



République Algérienne démocratique populaire

Université Saad Dahleb Blida 1

Faculté des sciences de la nature et de la vie

Département des biotechnologies et d'agroécologie



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

Étude de l'activité biologique de la synergie des huiles
essentielles de *Cupressus arizonica* et *Rosmarinus*
officinalis sur les graines de tomate cerise

Présenté par

Meziane Mohamed Ali Yanice & Otmane Tolba Ala Eddine

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Jury

Mme Djemai

Mr Moussaoui

Mme Baba Aissa

M.C.A

M.A.A

M.A.A

Présidente

Promoteur

Examinatrice

Année Universitaire 2024/2025

بسم الله الرحمن الرحيم

Remerciements

Ce mémoire de fin d'études, réalisé dans le cadre de notre formation en phytopharmacie et protection des végétaux, représente l'aboutissement de plusieurs années d'apprentissage, d'efforts et de passion partagée. Il n'aurait pu voir le jour sans le soutien et l'accompagnement de nombreuses personnes que nous tenons à remercier sincèrement.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Monsieur Moussaoui Kamel, notre directeur de mémoire et encadrant, pour sa disponibilité, ses conseils avisés, ainsi que pour la confiance qu'il nous a accordée tout au long de ce travail. Son expertise scientifique et sa rigueur ont largement contribué à la qualité de notre démarche.

Nos sincères remerciements vont également à l'ensemble des enseignants et membres du corps pédagogique du Département de biotechnologie et d'agroécologie pour l'accompagnement académique dont nous avons bénéficié tout au long de notre formation, et pour avoir su nous transmettre leur passion du domaine.

Nous adressons également nos remerciements à nos camarades de promotion, collègues et amis, pour les échanges, les encouragements mutuels et les moments de partage tout au long de ce parcours.

Nous tenons aussi à exprimer notre reconnaissance particulière aux membres du jury, Madame Djemaï, Présidente, pour l'honneur qu'elle nous a fait en acceptant d'évaluer ce travail, Monsieur Moussaoui, Promoteur, pour son accompagnement scientifique et pédagogique constant, ainsi que Madame Baba Aissa, Examinatrice, pour le temps consacré à la lecture et à l'évaluation de ce mémoire et pour ses remarques constructives.

Enfin, nous remercions chaleureusement nos familles respectives, pour leur soutien inconditionnel, leur patience et leurs encouragements constants, qui nous ont permis d'avancer avec confiance jusqu'à la réalisation de ce projet.

À toutes les personnes qui nous ont accompagnés, soutenus ou inspirés, nous exprimons notre plus sincère reconnaissance.

Dédicace

Meziane Mohamed Ali Yanice

Je dédie ce travail avec tout mon cœur à celles et ceux qui ont été présents, de près ou de loin, tout au long de ce parcours.

A mes chères parents, mon père **Abdelghani**, source d'inspiration, de sagesse et de force. Merci pour ton soutien constant, ta patience, tes sacrifices silencieux. Tu es un repère essentiel dans ma vie.

Et ma mère, **Samia**, lumière et amour infini. Merci pour ton affection, ton écoute, ton courage, et pour avoir toujours su me rassurer et me motiver dans les moments les plus difficiles. Tu es mon refuge et ma plus grande force.

A mes chères sœurs **Melissa** et **Chahinez**, pour leur présence discrète mais essentielle, pour leur tendresse, leur bienveillance et les moments simples partagés qui m'ont souvent apaisé et soutenu sans même qu'elles le sachent.

A mon adorable **Maissa**, Présente dans mes jours comme un rayon de sérénité, avec patience, sincérité et douceur.

A mon binôme **Alaa**, avec qui j'ai partagé cette aventure intellectuelle.

À la mémoire bénie de mes deux grands-mères, **Khadojda** et **Hadjira** que Allah leur fasse miséricorde et les comble de lumière dans leur tombe. Vos mains pleines de douceur, vos invocations sincères, et votre foi inébranlable ont laissé en moi une trace que le temps ne saurait effacer. Vous étiez des femmes de sabr et de tawakkul, et c'est par votre exemple que j'ai appris la valeur du cœur pur et de la foi constante. Qu'Allah vous accorde le plus haut degré du Paradis, Al-Firdaws, et fasse que nos retrouvailles soient dans la paix éternelle auprès de Lui. **رحمكما الله**
رحمةً واسعة، وجعل قبركما روضةً من رياض الجنة

Dédicace

Otmane Tolba Ala Eddine

À mes parents bien-aimés, je vous dédie ce mémoire avec une profonde gratitude, sans vous, rien de tout cela n'aurait été possible.

À ma chère mère, Nachida, ton amour inépuisable, ta patience silencieuse et ton regard toujours rempli de tendresse ont été pour moi une source constante de réconfort. C'est dans tes prières, tes encouragements discrets et ton cœur immense que j'ai puisé la force de continuer, même lorsque tout semblait difficile. Tu es mon repère, mon refuge, et ma plus grande bénédiction.

À mon cher père, Otmane, homme de principes et de sagesse, tu m'as appris la valeur du travail, du respect et de l'honnêteté. Ton soutien, souvent exprimé par des gestes plus que des mots, a toujours été là, solide et rassurant. Merci de m'avoir transmis le goût de l'effort et le courage de croire en mes capacités.

À mon frère Sidahmed, et à ma sœur Zahida, Merci pour vos mots réconfortants, votre patience, et votre présence constante. Votre soutien discret m'a porté bien plus que vous ne l'imaginez. Votre confiance en moi m'a permis d'avancer avec assurance.

À mes ami(e)s de cœur, Merci d'avoir été là, pour les discussions sérieuses comme pour les éclats de rire nécessaires. Vous avez su alléger les moments de stress, apaiser mes doutes et m'encourager quand la fatigue prenait le dessus. Votre amitié a été un moteur tout au long de ce parcours.

À tous ceux qui m'ont inspiré, soutenu ou encouragé d'une manière ou d'une autre, je vous adresse mes remerciements les plus sincères. Ce mémoire est le fruit d'un travail personnel, mais il porte l'empreinte de toutes les personnes qui ont cru en moi.

Résumé

Ce mémoire de fin d'étude porte sur l'évaluation de l'effet biologique de la synergie entre deux huiles essentielles, à savoir *Cupressus arizonica* (cypres de l'Arizona) et *Rosmarinus officinalis* (romarin), sur la germination des graines de tomate cerise (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). Dans un contexte marqué par les limites et les impacts négatifs des produits chimiques en agriculture, cette étude s'inscrit dans une démarche visant à identifier des alternatives naturelles, efficaces et écologiquement durables.

L'objectif principal de ce travail est de déterminer si l'association de ces deux huiles essentielles formulées exerce un effet synergique, inhibiteur ou stimulant sur la germination des semences de tomate. Pour ce faire, différentes concentrations ($D1=0,024g$ $D2=0,048g$ $D3=0,072g$) d'huiles essentielles ont été appliquées, individuellement et en combinaison, sur des graines préalablement désinfectées et mises à germer dans des conditions expérimentales contrôlées.

Les résultats obtenus révèlent que l'huile essentielle de *Cupressus arizonica*, utilisée seule à la dose moyenne ($D2 = 0,048 g$), favorise significativement la germination, avec un taux maximal de 95 % atteint entre le 9^e jour, ainsi qu'une levée rapide des semences observée dès le 3^e jour.

En revanche, les effets de la synergie entre *Rosmarinus officinalis* et *Cupressus arizonica* varient selon les dosages : certaines combinaisons, notamment à la dose élevée ($D3 = 0,072 g$), présentent une légère stimulation avec un taux de germination de 85 % dès le 7^e jour.

L'analyse des données suggère que l'activité biologique des huiles essentielles dépend non seulement de leur nature chimique, mais également de leur concentration et de leurs interactions. Ainsi, leur utilisation en tant qu'agents biostimulants ou comme traitements préventifs des semences pourrait constituer une piste prometteuse pour le développement de pratiques agricoles alternatives, respectueuses de l'environnement.

Les mots clés : Biostimulant, *Cupressus arizonica*, Germination, Huiles essentielles, Synergie

Abstract

This final-year thesis focuses on evaluating the biological effect of the synergy between two essential oils *Cupressus arizonica* (Arizona cypress) and *Rosmarinus officinalis* (rosemary) on the germination of cherry tomato seeds (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). In a context marked by the limitations and negative impacts of chemical products in agriculture, this study is part of a broader effort to identify natural, effective, and environmentally sustainable alternatives.

The main objective of this work is to determine whether the combination of these two formulated essential oils produces a synergistic, inhibitory, or stimulating effect on tomato seed germination. To this end, different concentrations (D1 = 0.024 g, D2 = 0.048 g, D3 = 0.072 g) of essential oils were applied, both individually and in combination, to pre-disinfected seeds germinated under controlled experimental conditions.

The results show that the essential oil of *Cupressus arizonica*, used alone at the medium dose (D2 = 0.048 g), significantly promotes germination, with a maximum rate of 95% reached on the 9th day, and rapid sprouting observed as early as the 3rd day. In contrast, the effects of the synergy between *Rosmarinus officinalis* and *Cupressus arizonica* vary depending on the dosage: some combinations, particularly at the highest concentration (D3 = 0.072 g), show a slight stimulation with a germination rate of 85% by the 7th day.

Data analysis suggests that the biological activity of essential oils depends not only on their chemical nature but also on their concentration and interactions. Therefore, their use as biostimulants or seed pre-treatment agents could represent a promising path for the development of alternative, environmentally friendly agricultural practices.

Keywords: Biostimulant, *Cupressus arizonica*, Essential oils, Germination, Synergy

المخلص

يتناول هذا البحث لنهاية الدراسة تقييم التأثير البيولوجي للتآزر بين زيتين أساسيتين، وهما زيت *Cupressus arizonica* (السرو الأريزوني) وزيت *Rosmarinus officinalis* (إكليل الجبل)، على إنبات بذور طماطم الكرز (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*)

في ظل التحديات والآثار السلبية الناتجة عن استخدام المواد الكيميائية في الزراعة، تندرج هذه الدراسة ضمن الجهود الرامية إلى إيجاد بدائل زراعية طبيعية وفعالة ومستدامة بيئيًا.

يتمثل الهدف الرئيسي من هذا العمل في تحديد ما إذا كانت تركيبة هذين الزيتين الأساسيين تُحدث تأثيرًا تآزريًا، أو تثبيطيًا، أو محفزًا على إنبات بذور الطماطم. ولتحقيق ذلك، تم استخدام تراكيز مختلفة ($D1 = 0.024$ غ، $D2 = 0.048$ غ، $D3 = 0.072$ غ) من الزيوت الأساسية، سواء بشكل فردي أو في مزيج، على بذور معقمة تم وضعها للإنبات في ظروف تجريبية مضبوطة.

أظهرت النتائج أن زيت *Cupressus arizonica* المستخدم بمفرده وبالتركيز المتوسط ($D2 = 0.048$ غ) يعزز الإنبات بشكل ملحوظ، حيث بلغت نسبة الإنبات القصوى 95% في اليوم التاسع، مع بداية الإنبات في اليوم الثالث. أما فيما يخص التآزر بين *Rosmarinus officinalis* و *Cupressus arizonica*، فقد اختلفت التأثيرات حسب التركيز، حيث أظهرت بعض التركيبات، خاصة عند التركيز العالي ($D3 = 0.072$ غ)، تأثيرًا محفزًا طفيفًا بنسبة إنبات بلغت 85% في اليوم السابع.

تشير نتائج التحليل إلى أن النشاط البيولوجي للزيوت الأساسية يعتمد ليس فقط على تركيبها الكيميائية، بل أيضًا على تركيزها وطبيعة التفاعلات بينها. وعليه، فإن استخدام هذه الزيوت كمحفزات حيوية أو كعوامل معالجة للبذور قد يشكل مسارًا واعدًا لتطوير ممارسات زراعية بديلة تراعي الحفاظ على البيئة.

الكلمات المفتاحية: المنشط الحيوي، *Cupressus arizonica*، الزيوت العطرية، الإنبات، التآزر

Table des matières

Introduction	2
I. Partie bibliographique	8
I.1 Introduction générale aux huiles essentielles en agriculture :	8
I.2 Mode d'action des huiles essentielles :	8
I.3 Synergie entre huiles essentielles : un phénomène clé :	8
I.4 <i>Cupressus arizonica</i> : origine, composition et propriétés biologiques	9
I.4.1 Origine et localisation de la plante :	9
I.4.3 Composition chimique	10
I.4.5 Avantages écologiques et agronomiques	11
I.5 <i>Rosmarinus officinalis</i> : origine, composition et propriétés biologiques	12
I.5.1 Origine et localisation dans la plante	12
II. Matériel et méthodologie de travail :	18
II.1 Matériel :	18
II.1.1 Matériel biologique :	18
II.1.2 Matériel expérimental :	18
II.2 Méthode de travail :	19
II.2.1 Préparation des solutions	19
II.2.2 Montage expérimental	20
II.2.3 Paramètres évalués	20
II.2.4 Analyse des données	21
III. Résultats :	23
III.1- Étude de l'huile essentielle de <i>Cupressus arizonica</i> Seule	23
III.1.1. Effet de l'huile essentielle formulée de <i>Cupressus arizonica</i> (seule) sur la Vitesse de germination	24
III.1.2. Effet de l'huile essentielle formulée de <i>Cupressus arizonica</i> (seule) sur le taux de germination	25
III.1.3. Comparaison dose 1 et témoin sur la vitesse de germination	26
III.1.4. Comparaison dose 1 et témoin sur le taux de germination	27
III.1.5. Comparaison dose 1 et dose 2 sur la vitesse de germination	28
III.1.6. Comparaison dose 1 et dose 2 sur le taux de germination	29
III.1.7. Comparaison dose 1 et dose 3 sur la vitesse de germination	30
III.1.8. Comparaison dose 1 et dose 3 sur le taux de germination	31

III.1.9. Comparaison dose 2 et dose 3 sur la vitesse de germination	32
III.1.10. Comparaison dose 2 et dose 3 sur le taux de germination.....	33
III.2. Étude de la Synergie des 2 huiles essentielles de <i>Rosmarinus officinalis</i> et <i>Cupressus arizonica</i>.....	34
III.2.1. Effet de la synergie des deux huiles essentielles sur la vitesse de germination	35
III.2.2. Effet de la synergie des deux huiles essentielles sur la Taux de germination.....	36
III.2.3. Comparaison dose 1 et témoin sur la vitesse de germination.....	37
III.2.4. Comparaison dose 1 et témoin sur le taux de germination.....	38
III.2.5. Comparaison dose 1 et dose 2 sur la vitesse de germination.....	39
III.2.6. Comparaison dose 1 et dose 2 sur le taux de germination.....	40
III.2.7. Comparaison dose 1 et dose 3 sur la vitesse de germination.....	41
III.2.8. Comparaison dose 1 et dose 3 sur le taux de germination.....	42
III.2.9. Comparaison dose 2 et dose 3 sur la vitesse de germination.....	43
III.2.10. Comparaison dose 2 et dose 3 sur le taux de germination.....	44
IV. Discussion	46
Conclusion.....	49
Références Bibliographiques :	51

