.6.2. Tanins

Tanin ou tannin, substance naturelle qui se trouve dans de nombreuses plantes. Elles sont des glucosides de l'acide gallique (tanins galliques) ou de la pyrocatechine (tanins catéchique). Par hydrolyse avec des acides, des bases, ou encore l'enzyme tannase, on obtient les composants du glucoside, les tanins sont employés dans le mordantage des tissus et pour colorer le papier ; de plus, ils sont utilisés en médecine comme astringents.

4.6.3. Flavonoïdes

Les flavonoïdes sont des composés appartenant à la famille des polyphénols, caractérisés par une structure de base de type C6-C3-C6. Ils sont bio synthétisés à partir de dérivés du phloroglucinol et d'acides phénylpropaniques.

Ces substances jouent un rôle important dans la protection des tissus biologiques. Elles contribuent notamment à renforcer la paroi cellulaire et à réduire la perméabilité capillaire. De plus, elles possèdent des propriétés antiagrégantes plaquettaires non toxiques, empêchant ainsi la formation de thrombus au niveau des parois vasculaires.

Les mécanismes d'action des flavonoïdes sont variés : ils peuvent agir comme inhibiteurs de certaines enzymes (telles que les phosphodiesterases et l'ATPase membranaire) et présentent également une activité antiradicalaire significative.

Sur le plan thérapeutique, leur utilisation concerne principalement les troubles vasculaires, notamment grâce à leurs effets vasculoprotecteurs, veinotropes et protecteurs des capillaires. Toutefois, leur rôle ne se limite pas à ces effets, puisqu'ils participent également au maintien de l'équilibre général de la santé. En effet, les flavonoïdes présents dans les parties vertes de nombreuses plantes sont consommés quotidiennement en quantités pouvant atteindre l'ordre du gramme.

Ils sont reconnus pour leurs multiples activités biologiques, notamment leurs propriétés antioxydants, vasculoprotectrices, antihépatotoxiques, antiallergiques, anti-inflammatoires, antiulcéreuses et même antitumorales significatives.

4.6.4. Terpène

Les huiles essentielles sont constituées d'un certain nombre de composés terpéniques, généralement les plus volatiles dont la masse moléculaire n'est pas élevée. Ces constituants proviennent de l'isoprène répondant à la formule générale $(C_5H_8)_n$, ils sont également nommés isoprénoides ou terpénoïdes. Le terme « terpénoïdes » définit l'ensemble des terpènes oxygénés, alors que le terme « terpène » ne tient pas compte de la présence d'oxygène.

Ce sont des hydrocarbures ayant respectivement dix et quinze atomes de carbone. Ils peuvent être saturés ou insaturés, acycliques, monocycliques, bicycliques ou polycycliques. Ils peuvent également être accompagnés de leurs dérivés oxygénés : alcools, esters, éthers, aldéhydes, cétones, etc. Leur classification est basée sur le nombre d'unités isoprène (molécule pentacarbonée) qui les composent : hémiterpènes (C5), monoterpènes (C10), sesquiterpènes (C15), diterpènes (C20), sesterpènes (C25), triterpènes (C30), caroténoïdes (C40) et les polyisoprènes (Cn).

4.6.5. Coumarines

Les coumarines sont des composés phénoliques appartenant à la famille des lactones, résultant de l'estérification interne de certains acides. Dans les plantes, elles sont souvent associées aux acides phénoliques.

Le terme « coumarine » provient d'un arbre d'Amérique du Sud, *Dipteris odorata*, connu pour produire la fève tonka, appelée « coumarou » par les populations locales. Ces composés sont largement répandus dans le règne végétal, avec plus d'une centaine de structures différentes identifiées à ce jour.

Sur le plan biologique, les coumarines présentent plusieurs activités intéressantes. Elles contribuent notamment à la fluidification du sang, possèdent des propriétés thérapeutiques dans le traitement de certaines affections cutanées, et exercent également un effet vasodilatateur, en particulier au niveau des artères coronaires.

4.6.6. Alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des composés organiques d'origine végétale, de nature basique, contenant de l'azote et dotés d'une activité pharmacologique marquée. Ils constituent un groupe très vaste et diversifié.

Certains alcaloïdes sont utilisés en médecine pour leurs propriétés thérapeutiques reconnues, notamment dans le traitement de certaines formes de cancer. D'autres, comme l'atropine, agissent directement sur l'organisme en exerçant des effets variés, tels qu'une action sédatrice ou une influence sur le système nerveux, notamment dans la prise en charge de troubles comme la maladie de Parkinson.

PARTIE

EXPÉRIMENTALE

Matériel végétal

I. Présentation et situation de la zone d'étude

La wilaya de Mostaganem est située au nord-ouest de l'Algérie et est bordée au nord par la mer Méditerranée. Elle est connue pour son importante activité agricole et sa diversité naturelle. La présente étude a été réalisée dans la daïra de Sidi Ali, située à environ 45 à 50 km à l'est de Mostaganem. Cette région se caractérise par sa nature montagneuse et forestière, ainsi que par sa richesse floristique. Les conditions climatiques et naturelles y sont favorables au développement de nombreuses plantes aromatiques et médicinales, notamment le romarin (*Rosmarinus officinalis* L.), à partir duquel les échantillons utilisés dans cette étude ont été prélevés. A enlever

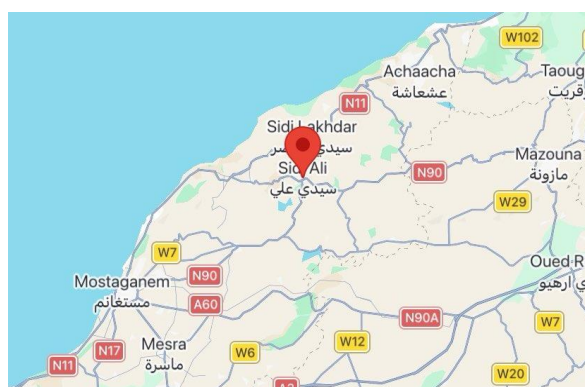


Figure 20: localisation géographique de sidi Ali (Mostaganem) sur Google maps.

II. Matériel végétal

Notre travail a été réalisé au laboratoire de biochimie 1 et microbiologie 2 de Université Abdelhamid Ibn Badis de Mostaganem, sur une espèce végétale : le Romarin (*Rosmarinus officinalis*). Notre choix pour cette espèce est justifié par le fait qu'elle est riche en huiles essentielles connues pour leurs diverses activités biologiques.

2.1.Échantillonnage

Notre échantillon de Romarin (*Rosmarinus officinalis*) provient de la région de Sidi Ali, La récolte a été effectuée au mois de février 2026.

A été réalisée selon la flore de référence suivante :

Extraction de l'huile essentielle

Tableau 6: partie utilisée et quantité de la prise d'essai.

Echantillon	Partie utilisée	Prise d'essai totale (g)
<i>Rosmarinusofficinalis</i>	Feuilles	691,74

2.2.Séchage :

Après la récolte de la plante *Rosmarinusofficinalis*, une identification de cette dernière est indispensable et basée sur des clés de détermination d'auteurs référencés et répertoriés. Lesfeuilles sont nettoyées puis mises dans un endroit bien aéré à l'abri de la lumière et à unetempérature ambiante pendant sept jours. Ensuite, une fois séchées, les feuilles sontconservées dans des sacs propres jusqu'au moment de l'étape d'extraction.

III. Processus d'extraction des huiles essentielles

3.1.Extraction de l'huile essentielle :

Différentes méthodes sont mises en œuvre pour l'extraction des essences végétales. En général le choix de la méthode d'extraction dépendra de la nature du matériel végétal à traiter (graines, feuilles, ...), de la nature des composés (par exemple, les flavonoïdes, les HE, les tanins), le rendement en l'huile et la fragilité de certains constituants des huiles aux températures élevées (Hellal, 2011).

3.2.Principe de la méthode :

L'hydrodistillation est la technique de référence pour l'extraction de l'huile essentielle (HE) de romarin. Elle repose sur la capacité de la vapeur d'eau à entraîner les molécules aromatiques volatiles. Le mélange d'eau et de matériel végétal (691,74 g) est porté à ébullition dans un bouilleur.



Figure 21:Appareil d'extraction des huiles essentielles par entraînement à la vapeur d'eau.

Évaluation de l'activité antifongique in vitro

3.3.Description du processus

- **Hydro-diffusion** : La chaleur brise les glandes sécrétrices de la plante, libérant l'essence sous forme de vapeur.
- **Condensation** : Le mélange gazeux (vapeur d'eau + vapeurs d'HE) traverse un condenseur refroidi par un courant d'eau, provoquant le passage à l'état liquide (le distillat).
- **Séparation (Décantation)** : Le distillat est recueilli dans un appareil de type Clevenger. Par différence de densité, l'huile essentielle (moins dense) se sépare de l'eau et s'accumule en surface dans la colonne graduée.

3.4.Conservation de l'huile essentielle obtenue

La conservation des huiles essentielles exige certaines précautions indispensables. C'est pour cela nous les avons conservées à une température voisine de 4°C, dans un tube en verre brun fermé hermétiquement pour les préserver de l'air et de la lumière (BURT, 2004).

