

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA -1-

FACULTE DE SCIENCES DE LA NATURE ET DE VIE

DEPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIES ET AGROECOLOGIE

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention de diplôme de Master Académique en science Agronomiques

Spécialité : Phytopharmacie et Protection des végétaux

Thème

Impact de l'extrait aqueux de la moutarde de jaune (*Sinapis arvensis*) sur germination et croissance de la tomate (*Solanum lycopersicum*) dans des conditions contrôlées

Présenté par :

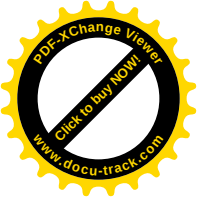
BENSLAMA DOUAA

CHAMBIT HAZERDJA MOUNIR

Devant le jury composé de

Mme BRAHIMI L.	MCA	Univ. Blida 1	Présidente
Mr. ABBAD M.	MCA	Univ. Blida 1	Promoteur
Mr. MOUSSAOUI K.	MAA	Univ ; Blida 1	Examineur

Année universitaire 2024/2025



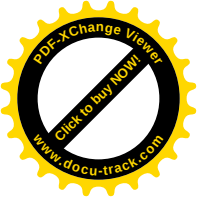
Remerciement

Avant tout, je remercie le dieu, le tout puissant qui m'a guidée dans le chemin de la science et qui m'a donné la foi, la force et le courage pour accomplir ce travail.

Je remercie infiniment mes très chers parents qui m'ont soutenue moralement et financièrement durant toutes mes études à tous les enseignants du département d'agronomie, qui ont contribué à ma formation, je dis merci.

Je remercie également mon encadreur Mr. Abbad mohamed , qui m'a encadrée, pour ses orientations, ses informations et ses conseils tout au long de mon travail et durant mes études. Sous sa direction, j'ai trouvé toute l'aide nécessaire pour finaliser ce travail.

Je remercie également Mr. Moussaoui et Mme. Brahimi pour avoir accepté d'être membres du jury. Mes sincères remerciements s'adressent aussi à la bouratoir de walid et Mme sabah et ihsane et à tous ceux qu'ont participés de près ou loin à l'établissement de ce travail.



Dédicace

Du profond de mon cœur je dédie ce travail :
Avant tout je remercie ALLAH le très haut de nous avoir donné la force, la volonté et la patience
de suivre nos études, réaliser et d'achever ce modeste travail.



J'ai passée des moments difficiles, plus d'une fois j'ai pensé que je ne verrai jamais le bout du tunnel. Chacun de ces moments tu étais là pour me réconforter et m'aider à trouver des solutions.
Je ne te remercierai jamais assez pour tout ce que tu as fait pour moi tous les cinq épuisantes années « un grand merci à moi »



A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis
aujourd'hui
Particulièrement :



A ma très chère mère « Fatiha »

La bougie de ma vie, la source d'amour, la chandelle qui m'a allumé le chemin vers la réussite,
qui m'a toujours guidée avec ses précieux conseils, ma source de force qui m'a encouragé a aller
de l'avant, quoi que je fasse ou que je dis, je ne saurai point te remercier comme il se doit. Merci
pour tout ce que vous m'avez donné depuis mon enfance et j'espère que votre bénédiction
m'accompagne toujours.



A mon très cher papa « Mohamed »

L'épaule solide, l'œil compréhensif et la personne le plus digne et mon estime de mon respect.
Tous les jours, vous étiez là pour me protéger, m'éduquer, me guider, je veux vous remercier pour
tout ce que vous avez fait pour moi et pour votre présence à mes côtés qui a toujours été me
soutenir et m'encourager.



Mes parents nulle dédicace n'est susceptible de vous exprimer mes profondes affections et mes
immenses gratitudes pour tous les sacrifices que vous avez consentis pour mes éducations et mes
études,



A mon bras droit, mon compagnon de vie, mon cher frère « Abderrahmane ». Mercie d'être
toujours avec moi, que dieu vous garde pour moi.



A mes chères sœurs, ma source de joie et de bonheur : manel, ahlem, kaouter, à mon cher frère
:Vous avez toujours cherché mon plaisir et mon sourire, je vous souhaite un avenir radieux plein
de réussite. Que Dieu les protèges.



A toute la promotion 2020/2025

A tout personne qui a un sentiment d'amour et de respect envers moi, je vous dis « MERCI »



Douaa





إهداء التخرج



أقف على عتبة الحلم، أحمل شهادتي بيدي، لكن في داخلي أحمل قصصاً لا تُروى، وأسماء لا
تُنسى، وقلوباً صنعتني



في لحظة تختلط فيها دموع الفرح بنبض الإنجاز، أقف اليوم لا لأنني وصلت، بل لأنني اجتزت
طريقاً مفعماً بالتحدي، بالمثابرة، وبالدروس التي شكلتني



إلى الله، مصدر الإلهام الذي وفقتني ومنحني حب الناس الذي غمرني بلطفه حين ضاقت الطرق، ومدني بقوة في اللحظة التي
أوشكتُ فيها على الانكسار... الحمد لك، أنت البداية والنهاية



إلى زهرة حياتي... أمي *خديجة

كل نبض في قلبي يحمل أثراً من قلبك. كل خطوة في دربي. يا من كللتِ التعب بالصبر، والسهر بالحب، والدعاء بالرجاء .
تحمل لمعة من عينيك. إن كنتُ وصلتُ اليوم، فذلك لأنك كنتِ البداية في كل شيء، والنهاية التي أعود إليها في كل ضعف.
جزاك الله عني عمراً من النور

،*إلى والدي *سماعين

كنت خلف الإنجاز، يا من غرست في الإصرار، وربيت في داخلي الكبرياء النظيف، علّمتني أن الثبات ليس صمتاً، بل حكمة
لا أمام الكاميرا، لكنك كنت الصورة الأوضح في ذاكرتي... شكراً لك بحجم الحياة



وإلى جدتي العزيزتين *صليحة* و*فتيحة

أسأل الله أن. نتم النبع الذي لا ينضب من الحنان والحكمة، دعاؤكما سر الطمأنينة في روعي، ووجودكما ظل يبارك خطواتي
نجاحي هذا يحمل بصمتكما، فكونا. يُديمكما لي، ويُديم صحتكما، وأن يرزقني القدرة على ردّ ولو جزء من فضلكما العظيم
بخير دائماً



.سرين* و*أسماء*، أخواتي، فرحة أيامي، ونكهة النجاح

.كنتما المأوى حين اشتدت العواصف، والضحكة التي كففت وحدتي. أتمنى لكما التفوق في الحياة