Liste des figures

Figure 1 Rameaux et cônes de <i>Cupressus arizonica</i>	10
Figure 2 Aspect botanique du <i>Rosmarinus officinalis</i> – fleurs en floraison et rameau frais utilisé pour l’extraction	13
Figure 3 Pesée précise des volumes d’huiles essentielles à l’aide d’une balance analytique (0,001 g de précision) pour la préparation des différentes concentrations utilisées dans les tests de germination.....	19
Figure 4 Dispositif expérimental de germination : boîtes de Pétri contenant des graines de tomate cerise traitées avec différentes doses d’huiles essentielles et leurs réplicats témoin ...	20
Figure 5. Évolution temporelle de la vitesse de germination des graines de tomate cerise sous l’effet de la bioformulation de <i>Cupressus arizonica</i> seule	24
Figure 6. Évolution temporelle du taux de germination des graines de tomate cerise sous l’effet de la bioformulation de <i>Cupressus arizonica</i> seule	25
Figure 7. Comparaison dose 1 et témoin sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	26
Figure 8. Comparaison dose 1 et témoin sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	27
Figure9 . Comparaison dose 1 et dose 2 sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	28
Figure 10. Comparaison dose 1 et dose 2 sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	29
Figure 11. Comparaison dose 1 et dose 3 sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	30
Figure 12. Comparaison dose 1 et dose 3 sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	31
Figure13 . Comparaison dose 2 et dose 3 sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	33
Figure 14. Évolution temporelle de la vitesse de germination des graines de tomate cerise sous l’effet de la bioformulation de la synergie de <i>Rosmarinus arizonica</i> et <i>Cupressus officinalis</i>	35
Figure 15. Évolution temporelle du taux de germination des graines de tomate cerise sous l’effet de la bioformulation de la synergie de <i>Rosmarinus arizonica</i> et <i>Cupressus officinalis</i>	36
Figure 16. Comparaison dose 1 et témoin sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	37

Figure 17. Comparaison dose 1 et témoin sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	38
Figure 18. Comparaison dose 1 et dose 2 sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	40
Figure 19. Comparaison dose 1 et dose 3 sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	41
Figure 20. Comparaison dose 1 et dose 3 sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	42
Figure 21. Comparaison dose 2 et dose 3 sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	43
Figure 22. Comparaison dose 2 et dose 3 sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps.....	44

Liste des tableaux

Tableau 1. Pourcentage de germination des graines de tomate cerise traité par l'huile essentielle de *Cupressus arizonica* seule.....23

Tableau 2. Pourcentage de germination des graines de tomate cerise traité par la synergie des huiles essentielles de *Rosmarinus Officinalis* et *Cupressus arizonica*.....43

Introduction

Introduction

Face à l'augmentation préoccupante de la résistance des agents pathogènes aux produits chimiques de synthèse et à leurs effets toxiques sur l'environnement, l'humanité est contrainte de repenser ses pratiques agricoles et de conservation. Aujourd'hui, la tendance se tourne vers des alternatives plus durables, plus sûres et plus écologiques, parmi lesquelles figurent en bonne place les substances naturelles d'origine végétale, et plus particulièrement les huiles essentielles. Ces extraits concentrés, composés principalement de métabolites secondaires, suscitent un intérêt croissant pour leurs nombreuses applications biologiques et agricoles **(Mamy et Barriuso, 2022)**.

Les huiles essentielles sont des mélanges complexes de composés volatils produits par les plantes, souvent extraits par distillation à la vapeur d'eau. Elles sont connues pour leurs propriétés antimicrobiennes, antifongiques, antioxydantes, insecticides et même phytostimulantes. Ces propriétés leur confèrent un potentiel d'utilisation dans la protection des cultures, le traitement des semences, et la préservation de la qualité des aliments et des sols, tout en limitant les impacts environnementaux associés aux pesticides conventionnels. Toutefois, bien que de nombreuses huiles aient été étudiées individuellement, l'effet de leur synergie – c'est-à-dire leur interaction combinée – reste un domaine encore relativement peu exploré **(Soualeh et Soulimani, 2016)**.

Dans le cadre de ce travail, nous nous sommes intéressés à deux huiles essentielles d'intérêt, celles de *Cupressus arizonica* et de *Rosmarinus officinalis*.

Cupressus arizonica

Également connu sous le nom de cyprès d'Arizona, se distingue par son profil biochimique unique, notamment riche en α -pinène et β -myrcène, et ses nombreuses applications dans la santé, l'aromathérapie et l'agriculture **(Hosseini hashemi et al., 2011)**.

Originaire du sud-ouest des États-Unis et du nord du Mexique, *Cupressus arizonica* appartient à la famille des Cupressaceae. C'est un arbre résineux à feuilles persistantes qui peut atteindre jusqu'à 20 à 25 mètres de hauteur. Il est principalement cultivé pour son bois résineux, sa capacité de croissance rapide et son rôle ornemental dans les régions arides, mais il est également prisé pour la richesse de ses composés volatils. L'huile essentielle extraite de ses feuilles et rameaux présente un éventail impressionnant de composés bioactifs, notamment des monoterpènes, des sesquiterpènes et des alcools terpéniques, qui lui confèrent des propriétés

antiseptiques, antifongiques, anti-inflammatoires, antioxydantes, et même insecticides (Cherrif *et al.*, 2022).

Au-delà de ses caractéristiques chimiques, *Cupressus arizonica* représente un intérêt particulier dans le contexte de la phytothérapie moderne, qui cherche à valoriser les plantes médicinales locales ou exotiques tout en respectant les normes de sécurité et d'efficacité. L'utilisation de son huile essentielle dans des formulations thérapeutiques ou cosmétiques naturelles est en constante évolution, notamment grâce aux avancées en chromatographie et en pharmacologie expérimentale. En effet, plusieurs études ont démontré son efficacité dans la lutte contre certaines bactéries pathogènes, levures et champignons, positionnant ainsi *C. arizonica* comme une alternative crédible aux agents antimicrobiens de synthèse, souvent critiqués pour leurs effets secondaires et le développement de résistances (Cherrad *et al.*, 2022).

De plus, dans un monde confronté à des défis environnementaux majeurs, le *Cupressus arizonica*, séduit également par sa résistance aux conditions climatiques extrêmes, son faible besoin en eau et sa capacité à s'adapter à des sols pauvres. Il représente ainsi une espèce prometteuse dans les programmes de reboisement et de lutte contre la désertification, en particulier dans les régions semi-arides ou dégradées. Cette polyvalence écologique, combinée à son potentiel thérapeutique, fait de *Cupressus arizonica* une espèce modèle pour les recherches interdisciplinaires alliant écologie, chimie, pharmacologie et biotechnologie (CABI Invasive Species Compendium, 2024).

Dans le cadre de ce travail, une attention particulière sera portée à l'analyse de l'huile de *Cupressus arizonica*, en mettant l'accent sur son activité biologique ainsi que sur sa synergie potentielle avec d'autres huiles essentielles, dans l'objectif d'évaluer ses effets sur des modèles biologiques tels que les graines de tomate cerise (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). Cette approche permettra d'explorer de nouvelles pistes d'application, notamment en agriculture biologique, dans la conservation des semences, ou encore dans la formulation de produits phytosanitaires naturels. (Emami et Fakhrjafary, 2010).

En somme, le *Cupressus arizonica* se révèle être bien plus qu'un simple conifère ornemental : c'est une véritable source naturelle de principes actifs, encore trop peu valorisée, mais qui recèle un potentiel considérable dans divers domaines scientifiques et pratiques. Étudier cette espèce, c'est participer à une démarche de valorisation des ressources naturelles

tout en contribuant à une science plus verte, plus durable et en harmonie avec les lois de la nature (**Mancini et al., 2014**).

***Rosmarinus officinalis*.**

Plus connu sous le nom de romarin occupe une place privilégiée dans les traditions médicinales, culinaires et spirituelles des peuples méditerranéens. Cette plante aromatique vivace, emblématique du pourtour méditerranéen, est bien plus qu'une simple herbe condimentaire. Elle appartient à la famille des Lamiaceae, tout comme le thym, la menthe ou la lavande, et se distingue par une richesse chimique remarquable qui lui confère une vaste palette de propriétés biologiques. Aujourd'hui, à l'ère où la médecine naturelle et la recherche en phytothérapie reprennent de l'ampleur, *Rosmarinus officinalis* s'impose comme l'une des espèces les plus étudiées pour son potentiel thérapeutique, agricole et industriel (**de Oliveira et al., 2019**).

Botaniquement, le romarin est un arbuste ligneux à feuilles persistantes, qui peut atteindre jusqu'à 1,5 mètre de hauteur. Il pousse spontanément dans les sols secs, ensoleillés et calcaires, ce qui explique sa forte résistance aux conditions climatiques difficiles. Son feuillage étroit et linéaire est particulièrement riche en glandes sécrétrices d'huile essentielle, ce qui en fait une plante aromatique de choix dans la distillation à la vapeur d'eau. L'huile essentielle de romarin est extraite principalement à partir des feuilles et des sommités fleuries, et sa composition varie selon le chémotype, c'est-à-dire selon la zone géographique, le climat, le stade de développement de la plante et les conditions de culture (**Spadi et al., 2022**).

Sur le plan chimique, l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* est complexe et comprend une grande variété de monoterpènes et de composés oxygénés. Parmi les constituants majeurs, on retrouve le 1,8-cinéole (eucalyptol), le camphre, le bornéol, l' α -pinène et la verbénone, chacun possédant des propriétés pharmacologiques spécifiques. Cette composition fait du romarin une plante aux multiples vertus : antioxydante, antimicrobienne, antifongique, anti-inflammatoire, expectorante, cholérétique, hépatoprotectrice, et même neuroprotectrice. Il est ainsi utilisé en phytothérapie pour soulager les troubles digestifs, stimuler la circulation sanguine, améliorer la mémoire et protéger le foie (**de Oliveira et al., 2019**).

En aromathérapie, l'huile essentielle de romarin est classée parmi les plus stimulantes du système nerveux central. Elle est souvent indiquée en cas de fatigue mentale, d'épuisement, ou de baisse de concentration. Elle joue également un rôle important dans les soins dermatologiques, notamment pour lutter contre l'acné, les pellicules ou la chute des cheveux,

grâce à ses propriétés antiseptiques et régulatrices de sébum. En cosmétique naturelle, son usage est en constante expansion dans les formulations de shampoings, lotions, crèmes et huiles de massage **(Gallego-Juárez et al., 2020)**.

Sur le plan agroalimentaire et agricole, *Rosmarinus officinalis* est également reconnu pour ses effets conservateurs naturels. Son action antimicrobienne contre un large spectre de bactéries et de champignons pathogènes en fait une alternative prometteuse aux additifs de synthèse dans la conservation des aliments. De plus, dans le domaine agricole, son huile essentielle est étudiée pour ses propriétés insecticides et répulsives contre de nombreux ravageurs, contribuant ainsi à une agriculture plus respectueuse de l'environnement **(Houzi et al., 2024; Krzyżowski et al., 2020)**.

Enfin, *Rosmarinus officinalis* présente un intérêt majeur dans la recherche scientifique moderne, notamment dans les domaines de la pharmacologie expérimentale, de la chimie analytique, de la biotechnologie végétale et de l'agriculture durable. De nombreuses études in vitro et in vivo ont mis en évidence son activité antioxydante puissante, capable de neutraliser les radicaux libres et de prévenir les dommages oxydatifs au niveau cellulaire, un phénomène à l'origine de nombreuses pathologies chroniques comme les maladies cardiovasculaires, neurodégénératives ou cancéreuses **(de Oliveira et al., 2019)**.

Ainsi, étudier l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis*, c'est explorer une ressource naturelle aux propriétés bioactives exceptionnelles, qui pourrait répondre à plusieurs enjeux contemporains : améliorer la santé humaine, réduire la dépendance aux produits chimiques de synthèse, et promouvoir une valorisation durable des plantes médicinales. Ce travail s'inscrit donc dans une démarche scientifique et écologique globale, visant à réhabiliter l'usage des plantes dans une optique moderne, rigoureuse et fondée sur des **preuves (de Oliveira et al., 2019)**.

La synergie de ces deux huiles essentielles pourrait permettre de renforcer l'action biologique de chaque composant, d'obtenir un effet plus large, ou encore de réduire les doses nécessaires pour atteindre une efficacité optimale. C'est précisément cette synergie que nous avons choisi d'évaluer expérimentalement, à travers un modèle végétal pertinent.

Le modèle biologique retenu pour cette étude est la tomate cerise (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*), une variété de tomate appréciée non seulement pour sa valeur économique et nutritionnelle, mais aussi pour ses caractéristiques agronomiques intéressantes en laboratoire. Les graines de tomate cerise présentent une germination rapide, une bonne

sensibilité aux stress chimiques et environnementaux, et une capacité de réponse rapide aux agents exogènes. Elles constituent ainsi un excellent indicateur pour tester l'effet des substances bioactives sur la germination, la croissance racinaire et la vigueur des plantules. De plus, cette espèce appartient à la famille des Solanacées, largement utilisée dans les tests biologiques liés aux substances naturelles (**Kazmi et al., 2017; Adeniji et al., 2019**).

Dans cette optique, notre travail a pour but d'étudier l'activité biologique de la synergie des huiles essentielles de *Cupressus arizonica* et *Rosmarinus officinalis* sur les graines de tomate cerise, en se concentrant sur plusieurs paramètres essentiels :

- Le taux de germination.
- La vitesse de germination.
- L'analyse des résultats comparatifs entre les huiles utilisées seules et en combinaison.

Cette étude vise à valoriser l'utilisation de ressources naturelles dans un cadre écoresponsable, en soulignant l'importance de mieux comprendre les effets de la synergie entre composés phytochimiques. Elle s'inscrit dans une dynamique scientifique qui prône la réduction de la chimie de synthèse au profit de solutions naturelles, dans le respect des équilibres biologiques et de la santé environnementale.

Chapitre I

PARTIE

BIBLIOGRAPHIQUE

I. Partie bibliographique

I.1 Introduction générale aux huiles essentielles en agriculture :

L'agriculture moderne, longtemps dominée par l'usage intensif de produits phytosanitaires de synthèse, est aujourd'hui confrontée à de multiples défis : développement de résistances chez les pathogènes, contamination des sols et des nappes phréatiques, résidus dans les aliments, effets toxiques sur la faune non-cible, et préoccupations croissantes en matière de santé publique. Dans ce contexte, la recherche scientifique s'oriente vers des alternatives naturelles, durables et plus respectueuses de l'environnement. Parmi ces alternatives, les huiles essentielles (HE), extraites de plantes aromatiques, ont émergé comme des agents bioactifs à fort potentiel dans la protection des cultures **(Bakkali et al., 2008)**.

Les HE sont des mélanges complexes de composés volatils principalement constitués de monoterpènes, sesquiterpènes, alcools, phénols, aldéhydes et cétones. Ces composés possèdent une large gamme d'activités biologiques : antimicrobienne, antifongique, insecticide, antioxydante et même herbicide. Leur efficacité, associée à leur biodégradabilité et à leur faible impact environnemental, en fait des candidats prometteurs pour l'agriculture biologique. **(Bakkali et al., 2008)**

I.2 Mode d'action des huiles essentielles :

Le mode d'action des HE repose principalement sur leur capacité à interagir avec les membranes cellulaires des microorganismes. Leur nature lipophile leur permet de pénétrer la bicouche lipidique des membranes, entraînant une désorganisation structurale, des fuites de contenu cellulaire, une inhibition des enzymes membranaires, et finalement, la mort cellulaire (Burt, 2004). Certains composants comme le thymol, le carvacrol ou l'eugénol peuvent perturber le métabolisme énergétique, inhiber la synthèse des protéines ou perturber la communication cellulaire (quorum sensing) **(Hyltdgaard et al., 2012)**.