3.5.Détermination de rendement de l'HE

Selon AFNOR (2000) le rendement de l'huile essentielle (RHE) est défini comme étant le rapport entre la masse de l'huile essentielle obtenue et la masse du matériel végétal sèche utilisé.

Ce rendement est exprimé en pourcentage (%) et calculé par la formule suivante:

$$\text{RHE}(\%) = (\text{Mh} / \text{Ms}) \times 100$$

RHE : rendement en huile essentielle en %.

Mh : masse d'huiles essentielles récupérées en gramme (g).

Ms : masse d'essai du matériel végétal en gramme (g).

3.6.Préparation des concentrations de l'huile essentielle

Une solution mère de l'huile essentielle extraite de Romarin (*Rosmarinus officinalis*) est préparée par dilution dans une quantité bien déterminée de diméthylsulfoxyde (DMSO) (Kossonou et al, 2019). Par la suite, différentes concentrations sont obtenues selon la méthode utilisée pour le test de l'activité antifongique.

Évaluation de l'activité antifongique in vitro

Selon (Nedjai et al. (2017), la dilution de l'huile essentielle est réalisée conformément aux concentrations indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 7: les concentrations d'HE utilisées (Nedjai et al. (2017).

Dilutions	Concentrations	Quantités
Première dilution	5%	50 µl HE + 950 µl DMSO
Deuxième dilution	10%	100 µl HE + 900 µl DMSO
Troisième dilution	50%	500 µl HE + 500 µl DMSO
Quatrième dilution (HE pure)	100%	1000HE + 0 µl DMSO

IV. Isolement et identification du champignon pathogène

4.1.Collecte des échantillons de tomates pourries

Les échantillons utilisés dans cette étude étaient constitués de tomates présentant des symptômes de pourriture et de détérioration. Les fruits infectés ont été collectés puis transportés au laboratoire dans des conditions appropriées afin d'éviter toute contamination supplémentaire. Les échantillons ont ensuite été conservés à basse température jusqu'à leur utilisation pour les analyses microbiologiques.

4.2.Isolement des microorganismes

Les tomates présentant des symptômes de pourriture ont d'abord été soumises à une désinfection superficielle afin d'éliminer les microorganismes présents à leur surface. Les fruits ont été successivement traités à l'eau de Javel, à l'éthanol, puis rincés à l'eau distillée stérile.

L'isolement des microorganismes a été réalisé à partir des zones contaminées des fruits. Des conidies et des fragments mycéliens ont été prélevés puis ensemencés à l'aide d'une anse de platine stérile sur des boîtes de Pétri contenant le milieu gélosé Sabouraud.

Après une incubation de 7 jours, plusieurs colonies fongiques présentant des différences de couleur, de texture et d'aspect morphologique ont été observées. Ces résultats ont révélé la présence d'un mélange de plusieurs moisissures, parmi lesquelles figuraient des colonies appartenant au genre *Fusarium*.



Figure 22:Etapes de l'isolement de l'agent phytopathogène

4.3. Identification des souches

L'identification des espèces phytopathogènes s'est basée essentiellement sur l'étude de leurs caractéristiques macroscopiques et microscopiques (Leslie et al. 2006 ; Campbell et al.2013).

a) Étude macroscopique

Cette étude s'est basée sur l'observation à l'œil nu des colonies qui ont développé sur les deux milieux PDA et Czapeck. L'observation des caractères a porté sur :

- La vitesse de croissance (par mesure de diamètre de la colonie fongique après 3, 5, 7, 10 et 12 jours d'incubation).
- L'aspect et la texture de la colonie (duveteux, floconneux, soyeux, cotonneux...etc.).
- La couleur de la surface (recto) et du revers de la boîte (verso).
- La présence ou l'absence de gouttelettes (exsudat) sur le mycélium.
- La production de pigments diffusibles.

b) Étude microscopique

Un fragment de la colonie fongique a été prélevé à l'aide d'une anse de platine stérile, coloré au bleu de lactophénol puis observé au microscope optique ($G \times 40$).

L'identification du champignon isolé a été basée sur l'étude des caractères microscopiques (hyphes, macroconidies, microconidies, chlamydospores et phialides) ainsi que sur la comparaison des caractéristiques observées avec les descriptions rapportées dans les ouvrages spécialisés.

4.4. Conservation des souches isolées

Les souches fongiques pures obtenues ont été conservées sur milieu Sabouraud incliné et maintenues à une température de 4 °C afin de préserver leur viabilité. Ces souches ont ensuite

Évaluation de l'activité antifongique in vitro

été utilisées pour les essais d'évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de romarin réalisés dans la suite de l'étude.

V. Évaluation de l'activité antifongique in vitro

5.1. Souches fongiques testées

L'évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle a été réalisée sur deux souches fongiques. La première souche, *Fusarium sp.* A été isolée à partir de tomates présentant des symptômes de pourriture et identifiée sur la base de ses caractéristiques macroscopiques et microscopiques. La deuxième souche, *Candida sp.* Est une souche de référence obtenue auprès du laboratoire de microbiologie de l'université. Ces deux souches ont été utilisées pour évaluer l'efficacité antifongique de l'huile essentielle aux différentes concentrations testées.

5.2. Préparation de la suspension sporale

Une suspension sporale a été préparée à partir des souches fongiques testées (*Fusarium spp.* et *Candida spp.*) par prélèvement des spores ou des cellules fongiques à l'aide d'une anse de platine stérile. Les prélèvements ont ensuite été introduits dans des tubes à essai contenant une solution d'eau physiologique stérile à 0,9 % (CLSI, 2008).

La suspension obtenue a été homogénéisée à l'aide d'un vortex afin d'assurer une répartition uniforme des spores et des cellules fongiques dans le milieu liquide. La suspension ainsi préparée a été utilisée pour l'ensemencement des milieux de culture et la réalisation des différents tests d'évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle (NCCLS et al, 2008).

5.3. Méthode des disques (Diffusion sur milieu solide)

La technique des disques est une méthode couramment utilisée pour l'évaluation de l'activité antifongique des huiles essentielles. Elle repose sur l'imprégnation de disques de papier filtre avec la substance testée, suivie de leur dépôt à la surface d'un milieu de culture préalablement ensemencé (Hammer et al 1999).

Dans cette étude, quatre (04) boîtes de Pétri contenant la gélose Sabouraud ont été utilisées. Chaque boîte a été inoculée avec 1 ml de suspension sporale, puis la suspension a été répartie de manière homogène à la surface du milieu et laissée à sécher dans des conditions aseptiques (Balouiri et al, 2016).

Évaluation de l'activité antifongique in vitro

Après séchage, des disques de papier filtre (Whatman) de 6 mm de diamètre ont été déposés à la surface de la gélose. Chaque disque a été imprégné avec une concentration différente de l'huile essentielle (5%, 10%, 50% et 100%), afin d'évaluer l'effet des différentes doses. Les boîtes ont ensuite été fermées hermétiquement et incubées dans des conditions favorables au développement fongique. À l'issue de la période d'incubation, l'activité antifongique a été évaluée par la mesure du diamètre des zones d'inhibition autour de chaque disque, permettant ainsi d'apprécier l'efficacité de l'huile essentielle vis-à-vis des souches fongiques étudiées (*Candida spp.* Et *Fusarium sp.*).



Figure 23: La technique des disques (Original, 2026)

5.4. Diffusion sur milieu solide par la technique des puits.

La technique des puits est l'une des méthodes les plus utilisées et les plus simples pour évaluer l'activité antifongique des huiles essentielles sur milieu solide. Elle repose sur la diffusion de la substance testée dans la gélose et la formation de zones d'inhibition autour des puits (Perez et al ,1990).

Dans cette étude, le milieu de culture utilisé est la gélose Sabouraud, sur laquelle ont été testées les souches *Candida* et *Fusarium*. Deux (02) boîtes de Pétri ont été préparées, soit :

- Une boîte pour la souche *Candida*.
- Une boîte pour la souche *Fusarium*.

Chaque boîte a été inoculée avec 1 ml de suspension sporale, puis étalée uniformément à la surface de la gélose et laissée sécher dans des conditions aseptiques.

Après séchage, quatre (04) puits ont été réalisés dans chaque boîte à l'aide d'un emporte-pièce stérile. Chaque puits a été rempli avec une concentration différente de l'huile essentielle (5%, 10%, 50% et 100%), afin d'évaluer l'effet de différentes doses dans les mêmes conditions expérimentales (Nostro et al , 2004).

Évaluation de l'activité antifongique in vitro

Les boîtes ont ensuite été fermées hermétiquement et incubées dans des conditions favorables au développement fongique. Après incubation, l'activité antifongique a été évaluée par la mesure du diamètre des zones d'inhibition formées autour de chaque puits, permettant ainsi d'apprécier l'effet de l'huile essentielle vis-à-vis des souches *Candida spp.* Et *Fusarium sp.* (Balouiri et al ,2016).