...إلى عائلتي الكريمة، دون استثناء، كل فرد فيكم كان لبنة في جدار حلمي

.كنتم الحاضنة، والمحرك، والمشجع، حتى عندما لم أطلب. لكم أهدي هذا النجاح، لأنه يحمل بصماتكم قبل أن يحمل اسمي

إلى من أحبتي بصدق، وكان لي أحاً وسنداً ولو لم تجمعنا دماء، إلى ذلك الصديق الذي لم يقل "أنا معك"، بل أثبتها في
صمته، وفي موافقه. إليكم، أكتبُ عرفاني الأبدي، لأنكم كنتم النور في عتمة الطريق

لكم أرفع تحية تقدير من القلب،. ساتذنتي الكرام، أنتم المرأة التي عكست شغفي، وأنتم النور الذي دلّني إلى الطريق الصحيح
هذا النجاح ليس مجرد شهادة، إنه عهدٌ، أن أحمل كل. لأنكم لم تعلموني فقط، بل منحتُموني الثقة، وشكلتم ضوءاً لن يُنسى
من ساندني في قلبي، وأن أكون كما أردتموني... قوياً، نافعا، وفيّاً

منير



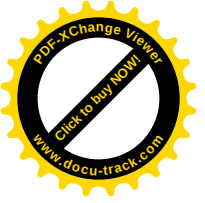


Table des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Abstract

ملخص

Liste des tableaux

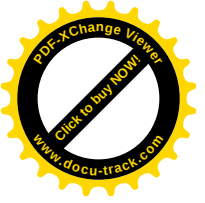
Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction.....

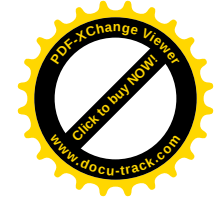
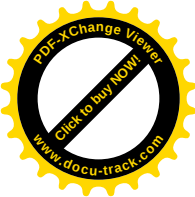
CHAPITRE 1 : La tomate : Caractéristique et importance agricole

1.	Introduction à la tomate.....
1.2	Définition et importance économique de la tomate.....
1.3	Histoire de la culture de la tomate et sa diffusion mondiale.....
2.	Caractéristique botanique de la tomate de la tomate.....
2.2	Classification scientifique et nature biologique.....
2.3	Morphologie générale de la plante de tomate.....
2.4	Les stades de croissance et le cycle de vie de tomate.....
3.	Condition environnementale optimales pour la culture de la tomate.....
3.2	Influence du sol et du climat sur la croissance des plants de tomate.....
3.3	Besoins en eau et en lumière pour une culture saine.....
4.	Maladies et ravageurs affectant la tomate.....
4.2	Maladies fongiques et bactériennes et leur impact sur la production.....
4.3	Méthodes de lutte biologique et chimique contre les ravageurs.....
5.	Relation entre la tomate et la moutarde.....
5.2	Effets de la culture de la moutarde sur la santé des plants de tomate.....
5.3	Études scientifiques démontrant le rôle de la moutarde dans la protection de la tomate contre les plantes nuisibles.....



_CHAPITRE 2 : L'allélopathie et ses implications dans les interactions plantes-plantes

1. Définition de l'allélopathie.....
2. Origine et nature des composés allélopathique
3. Modes d'action des substances allélopathique
4. Les plantes reconnues pour leur pouvoir allélopathique.....
5. Application de l'allélopathie en agriculture
6. Lien entre allélopathie et extraits aqueux de la moutarde.....
7. Résultats Expérimentaux.....



Résumé

Impact de l'extrait aqueux de la moutarde de jaune (*Sinapis arvensis*) sur germination et croissance de la tomate (*Solanum lycopersicum*) dans des conditions contrôlées

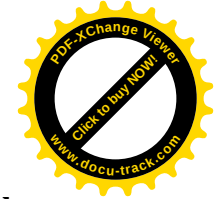
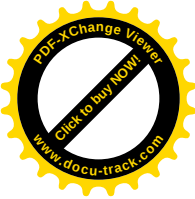
Dans le cadre de la recherche de solutions agricoles plus respectueuses de l'environnement, nous avons étudié l'effet allélopathique de la moutarde jaune (*Sinapis arvensis*), une plante riche en composés secondaires bioactifs, notamment les glucosinolates, susceptibles d'influencer le développement des espèces voisines. L'objectif était d'évaluer l'impact de cette espèce sur la germination et la croissance de la tomate (*Solanum lycopersicum*).

Des extraits aqueux de feuilles et de fleurs ont été préparés et appliqués à différentes concentrations 0 % (témoin), 20 %, 40 %, 60 %, 80 % et 100 % sur des graines de tomate dans des conditions contrôlées au laboratoire. Les résultats ont révélé un effet inhibiteur marqué aux concentrations élevées, tandis que les faibles doses ont parfois exercé un effet neutre, voire légèrement stimulant sur certains paramètres mesurés.

Ces observations montrent que l'effet allélochimique de *Sinapis arvensis* dépend fortement de l'organe utilisé (feuille ou fleur), de la concentration de l'extrait, ainsi que du mode d'application.

Ce travail met en évidence le potentiel allélopathique de *Sinapis arvensis* et souligne l'intérêt d'approfondir la compréhension de ces interactions pour envisager leur application en agriculture durable, notamment dans le développement de bios herbicides naturels adaptés à la culture de la tomate.

Mots clés : Tomate, allélopathie, germination, *Sinapis arvensis*, extrais aqueux



Impact of Aqueous Extracts of Yellow Mustard (*Sinapis arvensis*) on the Germination and Growth of Tomato (*Solanum lycopersicum*) under Controlled Conditions

Abstract

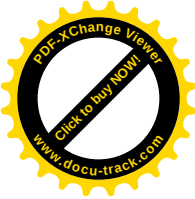
As part of the search for more environmentally friendly agricultural solutions, we investigated the allelopathic effect of yellow mustard (*Sinapis arvensis*), a plant rich in bioactive secondary compounds, particularly glucosinolates, which may influence the development of neighboring species. The objective was to assess its impact on the germination and growth of tomato (*Solanum lycopersicum*).

Aqueous extracts from leaves and flowers were prepared and applied at different concentrations 0% (control), 20%, 40%, 60%, 80%, and 100% to tomato seeds under controlled laboratory conditions. The results revealed a significant inhibitory effect at high concentrations, whereas lower doses sometimes exhibited a neutral or even slightly stimulating effect on certain measured parameters.

These findings indicate that the allelopathic effects of *Sinapis arvensis* are strongly influenced by the plant organ used (leaf or flower), the concentration of the extract, and the mode of application.

This study highlights the allelopathic potential of *Sinapis arvensis* and emphasizes the importance of better understanding these interactions to consider their application in sustainable agriculture, particularly in the development of natural bioherbicide strategies adapted to tomato cultivation.