Par ailleurs, les HE montrent des effets antioxydants significatifs, ce qui leur permet de réduire le stress oxydatif induit par des infections ou des conditions environnementales défavorables. **(Miguel, 2010)**

I.3 Synergie entre huiles essentielles : un phénomène clé :

Le concept de synergie entre huiles essentielles attire de plus en plus l'attention des chercheurs. Contrairement à l'utilisation d'HE isolées, la combinaison de deux huiles peut

entraîner un effet amplifié, supérieur à la somme des effets individuels. Cela s'explique par des interactions entre les composants actifs qui renforcent l'activité globale, étendent le spectre d'action ou réduisent les concentrations nécessaires à l'efficacité (Bassolé et Juliani, 2012). Ce phénomène est particulièrement pertinent dans le contexte de lutte intégrée, où l'objectif est de maximiser l'efficacité tout en minimisant les effets secondaires sur l'environnement.

Les études ont montré que certaines combinaisons, comme celles du romarin avec le thym, ou du girofle avec la cannelle, agissent de façon synergique contre un large éventail de champignons phytopathogènes. Le choix des huiles combinées, leur rapport de mélange, et leur profil chimique sont des facteurs déterminants dans la manifestation de cette synergie. (Nazzaro et al., 2013)

I.4 *Cupressus arizonica* : origine, composition et propriétés biologiques

I.4.1 Origine et localisation de la plante :

L'huile essentielle de *Cupressus arizonica*, également connu sous le nom de cyprès d'Arizona, est extraite principalement des rameaux, des feuilles et parfois des cônes. Cette espèce appartient à la famille des Cupressaceae et est originaire du sud-ouest des États-Unis et du nord du Mexique, où elle pousse naturellement dans les zones arides et semi-arides. (Adams, 2011)

Selon **Boutekedjiret et al. (2003)**, les composés volatils de cette plante sont stockés dans des structures spécialisées telles que :

- les canaux résinifères,
- les glandes sécrétoires présentes dans les tissus foliaires et corticaux.

L'extraction est généralement réalisée par hydrodistillation, une méthode efficace pour les structures ligneuses. Dans des cas plus rares, des méthodes comme l'extraction par CO₂ supercritique peuvent être employées pour une qualité supérieure (**Boutekedjiret et al., 2003**).



Figure 1 Rameaux et cônes de *Cupressus arizonica* (Thierry Lamant, 2021)

I.4.2 Mode d'action biologique

Comme toutes les huiles essentielles, celle du *Cupressus arizonica* agit grâce à sa lipophilie élevée, lui permettant de traverser aisément les membranes cellulaires des microorganismes ou des tissus végétaux. (Turek et Stintzing, 2013)

Son action biologique repose sur plusieurs mécanismes complémentaires. Tout d'abord, l'huile essentielle exerce une perturbation membranaire en désorganisant la bicouche lipidique des membranes cellulaires, ce qui entraîne des fuites du contenu cytoplasmique ainsi qu'une perte des fonctions osmotique et énergétique de la cellule. En parallèle, elle agit sur le métabolisme cellulaire en ciblant certaines enzymes clés, provoquant ainsi une inhibition de la synthèse des protéines et des acides nucléiques. Elle perturbe également le mécanisme de quorum sensing bactérien, essentiel à la communication intercellulaire, et interfère avec la respiration cellulaire, compromettant ainsi la production d'énergie. Ces effets conjugués confèrent à l'huile essentielle une efficacité biologique marquée contre divers agents pathogènes (Bakkali et al., 2008).

I.4.3 Composition chimique

L'huile essentielle de *Cupressus arizonica* se caractérise par une richesse en composés volatils, principalement des monoterpènes tels que l' α -pinène, le limonène et le sabinène, qui sont les constituants majoritaires. Elle contient également des sesquiterpènes, notamment le β -caryophyllène, connus pour leurs propriétés biologiques variées. À ces composés dominants s'ajoutent d'autres substances présentes en moindre quantité comme le camphène ou le

terpinolène. Il est important de noter que la composition chimique de cette huile essentielle peut varier considérablement en fonction de plusieurs facteurs, notamment l'origine botanique, les conditions climatiques et pédologiques, la période de récolte ainsi que la méthode d'extraction utilisée **(Boelens, 1997)**.

I.4.4 Activités biologiques

L'huile essentielle de *Cupressus arizonica* présente une large gamme d'activités biologiques. Elle est dotée d'un fort pouvoir antimicrobien, démontré notamment contre diverses bactéries phytopathogènes. Elle exerce également une activité antifongique remarquable contre plusieurs champignons pathogènes tels que *Fusarium* spp. ou *Alternaria* spp. En outre, son potentiel insecticide ou répulsif a été observé chez plusieurs espèces nuisibles aux denrées stockées, ce qui renforce son intérêt en post-récolte. Par ailleurs, ses propriétés antioxydantes contribuent à la neutralisation des radicaux libres, offrant ainsi une protection contre le stress oxydatif. Enfin, certaines études ont montré une action biostimulante sur les plantes, favorisant la germination et la tolérance au stress abiotique **(Isman, 2000 ; Soković et al., 2010)**

I.4.5 Avantages écologiques et agronomiques

Sur le plan environnemental et agronomique, l'huile essentielle de *Cupressus arizonica* présente plusieurs avantages majeurs. Elle est entièrement biodégradable et ne laisse pas de résidus nocifs dans l'environnement. Sa faible toxicité vis-à-vis des organismes non cibles, lorsqu'elle est appliquée à des doses appropriées, en fait une alternative sûre aux produits phytosanitaires de synthèse. Elle est également compatible avec les principes de l'agriculture biologique, ce qui lui confère un attrait particulier dans les systèmes agricoles durables. De plus, sa capacité à agir sur plusieurs cibles biologiques réduit le risque d'apparition de résistances chez les agents pathogènes ou les ravageurs **(Regnault-Roger et al., 2012 ; Pavela et Benelli, 2016)**

I.4.6 Limites ou contraintes

Malgré ses nombreux atouts, l'utilisation de l'huile essentielle de *Cupressus arizonica* en agriculture présente certaines contraintes. Sa volatilité naturelle peut réduire son efficacité sur le terrain, d'où la nécessité de recourir à des formulations spécifiques telles que l'encapsulation ou les nano-émulsions pour en assurer une libération contrôlée. À forte

concentration, elle peut également exercer des effets phytotoxiques, inhibant notamment la germination ou la croissance des plantes traitées. Par ailleurs, la variabilité de sa composition chimique selon les conditions de culture peut impacter sa constance d'action. Enfin, le coût de production relativement élevé des extraits de qualité constitue un frein à leur utilisation à grande échelle (**Burt, 2004 ; da Silva Bomfim et al., 2020**).

I.4.7 Formes d'application en agriculture

Dans le domaine agricole, l'huile essentielle de *Cupressus arizonica* peut être appliquée sous différentes formes. Elle est notamment utilisée pour le traitement des semences, agissant à la fois comme désinfectant antifongique et comme biostimulant pour la germination. Elle peut également être pulvérisée sur les feuilles afin de protéger les plantes contre les agents pathogènes aériens. Une autre méthode d'utilisation consiste en la fumigation des denrées agricoles stockées, ce qui permet de prévenir les contaminations fongiques et les attaques d'insectes. Enfin, des innovations telles que l'encapsulation ou les nano-formulations permettent une diffusion prolongée et contrôlée des principes actifs, augmentant ainsi l'efficacité de l'huile tout en réduisant les risques de phytotoxicité (**Isman, 2000 ; da Silva Bomfim et al., 2020 ; Regnault-Roger et al., 2012**).

I.5 *Rosmarinus officinalis* : origine, composition et propriétés biologiques

I.5.1 Origine et localisation dans la plante

Rosmarinus officinalis, communément appelé romarin, est une plante aromatique originaire du bassin méditerranéen, appartenant à la famille des *Lamiaceae* (**Denny, 2002**). Elle est largement reconnue pour ses usages traditionnels en cuisine et en phytothérapie, mais elle suscite également un intérêt croissant dans le domaine de la protection des cultures grâce à ses propriétés biologiques. Les huiles essentielles de romarin sont principalement extraites des feuilles et des sommités fleuries, où elles sont produites et stockées dans des structures spécialisées. Ces structures comprennent principalement les trichomes glandulaires, situés à la surface des feuilles, ainsi que le mésophylle foliaire, une zone interne riche en cellules sécrétrices (**Zuzarte et Salgueiro, 2015**). Les techniques d'extraction les plus couramment utilisées pour obtenir l'huile essentielle incluent l'hydrodistillation, qui est la méthode traditionnelle, ainsi que l'expression à froid, bien que celle-ci soit rarement appliquée au romarin. Pour des applications spécifiques, notamment dans les secteurs pharmaceutique et

cosmétique, des méthodes plus avancées telles que l'extraction par solvants ou par dioxyde de carbone supercritique peuvent également être employées (Boutekedjiret et *al.*, 2003).



Figure2 Aspect botanique du *Rosmarinus officinalis* – fleurs en floraison et rameau frais utilisé pour l'extraction (fetura, 2024)

I.5.2 Mode d'action biologique

Les composants lipophiles présents dans l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* agissent sur plusieurs cibles biologiques. Leur action commence par une perturbation de la membrane cellulaire des microorganismes, en particulier les bactéries et les champignons, par désorganisation de la bicouche lipidique. Cela entraîne des fuites du contenu intracellulaire, compromettant ainsi la viabilité des cellules. Par ailleurs, ces composés inhibent des processus cellulaires essentiels tels que la respiration mitochondriale et l'activité de nombreuses enzymes. En parallèle, l'huile de romarin possède une forte activité antioxydante, grâce à certains de ses constituants capables de piéger les radicaux libres, protégeant ainsi les cellules végétales contre le stress oxydatif. Enfin, certains composés exercent un effet biostimulant, en modulant l'activité de phytohormones telles que les gibberellines et les auxines, tout en activant des enzymes impliquées dans le déclenchement de la germination (Viuda-Martos et *al.*, 2010 ; Bakkali et *al.*, 2008).

I.5.3 Composition chimique

L'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* est caractérisée par une composition complexe dominée par le 1,8-cinéole (ou eucalyptol), le camphre, et l' α -pinène. D'autres composés importants incluent le bornéol, la verbénone, le linalol, et l'acétate de bornyle. Cette composition varie sensiblement selon de nombreux facteurs tels que le chimotype de la plante, l'origine géographique, les conditions climatiques, le stade de floraison au moment de la récolte, ainsi que la méthode d'extraction utilisée. Ces variations influencent directement l'efficacité biologique et l'usage ciblé de l'huile essentielle (**Bozin et al., 2007 ; Angioni et al., 2004**).

I.5.4 Activités biologiques

L'huile essentielle de romarin possède une large gamme d'activités biologiques démontrées. Elle présente une forte activité antimicrobienne, inhibant efficacement aussi bien les bactéries Gram-positives que Gram-négatives. Elle possède également des propriétés antifongiques, notamment contre des agents pathogènes agricoles tels que *Botrytis cinerea*, *Fusarium spp.*, ou *Aspergillus spp.*. Son activité antioxydante, liée à la neutralisation des espèces réactives de l'oxygène (ROS), contribue à la protection des cellules végétales contre les dommages oxydatifs. En agriculture, elle est aussi reconnue pour son rôle biostimulant, en améliorant la germination, la croissance racinaire et la résistance des plantes face aux stress abiotiques. À des concentrations plus élevées, l'huile de romarin peut agir comme un herbicide naturel, inhibant la croissance des adventices. Enfin, elle présente une activité insecticide et répulsive contre divers ravageurs tels que les pucerons, les acariens et certains coléoptères (**Raut et Karuppayil, 2012 ; Moghaddam et al., 2014**).

I.5.5 Avantages écologiques et agronomiques

L'huile essentielle de romarin présente plusieurs avantages pour une utilisation durable en agriculture. Elle est entièrement biodégradable et ne laisse pas de résidus persistants dans l'environnement. Compatible avec les pratiques de l'agriculture biologique, elle constitue une alternative naturelle intéressante aux produits chimiques de synthèse. Son action sur plusieurs cibles biologiques réduit considérablement le risque d'apparition de résistances. De plus, son faible impact environnemental, lorsqu'elle est bien formulée, en fait un outil adapté aux systèmes agricoles soucieux de durabilité (**Isman, 2000 ; Regnault-Roger et al., 2012**).

I.5.6 Limites ou contraintes

Malgré ses propriétés prometteuses, l'utilisation de l'huile essentielle de romarin en agriculture présente certaines limites. Sa volatilité élevée peut réduire sa durée d'action sur le terrain, rendant parfois nécessaire le recours à des technologies de formulation avancées. À des doses non maîtrisées, elle peut devenir phytotoxique et nuire au développement des plantes. Par ailleurs, la composition de l'huile peut varier selon l'origine de la plante et les conditions de culture, ce qui complique sa standardisation. Enfin, son coût de production reste relativement plus élevé que celui des pesticides chimiques de masse, bien que ce surcoût puisse être compensé par ses avantages environnementaux (**Pavela et Benelli, 2016 ; Sharma et al., 2019**).

I.5.7 Formes d'application en agriculture

L'huile essentielle de romarin peut être appliquée sous diverses formes en agriculture. Elle est notamment utilisée pour le traitement des semences, contribuant à la désinfection antifongique et à la stimulation du processus germinatif. Elle peut également être appliquée par pulvérisation, soit sur les feuilles, soit au niveau du sol ou des racines, selon la cible visée. En post-récolte, elle peut être utilisée en fumigation ou en ambiance contrôlée pour limiter les contaminations fongiques. Enfin, les formes modernes comme l'encapsulation ou les nano-émulsions permettent une application plus ciblée et une libération prolongée des principes actifs, optimisant ainsi son efficacité tout en réduisant les effets secondaires (**Koul et al., 2008 ; Sharma et al., 2019**).

I.6 Les graines de tomate cerise : un modèle sensible mais stratégique

La tomate cerise (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) constitue une culture horticole de grande valeur économique. Toutefois, ses graines sont particulièrement sensibles aux contaminations fongiques par des genres tels que *Fusarium*, *Alternaria* ou *Aspergillus*. Ces agents pathogènes peuvent provoquer la fonte des semis, la pourriture des graines, et une chute significative du taux de germination. À ce jour, le traitement chimique reste la méthode la plus largement utilisée pour protéger les semences. Néanmoins, cette pratique soulève des préoccupations croissantes en matière de sécurité alimentaire et de respect de l'environnement. Dans ce contexte, l'utilisation d'huiles essentielles comme agents alternatifs de traitement des semences apparaît comme une stratégie prometteuse. Des études antérieures ont montré que certaines huiles, comme celles de thym, de girofle, de cannelle ou de romarin, permettent non

seulement de désinfecter les graines, mais aussi de stimuler leur pouvoir germinatif (Moghaddam et *al.*, 2014 ; Raut et Karuppayil, 2012).

Chapitre II

Matériel et méthodes

II. Matériel et méthodologie de travail :

II.1 Matériel :

II.1.1 Matériel biologique :

Dans cette étude, les graines de tomate cerise (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) ont été utilisées comme modèle biologique. Cette variété a été choisie en raison de sa rapidité de germination, de sa sensibilité aux agents exogènes, ainsi que de sa pertinence en tant qu'indicateur dans les essais biologiques (**Demir et Mavi, 2008**). L'objectif était d'évaluer l'effet de différentes huiles essentielles sur la germination et la croissance initiale des plantules.

Les huiles essentielles testées comprennent celle de *Cupressus arizonica* (cyprès de l'Arizona), ainsi qu'un mélange synergique composé de *Cupressus arizonica* et de *Rosmarinus officinalis* (romarin). Ce mélange a été étudié dans le but d'observer un éventuel effet combiné plus marqué que celui de chaque huile utilisée individuellement.