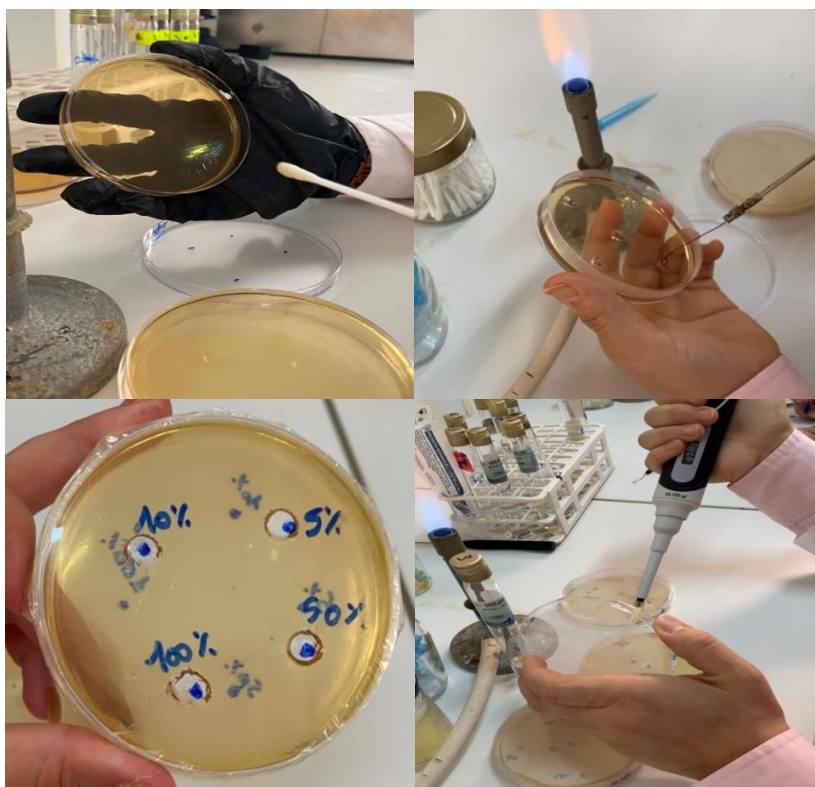


Figure 24 : La technique des puits. (Original, 2026).

VI. Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de romarin sur les plants de tomate

6.1. Matériel végétal :

Des plantules de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) sains et exemptes des symptômes et les maladies ont été utilisées dans cette étude. Les plants ont été repiqués dans un substrat approprié afin d'assurer leur croissance et leur développement dans des conditions normales. Ils ont été maintenus sous des conditions adéquates de température, d'humidité et d'éclairement, avec un arrosage régulier selon les besoins, afin de préserver leur vigueur avant l'inoculation du champignon et l'application des différents traitements à base d'huile essentielle.



Figure 25 : Desplantules de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Original, 2026).

6.2. Préparation de l'inoculum fongique

L'inoculum fongique a été préparé à partir d'une culture pure du champignon pathogène préalablement isolé. Une portion du *mycélium* a été prélevée à l'aide d'un matériel stérile puis introduite dans un tube contenant de l'eau physiologique stérile. Le tube a ensuite été agité afin d'obtenir une suspension fongique homogène utilisée pour l'inoculation artificielle des plants.

6.3. Inoculation artificielle des plants

Après le repiquage des plants de tomate et une période suffisante d'adaptation et de croissance, ceux-ci ont été inoculés à l'aide de la suspension fongique préparée. Cette opération avait pour objectif de provoquer une infection artificielle par le champignon pathogène. Les plants ont ensuite été placés dans des conditions favorables permettant le développement de l'infection et le suivi de l'apparition des symptômes (Dhingra et Sinclair et al , 1995).

6.4. Dispositif expérimental

Les plants de tomate ont été répartis en six groupes correspondant aux différents traitements étudiés, à savoir quatre groupes traités avec les concentrations 5 %, 10 %, 50 % et 100 % de l'huile essentielle, ainsi qu'un témoin positif (infecté et non traité) et un témoin négatif (non infecté et non traité). Toutes les expérimentations ont été réalisées dans les mêmes conditions environnementales de température, d'humidité, d'éclairement et d'arrosage afin d'assurer l'homogénéité des conditions expérimentales et la fiabilité des comparaisons entre les différents traitements.

Évaluation de l'activité antifongique in vivo

6.5. Évaluation de l'évolution de la maladie

Les plants ont été suivis régulièrement après l'application des traitements. Les symptômes provoqués par le champignon pathogène ont été observés et enregistrés, notamment le jaunissement des feuilles, le flétrissement, le ralentissement de la croissance ainsi que le dessèchement de certaines parties végétales. L'intensité des symptômes observés sur les plants traités a été comparée à celle des plants témoins afin d'évaluer l'efficacité antifongique de l'huile essentielle (Agrios et al ,2005).

6.6. Traitement des plants par l'huile essentielle

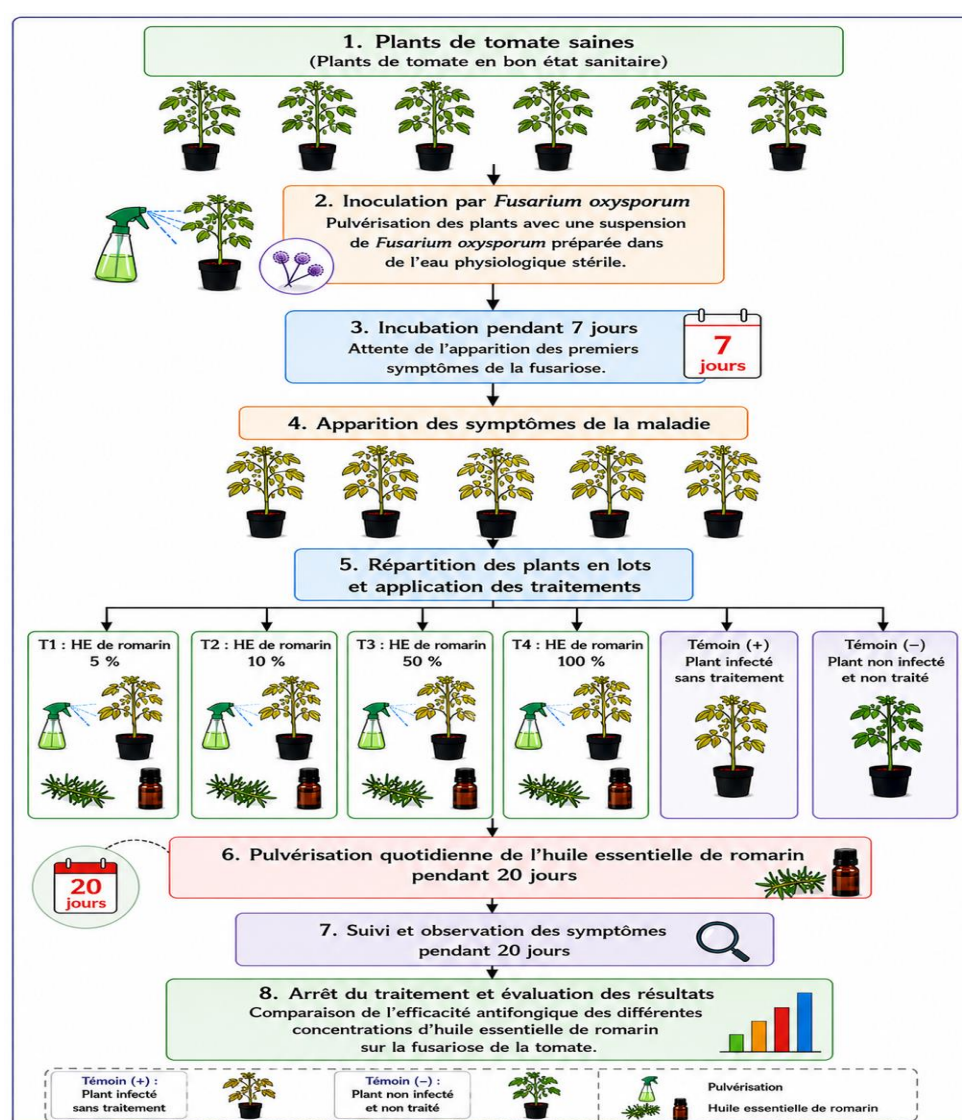


Figure 26 : Schéma du protocole expérimental de l'évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de romarin contre la fusariose de la tomate.(ChatGPT – OpenAI, adapté par l'auteur).

VII. Test de bio conservation des tomates

7.1. Matériel végétal

Vingt (20) tomates saines et homogènes en termes de taille et de degré de maturité ont été utilisées dans cette étude. Les fruits ont été lavés dans une solution d'eau de Javel afin d'éliminer les contaminants de surface, puis désinfectés à l'éthanol. Ils ont ensuite été rincés à l'eau distillée afin d'éliminer les résidus des agents de désinfection avant leur utilisation dans l'expérimentation (Wilson et Wisniewski et al ,1994).

7.2. Préparation des traitements

Les mêmes concentrations ayant montré une activité antifongique lors des essais réalisés au laboratoire ont été retenues, à savoir 5 %, 10 %, 50 % et 100 % de l'huile essentielle de romarin (*Rosmarinus officinalis*), afin d'évaluer leur efficacité dans la conservation des tomates et l'allongement de leur durée de stockage. Un lot témoin non traité a également été inclus pour servir de référence (Tripathi et Dubey et al ,2004).