Keywords: Tomato, allelopathy, germination, *Sinapis arvensis*, aqueous extracts



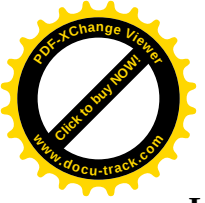
الملخص

في إطار البحث عن حلول زراعية أكثر احتراماً للبيئة، قمنا بدراسة التأثير الأليلوبي للخلبث الأصفر

(*Sinapis arvensis*)

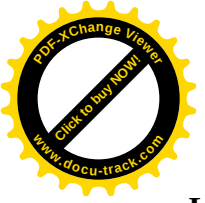
وهي نبتة غنية بالمركبات الثانوية النشطة بيولوجياً، وخاصة الجلوكوزينولات، والتي يُمكن أن تؤثر على تطور الأنواع النباتية (*Solanum lycopersicum*) المجاورة. كان الهدف من هذه الدراسة تقييم تأثير هذه النبتة على إنبات ونمو نبات الطماطم تم تحضير مستخلصات مائية من أوراق وأزهار النبتة وتطبيقها بتركيزات مختلفة (0% كمجموعة شاهدة، و20%، و40%، و60%، و80%، و100%) على بذور الطماطم في ظروف مخبرية محكمة. أظهرت النتائج وجود تأثير تثبيطي واضح عند التركيزات العالية، في حين أبدت التركيزات المنخفضة أحياناً تأثيراً محايداً أو حتى منشطاً طفيفاً لبعض المعايير المقاسة. يعتمد بشكل كبير على الجزء النبات المستخدم (ورقة *Sinapis arvensis* تشير هذه الملاحظات إلى أن التأثير الأليلوكيميائي لـ *Sinapis arvensis* على أزهاره)، وتركيز المستخلص، وطريقة التطبيق. تبرز هذه الدراسة الإمكانيات الأليلوبية لـ أهمية تعميق فهم هذه التفاعلات من أجل استخدامها في الزراعة المستدامة، خاصة في تطوير مبيدات أعشاب طبيعية حيوية مناسبة لزراعة الطماطم.

الكلمات المفتاحية : *Sinapis arvensis* طماطم، الأليلوبائي، الإنبات، مستخلصات مائية



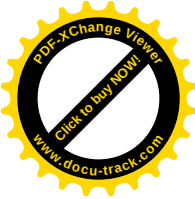
Liste des figure

Figure (1) : Schéma de la plante de tomate avec parties légendées – illustration vectorielle. Dreamstime Jamil, Miftahul.....	
Figure (2) : système racinaire de la tomate (FAO, 2023).....	
Figure (3) : Aspect de la tige de tomate (peet,M.M(2005)	
Figure (4) : feuille de tomate Heuvelink, E.(2005).....	
Figure (5) : Schéma de la fleur de tomate (WACQUANT, 1995).....	
Figure (6) : Les stades de développement de la tomate (WACQUANT, 1995)	
Figur(7):image de sorghum bicolorSorghum bicolor 2005, sep 4 by pethan Botanical Gardens Utrecht University.....	
Figur(8) :image plante de la famille brassicaceae (Brown & Morra, (1997).....	
Figure (9) : image de légumineuse (Rial et al., (2021).....	
Figure (10) : image de arbres allélopathiques (Inderjit et Dakshini, K.M.M.(1995).....	
Figure(11) : le matériel végétal utilisé (origine).....	
Figures(12) : les matériels physiques utilisé(origine).....	
Figure(13) : extrait aqueux(origine).....	
Figures(14) : Méthode d'application(origine).....	
Figures(15) : les graines germées(origine).....	
Figures(16) : Les étapes du développement de la tomate de 8 à 30 jours(origine).....	
Figure(17) : la longueur des racines(origine).....	
Figure(18) : la longueur des tiges(origine).....	
Figure(19) : Pesé de la biomasse de la partie aérienne a l'aide d'une balance(origine).....	
Figure(20) : feuilles de tomate fraiche(origine).....	
Figure(21) : feuilles de tomate sèche(origine).....	



Liste des tableaux

Tableaux 1 : Source : Cronquist, (1981)



Introduction

Face aux pressions environnementales croissantes et à la nécessité de réduire l'emploi des intrants chimiques en agriculture, les approches alternatives, durables et éco compatibles suscitent un intérêt grandissant. L'allélopathie, en tant que mécanisme écologique d'interaction biochimique entre plantes, se révèle particulièrement prometteuse. Elle implique l'émission de composés secondaires par certaines espèces végétales, capables d'influencer la germination, la croissance ou le développement de plantes voisines. La famille des Brassicacées, notamment *Sinapis arvensis* (moutarde sauvage), est bien connue pour ses effets allélopathiques, attribués à la production de glucosinolates, qui libèrent, après hydrolyse, des substances potentiellement phytotoxiques aux propriétés bio herbicides. Ces effets trouvent un intérêt particulier dans le cadre de stratégies agroécologiques et de l'agriculture biologique.

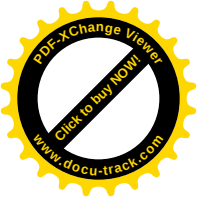
La tomate (*Solanum lycopersicum*), culture maraîchère de grande importance économique, est souvent utilisée comme espèce modèle en raison de sa sensibilité aux stress, y compris les effets allélopathiques. L'évaluation de sa réponse face à des extraits végétaux bioactifs représente donc un axe de recherche pertinent.

Dans cette optique, une question centrale se pose :

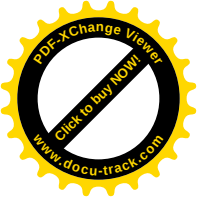
Quels sont les doses et effets des extraits aqueux de moutarde jaune (*Sinapis arvensis*) sur la germination et la croissance des graines de tomate (*Solanum lycopersicum*) en conditions contrôlées ?

Ce travail vise principalement à évaluer le potentiel allélopathique de la moutarde jaune vis-à-vis de la tomate. Les objectifs spécifiques sont les suivants :

- Examiner l'effet de différentes concentrations d'extraits aqueux de *Sinapis arvensis* sur la germination des graines de tomate ;
- Évaluer l'impact de ces extraits sur la croissance initiale des plantules à travers des mesures morphométriques ;
- Interpréter les résultats afin d'identifier une éventuelle application bénéfique en agroécologie ou, au contraire, un risque potentiel à prendre en compte dans les systèmes de culture.



PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE



CHAPITRE 1

Généralité sur la culture de tomate

(Solanum lycopersicum)

1. Introduction à la tomate

1) Définition

La tomate est une plante herbacée annuelle à port rampant, caractérisée par des tiges ramifiées. Appartenant à la famille des Solanacées, elle porte le nom scientifique *Solanum lycopersicum* L., bien qu'elle ait longtemps été désignée sous le nom de *Lycopersicon esculantum*. Toutefois, les avancées récentes en génomique ont permis de confirmer son appartenance au genre *Solanum*, qu'elle partage notamment avec la pomme de terre, et qui regroupe un grand nombre d'espèces apparentées. Originaire d'Amérique du Sud, plus précisément du Pérou, la tomate cultivée a été introduite en Europe au XVI^e siècle. Ce n'est toutefois qu'à partir du XIX^e siècle que sa culture s'est véritablement développée à grande échelle.

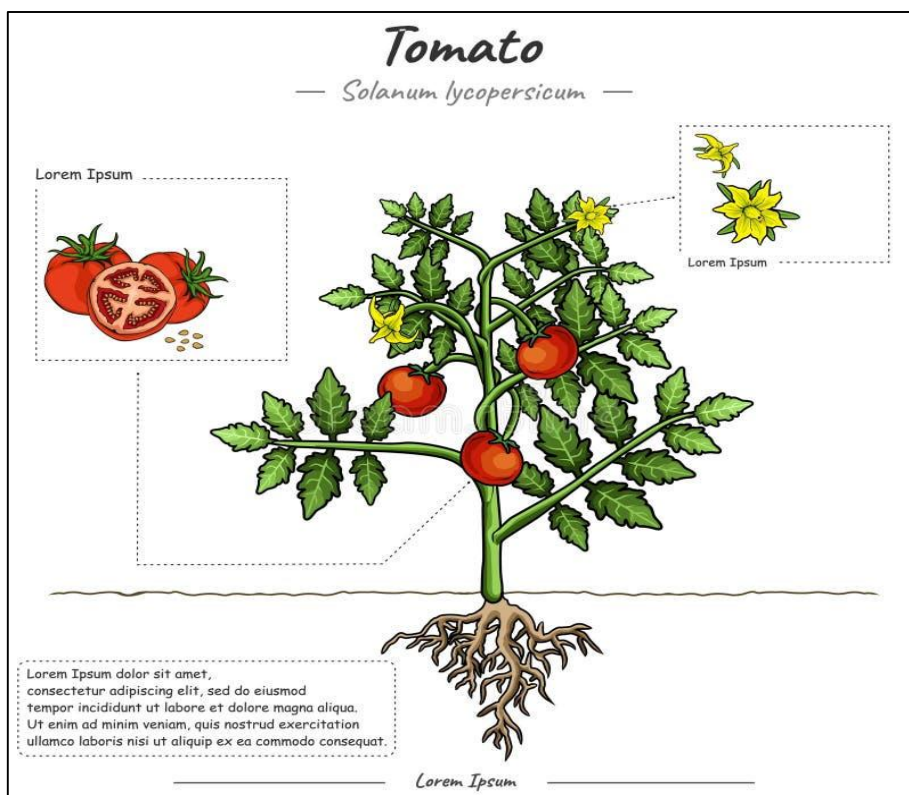
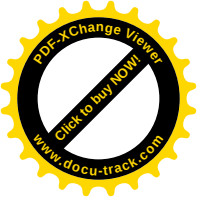


Figure 1 : Schéma de la plante de tomate avec parties légendées – illustration vectorielle.

Dreamstime Jamil, Miftahul

2) L'importance économique de la tomate (*Solanumlycopersicum*)

Aujourd'hui, la culture de la tomate constitue une composante majeure de l'agriculture mondiale, en raison de son poids économique, de sa large répartition géographique et de la forte demande qu'elle suscite sur les marchés. Selon les statistiques récentes de la FAO (2023), la production mondiale de tomates a dépassé les **189 millions de tonnes**, cultivées sur environ **5,17**



millions d'hectares, plaçant cette espèce parmi les cultures légumières les plus importantes à l'échelle planétaire. Les principaux pays producteurs sont la **Chine**, en tête avec près de **67 millions de tonnes**, suivie de **l'Inde**, des **États-Unis**, de la **Turquie** et de **l'Égypte** (FAO, 2023).

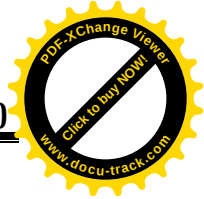
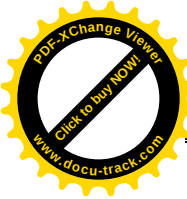
Cetterépartitiongéographiquereflète la grande capacité d'adaptation de la tomate à divers climats et systèmes de culture. Sur le plan économique, la tomate joue un rôle central, aussi bien pour les **petits exploitants agricoles** que pour les **grandes filières agro-industrielles**. Elle génère de nombreux emplois dans les secteurs de la **production**, de la **transformation**, du **transport** et de la **commercialisation** (Dorais et *al.*, 2001). À titre d'exemple, l'industrie mondiale de transformation de la tomate traite plus de **38 millions de tonnes de fruits** chaque année (World Processing Tomato Council, 2023).

En Algérie, la tomate occupe une place stratégique dans le secteur maraîcher. D'après l'INRAA (2021), elle représente plus de 25 % de la superficie totale dédiée aux cultures légumières, avec une prédominance dans les régions du Nord et en culture sous serre dans les Hauts Plateaux. Sa commercialisation contribue de manière significative aux revenus des producteurs locaux et à la stabilité du marché national. Au-delà de sa valeur économique, la tomate est également au cœur de nombreuses innovations agricoles, notamment en matière **d'amélioration variétale**, de techniques de culture protégée, **d'irrigation localisée** et de **lutte intégrée contre les bio agresseurs** (Heuvelink, 2005). Ces avancées font de la tomate une **espèce de référence** dans les programmes de développement agricole durable mondiale de tomates a atteint plus de 189 millions de tonnes, cultivées sur environ 5,17 millions d'hectares, ce qui fait de cette espèce l'une des cultures légumières les plus importantes à l'échelle planétaire.

3) **Histoire de la culture de la tomate et sa diffusion mondiale :**

La tomate (*Solanumlycopersicum*) est une espèce originaire de la région andine du nord-ouest de l'Amérique du Sud, plus précisément de la Colombie, du Pérou, de l'Équateur et du nord du Chili. Sa domestication a eu lieu au Mexique, où elle était déjà cultivée par les Aztèques vers l'an 1400. Le nom « tomate » provient du mot nahuatl tomatl, qui désignait à l'origine un fruit du genre Physalis, tandis que le terme jitomatl était utilisé pour la tomate proprement dite (*Lycopersicon esculentum*) (Peralta et *al.*, 2008).