II.1.2 Matériel expérimental :

L'expérimentation a nécessité l'utilisation de plusieurs équipements de base adaptés à la germination en conditions contrôlées. Des boîtes de Pétri stériles de diamètre standard ont servi de support aux graines, tapissées de papiers filtres pour maintenir une humidité constante.

La préparation des solutions a été réalisée à l'aide de pipettes graduées ou de micropipettes permettant un dosage précis des solutions mères. Ces dernières ont été pesées à l'aide d'une balance électronique de précision, les quantités utilisées correspondant aux doses expérimentales fixées (0,024 g, 0,048 g et 0,072 g). Les mélanges ont été préparés dans des bouteilles ou des tubes adaptés.

L'eau du robinet a été utilisée comme solvant dans tous les traitements, garantissant une application homogène des huiles essentielles. Pour assurer un bon suivi des échantillons, chaque boîte de Pétri a été étiquetée à l'aide de marqueurs permanents. Enfin, des gants et du matériel de protection ont été employés afin de garantir des manipulations propres, sécurisées et sans contamination.

II.2 Méthode de travail :

II.2.1 Préparation des solutions

Les doses expérimentales ont été préparées en diluant les solutions mères formulées à 10% de matière active dans de l'eau du robinet. Chaque solution a été obtenue en mélangeant une dose précise d'huile essentielle avec exactement 15,95 g d'eau. Trois concentrations différentes ont été testées afin d'observer l'effet dose-dépendant de l'huile essentielle sur les graines de tomate cerise. La première concentration (D1) correspond à 0,024 g, la seconde (D2) à 0,048 g, et la troisième (D3) à 0,072 g de solution mère. Un traitement témoin (T), constitué uniquement d'eau du robinet sans huile essentielle, a été utilisé comme référence pour l'ensemble des comparaisons. Pour chaque traitement, une quantité de 4 ml de la solution préparée a été appliquée dans chaque boîte de Pétri.



Figure 3. Pesée précise des volumes d'huiles essentielles à l'aide d'une balance analytique (0,001 g de précision) pour la préparation des différentes concentrations utilisées dans les tests de germination.

II.2.2 Montage expérimental

L'expérimentation a été réalisée in vitro en utilisant des boîtes de Pétri stériles, dans lesquelles les conditions ont été standardisées pour garantir la reproductibilité des résultats. Dans chaque boîte, cinq graines de tomate cerise ont été soigneusement disposées sur un papier filtre humidifié par la solution correspondante. Chaque traitement, y compris le témoin, a été répliqué quatre fois, soit un total de quatre boîtes par traitement. Deux catégories de traitements ont été prises en compte dans cette étude : l'huile essentielle de *Cupressus arizonica* utilisée seule, et un mélange synergique de *Cupressus arizonica* avec *Rosmarinus officinalis*. Les boîtes ont été conservées à température ambiante, dans des conditions stables, tout au long de la période d'observation.

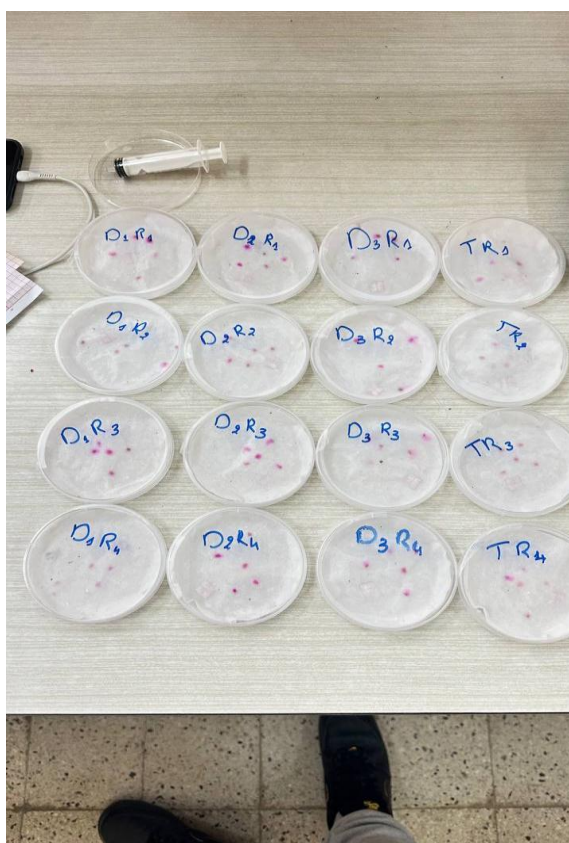


Figure 4. Dispositif expérimental de germination : boîtes de Pétri contenant des graines de tomate cerise traitées avec différentes doses d'huiles essentielles et leurs répliquats témoin

II.2.3 Paramètres évalués

Les observations ont été réalisées quotidiennement durant toute la période expérimentale. Pour le traitement à base d'huile essentielle de cyprès seule, la durée de suivi a été de quinze jours, tandis qu'elle a été réduite à sept jours pour le traitement en synergie. Le

principal paramètre mesuré était le nombre de graines germées dans chaque boîte, indicateur direct de l'effet des traitements appliqués sur la capacité germinative des semences.

II.2.4 Analyse des données

L'ensemble des données collectées a été saisi et organisé dans un tableau Excel. Pour chaque traitement, la moyenne des quatre répétitions a été calculée pour le paramètre étudié. Afin de faciliter la comparaison des résultats, des représentations graphiques ont été générées. Ces graphiques ont permis d'analyser l'effet des différentes doses (D1, D2, D3) par rapport au témoin, ainsi que de comparer l'efficacité de l'huile essentielle de cyprès seule à celle de la synergie avec le romarin.

Chapitre III

Résultats

III. Résultats :

III.1- Étude de l'huile essentielle de *Cupressus arizonica* Seule

Tableau 3. Pourcentage de germination des graines de tomate cerise traité par l'huile essentielle de *Cupressus arizonica* seule

		D1	D2	D3	
	Jour	%	%	%	T %
1	Jour	0%	0%	0%	0%
2	Jour	0%	0%	0%	0%
3	Jour	0%	0%	0%	0%
4	Jour	65%	65%	60%	60%
5	Jour	70%	85%	65%	65%
6	Jour	70%	90%	65%	65%
7	Jour	75%	90%	80%	65%
8	Jour	80%	90%	85%	70%
9	Jour	80%	95%	90%	75%
10	Jour	80%	95%	90%	75%
11	Jour	80%	95%	90%	75%
12	Jour	80%	95%	90%	75%

La germination des graines de tomate cerise commence à partir du quatrième jour pour tous les traitements. La dose intermédiaire (D2 – 0,048 g) s'avère la plus efficace, atteignant rapidement un taux de germination de 95 % dès le neuvième jour. La dose élevée (D3 – 0,072 g) présente une efficacité proche, mais avec un léger retard. En revanche, la dose faible (D1 – 0,024 g) plafonne à 80 %, montrant un effet stimulant plus modéré. Le témoin, sans huile essentielle, atteint seulement 75 %, confirmant l'effet positif des huiles essentielles. Ces résultats indiquent une relation dose-dépendante et montrent que D2 optimise la germination de manière significative.

III.1.1. Effet de l'huile essentielle formulée de *Cupressus arizonica* (seule) sur la Vitesse de germination

La courbe de la figure 5 représentant la vitesse de germination des graines de tomate cerise traitées avec les trois doses de l'huile essentielle de *Cupressus arizonica* montre des différences nettes d'intensité germinative selon la concentration utilisée. La dose moyenne (D2) se distingue par une vitesse de germination plus élevée, atteignant son pic plus rapidement et maintenant une dynamique plus soutenue sur la période d'observation. À l'inverse, la dose faible (D1) présente une progression plus lente, traduisant un effet modérément stimulant. La dose élevée (D3) montre une activation plus tardive que D2, mais plus efficace que D1. Le témoin (T), quant à lui, affiche la vitesse la plus faible, ce qui confirme l'effet positif de l'huile essentielle. Ces observations suggèrent que la dose intermédiaire optimise l'activation enzymatique et l'absorption hydrique des graines, accélérant ainsi leur germination.

La dose moyenne optimise la vitesse de germination, surpassant toutes les autres conditions expérimentales.

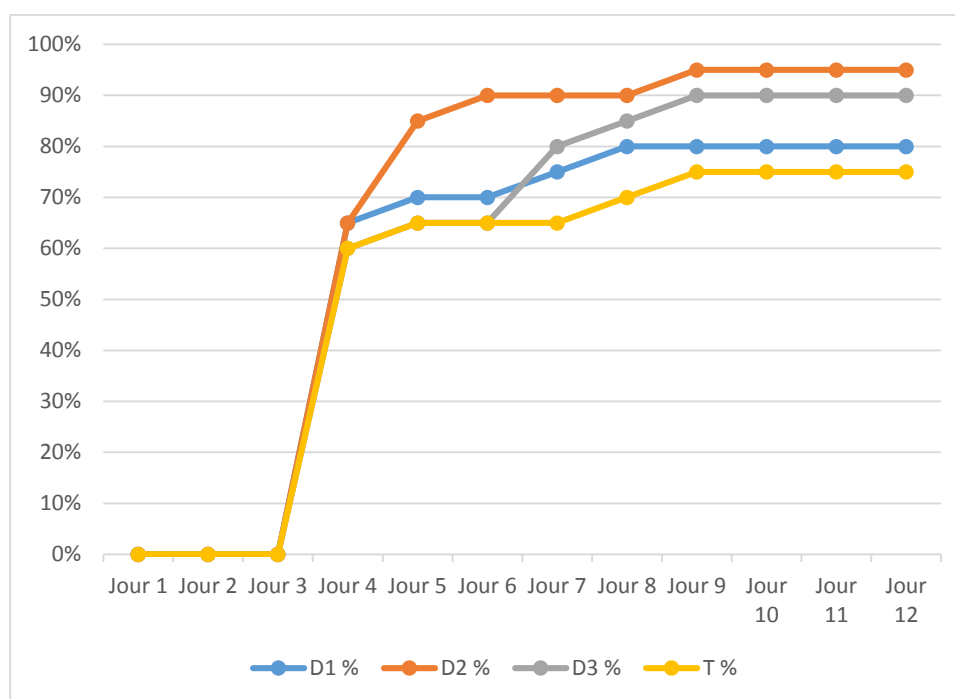


Figure 3. Évolution temporelle de la vitesse de germination des graines de tomate cerise sous l'effet de la bioformulation de *Cupressus arizonica* seule

III.1.2. Effet de l'huile essentielle formulée de *Cupressus arizonica* (seule) sur le taux de germination

L'histogramme d'évolution temporelle du taux de germination de la figure 6 confirme les tendances observées dans la vitesse de germination. D2 atteint un taux final de 95 %, démontrant son efficacité maximale. D3 suit avec 90 %, indiquant une légère inhibition à forte dose, probablement en lien avec la concentration de certains composés volatils. D1 plafonne à 80 %, traduisant un effet modeste. Le témoin stagne à 75 %, ce qui témoigne d'un taux de germination naturel relativement bas. Globalement, ces résultats démontrent que l'huile essentielle exerce une action stimulante dépendante de la dose, avec un effet optimal observé pour la concentration moyenne.

L'huile essentielle de *Cupressus arizonica* appliquée seule exerce un effet stimulant sur la germination, particulièrement marqué à dose moyenne.

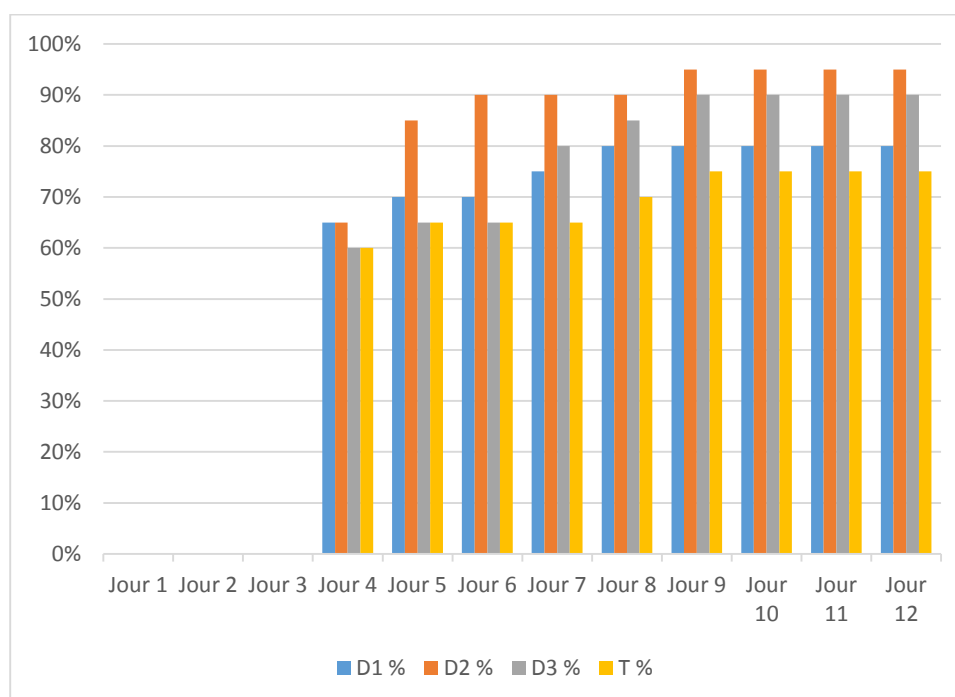


Figure 4. Évolution temporelle du taux de germination des graines de tomate cerise sous l'effet de la bioformulation de *Cupressus arizonica* seule

III.1.3. Comparaison dose 1 et témoin sur la vitesse de germination

La courbe de la figure 7 montrent que la vitesse de germination chez les graines traitées par D1 est systématiquement supérieure à celle du témoin. Dès les premiers jours, une différence significative apparaît, traduisant l'impact positif de l'huile même à faible dose. Le témoin montre une activation plus lente, avec des vitesses faibles et irrégulières.

Même à faible dose, l'huile essentielle améliore nettement la vitesse de germination par rapport au témoin.

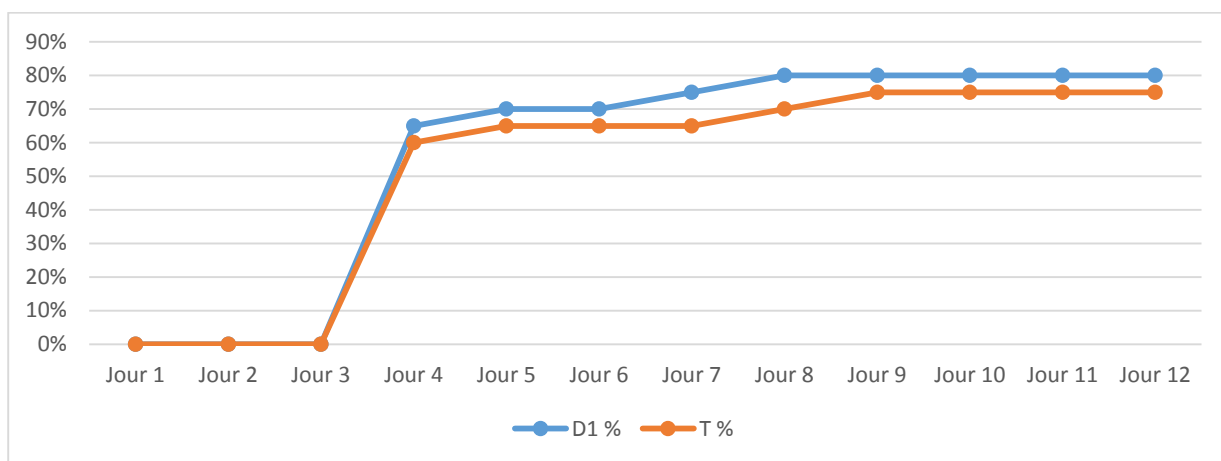


Figure 5. Comparaison dose 1 et témoin sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.1.4. Comparaison dose 1 et témoin sur le taux de germination

Selon la figure 8, les résultats montrent que le taux de germination de D1 reste supérieur tout au long de l'expérience, atteignant 80 % contre 75 % pour le témoin. La progression est plus stable et régulière chez D1, illustrant un effet modérément efficace mais constant de l'huile essentielle.