7.3. Application des traitements

Après leur désinfection, les tomates ont été réparties dans dix (10) boîtes plastiques transparentes munies de couvercles, à raison de deux (02) fruits par boîte. Pour chaque condition de conservation, une boîte a été réservée comme témoin non traité, tandis que les quatre autres boîtes ont été traitées avec les différentes concentrations de l'huile essentielle de romarin (5 %, 10 %, 50 % et 100 %)(Pitt et Hocking et al,2009).

7.4. Conditions de conservation

Les boîtes ont été réparties en deux groupes :

- Cinq (05) boîtes conservées à température ambiante.
- Cinq (05) boîtes conservées au réfrigérateur à une température de 4 °C.

La période de conservation et de suivi a été maintenue pendant vingt (20) jours.

Test de bio conservation des tomates



Figure 27: Les boîtes conservées à température ambiante. (Originale, 2026).



Figure 28: Les boîtes conservées au réfrigérateur à une température de 4 °C. (Originale, 2026).

7.5. Suivi des paramètres de conservation

7.5.1. Aspect visuel des tomates

Les tomates ont été observées quotidiennement afin de suivre les modifications apparues au cours du stockage, notamment :

- L'apparition d'un mycélium blanc à la surface des fruits.
- Le ramollissement des tomates.
- Les changements de couleur.
- L'apparition de taches brunes ou noires.
- Les signes d'altération et de pourriture.

7.5.2. Qualité organoleptique

La qualité organoleptique des tomates a été évaluée à travers les paramètres suivants :

- L'aspect général.
- La fermeté.
- L'odeur.

Test de bio conservation des tomates

7.5.3. Durée de conservation

Les tomates ont été suivies pendant vingt (20) jours avec un enregistrement quotidien des modifications observées, afin d'évaluer l'effet de l'huile essentielle sur leur durée de conservation et de déterminer la période pendant laquelle les fruits ont conservé leur qualité par rapport au témoin.

7.5.4. La perte de poids (%)

La perte de poids des tomates a été déterminée périodiquement par pesée à l'aide d'une balance électronique. Le pourcentage de perte de poids a été calculé selon la formule suivante

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

Où :

- Poids initial : poids des tomates au début de l'essai.
- Poids final : poids des tomates au moment de l'évaluation.

7.5.5. Taux de pourriture

Le taux de pourriture a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux de pourriture (\%)} = (\text{Nombre de tomates altérées} / \text{Nombre total de tomates}) \times 100$$

Une faible valeur du taux de pourriture indique une meilleure efficacité de l'huile essentielle dans la protection des fruits contre l'altération.

7.5.6. Calcul du pourcentage de protection

L'efficacité de l'huile essentielle dans la conservation des tomates a été évaluée à travers le calcul du pourcentage de protection selon la formule suivante :

$$\text{Protection (\%)} = [(\text{Taux de pourriture du témoin} - \text{Taux de pourriture du traitement}) / \text{Taux de pourriture du témoin}] \times 100$$

Où :

- Taux de pourriture du témoin : pourcentage de fruits altérés dans le lot non traité.
- Taux de pourriture du traitement : pourcentage de fruits altérés dans le lot traité par l'huile essentielle.

Résultats Et Discussion

1. Rendement en huile essentielle

Le volume d'huile essentielle obtenu après hydrodistillation était de 5,8 ml. Afin de calculer le rendement, ce volume a été converti en masse à l'aide de la densité de l'huile essentielle selon la formule suivante :

Avec : $m = V * d$.

$$m = 5,8 * 0,9 = 5,22 \text{ g.}$$

- m : masse de l'huile essentielle (g).
- V : volume de l'huile essentielle (ml).
- d : densité de l'huile essentielle (g/ml).

Ainsi : Le rendement en huile essentielle a été calculé selon la méthode de l'AFNOR (1986).

Avec : $RHE(\%) = (Mh / Ms) \times 100$.

Pour une masse de matière végétale sèche de **691,64 g** et une masse d'huile essentielle de **5,22 g**, le rendement obtenu est :

$$RHE(\%) = (5.22 / 691,64) \times 100 = 0,75 \text{ \%}.$$

2. Identification des isolats

2.1.Isolat de *fusarium* macroscopique

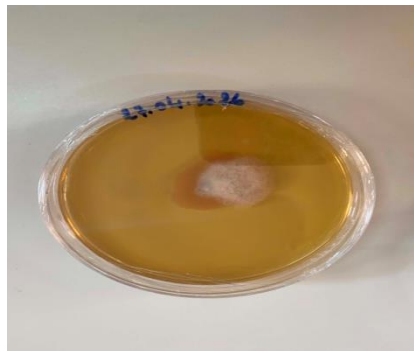


Figure 29 : Aspect macroscopique de *Fusarium* sp.

2.2.Observation microscopique de *Fusarium*

L'observation microscopique réalisée permet de confirmer l'identification morphologique de l'isolat fongique comme appartenant au genre *Fusarium*, sur la base des critères taxonomiques classiques. La structure filamenteuse observée correspond au mycélium végétatif typique des champignons filamenteux, constitué d'hyphes cloisonnés et ramifiés. La présence simultanée de microconidies (petites, unicellulaires, de forme ovale,

Résultats et Discussion

produites en chaînes ou isolément) et de macroconidies (plus grandes, multicellulaires, à forme caractéristique en faucille ou en croissant) constitue le critère diagnostique majeur permettant de confirmer l'appartenance au genre *Fusarium*, et plus précisément à l'espèce *Fusarium oxysporum*, dont la macroconidies falciforme à 3-5 cloisons est l'élément morphologique le plus distinctif décrit dans la littérature mycologique.

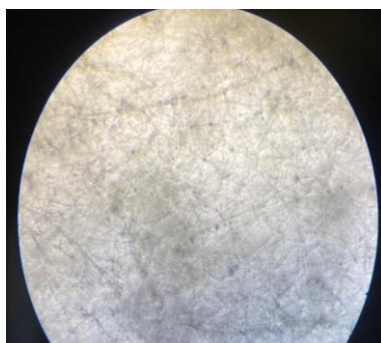


Figure 30: Aspect microscopique de *Fusarium* sp.

2. Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de romarin

2.1.Par la méthode des puits

Tableau 7 : Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de romarin Par la méthode des puits.

Concentration (%)	Zone d'inhibition	
	<i>Candidasp.</i> (cm)	<i>Fusariumsp.</i> (cm)
5	0	1,5
10	1,5	2,0
50	2,4	2,8
100	2,5	4,5

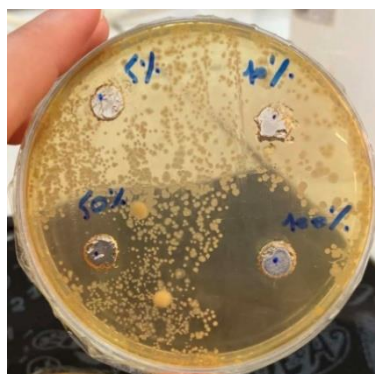


Figure 31: Résultat de la méthode des puits de *Fusarium* sp.

Résultats et Discussion

Les résultats obtenus démontrent que l'huile essentielle testée exerce une activité antifongique dépendante de la concentration et de la souche fongique. Chez *Candida albicans*, aucune zone d'inhibition n'a été observée à 5 %, traduisant une faible sensibilité de cette levure aux faibles doses, tandis que l'augmentation progressive de la concentration a permis d'atteindre un diamètre de 2,5 cm à 100 %. Concernant *Fusarium* sp. L'activité est nettement plus marquée, avec des diamètres de zones d'inhibition variant de 1,5 cm à 4,5 cm selon la concentration, témoignant d'une sensibilité élevée de ce champignon filamenteux. Les résultats de la méthode des puits confirment cet effet concentration-dépendant pour les deux souches, avec une absence totale de zone à 5 % chez *Candidasp* et des diamètres supérieurs chez *Fusariumsp*. Cette différence de sensibilité s'explique par des variations structurales et physiologiques entre les deux microorganismes : les champignons filamenteux possèdent une paroi plus perméable aux monoterpènes lipophiles, contrairement aux levures dotées d'une membrane plus épaisse enrichie en ergostérol. Ces observations sont cohérentes avec la littérature sur l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis*, riche en 1,8-cinéole, camphre et α -pinène, composés reconnus pour leur action antimicrobienne sur les membranes fongiques (Soltan et al. 2025 ; Radaelli et al. 2018 ; Boughendjioua & Djeddi, 2016)

2.2. Par la méthode des disques

Tableau 8: Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de romarin Par la méthode des disques.

Concentration (%)	<i>Candidasp.</i> (cm)	<i>Fusariumsp.</i> (cm)
5	0,8	1,0
10	1,0	1,8
50	1,9	2,0
100	3,5	7,5



Figure 32 : Résultat de la méthode des disques (10%) contre *Candida* sp.



Figure 33: Résultat de la méthode des disques (50%) contre *Candida* sp.

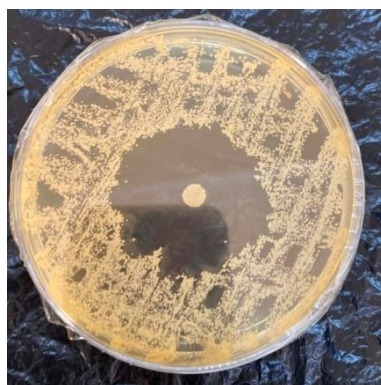


Figure 34: Résultat de la méthode des disques (100%) contre *Candida* sp.