Son introduction en Europe remonte à la première moitié du XVI^e siècle, notamment en Espagne et en Italie, d'où elle s'est progressivement diffusée vers le reste du continent (Rick, 1976). La première mention écrite de la tomate en Europe est attribuée au botaniste italien Pietro



Andrea Matthioli en 1544, qui la décrivait comme une plante produisant « des fruits aplatis et côtelés, passant du vert au jaune doré » et que certains consommaient frits avec de l'huile, du sel et du poivre (Jenkins, 1948).

À partir du XVI^e siècle, la tomate reçoit plusieurs noms selon les pays et les croyances populaires. Le mot italien pomodoro (« pomme d'or ») suggère que les premières variétés introduites étaient de couleur jaune. En français, on la nommait pomme d'amour, et des équivalents comme love apple en anglais ou liebesapfel en allemand faisaient référence aux prétendues vertus aphrodisiaques du fruit (Doré, 2000). Cependant, la tomate a longtemps été perçue avec méfiance en Europe. En raison de son appartenance à la famille des *Solanacées*, comme la belladone et la morelle, elle était soupçonnée d'être toxique. Elle fut donc cultivée à ses débuts comme plante ornementale, et ce n'est que plus tard que son usage alimentaire s'est développé, d'abord sous forme de sauces dans la cuisine méditerranéenne (Heuvelink, 2005), puis en consommation fraîche vers la fin du XVIII^e siècle (Doré, 2000).

Du point de vue botanique, la classification scientifique de la tomate a connu plusieurs révisions. On retrouve dans la littérature des noms comme *Solanum esculentum*, *Lycopersicon lycopersicum*, ou encore *Solanum lycopersicum*. Le nom accepté pendant longtemps a été *Lycopersicon esculentum* Mill., attribué par Philip Miller en 1754. Le terme *Lycopersicon* est d'origine gréco-latine et signifie « pêche de loup », tandis que *esculentum* vient du latin, signifiant « comestible » (Peralta et Spooner, 2006). Il est toutefois important de noter que seules les tomates mûres sont consommables, car les fruits verts et le feuillage contiennent des alcaloïdes toxiques comme la tomatine et la solanine, qui diminuent au cours de la maturation du fruit (Heuvelink, 2005).

2. Caractéristiques botanique de la tomate :

1) _ Classification (botanique) :

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est une plante de la famille des *Solanaceae*, qui comprend aussi la pomme de terre, le piment et l'aubergine. Elle a été initialement classée en 1753 par Carl von Linné sous le nom *Solanum lycopersicum*, mais en 1768, Philip Miller a proposé le nom *Lycopersicon esculentum*, qui a été utilisé pendant plus de deux siècles (Valimunizigha, 2006). Grâce aux avancées en génétique moléculaire, les scientifiques ont confirmé que la tomate appartient bien au genre *Solanum*, ce qui a conduit à rétablir officiellement le nom

Solanum lycopersicum (Peralta&Spooner, 2006 ; FAO, 2023). Ainsi, la classification botanique actuellement acceptée est la suivante :

Tableau n° 01 : Classification botanique de la tomate.

Règne	Plantae
Sous règne	<i>Trachenobionta</i>
Division	<i>Magnoliophyta</i>
Classe	<i>Magnoliopsida</i>
Sous classe	<i>Asteridae</i>
Ordre	<i>Solanales</i>
Famille	<i>Solanaceae</i>
Genre	<i>Solanum ou Lycopersicon</i>
Espèce	<i>Lycopersicon esculentum</i>

Source : Cronquist, (1981)

2) Description morphologique de la plante de tomate (*Solanum lycopersicum*)

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.) est une plante herbacée annuelle ou pérenne selon les conditions climatiques, souvent cultivée comme annuelle en agriculture. Elle présente une morphologie caractéristique de la famille des Solanacées :

1. Racines

La tomate développe un système racinaire pivotant bien structuré. La racine principale peut atteindre une profondeur d'environ 50 à 80 cm, en fonction des conditions du sol, et elle émet une densité importante de racines secondaires et adventives qui permettent une bonne absorption de l'eau et des éléments minéraux (Papadopoulos, 1991 ; Shankara et al., 2005). Des études récentes montrent que sous culture sous serre, le système racinaire peut même dépasser 1 mètre de profondeur, surtout en sol léger (FAO, 2023).



Figure 2 : système racinaire de la tomate (FAO, 2023)

2. Tige

Le port de croissance varie selon les variétés entre érigé, semi-érigé ou prostré. La tige principale peut atteindre une longueur de 2 à 4 mètres, parfois plus en culture sous abri. Elle est pleine, souvent pubescente et glandulaire, avec une ramification importante qui donne à la plante une forme buissonnante (Shankara et *al.*, 2005). Sa texture est fragile à la base, ce qui nécessite parfois un tuteurage.

3. Feuilles

Les feuilles sont disposées de façon alterne, avec une longueur variant de 15 à 50 cm et une largeur de 10 à 30 cm. Elles sont composées imparipennées, à folioles ovales à oblongues, souvent couvertes de poils glandulaires responsables de l'odeur caractéristique de la plante (Ouadah, 2012). Ce type de feuillage favorise une bonne photosynthèse et protège partiellement contre les bioagresseurs.



Figure 3 : Aspect de la tige de tomate
peet,M.M(2005)



Figure 4 : feuille de tomate
quadad,A(2012)

4. Fleurs

La fleur de tomate est une **fleur hermaphrodite**, généralement de **couleur jaune**, appartenant à la famille des **Solanacées**. Elle est de type **actinomorphe** (symétrie radiale) et complète, c'est-à-dire qu'elle possède à la fois les organes mâles (étamines) et femelles (pistil). Chaque fleur est portée par un **pédoncule floral** inséré à l'aisselle des feuilles ou des bractées, formant des **inflorescences de type cyme**. Elle est constituée de :

- **Cinq sépales** verts, soudés à la base, formant le calice ;
- **Cinq pétales** jaunes, également soudés partiellement, formant une corolle en étoile ;

- **Cinq étamines** à anthères jaunes, disposées en cône autour du pistil. Les anthères sont conniventes (collées les unes aux autres) et libèrent le pollen par de petites fentes apicales
- Un **pistil** central formé d'un ovaire supère (composé de deux carpelles soudés), d'un style fin et d'un stigmate légèrement élargi.