L'huile essentielle améliore le taux de germination de façon notable par rapport à l'absence de traitement.

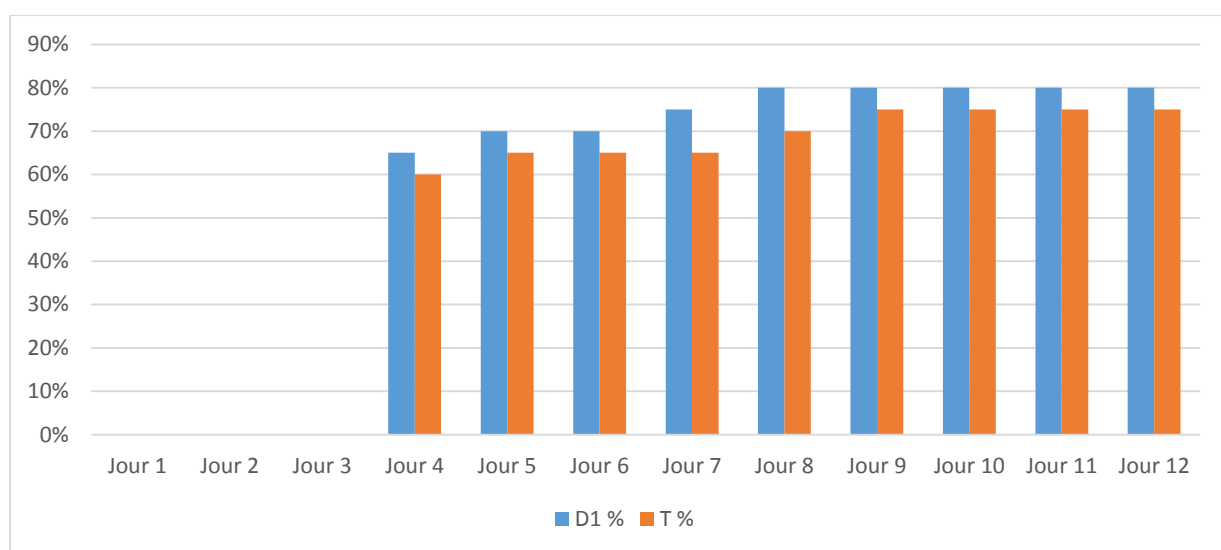


Figure 6. Comparaison dose 1 et témoin sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.1.5. Comparaison dose 1 et dose 2 sur la vitesse de germination

La courbe de la figure 9 montre que la dose D2 induit une vitesse de germination plus élevée et plus précoce que D1. Cette différence devient particulièrement marquée à partir du jour 5, où D2 surpasse nettement D1. La cinétique de germination est plus dynamique avec la dose moyenne.

D2 permet une activation plus rapide des graines que D1, démontrant une efficacité supérieure.

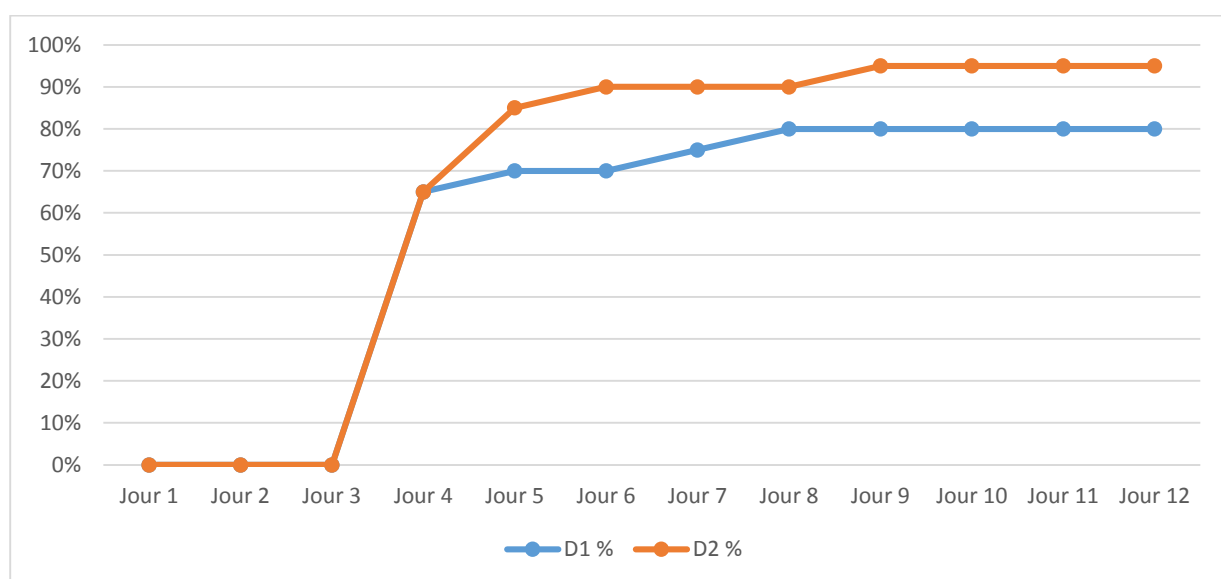


Figure 7. Comparaison dose 1 et dose 2 sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.1.6. Comparaison dose 1 et dose 2 sur le taux de germination

L'histogramme d'évolution temporelle du taux de germination de la figure 10 montrent que la dose D2 atteint un taux final de 95 %, contre 80 % pour D1. Dès le jour 5, l'écart est significatif. La croissance est également plus rapide et continue avec D2, sans stagnation.

D2 est la dose la plus efficace pour maximiser le taux de germination.

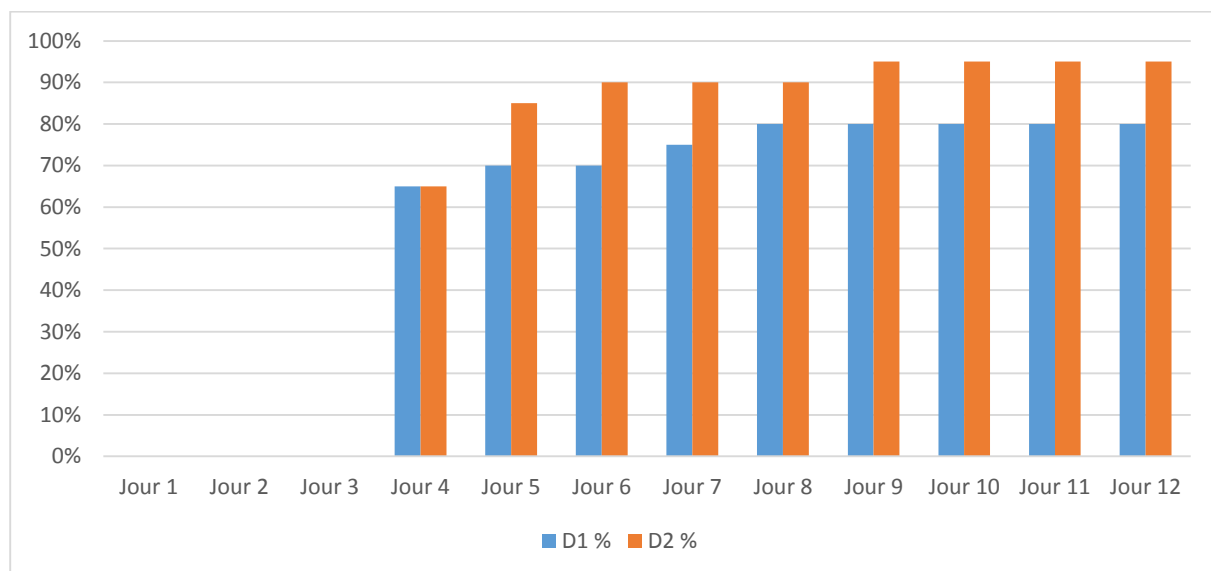


Figure 8. Comparaison dose 1 et dose 2 sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.1.7. Comparaison dose 1 et dose 3 sur la vitesse de germination

La courbe de la figure 11 montrent que la vitesse de germination de D3 dépasse celle de D1 à partir du jour 6. D3 montre un démarrage lent mais une accélération marquée, tandis que D1 progresse de manière plus linéaire et modérée.

D3 offre une meilleure performance en vitesse de germination, malgré un effet retardé initialement.

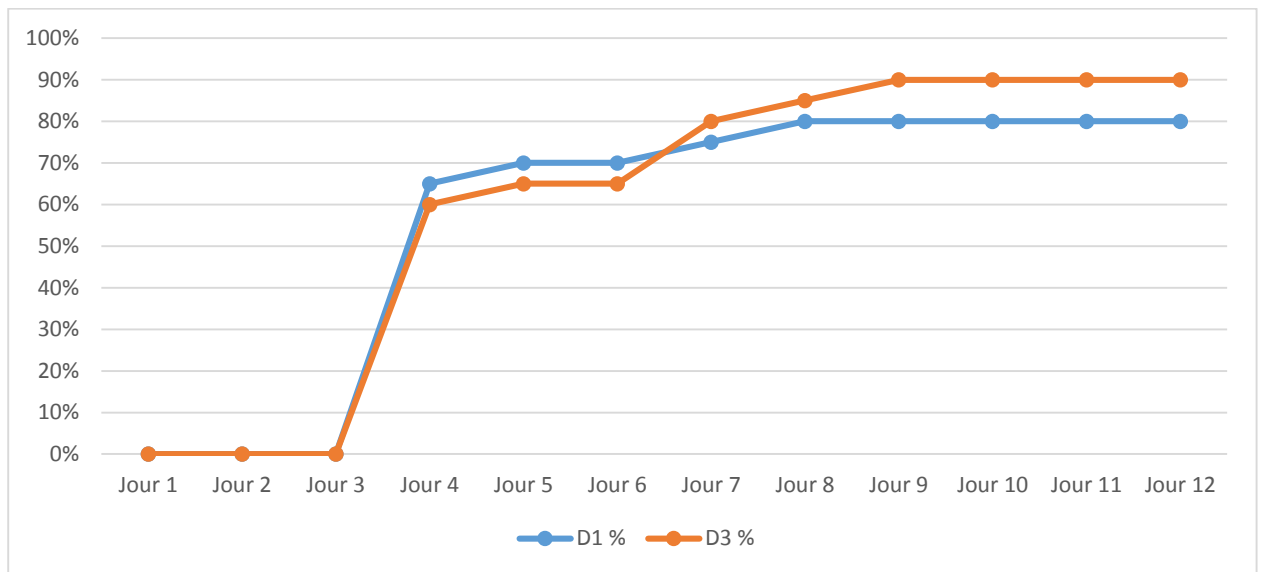


Figure 9. Comparaison dose 1 et dose 3 sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.1.8. Comparaison dose 1 et dose 3 sur le taux de germination

L'historique d'évolution temporelle du taux de germination de la figure 12 montrent que D3 dépasse D1 de 10 % en taux final. Le renversement s'opère à partir du jour 7, où D3 surpasse durablement D1. Ce comportement souligne une efficacité supérieure à forte dose.

La dose élevée permet une germination plus efficace que la dose faible, malgré un début plus lent.

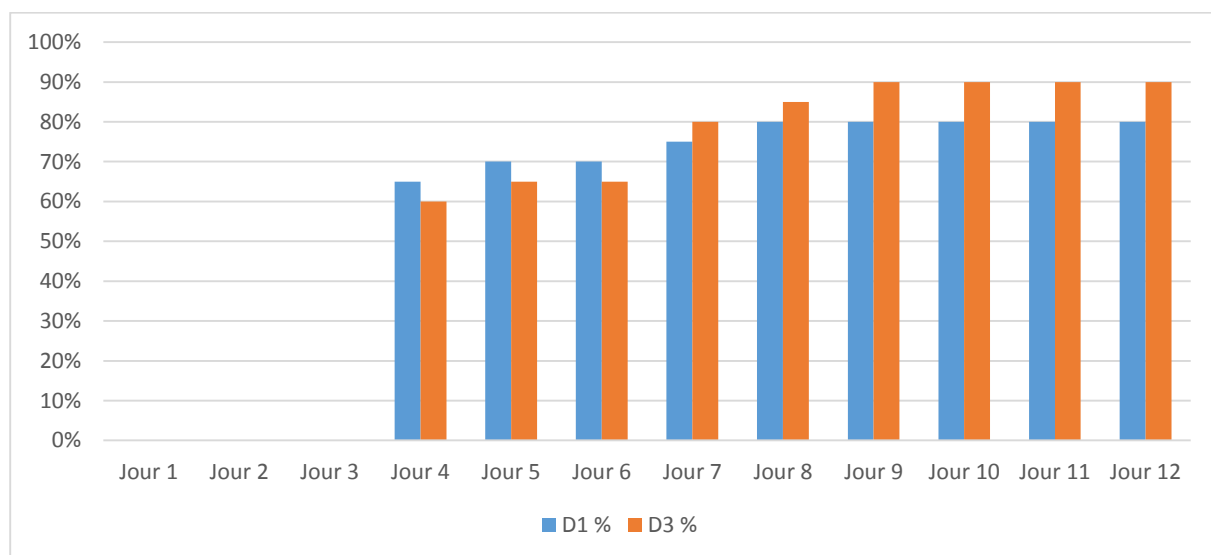


Figure 10. Comparaison dose 1 et dose 3 sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.1.9. Comparaison dose 2 et dose 3 sur la vitesse de germination

La courbe de la figure 13 montrent que les courbes montrent que D2 déclenche plus rapidement une vitesse de germination élevée que D3, qui présente une montée plus progressive. D2 atteint son pic plus tôt et de façon plus constante.

D2 est plus performant que D3 en termes de vitesse de germination, avec une activation plus rapide.

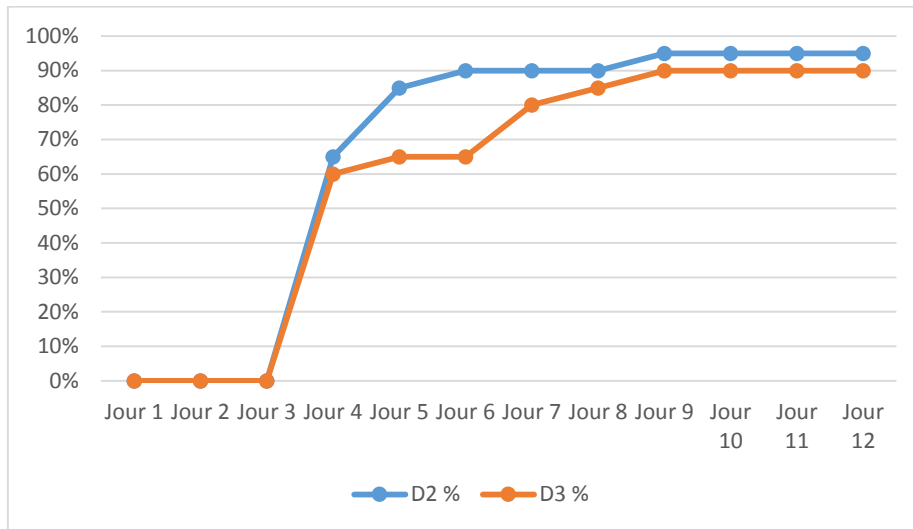


Figure 13. Comparaison dose 2 et dose 3 sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.1.10. Comparaison dose 2 et dose 3 sur le taux de germination

L'histogramme d'évolution temporelle du taux de germination de la figure 14 montrent que la comparaison du taux de germination entre les doses moyenne (D2) et élevée (D3) révèle une supériorité constante de D2 tout au long de l'expérience. Dès les premiers jours, D2 prend une légère avance qui se creuse progressivement pour atteindre un écart final de 5 %. D2 atteint son plateau maximal de 95 % dès le neuvième jour, tandis que D3 se stabilise à 90 %. Cette différence, bien que modeste, suggère que la concentration moyenne favorise une activation enzymatique plus efficace sans provoquer de saturation ou d'inhibition.