Figure 35: Résultat de la méthode des disques (100%) contre *Fusarium* sp

Les résultats montrent que l'huile essentielle exerce une activité inhibitrice significative contre les deux souches fongiques testées, avec une augmentation progressive du diamètre des zones d'inhibition en fonction de la concentration. Chez *Candida* sp. Les diamètres passent de 0,8 cm à 3,5 cm lorsque la concentration augmente de 5 % à 100 %, révélant une relation positive entre la dose et l'efficacité antifongique. Pour *Fusarium* sp Les diamètres sont nettement plus élevés, variant de 1,0 cm à 7,5 cm, avec une zone maximale à 100 % qui témoigne d'une forte sensibilité de cette souche aux composés bioactifs de l'huile.

Résultats et Discussion

La comparaison entre les deux souches confirme que *Fusarium* sp. est globalement plus sensible que *Candida* sp. À toutes les concentrations testées. Par ailleurs, les résultats obtenus par la méthode des disques montrent des diamètres d'inhibition supérieurs à ceux de la méthode des puits pour les deux souches, probablement en raison d'une meilleure imprégnation et diffusion de l'huile essentielle à partir des disques de papier filtre. Ces observations sont cohérentes avec la littérature : les deux méthodes de diffusion reposent sur le même principe, mais la méthode des disques s'avère souvent plus discriminante, particulièrement aux concentrations élevées (ex. 7,5 cm vs 4,5 cm pour *Fusarium* sp. à 100 %). Les valeurs enregistrées s'inscrivent dans les ordres de grandeur rapportés dans des études sur l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* (Barros et al. 2026 ; Kowalczyk et al. 2024 ; Flamini et al. 2005), confirmant ainsi le potentiel antifongique prometteur de cette Huile, surtout contre *Fusarium* sp. Dont l'efficacité augmente proportionnellement à la concentration appliquée.

2. Évaluation de l'activité antifongique de l'huile essentielle de Romarin sur les plants de tomate (in vivo)

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'effet de différentes concentrations de l'huile essentielle de romarin sur l'évolution des symptômes du *Fusarium* chez les plants de tomate. Les résultats de cette étude montrent que l'huile essentielle de Romarin exerce un effet antifongique contre *Fusarium oxysporum* sur plantes de tomate, avec une efficacité fortement dépendante de la concentration : la dose à 50 % s'est révélée optimale, limitant fortement la progression des symptômes tout au long des 20 jours d'observation (score final de 5,7), tandis que la concentration à 10 % n'a procuré qu'un ralentissement modéré (score final 11,5) et celle à 5 % une protection insuffisante (score final 15,5) ; à 100 %, un effet antifongique initial positif a été observé, mais suivi d'un flétrissement des plants en fin d'expérience (score final 12), traduisant un effet phytotoxique. Cette activité est principalement attribuée aux composés majoritaires de *Rosmarinus officinalis* tels que le 1,8-cinéole, le camphre et l' α -pinène, qui perturbent les membranes fongiques et inhibent la croissance mycélienne, avec une concentration de 50 % offrant le meilleur compromis entre efficacité et tolérance végétale. Ces observations concordent avec la littérature : Flamini et al. (2005), Radaelli et al. (2018) et Boughendjioua&Djeddi (2016) ont rapporté une activité dose-dépendante du romarin contre *Fusarium* sp. Et d'autres champignons phytopathogènes, tout en soulignant le risque de phytotoxicité aux concentrations élevées. En conclusion, l'huile essentielle de

Résultats et Discussion

romarin constitue une alternative prometteuse en bio contrôle, la concentration de 50 % apparaissant comme la dose optimale pour protéger les tomates contre *Fusarium oxysporum* sans effets indésirables sur la plante, contrairement aux doses trop faibles ou excessives.

Tableau 9 : Effet des différentes concentrations de l'huile sur les plantes de tomate après 20 jours de traitement

Traitement	Concentration	Observation après 20 jours de traitement à l'huile essentielle	
Témoin positif +	0%		
Témoin négatif -	0%		
Traitement 1	5%		
Traitement 2	10%		
Traitement 3	50%		
Traitement 4	100%		

3. Effet de la concentration de l'huile essentielle et de la température sur le développement fongique

3.1. La température ambiante

Tableau 10 : Effet de la concentration d'huile essentielle de romarin sur la conservation des tomates à température ambiante.

Témoin	5%	10%	50%	100%
				

3.2. La température 4°C

Tableau 11: Effet de différentes concentrations d'huile essentielle de romarin sur la conservation des tomates à température 4°C.

Témoin	5%	10%	50%	100%
				

L'expérience a été réalisée afin d'évaluer l'effet combiné de différentes concentrations d'huile essentielle et de la température de conservation sur le développement des champignons responsables de l'altération des tomates.

Les résultats de cette étude démontrent clairement l'effet synergique entre la concentration de l'huile essentielle de romarin et la température de conservation sur le développement fongique des tomates. À température ambiante, l'activité antifongique est fortement concentration-dépendante : le témoin (0 %) présente une croissance fongique importante, tandis que les

Résultats et Discussion

concentrations faibles (5 % et 10 %) ne ralentissent que partiellement la prolifération ; l'efficacité devient modérée à 50 % et très élevée à 100 %, où un effet antifongique marqué est observé. À 4 °C, le froid seul réduit déjà significativement la croissance fongique (témoin), mais l'ajout d'huile essentielle renforce considérablement la conservation : toutes les concentrations améliorent la protection, avec une excellente conservation à 100 % et une bonne préservation à 50 %. Ces observations confirment que la réfrigération potentialise l'action de l'huile essentielle, probablement en ralentissant le métabolisme fongique tout en permettant aux composés volatils (1,8-cinéole, camphre, α -pinène) de perturber plus efficacement les membranes cellulaires des champignons.

Cette synergie entre froid et huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* est cohérente avec plusieurs travaux sur l'activité antifongique du romarin. De nombreuses études ont montré son efficacité contre des genres tels que *Fusarium*, *Candida*, *Botrytis* et *Aspergillus*, avec une action dose-dépendante et une meilleure performance à concentrations élevées (Flamini et al. 2005 ; Radaelli et al. 2018 ; Boughendjioua&Djeddi, 2016). L'effet inhibiteur observé ici sur les moisissures des tomates rejoint les résultats de recherches sur l'utilisation d'huiles essentielles en bioconservation des fruits et légumes, où l'association froid + huile essentielle prolonge significativement la durée de conservation en réduisant la croissance mycélienne et la sporulation.

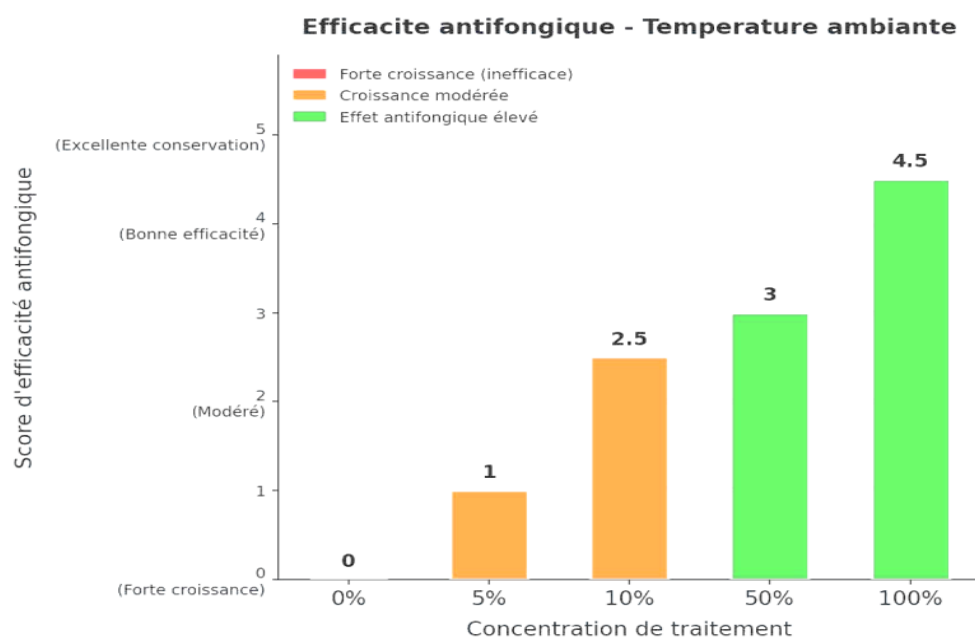


Figure 36 : Efficacité antifongique de l'huile essentielle de romarin à température ambiante.