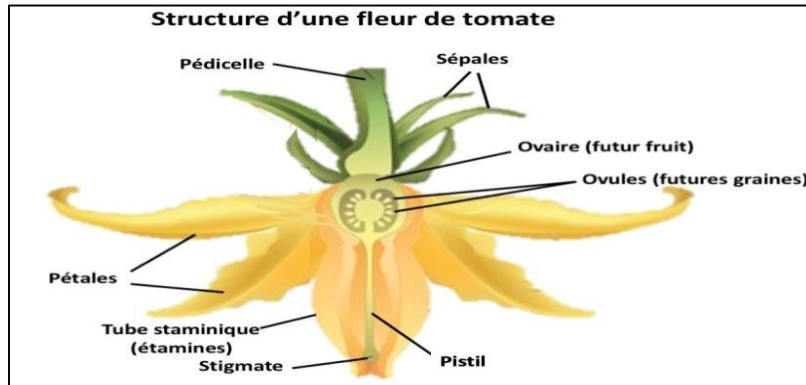


Figure 5 : Schéma de la fleur de tomate

Heuvelink, E.(2005)

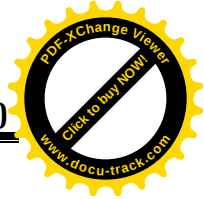
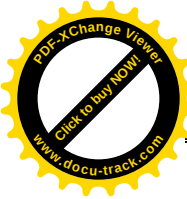
La pollinisation est principalement **autogame** (autofécondation), mais peut être favorisée par les insectes, notamment les abeilles, via un phénomène appelé **pollinisation vibratile**. Le développement de la fleur est suivi, après fécondation, par la formation d'un fruit charnu : la tomate.

5. Fruits

Le fruit de la tomate est une baie charnue et juteuse, dont la forme, taille, couleur et consistance varient considérablement selon les variétés. Il est constitué d'un péricarpe divisé en loges contenant un gel mucilagineux dans lequel sont logées les graines (Blancard, 2009). Certains cultivars présentent un collet vert persistant à maturité, caractéristique de certaines variétés locales (Denis, 2010). Les couleurs les plus courantes sont le rouge, le jaune, l'orange ou même le noir dans certaines variétés modernes (Heuvelink, 2005).

6. Graines

Les graines sont nombreuses, de forme ovale, en rein ou en poire, avec une surface poilue et une couleur variant du beige au brun clair. Elles mesurent 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. Le poids de mille graines est estimé en moyenne à 3 g (Shankara et al., 2005). Le cycle biologique de la plante, allant de la graine à la production de nouvelles graines, varie selon les conditions



climatiques et les variétés, mais il est généralement compris entre 90 et 120 jours (Gallais et Bannerot, 1992 ; FAO, 2023).

7. Stades de croissance et Cycle biologique de la tomate

Chez la tomate (*Solanum lycopersicum* L.), la durée du cycle biologique complet, depuis le semis jusqu'à la dernière récolte, varie en fonction de plusieurs facteurs : la variété cultivée, la saison de plantation et surtout les conditions climatiques et techniques culturales. En général, ce cycle dure entre 3,5 et 6 mois (Gallais et Bannerot, 1992 ; FAO, 2023). Le cycle de développement de la tomate peut être divisé en cinq grandes phases successives :

1. Phase de germination

La germination représente la transition de la graine de l'état de dormance vers l'activité métabolique. Ce processus débute généralement 6 à 8 jours après le semis, à une température optimale située entre 20 et 25 °C. Durant cette phase, l'embryon active ses enzymes, les réserves de la graine sont hydrolysées, et la racine perce l'enveloppe pour donner naissance à la plantule (Heller, 1996 ; Heuvelink, 2022).

3. Phase de croissance végétative

Cette phase se déroule en deux étapes distinctes :

3.1. En pépinière : de la levée jusqu'au stade 5-6 feuilles. La plante développe un système racinaire fonctionnel et commence à former la tige principale et les premières feuilles.

3.2. Après repiquage en plein champ ou sous serre : la croissance s'accélère. La tige s'allonge, de nouvelles feuilles apparaissent, et les racines explorent davantage le sol pour absorber l'eau et les nutriments nécessaires à la plante (Laumonier, 1979 ; FAO, 2023).

3. Phase de floraison et pollinisation

La floraison marque le passage du stade végétatif au stade reproducteur. Le méristème apical se transforme pour donner naissance aux ébauches florales, qui évoluent ensuite en boutons floraux puis en fleurs. Ce processus dépend fortement de la température (18–24 °C), de la photopériode et de la disponibilité en éléments nutritifs (Rey & Costes, 1965 ; Chaux & Foury, 1994). La pollinisation est principalement autogame, mais peut aussi être facilitée par le vent ou par des insectes pollinisateurs comme les bourdons, qui assurent la libération du pollen par vibration des anthères.

4. Phase de fécondation, nouaison et fructification

La fécondation intervient 2 à 3 jours après la pollinisation. Une température nocturne modérée, entre 13 et 15°C, favorise une bonne nouaison. À l'inverse, les températures nocturnes supérieures à 22°C peuvent entraîner une chute des fleurs ou des jeunes fruits (Rey et Costes, 1965).

5. Phase de développement et de maturation des fruits

Le fruit entre ensuite en phase de grossissement, suivi d'un changement progressif de couleur (du vert au rouge, orange ou jaune selon la variété). La maturation est influencée par la lumière et la température : idéalement 27 °C le jour et 18 °C la nuit. Durant cette phase, les sucres sont activement transportés vers les fruits, ce qui influence leur goût et leur qualité (Heuvelink, 2022 ; Rey & Costes, 1965).

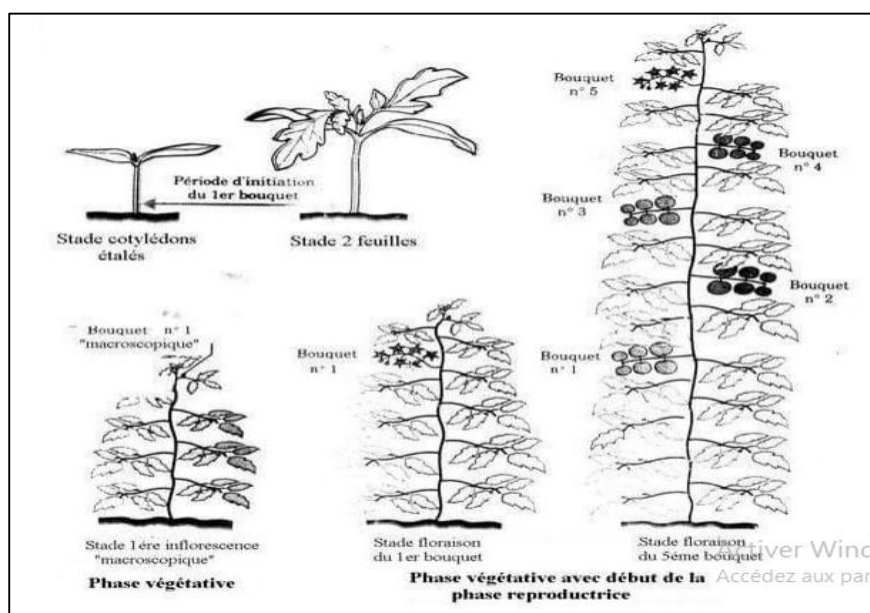


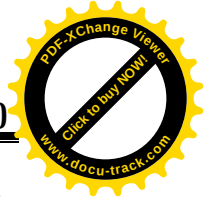
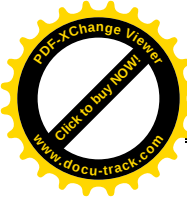
Figure 6 : Les stades de développement de la tomate
(WACQUANT, 1995).