La dose moyenne (D2) reste la plus performante en termes de taux de germination, dépassant légèrement mais régulièrement la dose élevée (D3).

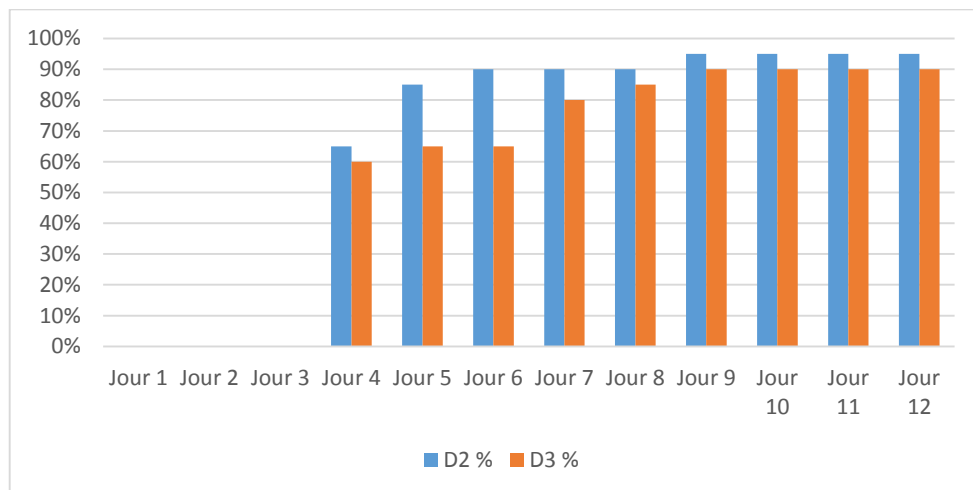


Figure14 . Comparaison dose 2 et dose 3 sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.2. Étude de la Synergie des 2 huiles essentielles de *Rosmarinus officinalis* et *Cupressus arizonica*

Tableau 4. Pourcentage de germination des graines de tomate cerise traité par la synergie des huiles essentielles de *Rosmarinus Officinalis* et *Cupressus arizonica*

	Jour	D1 %	D2 %	D3 %	T %
1	Jour	0%	0%	0%	0%
2	Jour	0%	0%	0%	0%
3	Jour	20%	30%	35%	5%
4	Jour	30%	45%	40%	5%
5	Jour	50%	60%	55%	15%
6	Jour	70%	80%	65%	20%
7	Jour	75%	80%	85%	30%

La germination des graines commence dès le troisième jour, avec un démarrage plus rapide et plus fort pour les graines traitées aux huiles essentielles. La dose D3 (0,072 g) affiche le taux de germination le plus élevé dès les premiers jours, atteignant 85 % au jour 7, ce qui en fait la plus efficace à court terme. La dose D2 (0,048 g) montre également une bonne performance avec 80 % dès le jour 6, mais sa progression ralentit légèrement ensuite. La dose D1 (0,024 g) progresse plus lentement et atteint un maximum de **75 %**. Le témoin (eau seule) reste nettement en retrait, n'atteignant que 30 % au jour 7.

Ces résultats confirment l'effet stimulant des huiles essentielles sur la germination, avec une efficacité optimale à la dose la plus élevée (D3) dans les premiers jours.

III.2.1. Effet de la synergie des deux huiles essentielles sur la vitesse de germination

La courbe de la figure 15 montrent que les doses synergiques entraînent une augmentation significative de la vitesse de germination, notamment pour D2 et D3. D1 progresse lentement, mais reste supérieure au témoin. La synergie semble renforcer l'effet stimulant sur la germination par rapport à l'HE seule.

La combinaison des deux huiles essentielles améliore considérablement la vitesse de germination, surtout à dose moyenne et élevée.

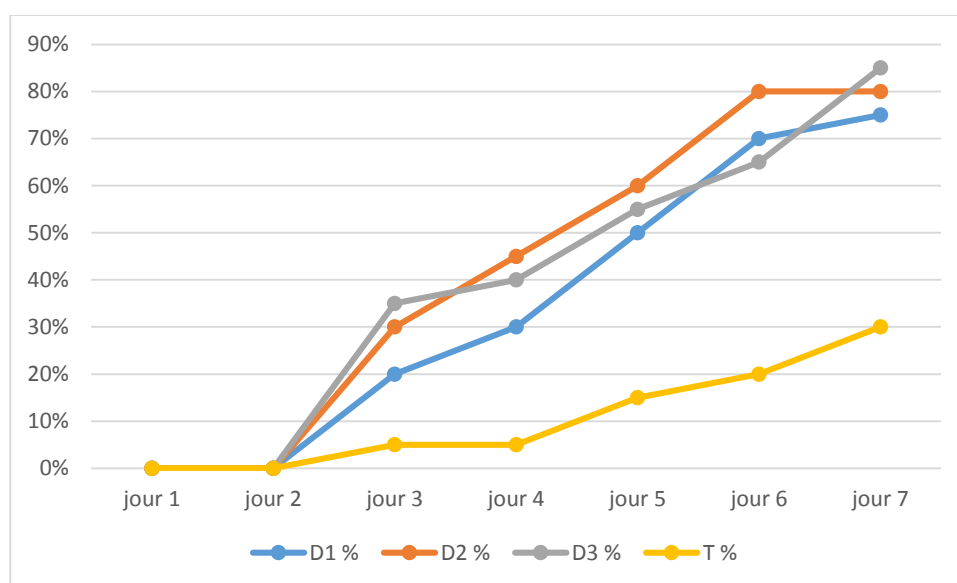


Figure 15. Évolution temporelle de la vitesse de germination des graines de tomate cerise sous l'effet de la bioformulation de la synergie de *Rosmarinus arizonica* et *Cupressus officinalis*

III.2.2. Effet de la synergie des deux huiles essentielles sur la Taux de germination

L'histogramme d'évolution temporelle du taux de germination de la figure 16 montrent que D3 affiche un taux final de 85 %, D2 de 80 %, et D1 de 75 %, alors que le témoin plafonne à 30 %. Ces résultats confirment un effet synergique bénéfique sur la germination, avec un rendement optimal à dose forte.

La synergie stimule efficacement la germination, surpassant largement le témoin non traité.

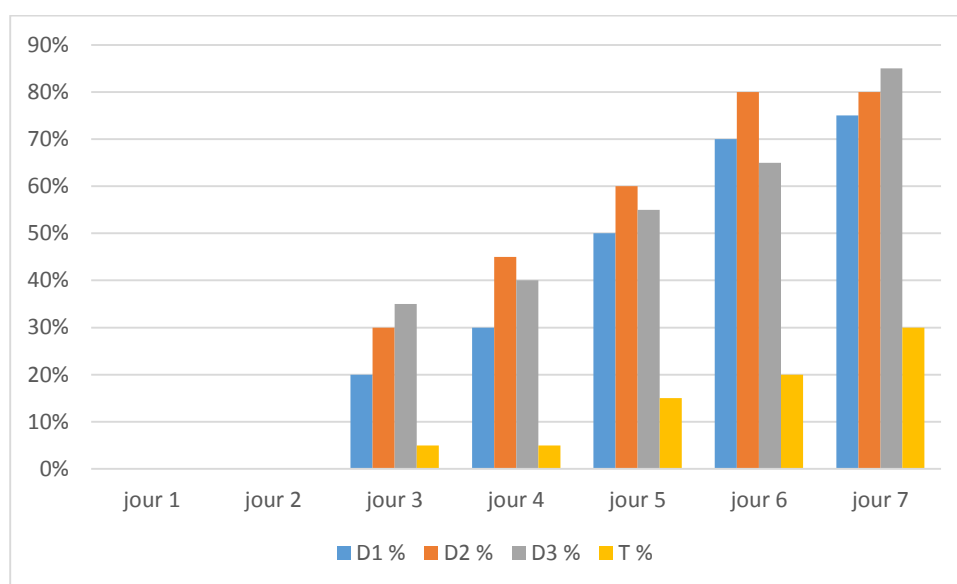


Figure 16. Évolution temporelle du taux de germination des graines de tomate cerise sous l'effet de la bioformulation de la synergie de *Rosmarinus arizonica* et *Cupressus officinalis*

III.2.3. Comparaison dose 1 et témoin sur la vitesse de germination

La courbe de la figure 17 montrent que D1 présente une vitesse de germination nettement supérieure au témoin dès le début. Cette supériorité persiste tout au long de l'expérience, avec un rythme plus soutenu et régulier.

Même à faible dose, la synergie est plus efficace que l'absence de traitement.

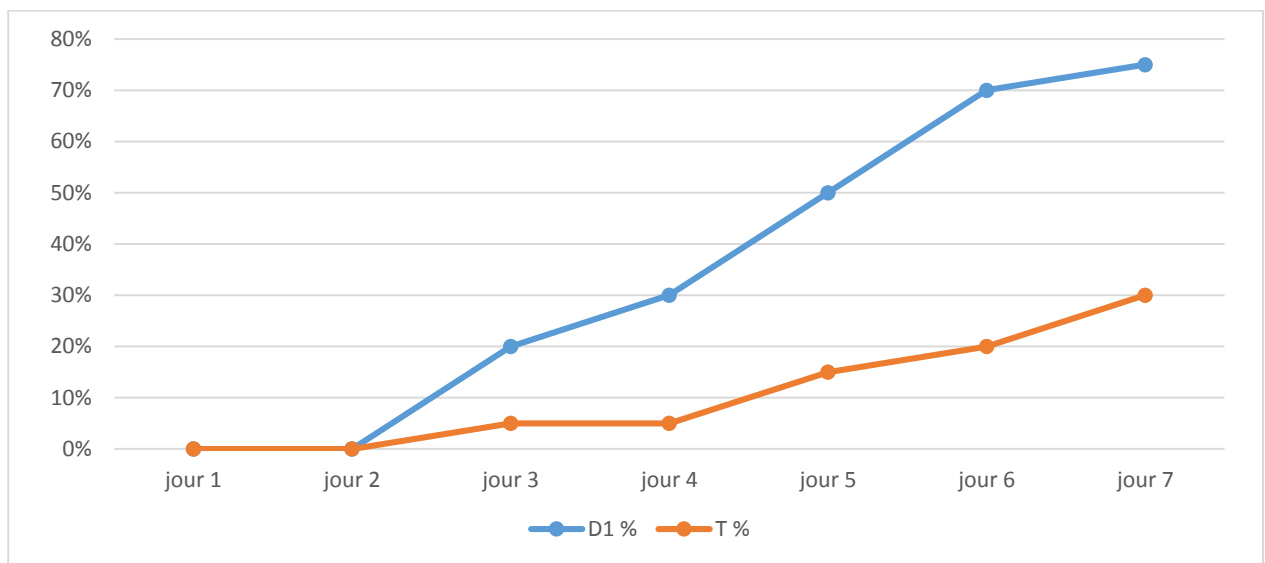


Figure 17. Comparaison dose 1 et témoin sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.2.4. Comparaison dose 1 et témoin sur le taux de germination

L'historique d'évolution temporelle du taux de germination de la figure 18 montrent que D1 atteint 75 % de germination, contre seulement 30 % pour le témoin. Cette différence illustre clairement l'impact positif du bioproduit synergique.

La synergie améliore de manière significative le taux de germination par rapport au témoin.

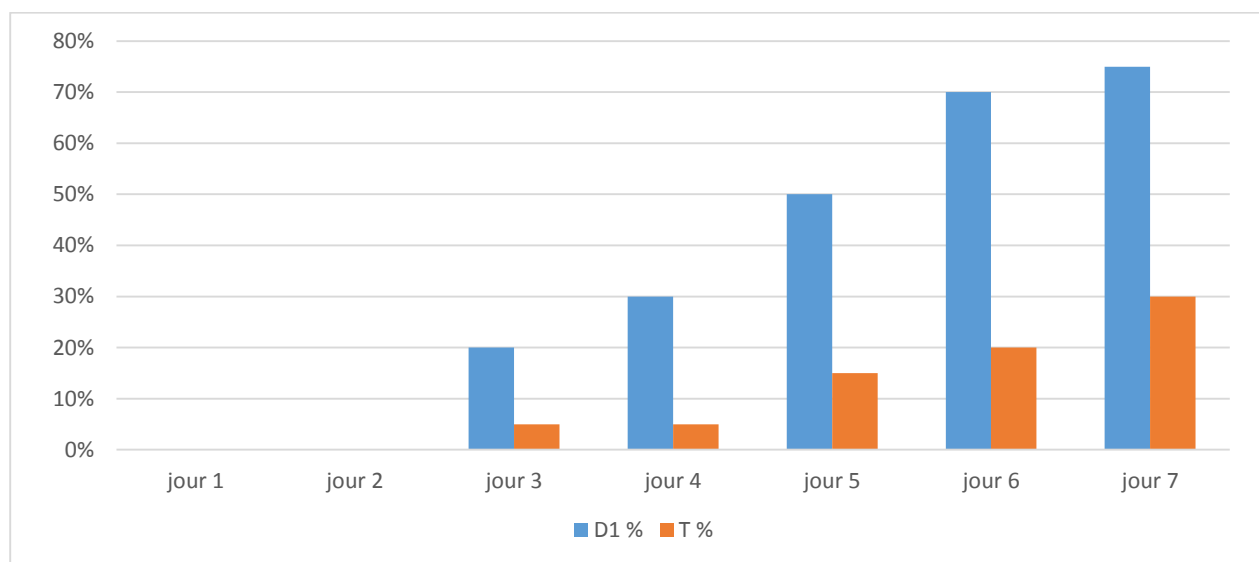


Figure 18. Comparaison dose 1 et témoin sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.2.5. Comparaison dose 1 et dose 2 sur la vitesse de germination

La courbe de la figure 19 montrent que la vitesse de germination de D2 dépasse celle de D1 dès le jour 3. L'écart s'accroît progressivement, traduisant une activation plus rapide à dose moyenne.

D2 permet une meilleure vitesse de germination que D1 dans le contexte synergique.