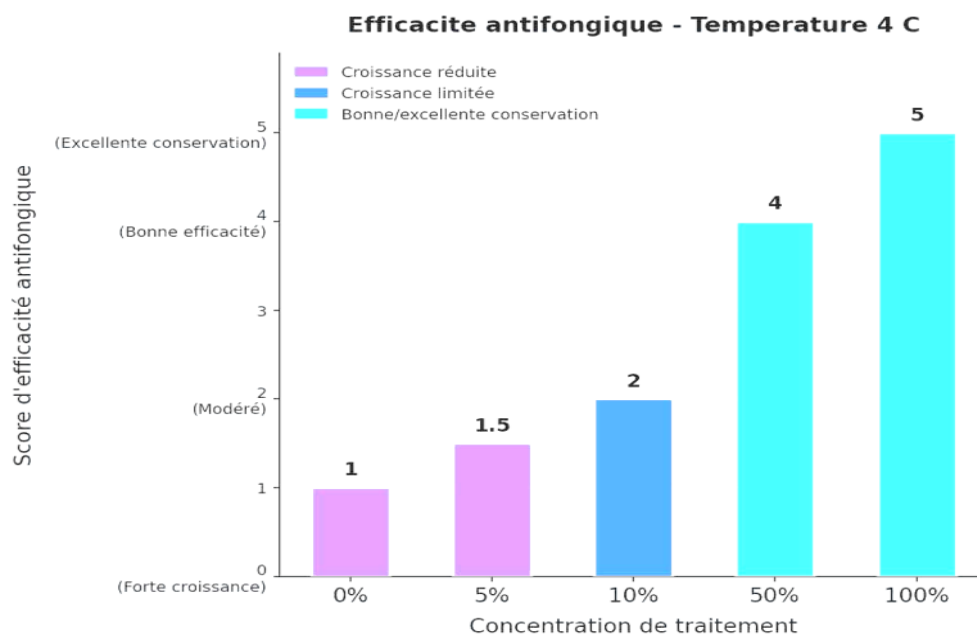


Figure 37: Efficacité antifongique de l'huile essentielle de romarin à 4°C.

4. Effet de l'huile essentielle sur la conservation des tomates

4.1.Perte de poids

Tableau 12 : Évolution du poids (g) des tomates conservées à température ambiante

Jour	Témoin	5 %	10 %	50 %	100 %
J0	57.8	60.9	62.4	65.7	68.3
J5	55.2	59.8	61.7	65.1	67.9
J10	51.1	57.8	60.2	64.0	67.1
J15	45.9	54.5	58.3	62.8	66.2
J20	40.3	50.8	55.9	61.4	65.0

Tableau 13 : Évolution du poids (g) des tomates conservées à 4°C

Jour	Témoin	5 %	10 %	50 %	100 %
J0	58.6	61.5	63.0	66.1	68.9
J5	57.8	61.0	62.6	65.8	68.7
J10	56.5	60.4	62.1	65.4	68.4
J15	54.8	59.7	61.6	65.0	68.0
J20	52.7	58.9	61.0	64.6	67.6

4.1.1. Calcul de la perte de poids (%)

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

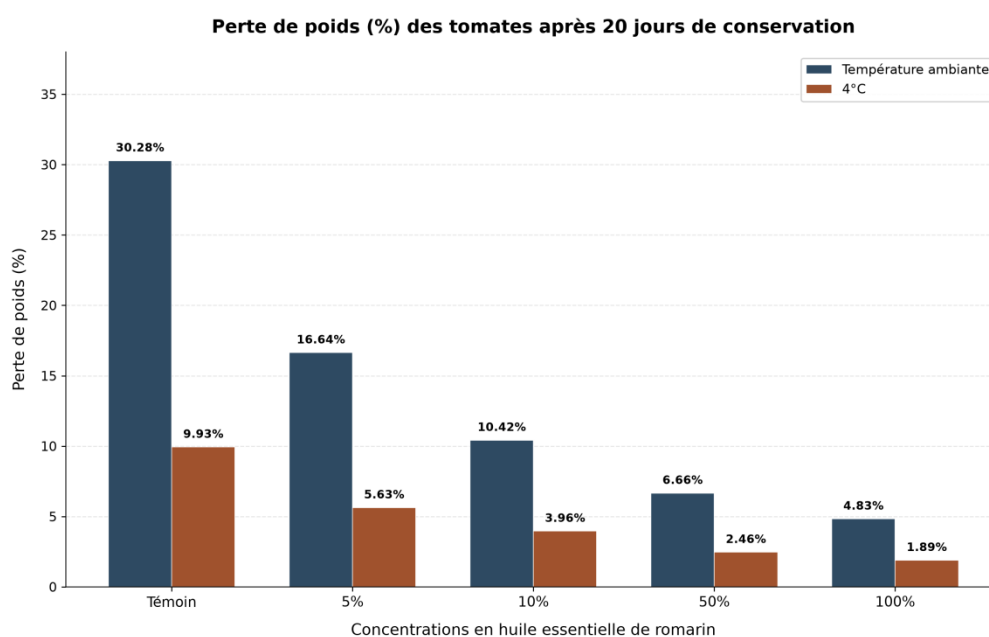


Figure 38 Histogramme de la perte de poids (%) des tomates après 20 jours de conservation.

L'ensemble des résultats obtenus, illustrés par les Tableaux 12 et 13 et synthétisés dans la Figure 38 (histogramme de la perte de poids), révèle que la diminution du poids des tomates

Résultats et Discussion

(*Solanum lycopersicum* L.) est une conséquence physiologique naturelle, principalement imputable aux processus de transpiration et de respiration post-récolte (Valero & Serrano, 2010; Kader, 2002). À température ambiante, le témoin a enregistré la perte de poids la plus élevée (30,28% après vingt jours), ce qui confirme la vulnérabilité de ce fruit climatérique lorsqu'il est stocké sans traitement de préservation (Yagoubi et al., 2021). En revanche, l'application d'huile essentielle de romarin (*Rosmarinus officinalis* L.) a significativement atténué cette déperdition, avec un effet manifestement dose-dépendant : les pertes de poids sont passées à 16,64%, 10,42%, 6,66 % et 4,83 % pour les concentrations de 5%, 10%, 50 % et 100% respectivement. Ce phénomène s'explique par la capacité de l'huile essentielle à former une barrière physique semi-imperméable à la surface du fruit, réduisant ainsi la conductance de la cuticule à la vapeur d'eau et limitant l'activité respiratoire (Baldwin et al., 1995 ; Bozin et al., 2006). Parallèlement, les propriétés antioxydantes et antimicrobiennes des composés actifs du romarin (carnosol, acide rosmarinique, terpénoïdes) contribuent à préserver l'intégrité des membranes cellulaires et à inhiber les micro-organismes responsables de la dégradation tissulaire (Burt, 2004; Wei et Shibamoto, 2007). La comparaison entre les deux conditions de conservation, clairement visible sur l'histogramme, montre que le stockage à 4 °C a également réduit considérablement la perte de poids, le témoin n'ayant perdu que 9,93% de son poids initial, ce qui illustre le rôle majeur du froid dans le ralentissement du métabolisme respiratoire et de la transpiration, conformément aux principes établis par Ben-Yehoshua (1987) et la FAO (2014). L'interaction entre l'huile essentielle de romarin et le stockage réfrigéré s'est révélée particulièrement efficace, comme le démontre la barre correspondant à la concentration de 100% à 4 °C, qui a permis de limiter la perte de poids à 1,89% seulement. Cette synergie entre un facteur physique (température) et un traitement biologique (huile essentielle) s'inscrit dans la tendance actuelle des approches intégrées de conservation post-récolte, visant à réduire l'usage des traitements chimiques de synthèse tout en maintenant la qualité nutritionnelle et organoleptique des produits frais (Donsì et al., 2011; Yousuf et al., 2020). En somme, ces résultats démontrent que l'huile essentielle de romarin, particulièrement à haute concentration et en association avec le froid, constitue une alternative prometteuse pour la préservation post-récolte des tomates. Toutefois, des études complémentaires portant sur l'impact organoleptique de ces traitements, ainsi que sur leur viabilité économique à l'échelle industrielle, seraient nécessaires pour envisager leur application commerciale.

Résultats et Discussion

4.2. Taux de pourriture

Le taux de pourriture a été calculé selon la formule suivante :

$$\text{Taux de pourriture (\%)} = (\text{Nombre de tomates altérées} / \text{Nombre total de tomates}) \times 100$$

Une faible valeur du taux de pourriture indique une meilleure efficacité de l'huile essentielle dans la protection des fruits contre l'altération.