Condition environnementale optimales pour la culture de la tomate

1. Influence du sol et du climat sur la croissance des plants de tomate

1.1. Sol

D'après ce que j'ai observé et appris à travers mes recherches, la tomate pousse dans différents types de sols, mais elle donne de meilleurs résultats dans un sol profond, meuble, bien drainé et capable de se réchauffer rapidement au printemps. Cela est particulièrement avantageux pour les



cultures précoces et dans les régions plus fraîches. En revanche, les sols trop compacts ou mal aérés peuvent provoquer une asphyxie racinaire, ce qui freine considérablement le développement des plants. Les sols lourds, quant à eux, peuvent bien convenir aux cultures tardives si l'irrigation est bien gérée (Denis, 2010 ; FAO, 2023).

1.2. Climat

La tomate est une espèce thermophile, c'est-à-dire qu'elle préfère les climats chauds et ensoleillés. Les températures optimales pour sa croissance se situent entre 22°C et 28°C le jour, et entre 16°C et 18°C la nuit. En dessous de 10°C ou au-dessus de 35°C, la croissance devient difficile et la floraison peut être compromise (Heuvelink, 2022 ; INRAE, 2021).

1) Besoins en eau et en lumière

1. 1. Besoin hydrique

Les besoins en eau de la tomate dépendent fortement de son stade de développement. En moyenne, la culture nécessite entre 4000 et 5000 m³ d'eau par hectare (ITCMI, 2010). Voici comment ces besoins varient selon les étapes :

1.1.1. De la plantation à la première floraison : la plante est en croissance lente, donc les besoins en eau restent modérés.

1.1.2. De la floraison à la maturation des fruits : c'est la phase de croissance rapide, et donc celle où les besoins hydriques sont les plus élevés.

1.2.3. En fin de cycle (phase de sénescence) : les besoins diminuent progressivement.

Une irrigation bien gérée est essentielle, car les excès peuvent favoriser les maladies, tandis que les manques peuvent entraîner des fruits de petite taille ou une mauvaise nouaison.

2. Lumière

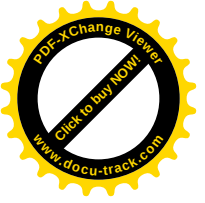
Même si la tomate n'est pas sensible au photopériodisme (longueur du jour), elle reste très exigeante en lumière. Une forte intensité lumineuse est nécessaire pour une bonne photosynthèse, la mise à fruits et la qualité des récoltes. Un éclairage insuffisant peut

entraîner une réduction du nombre de fleurs par bouquet, une fécondation faible et même altérer la couleur des feuilles et des fruits (Caburet, 2002 ; Khan et al., 2021).

8. Maladie et ravageurs affectant la tomate

8.1. Maladies fongiques et bactériennes et leur impact sur la production

Au cours de mes recherches sur la culture de la tomate, j'ai constaté qu'elle est vulnérable à un grand nombre de maladies et ravageurs, qui peuvent sérieusement limiter les rendements si des



mesures préventives ne sont pas prises. Ces attaques touchent aussi bien les organes aériens que le système racinaire, en plein champ comme sous serre.

8.2. Maladies fongiques et bactériennes

8.2.1. Maladies cryptogamiques (fongiques)

Ces maladies, causées par des champignons, se développent souvent en présence d'humidité élevée (pluie, rosée, irrigation excessive ou brouillard). Les plus fréquentes sont :

- Alternariose (causée par *Alternariasolani* ou *A. tomatophila*) : elle provoque des taches noires concentriques sur les feuilles, la tige et les fruits. Elle est surtout présente en plein champ dans des conditions chaudes et humides (Blancard, 2009 ; Jones et al., 2020).

- Moisissure grise (*Botrytis cinerea*) : elle se développe à partir de blessures causées par l'effeuillage ou la taille. Ce champignon attaque toutes les parties aériennes de la plante et entraîne la pourriture grise, notamment en environnement protégé (Foury& Chaux, 1994).

8.2.2. Maladies bactériennes

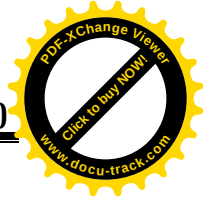
- Moucheture bactérienne (*Pseudomonas syringaepv. tomato*) : bactérienne à Gram négatif, elle engendre des taches brunes ou noires sur les feuilles et cause leur dessèchement.
- Gale bactérienne (*Clavibacter michiganensis* sub sp. *Michiganensis*) : Gram positif, elle est très agressive, présente sur tous les continents, et provoque des nécroses sur tiges, fleurs et fruits verts, ainsi que des chancres (Agrios, 2005).
- Chancre bactérien : provoque une infection vasculaire, transmise principalement par les semences. Elle forme des lésions chancreuses visibles sur la tige et les feuilles (EPPO, 2022).

8.2.3. Maladies virales

- ToMV (Tomato mosaic virus) : virus très stable dans l'environnement, provoquant des marbrures vert clair à jaune sur les feuilles et une croissance ralentie. Sa transmission se fait facilement par contact avec les outils ou les mains (Hanssen et Thomma, 2010).
- ToCV (Tomato chlorosis virus) : provoque une chlorose interveinale, un enroulement et un durcissement des vieilles feuilles. Il est transmis par des insectes vecteurs, comme les aleurodes (*Bemisia tabaci*) (Wisler et al., 1998).

8.2.4. Insectes ravageurs

Plusieurs insectes et acariens attaquent la tomate à différents stades de développement :



- Nématodes à galles (*Meloidogynespp.*) : causent des déformations racinaires et des retards de croissance.
- Mineuses de feuilles (*Tuta absoluta*) : larves qui creusent des galeries dans les feuilles.
- Noctuelles (*Helicoverpaarmigera*) : chenilles qui perforent les fruits.
- Pucerons, aleurodes et acariens : ces petits insectes suceurs affaiblissent les plantes et sont souvent vecteurs de virus.

9. Méthodes de lutte

Une attention particulière aux méthodes de lutte contre les ravageurs doit être appliquée car leur présence peut sérieusement compromettre la production et la qualité des fruits. Les approches actuelles se basent principalement sur deux stratégies complémentaires : la lutte biologique et la lutte chimique.