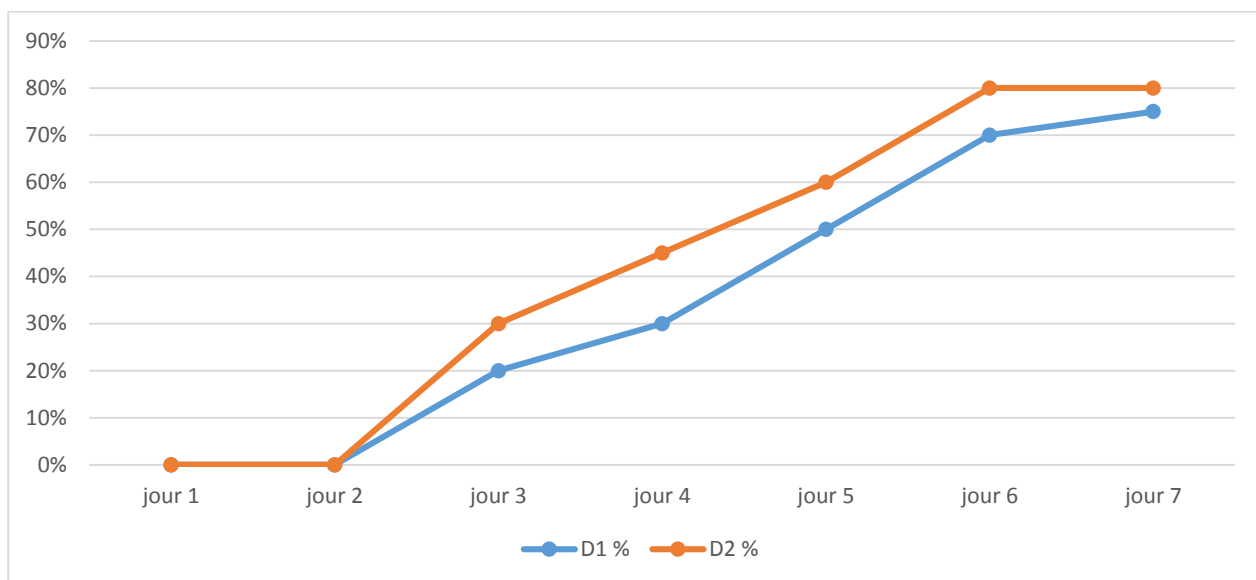


Figure 19. Comparaison dose 1 et dose 2 sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.2.6. Comparaison dose 1 et dose 2 sur le taux de germination

L'histogramme d'évolution temporelle du taux de germination de la figure 20 montrent que D2 atteint 80 %, contre 75 % pour D1. Bien que l'écart final soit modéré, la courbe de D2 montre une croissance plus dynamique.

La dose moyenne demeure la plus performante pour améliorer le taux de germination dans la synergie.

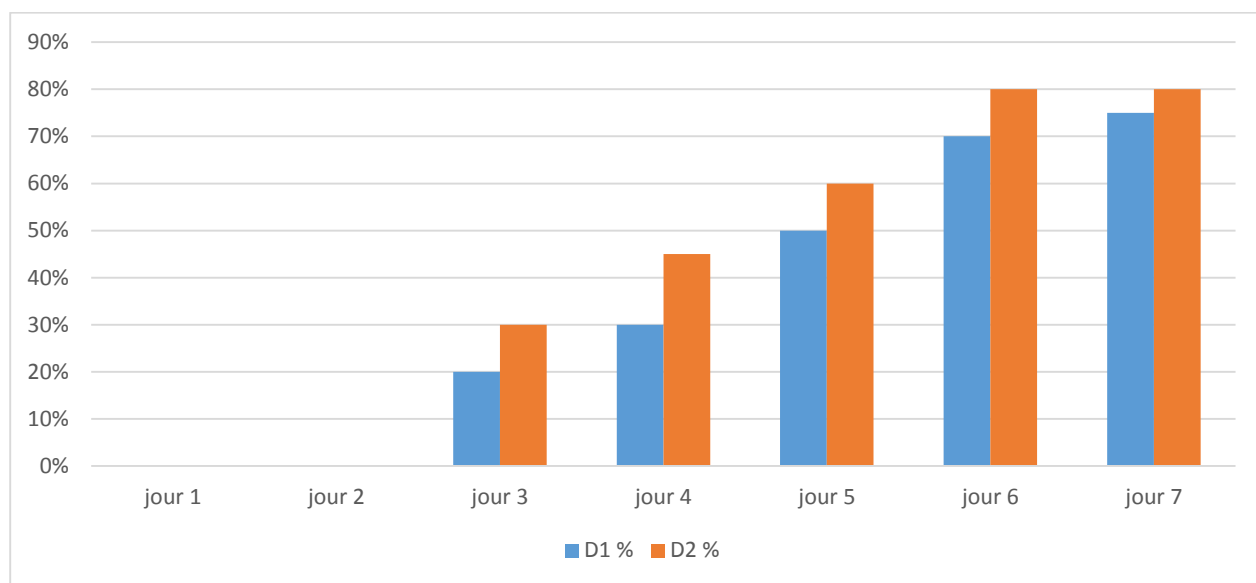


Figure 20. Comparaison dose 1 et dose 2 sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.2.7. Comparaison dose 1 et dose 3 sur la vitesse de germination

La courbe de la figure 21 montrent que D3 montre une vitesse de germination croissante qui dépasse rapidement celle de D1. La progression est plus marquée, notamment à partir du jour 5.

D3 est plus performant que D1 en termes de vitesse de germination dans la formulation synergique.

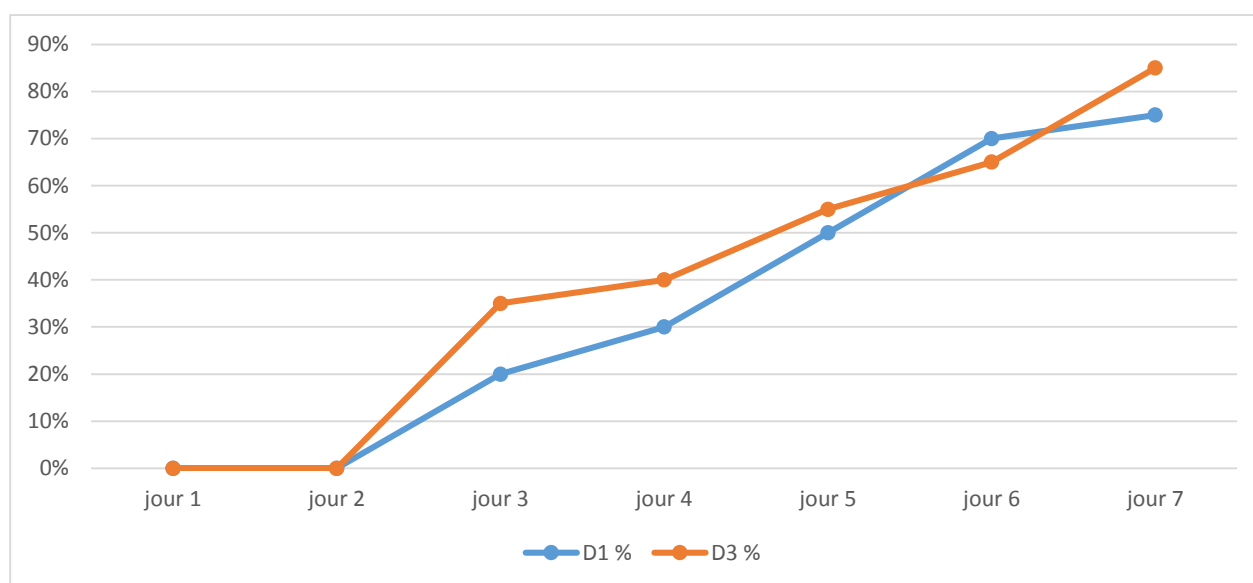


Figure 21. Comparaison dose 1 et dose 3 sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.2.8. Comparaison dose 1 et dose 3 sur le taux de germination

L'histogramme d'évolution temporelle du taux de germination de la figure 22 montrent que la dose forte atteint un taux de germination supérieur de 85 % pour D3 contre 75 % pour D1. L'évolution est plus rapide et plus constante chez D3.

D3 offre un meilleur rendement germinatif que D1 dans la synergie.

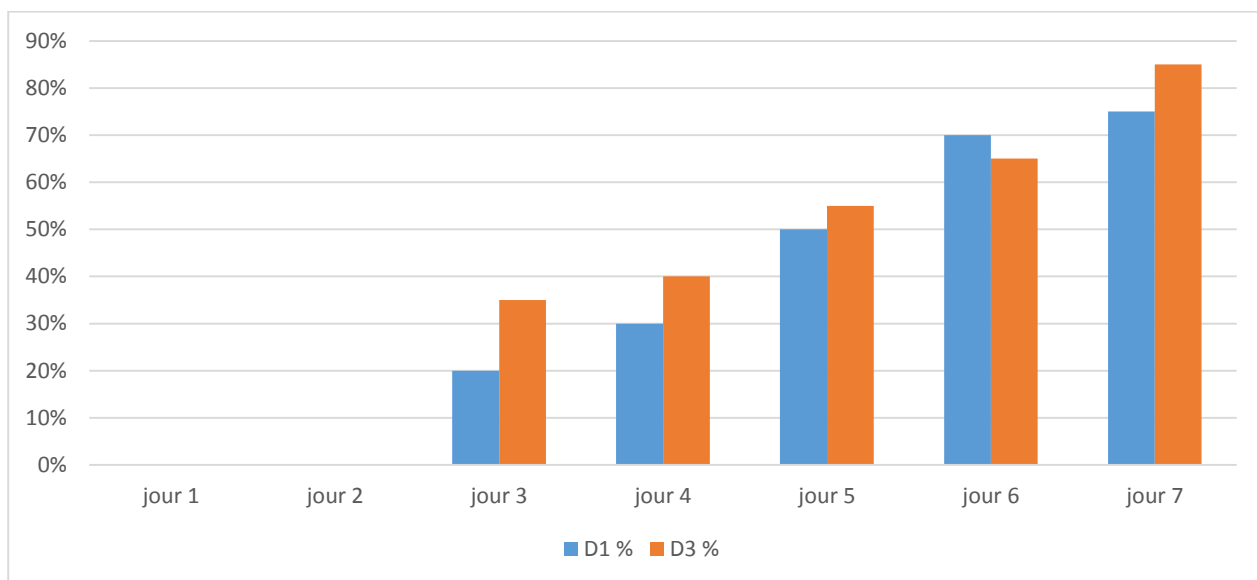


Figure 22. Comparaison dose 1 et dose 3 sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.2.9. Comparaison dose 2 et dose 3 sur la vitesse de germination

La courbe de la figure 23 montrent que les deux doses présentent une vitesse de germination élevée, mais D3 montre une progression plus rapide vers le pic final. D2 reste plus stable.

D3 est légèrement plus efficace que D2, bien que cette dernière soit plus constante.

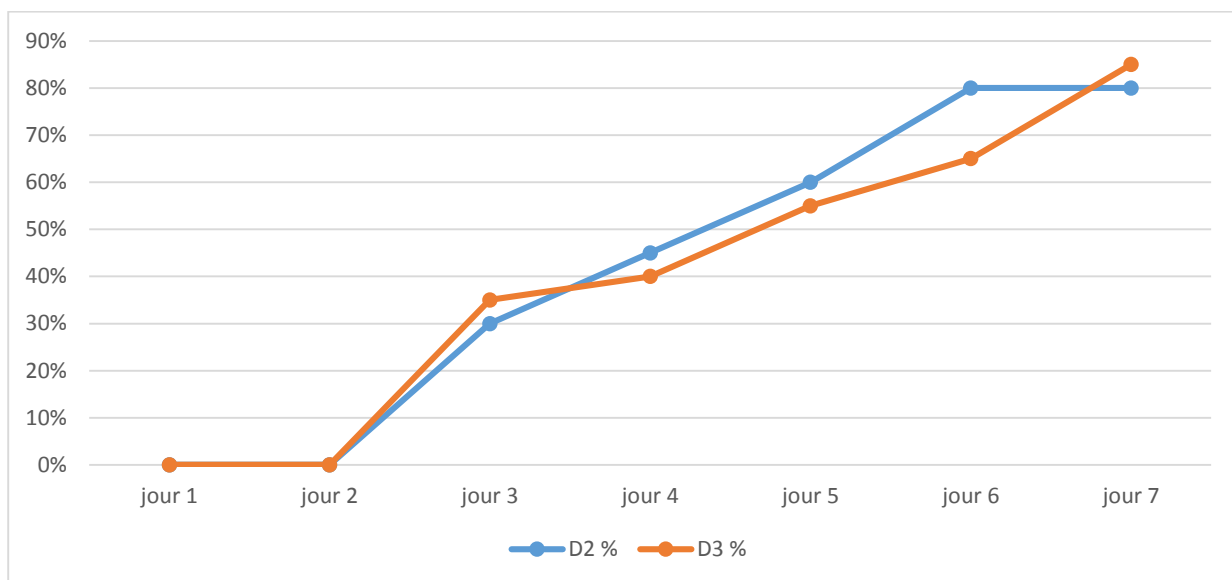


Figure 23. Comparaison dose 2 et dose 3 sur la vitesse de germination des graines de tomate cerise dans le temps

III.2.10. Comparaison dose 2 et dose 3 sur le taux de germination

L'histogramme d'évolution temporelle du taux de germination de la figure 24 montrent que D3 atteint un taux final de 85 % contre 80 % pour D2. Les deux doses sont performantes, mais D3 maintient une avance sur toute la durée de l'essai.

Dans la synergie, la dose élevée offre le meilleur taux de germination, avec une supériorité modeste mais persistante.

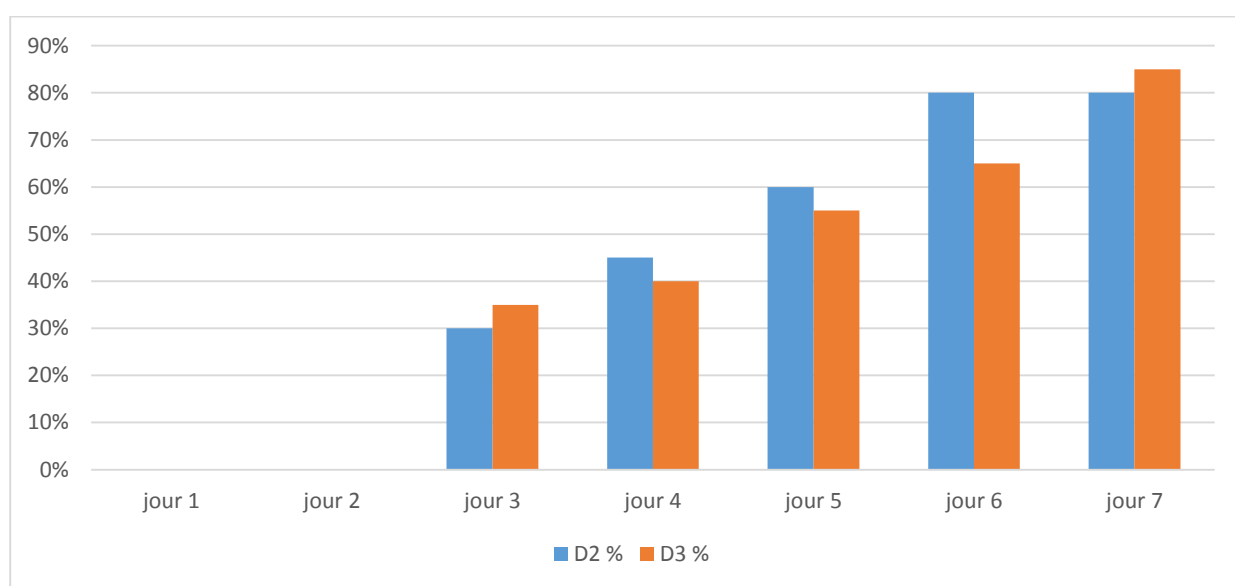


Figure 24. Comparaison dose 2 et dose 3 sur le taux de germination des graines de tomate cerise dans le temps

Chapitre IV

Discussion

IV. Discussion

Les résultats obtenus dans cette étude montrent que l'huile essentielle de *Cupressus arizonica* ainsi que sa synergie avec l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* exercent un effet stimulant sur la germination des graines de tomate cerise. Cet effet dépend de la dose, avec un optimum observé pour la dose intermédiaire dans le cas de l'huile essentielle seule, et pour la dose élevée dans le cas de la synergie des deux huiles essentielles.