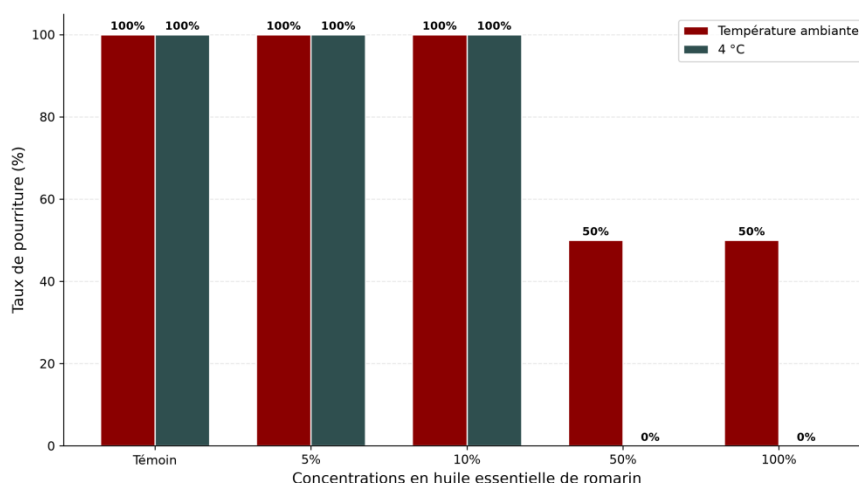


Figure 39 : Taux de pourriture des tomates après 20 jours de conservations

L'analyse du taux de pourriture révèle une évolution marquée selon les traitements et les conditions de conservation. À température ambiante, le témoin a présenté un taux de pourriture de 100 % (2 fruits sur 2), ce qui s'explique par l'absence de barrière protectrice et par l'activité microbienne favorisée à température élevée (Valero & Serrano, 2010). L'application d'huile essentielle de romarin à 5 % et 10 % n'a pas permis de réduire la pourriture à température ambiante (100 % dans les deux cas), ce qui suggère que ces concentrations sont insuffisantes pour former une barrière antimicrobienne efficace face à la pression fongique élevée à température ambiante. En revanche, les concentrations de 50 % et 100 % ont réduit le taux de pourriture à 50 % (1 fruit sur 2), démontrant un seuil d'efficacité à partir de 50 % d'huile essentielle de romarin. Cette réduction est attribuable aux propriétés antifongiques et antibactériennes des terpénoïdes présents dans l'huile essentielle de romarin, notamment le 1,8-cinéole, le camphre et l' α -pinène, qui inhibent la croissance de *Botrytis cinerea*, *Alternaria alternata* et d'autres agents pathogènes responsables de la pourriture des tomates (Bozin et al., 2006 ; Burt, 2004). Le stockage à 4 °C a drastiquement modifié la donne : le témoin, 5 % et 10 % ont tous présenté un taux de pourriture de 100 %, indiquant

Résultats et Discussion

que le froid seul, sans traitement efficace, ne suffit pas à prévenir la dégradation microbienne lorsque les fruits sont initialement contaminés ou fragilisés. Cependant, les concentrations de 50 % et 100 % à 4 °C ont entièrement prévenu la pourriture (0 %), confirmant une synergie remarquable entre l'huile essentielle de romarin à haute concentration et le stockage réfrigéré. Cette synergie s'explique par le ralentissement du métabolisme microbien à basse température, combiné à l'effet barrière et antimicrobien de l'huile essentielle (Kader, 2002 ; Donsi et al., 2011). Ces résultats mettent en évidence l'importance du seuil de concentration (50 %) pour obtenir une protection efficace.

4.3. Pourcentage de protection

$$\text{Protection (\%)} = [(\text{Taux de pourriture du témoin} - \text{Taux de pourriture du traitement}) / \text{Taux de pourriture du témoin}] \times 100$$

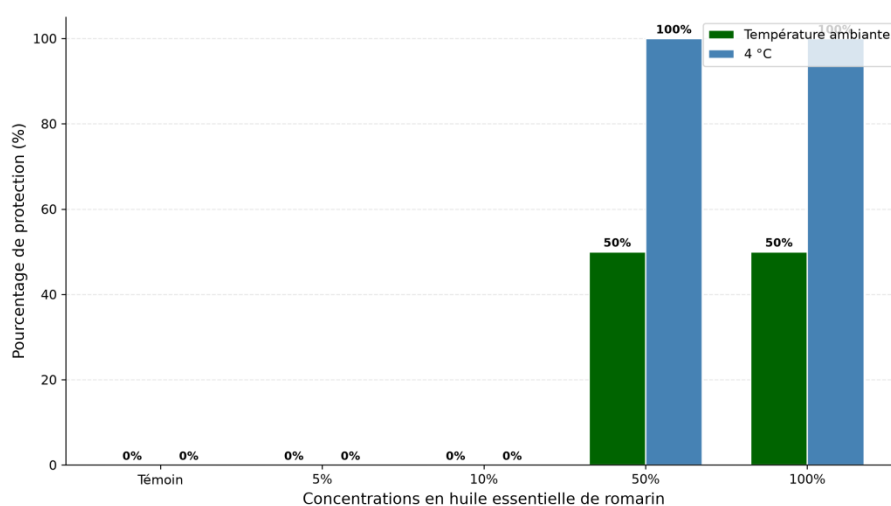


Figure 40 : pourcentage de protection contre la pourriture (J20)

Le pourcentage de protection, calculé par rapport au témoin, illustre l'efficacité relative de chaque traitement dans la prévention de la pourriture. À température ambiante, seuls les traitements à 50% et 100% ont conféré une protection partielle (50 %), tandis que les concentrations de 5% et 10% n'ont offert aucune protection (0 %). Ce résultat confirme l'existence d'un seuil critique de concentration en huile essentielle de romarin, au-delà duquel l'effet antimicrobien devient opérant. Cette observation rejoint les travaux de Bozin et al. (2006), qui ont rapporté que l'activité antifongique de l'huile essentielle de romarin est fortement dépendante de la concentration et du composé actif majoritaire. À 4 °C, la protection offerte par les concentrations de 50% et 100% a atteint 100%, ce qui signifie une absence totale de pourriture par rapport au témoin. Cette efficacité maximale s'explique par la

Résultats et Discussion

synergie entre l'effet barrière physique de l'huile essentielle, son activité antimicrobienne directe, et le ralentissement du métabolisme fongique induit par le froid (Burt, 2004; Kader, 2002). Il est notable que les concentrations inférieures à 50% n'ont pas protégé les fruits même au froid, ce qui souligne la nécessité d'atteindre une concentration minimale pour garantir une protection efficace. Sur le plan pratique, ces résultats suggèrent que l'association de 50% d'huile essentielle de romarin avec le stockage à 4 °C constitue une stratégie économiquement viable et biologiquement efficace pour la préservation post-récolte des tomates, positionnant cette approche comme une alternative prometteuse aux traitements chimiques conventionnels (FAO, 2014; Yousuf et al., 2020).

Conclusion

Conclusion

Dans un cadre où la demande d'alternatives naturelles aux pesticides chimiques augmente, cette étude a eu pour but d'analyser l'effet antifongique de l'huile essentielle de romarin (*Rosmarinus officinalis*) contre le champignon nuisible *Fusarium oxysporum*, responsable de plusieurs maladies de la tomate. À cause des impacts négatifs des fongicides synthétiques sur l'environnement, la santé humaine et la biodiversité, il est devenu urgent de trouver des solutions biologiques efficaces et respectueuses des écosystèmes. Le romarin, plante méditerranéenne commune en Algérie, est reconnu pour ses propriétés antioxydante et antimicrobiennes, ce qui en fait un excellent candidat pour la protection des cultures.

Les résultats obtenus ont montré que l'huile essentielle de *Romarin* a une activité antifongique importante. En effet, elle a réussi à freiner la croissance du champignon à des niveaux divers selon la concentration employée. Les essais effectués sur les tomates après la récolte ont aussi montré que le traitement à l'huile essentielle aide à réduire les signes de pourriture et à maintenir la qualité des fruits plus longtemps par rapport au témoin non traité. Cette inhibition se traduit par une diminution de la progression des lésions fongiques et un ralentissement de la dégradation des tissus végétaux.

Ces résultats confirment le potentiel de l'huile essentielle de romarin comme source naturelle d'agents antifongiques, faisant d'elle une option intéressante aux pesticides chimiques pour protéger les tomates et améliorer leur conservation après récolte. L'utilisation de cette huile essentielle permet non seulement de diminuer les pertes économiques dues aux maladies fongiques, mais aussi de répondre aux attentes croissantes des consommateurs soucieux de la qualité sanitaire et environnementale des produits agricoles.

De plus, cette étude ouvre des perspectives intéressantes pour des recherches supplémentaires visant à développer des applications pratiques des huiles essentielles dans la protection des produits agricoles et à diminuer les pertes causées par les maladies fongiques. Il serait particulièrement utile d'examiner la synergie entre plusieurs huiles essentielles, d'optimiser les formulations pour une utilisation à grande échelle, et d'évaluer l'innocuité de ces traitements

Pour la santé des consommateurs. À terme, ces recherches pourraient contribuer à une agriculture plus durable et respectueuse de l'environnement.

Références
Bibliographiques

Références Bibliographiques

A

- Anonyme, 2009. Nouveau prédateur de la tomate : États des lieux et programme d'action. Note de l'Institut National de Production des Végétaux (INPV).
- Agrios G.N., 2005. Plant Pathology. 5th Edition. Elsevier Academic Press, Burlington, USA, 922 p.

B

- Bannerot H. et Gallais A., 1992. Amélioration des espèces végétales cultivées : objectifs et critères de sélection. INRA, Paris, 765 p.
- Benton Jones J. Jr., 1999. Tomato Plant Culture: In the Field, Greenhouse and Home Garden. CRC Press LLC, 183 p.
- Besombes C., 2008. Contribution à l'étude des phénomènes d'extraction hydrothermomécanique d'herbes aromatiques : applications généralisées. Thèse de doctorat.
- Balouiri M., Sadiki M. et Ibnsouda S.K., 2016. Method for in vitro evaluating antimicrobial activity: A review. Journal of Pharmaceutical Analysis, 6(2) : 71-79.
- Bauer A.W., Kirby W.M.M., Sherris J.C. et Turck M., 1966. Antibiotic susceptibility testing by a standardized single disk method. American Journal of Clinical Pathology, 45 : 493-496.
- Burt S., 2004. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods – a review. International Journal of Food Microbiology, 94 : 223-253.
- Baldwin, E. A., Nisperos-Carriedo, M. O., & Baker, R. A. (1995). Edible coatings for lightly processed fruits and vegetables. HortScience, 30(1), 35–38. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.30.1.35>
- Ben-Yehoshua, S. (1987). Transpiration, water stress, and gas exchange. In J. Weichmann (Ed.), Postharvest physiology of vegetables (pp. 113–170). Marcel Dekker.
- Bozin, B., Mimica-Dukic, N., Samojlik, I., & Jovin, E. (2006). Antimicrobial and antioxidant properties of rosemary and sage (*Rosmarinus officinalis* L. and *Salvia officinalis* L., Lamiaceae) essential oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(19), 7879–7885. <https://doi.org/10.1021/jf071532k>

C

- CHAUX C. et FOURY C., 1994. Cultures légumières et maraîchères, Tome III : Légumineuses potagères, légumes fruits. TEC et Doc Lavoisier, Paris, 563 p.
- Cirad, Ministère des Affaires Étrangères et Gret, 2002. Mémento de l'agronomie. Quae, p. 1045-1046.
- Clinical and Laboratory Standards Institute (CLSI), 2008. Reference Method for Broth Dilution Antifungal Susceptibility Testing of Yeasts; Approved Standard-Third Edition. Document M27-A3. CLSI, Wayne, Pennsylvania, USA.

D

- Dacosta E., 2003. Les phytonutriments bioactifs. 1ère éd., Paris, 317 p.
- Dupond F. et Guignard J.L., 2012. Botanique : Familles des plantes. Éditions Elsevier Masson, France, 300 p.
- Dhingra O.D. et Sinclair J.B., 1995. Basic Plant Pathology Methods. 2nd Edition. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 434 p.
- Donsì, F., Annunziata, M., Sessa, M., & Ferrari, G. (2011). Nanoencapsulation of essential oils to enhance their antimicrobial activity in foods. LWT – Food Science and Technology, 44(9), 1908–1914. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.03.003>

F

- FAO. (2014). Food losses and waste in the context of sustainable food systems. Committee on World Food Security, 41st Session. FAO.

G

- GAUSSEN H., LEFOY J. et OZENDA P., 1982. Précis de Botanique. 2ème éd., Masson, Paris, 172 p.
- Ghedira K., 2005. Les flavonoïdes : structure, propriétés biologiques, rôle prophylactique et emplois en thérapeutique.
- Grierson, D., & Kader, A. A. (1986). Fruit ripening and quality. In J. G. Atherton & J. Rudich (Eds.), The tomato crop: A scientific basis for improvement (pp. 241–280). Chapman and Hall.

H

- Hammer K.A., Carson C.F. et Riley T.V., 1999. Antimicrobial activity of essential oils and other plant extracts. *Journal of Applied Microbiology*, 86 : 985-990.

I

- Iserin P., Moulard F., Rachel R., Biaujeaud M., Ringuet J., Bloch J., Ybert E., Vican P., Masson M., Restellini J.P. et Botrel A., 2001. *La Rousse : Encyclopédie des plantes médicinales, identification, préparation, soins*. 2ème éd., Paris, p. 155-291.

J

- Janvolak K. et Jinistodola L., 1983. *Plantes médicinales. Illustration de Francis et Severa*. Traduction française, Gründ, 1985, p. 256-258.

L

- Laumonnier R., 1979. *Culture légumière et maraîchère*. Tome II, J.B. Baillière, Paris, p. 276 ; Tome III, J.B. Baillière, Paris, p. 112-279.
- Lecourt D., 1999. *Encyclopédie des sciences*. La Pochothèque, France, 1526 p.

M

- Madadori M.K., 1982. *Les plantes médicinales*. Guides verts Salar, 624 p.
- Makhoulfi A., 2009. Étude des activités antimicrobienne et antioxydante de deux plantes médicinales poussant à l'état spontané dans la région de Béchar (*Matricaria pubescens* (Desf.) et *Rosmarinus officinalis* L.) et leur impact sur la conservation des dattes et du beurre cru. Mémoire de doctorat, Université Aboubaker Belkaid, Béchar.
- Marrou A. et Reynand J., 2007. *La botanique*. Dunod, 1ère éd., Paris, 313 p.
- Messaili B., 1995. *Systématique des Spermaphytes*. Botanique. OPU, Alger, 63 p.
- Messiaen C.M., Blancard D., Rouxel F., 1991. *Les maladies des plantes maraîchères*. 3ème éd., INRA, Paris, 365 p.
- Mostefa A., 2012. Contribution à une étude morphométrique de *Rosmarinus officinalis* L. (Lamiacées) dans la région de Tlemcen. Mémoire de Master, Université Aboubaker Belkaid, 100 p.
- Munro D.B. et Small E., 1998. *Les légumes du Canada*. NRC Research Press

- Mansour, M. F., & Ahmed, S. H. (2022). Essential oils as natural preservatives in postharvest fruits and vegetables: A comprehensive review. Food Bioscience, 47, 101708. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101708>

N

- National Committee for Clinical Laboratory Standards (NCCLS), 2002. Reference Method for Broth Dilution Antifungal Susceptibility Testing of Yeasts; Approved Standard-Second Edition. Document M27-A2. NCCLS, Wayne, Pennsylvania, USA.
- Nostro A., Blanco A.R., Cannatelli M.A., Enea V., Flamini G., Morelli I., Roccaro A.S. et Alonzo V., 2004. Susceptibility of methicillin-resistant staphylococci to oregano essential oil, carvacrol and thymol. FEMS Microbiology Letters, 230 : 191-195.

K

- Kader, A. A. (2002). Postharvest biology and technology: An overview. In A. A. Kader (Ed.), Postharvest technology of horticultural crops (3rd ed., pp. 39–47). University of California, Agriculture and Natural Resources.

P

- Polese J.M., 2007. La culture des tomates. Institut National de la Recherche Agronomique, n° 84416.
- Perez C., Pauli M. et Bazerque P., 1990. An antibiotic assay by the agar well diffusion method. Acta Biologiae et Medicinae Experimentalis, 15 : 113-115.
- Pitt J.I. et Hocking A.D., 2009. Fungi and Food Spoilage. 3rd Edition. Springer, New York, USA, 519 p.

Q

- Quezel P. et Santa S., 1963. Nouvelle flore de l'Algérie et des régions désertiques méridionales. Tome II, CNRS, Paris, p. 781-793.

R

- Ray Y. et Costes, 1965. La physiologie de la tomate : étude bibliographique. INRA, 111 p.
- Rojas-Graü, M. A., Tapia, M. S., & Martín-Belloso, O. (2006). Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. LWT – Food Science and Technology, 41(2), 139–147. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.01.009>

S

- Sanon E., 1992. Arbres et arbustes en Algérie. OPU, Ben Aknoun, Alger, n° 686, 121 p.
- Schauenburg O. et Paris F., 1977. Guide des plantes médicinales. Keats, New Canaan, Connecticut.
- Shankara N., Joep van Lidt de Jeude, Marja de Goffau, Martin Hilmi et Barbara van Dam, 2005. La culture de la tomate : Production, transformation et commercialisation. 5ème édition révisée, Fondation Agromisa et CTA, Wageningen.
- Snoussi S.A., 2010. Étude de base sur la tomate en Algérie. Rapport de mission, Programme régional de gestion intégrée des ravageurs pour le Proche-Orient, Rome, 52 p.

T

- Tripathi P. et Dubey N.K., 2004. Exploitation of natural products as an alternative strategy to control postharvest fungal rotting of fruit and vegetables. PostharvestBiology and Technology, 32(3) : 235-245.

V

- Valero, D., & Serrano, M. (2010). Postharvest biology and technology for preserving fruit quality. CRC Press.

W

- Wichtl M. et Anton R., 2003. Plantes thérapeutiques. Tec et Doc, 2ème éd., Paris, 505 p.
- Wikipédia, 2008. L'encyclopédie libre. Disponible sur : <http://www.wikipedia.com>
- Wilson C.L. et Wisniewski M.E., 1994. Biological Control of Postharvest Diseases: Theory and Practice. CRC Press, Boca Raton, Florida, USA, 454 p.
- Wei, A., & Shibamoto, T. (2007). Antioxidant activities and volatile constituents of various essential oils. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 55(10), 4327–4332. <https://doi.org/10.1021/jf070045c>

Z

- Zeghad N., 2008. Étude du contenu polyphénolique de deux plantes médicinales d'intérêt économique (*Thymus vulgaris*, *Rosmarinus officinalis*) et évaluation de leur activité antibactérienne. Mémoire de Magister, Université Mentouri Constantine, 96 p.
- Ziri S., 2011. Contribution à la lutte intégrée contre *Tuta absoluta* sur tomate en plein champ. Mémoire de Magister en sciences agronomiques, École Nationale Supérieure Agronomique d'El Harrach, 92 p.

ANNEXE

2.1.Milieu Sabouraud

- 1000ml d'Eau distillée
- 10g de Peptone
- 20g de Glucose
- 15g d'Agar-agar

2.2.Eau physiologique stérile

- Composition en g /l
- Chlorure de sodium (NaCl) 9g
- Eau distillée 1000ml
- pH = 7
- Stérilisation à 120°C /15mn