Effet de l'huile essentielle de *Cupressus arizonica* seule

L'utilisation de l'huile essentielle seule a permis d'augmenter la vitesse et le taux de germination par rapport au témoin non traité, avec un maximum atteint pour la dose moyenne (0,048 g), où le taux final de germination atteint 95 %. Ce résultat est en accord avec les travaux de **Benabdallah et al. (2019)**, qui ont montré que des huiles essentielles riches en monoterpènes favorisent la germination des graines de tomate en stimulant l'absorption d'eau et l'activité enzymatique. De même, **Kordali et al. (2008)** ont observé un effet dose-dépendant des huiles essentielles sur la germination de graines de blé, avec un maximum à des doses modérées, tandis que des doses élevées peuvent induire une légère inhibition due à la phytotoxicité des composés volatils. Cette inhibition partielle à forte dose a également été décrite par **Singh et al. (2002)** sur des graines de pois chiche.

L'effet optimal de la dose moyenne dans notre étude pourrait être attribué à un équilibre entre l'activation des processus métaboliques (hydratation et synthèse enzymatique) et la toxicité potentielle des composés aux doses plus élevées, comme le suggèrent également **Ismail et al. (2016)**.

Effet de la synergie entre l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* et l'huile essentielle de *Cupressus arizonica*

La combinaison des deux huiles essentielles a renforcé l'effet positif sur la germination, notamment pour la dose élevée (0,072 g), où le taux final atteint 85 % contre 30 % pour le témoin. Ce résultat confirme l'hypothèse de synergie entre les composés bioactifs des deux huiles essentielles, en accord avec les observations de **Bensabah et al. (2021)**, qui ont montré que la combinaison de plusieurs huiles essentielles augmente leur efficacité biostimulante et réduit les effets inhibiteurs observés à haute dose d'une huile essentielle seule.

L'amélioration plus marquée à dose élevée pourrait être due à la complémentarité des composés actifs présents dans les deux huiles essentielles, agissant simultanément sur différents mécanismes de la germination, comme le propose **Batish et al. (2004)**. En effet, l'huile essentielle de *Rosmarinus officinalis* est connue pour sa richesse en 1,8-cinéole et camphre, qui ont des effets stimulants sur la germination (**Rahimi et al., 2017**), tandis que celle de *Cupressus arizonica* apporte des α -pinènes et δ -3-carènes aux effets similaires.

Comparaison entre les différentes doses et le témoin

Dans toutes les conditions expérimentales, même la plus faible dose de traitement (0,024 g) a permis une amélioration significative par rapport au témoin. Ce résultat est en accord avec les études de **Mahmoodi et Rahnema (2015)**, qui ont montré que des concentrations même faibles d'huiles essentielles peuvent rompre la dormance et stimuler la germination grâce à leur action sur la perméabilité membranaire et l'activation enzymatique. Cependant, l'efficacité augmente avec la dose jusqu'à un certain seuil, au-delà duquel elle peut être contre-productive, phénomène bien documenté dans la littérature (**Kordali et al., 2008 ; Singh et al., 2002**).

Comparaison entre la dose moyenne et la dose élevée

Enfin, on note que dans le cas de l'huile essentielle seule, la dose moyenne reste plus performante que la dose élevée en termes de vitesse et de taux final de germination, tandis que dans le cas de la synergie des deux huiles essentielles, la dose élevée devient plus efficace. Ces différences soulignent que la réponse des graines peut varier en fonction de la composition chimique globale du traitement, en cohérence avec les observations de **Bensabah et al. (2021)** et **Batish et al. (2004)**.

Conclusion

Conclusion

L'étude menée sur l'effet de l'huile essentielle de *Cupressus arizonica*, utilisée seule ou en synergie avec *Rosmarinus officinalis*, sur la germination des graines de tomate cerise, a permis de mettre en évidence le potentiel bioactif de ces extraits naturels dans le domaine de la biostimulation végétale.

Les résultats ont clairement démontré que l'huile essentielle de *Cupressus arizonica* améliore à la fois la vitesse et le taux de germination, avec un effet optimal observé à la dose moyenne (0,048 g). Cette concentration s'est révélée la plus efficace, offrant une activation rapide, soutenue et sans signes d'inhibition. À dose élevée, bien que les performances restent élevées, un léger ralentissement initial a été observé, pouvant être lié à une phytotoxicité transitoire. La dose faible, quant à elle, améliore modestement la germination par rapport au témoin, mais reste inférieure aux autres traitements.

L'introduction de la synergie avec *Rosmarinus officinalis* a permis de renforcer les effets observés avec l'huile essentielle seule. Cette combinaison a donné lieu à une amélioration notable des performances germinatives, notamment pour les doses moyenne et forte. La formulation synergique, contenant 10 % d'HE de *Cupressus arizonica*, a montré une capacité à accélérer l'initiation de la germination tout en atteignant des taux finaux élevés, traduisant une action complémentaire entre les composés actifs des deux huiles.

Ainsi, l'ensemble des données obtenues soutient l'idée que ces huiles essentielles, et en particulier leur combinaison synergique, représentent une alternative prometteuse et écologique aux produits chimiques de synthèse traditionnellement utilisés en agriculture. Elles pourraient être intégrées comme agents naturels de stimulation dans les procédés de pré-germination ou de traitement des semences. Toutefois, des études complémentaires portant sur leur mécanisme d'action, leur innocuité sur le long terme, ainsi que leur efficacité en conditions agronomiques réelles, seraient nécessaires pour valider leur application à plus grande échelle.

Références Bibliographiques

Références Bibliographiques :

1. Adams, R. P. (2011). *Identification of essential oil components by gas chromatography/mass spectrometry* (4e éd.). Allured Publishing Corporation.
2. Adeniji, O. A., & Oladipo, M. O. (2019). Sustainable agronomic strategies for enhancing the yield and nutritional quality of wild tomato (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*). *Agronomy*, 9(6), 311.
3. Angioni, A., Barra, A., Cereti, E., Barile, D., Coisson, J. D., Arlorio, M., & Cabras, P. (2004). Chemical composition, plant genetic differences, antimicrobial and antifungal activity investigation of the essential oil of *Rosmarinus officinalis* L. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(11), 3530–3535.
4. Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils: A review. *Food and Chemical Toxicology*, 46(2), 446–475.
5. Bassolé, I. H. N., & Juliani, H. R. (2012). Essential oils in combination and their antimicrobial properties. *Molecules*, 17(4), 3989–4006.
6. Batish, D. R., Singh, H. P., Kohli, R. K., & Kaur, S. (2004). Potential phytotoxicity of essential oils and their constituents on crop plants. *Allelopathy Journal*, 13(2), 167–184.
7. Benabdallah, A., et al. (2019). Effects of some essential oils on seed germination and seedling growth of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 22(1), 100–109.
8. Bensabah, F., et al. (2021). Synergistic effect of essential oil mixtures on seed germination and seedling growth. *Industrial Crops and Products*, 164, 113371.
9. Boelens, M. H. (1997). Chemical composition of essential oils: *Cupressus* species. *Perfumer & Flavorist*, 22, 45–52.
10. Bozin, B., Mimica-Dukić, N., Simin, N., & Anackov, G. (2007). Characterization of the volatile composition of essential oils of some Lamiaceae spices and the antimicrobial and antioxidant activities of the entire oils. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(5), 1822–1828.

11. Boutekedjiret, C., Bentahar, F., Belabbes, R., & Bessière, J. M. (2003). Extraction of rosemary essential oil by steam distillation and hydrodistillation. *Flavour and Fragrance Journal*, 18(6), 481–484.
12. Burt, S. (2004). Essential oils: Their antibacterial properties and potential applications in foods—A review. *International Journal of Food Microbiology*, 94(3), 223–253.
13. CABI. (2024). *Cupressus arizonica* (Arizona cypress). In *CABI Invasive Species Compendium*.
14. Cherrad, S., Jaouadi, I., Bouyahya, A., Koursaoui, L., Aouane, E. M., Satrani, B., Sultan, M. A., Alotaibi, A., Ullah, R., Ghanmi, M., & Chaouch, A. (2022). Phytochemical analysis and study of antioxidant and antimicrobial activities of two parts of *Cupressus arizonica* essential oils. *Journal of Food Quality*, Article ID 8629974.
15. da Silva Bomfim, N., Nakassugi, L. P., & Forim, M. R. (2020). Nanoformulations of essential oils for sustainable agriculture—A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(30), 37269–37280.
16. de Oliveira, J. R. R., Camargo, S. E. A., & de Oliveira, L. D. (2019). *Rosmarinus officinalis* L. (rosemary) as therapeutic and prophylactic agent. *Journal of Biomedical Science*, 26, 5.
17. Demir, I., & Mavi, K. (2008). Effect of salt and osmotic stresses on the germination of pepper seeds of different maturation stages. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 51(4), 531–538.
18. Denny, E. (2002). *Rosmarinus officinalis* L. (Lamiaceae). *Journal of Herbs, Spices & Medicinal Plants*, 9(2–3), 247–254.
19. Emami, S. A., & Fakhrjafary, M. (2010). Chemical composition and antioxidant activities of the essential oils of different parts of *Cupressus arizonica* Greene. *Journal of Essential Oil Research*, 22(3), 193–199.
20. Gallego-Juárez, J. A., Pérez-González, A., Santos, C., & Durán-Soria, M. (2020). Therapeutic and cosmetic applications of *Rosmarinus officinalis* essential oil: A review. *Phytotherapy Research*, 34(8), 1982–1997.

21. Hosseinihashemi, S. K., Hosseinashrafi, S. K., Barzegari, F., Baseri, H., Tajeddini, D., Torabi Tooranposhti, H., Jalaligoldeh, A., & Sheikh Mohammadi, F. (2011). α -Pinene and β -myrcene-rich volatile fruit oil of *Cupressus arizonica* Greene from northwest Iran. *Natural Product Research*, 25(6), 634–639.
22. Houzi, G., et al. (2024). Antifungal, insecticidal, and repellent activities of *Rosmarinus officinalis* essential oil and molecular docking of its constituents. *Scientifica*.
23. Ismail, T., et al. (2016). Effect of essential oil constituents on germination and early seedling growth of maize. *Plant Growth Regulation*, 79(2), 251–258.
24. Isman, M. B. (2000). Plant essential oils for pest and disease management. *Crop Protection*, 19(8–10), 603–608.
25. Kazmi, R. H., Willems, L. A. J., Joosen, R. V. L., Khan, N., Ligterink, W., & Hilhorst, H. W. M. (2017). Metabolomic analysis of tomato seed germination. *Metabolomics*, 13(12), 145.
26. Kordali, S., Cakir, A., Zengin, H., et al. (2008). Antifungal and herbicidal properties of essential oils and n-hexane extracts of *Achillea gypsicola*. *Industrial Crops and Products*, 27(3), 305–310.
27. Koul, O., Walia, S., & Dhaliwal, G. S. (2008). Essential oils as green pesticides: Potential and constraints. *Biopesticides International*, 4(1), 63–84.
28. Krzyżowski, M., Baran, B., Łozowski, B., & Francikowski, J. (2020). The effect of *Rosmarinus officinalis* essential oil fumigation on biochemical, behavioral, and physiological parameters of *Callosobruchus maculatus*. *Insects*, 11(6), 344.
29. Mahmoodi, S., & Rahnama, A. (2015). Effects of essential oils on seed germination and seedling growth of two weed species. *Allelopathy Journal*, 35(1), 107–118.
30. Mamy, L., & Barriuso, E. (2022). Les substances naturelles : une alternative aux pesticides de synthèse. *L'Actualité Chimique*, 470, 9–14.
31. Mancini, E., De Martino, L., Marandino, A., Scognamiglio, M., & De Feo, V. (2014). Chemical composition and possible in vitro phytotoxic activity of essential oils of four *Cupressus* species. *Natural Product Communications*, 9(3), 327–330.

32. Moghaddam, M., Mehdizadeh, L., & Pourbaige, M. (2014). Chemical composition and antifungal activity of essential oils from different parts of *Rosmarinus officinalis* L. against three phytopathogenic fungi. *Journal of Essential Oil Bearing Plants*, 17(1), 84–91.
33. Nazzaro, F., Fratianni, F., De Martino, L., Coppola, R., & De Feo, V. (2013). Effect of essential oils on pathogenic bacteria. *Pharmaceuticals*, 6(12), 1451–1474.
34. Padi, A., Angeloni, G., Guerrini, L., & Masella, P. (2022). A conventional VOC-PID sensor for a rapid discrimination among aromatic plant varieties: Classification models fitted to a rosemary case-study.
35. Pavela, R., & Benelli, G. (2016). Essential oils as ecofriendly biopesticides? Challenges and constraints. *Trends in Plant Science*, 21(12), 1000–1007.
36. Rahimi, S., et al. (2017). Effect of rosemary essential oil on seed germination and seedling growth of barley. *Journal of Applied Research on Medicinal and Aromatic Plants*, 7, 13–18.
37. Raut, J. S., & Karuppayil, S. M. (2012). A status review on the medicinal properties of essential oils. *Industrial Crops and Products*, 37(1), 1–13.
38. Regnault-Roger, C., Vincent, C., & Arnason, J. T. (2012). Essential oils in insect control: Low-risk products in a high-stakes world. *Annual Review of Entomology*, 57, 405–424.
39. Sharma, N., Tripathi, A., & Dixit, S. (2019). Role of essential oils in post-harvest protection: Recent advances and future prospects. *Plant Archives*, 19(2), 3640–3647.
40. Singh, H. P., Batish, D. R., & Kohli, R. K. (2002). Allelopathic effects of essential oils of aromatic plants on germination of crop plants. *Agronomy for Sustainable Development*, 22(1), 319–329.
41. Soković, M., Glamočlija, J., Marin, P. D., Brkić, D., & van Griensven, L. J. L. D. (2010). Antibacterial effects of the essential oils of commonly consumed medicinal herbs using an in vitro model. *Molecules*, 15(11), 7532–7546.
42. Soualeh, N., & Soulimani, R. (2016). Huiles essentielles et composés organiques volatils, rôles et intérêts. *Phytothérapie*, 14(1), 44–57.

43. Turek, C., & Stintzing, F. C. (2013). Impact of different storage conditions on the quality of selected essential oils. *Food Research International*, 48(1), 1–8.
44. Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., & Pérez-Álvarez, J. A. (2010). Antifungal activities of thyme, clove and oregano essential oils. *Journal of Food Safety*, 30(3), 570–587.
45. Vongsak, B., & Souli-Zinsou, B. (2022). Synergistic interactions of phytochemicals with antimicrobial agents: Potential strategy to counteract drug resistance. *Phytomedicine*, 89, 153626.
46. Zuzarte, M., & Salgueiro, L. (2015). Essential oils chemistry. In *Bioactive essential oils and cancer* (pp. 19–61). Springer.

الحمد لله الذي بنعمته تتم الصالحات



MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDE

Étude de l'activité biologique de la synergie des huiles
essentielles de *Cupressus arizonica* et *Rosmarinus*
officinalis sur les graines de tomate cerise

Présenté par

Meziane Mohamed Ali Yanice & Otmane Tolba Ala Eddine

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN SCIENCES AGRONOMIQUES

Jury

Mme Djemaï
Mr Moussaoui
Mme Baba Aissa

M.C.A
M.A.A
M.A.A

Présidente
Promoteur
Examinatrice