9.1. Lutte biologique

Elle consiste à utiliser des ennemis naturels des ravageurs afin de réduire leur population sans recourir aux pesticides chimiques. Cette méthode est de plus en plus privilégiée car elle respecte l'environnement et limite les résidus toxiques sur les fruits. Par exemple :

_Contre la mineuse (*Tuta absoluta*), l'introduction du parasitoïde *Trichogramma achaeae* a montré une efficacité significative en serre comme en plein champ (Cabello et al., 2009).

_Les aleurodes (*Bemisia tabaci*) sont souvent contrôlés biologiquement grâce à des auxiliaires comme *Encarsia formosa*, une petite guêpe parasitoïde (van Lenteren et al., 2018).

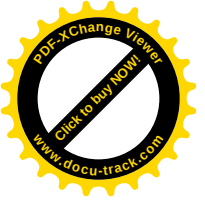
_D'autres agents biologiques comme *Bacillus thuringiensis*, une bactérie entomopathogène, sont également utilisés pour lutter contre certaines chenilles (Ruiu, 2015).

Ces méthodes sont particulièrement adaptées à l'agriculture biologique et aux systèmes intégrés de production.

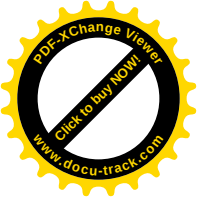
9.2. Lutte chimique

Malgré l'intérêt croissant pour les méthodes alternatives, la lutte chimique reste largement utilisée, notamment en cas d'infestation massive ou lorsque les conditions ne permettent pas un contrôle biologique efficace. Elle repose sur l'usage de produits phytosanitaires homologués, choisis selon le type de ravageur ciblé :

Pour lutter contre les pucerons, des insecticides systémiques comme l'acétamipride ou le flupyradifurone sont souvent utilisés. Les traitements contre *Tuta absoluta* incluent des insecticides comme le spinosad ou l'indoxacarbe, avec rotation obligatoire pour éviter l'apparition de

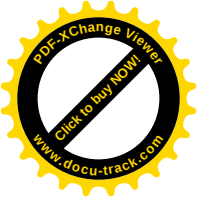


résistances (Desneux et al., 2010). Pour les aleurodes, des formulations à base d'huiles minérales ou d'insecticides à action translaminaire sont appliquées, surtout sous serre. Il est toutefois indispensable de respecter les bonnes pratiques agricoles (BPA), notamment les délais de sécurité avant récolte, les doses homologuées, et l'alternance des matières actives pour éviter la résistance.



CHAPITRE 2

Allélopathie et ses implications dans les interactions plantes-plantes



1 Définition de l'allélopathie :

Dans le cadre de mon travail sur les interactions entre les plantes, je me suis intéressée à l'allélopathie, un phénomène écologique qui décrit les effets biochimiques qu'une plante peut exercer sur une autre via la libération de composés naturels dans l'environnement. Ces composés, appelés composés allélochimiques, peuvent soit inhiber, soit stimuler la germination, la croissance ou encore le développement d'autres espèces végétales (Rice, 1984).

L'allélopathie ne concerne pas uniquement la compétition pour les ressources (eau, lumière, nutriments), mais implique également une communication chimique entre espèces, souvent par l'intermédiaire des racines, des exsudats foliaires ou de la décomposition des résidus végétaux (Inderjit & Duke, 2003).

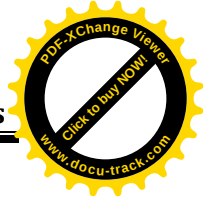
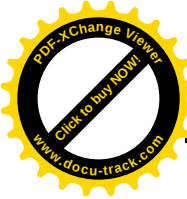
Ce phénomène est de plus en plus étudié dans le cadre de l'agriculture durable. Il représente une alternative naturelle aux herbicides chimiques en permettant le contrôle des mauvaises herbes, des agents pathogènes et de certains insectes, tout en réduisant la pression environnementale liée aux intrants (Friedman et al., 2021).

J'ai découvert que certaines familles botaniques, notamment les Brassicacées comme la moutarde, sont particulièrement riches en composés allélopathiques efficaces, ce qui renforce leur potentiel d'utilisation dans les cultures comme la tomate.

2 Origine et nature des composés allélochimiques :

Dans le cadre de mes recherches, j'ai appris que les composés allélochimiques sont produits naturellement par les plantes et peuvent être libérés dans l'environnement par différents moyens : exsudats racinaires, volatilisation par les feuilles, lessivage des parties aériennes, ou encore décomposition des résidus végétaux (Chou, 1999).

Ces substances bioactives appartiennent à différentes familles chimiques telles que les phénols, les terpènes, les flavonoïdes, les acides organiques, les alcaloïdes et surtout les glucosinolates dans le cas des Brassicacées comme la moutarde. Lorsqu'ils sont libérés dans le sol, ces composés peuvent modifier la structure microbienne du sol, inhiber la germination ou freiner la croissance d'autres plantes, voire perturber certains agents pathogènes ou insectes (Inderjit & Duke, 2003 ; Mwendwa et al., 2022).



J'ai trouvé particulièrement intéressant le cas de la moutarde jaune (*Sinapis alba*), riche en glucosinolates, qui libère par hydrolyse un composé appelé isothiocyanate d'allyle, reconnu pour ses effets inhibiteurs sur la germination de certaines adventices et la croissance de champignons nuisibles, tout en ayant un potentiel phytotoxique modéré sur certaines cultures sensibles, comme la tomate si elle est mal utilisée (Brown & Morra, 1997).

3 Modes d'action des substances allélopathiques :

Au cours de mes recherches, j'ai identifié cinq principaux mécanismes par lesquels les substances allélopathiques influencent la croissance des plantes voisines :

a) Stress oxydatif (ROS) :

J'ai constaté que ces composés provoquent souvent une production excessive de radicaux libres (ROS), comme le $H_2 O_2$, entraînant une oxydation des lipides de la membrane plasmique et altérant la structure cellulaire. Dans une étude réalisée sur la tomate, une exposition à des exsudats phytotoxiques a induit une baisse marquée de l'activité de la catalase et de l'ascorbate peroxydase, accompagnée d'un pic de peroxydation lipidique après 48 h, confirmant le rôle du stress oxydatif (Romero- Romero et al., 2006).

b) Inhibition de la division et de l'élongation cellulaire :

Les phénols, comme l'acide coumarique et l'acide férulique, ralentissent la division des cellules méristématiques et la croissance des racines. Par exemple, 0,1–1 mM de ces composés réduit significativement la longueur de la radicule et désorganise les structures cellulaires (Li et al., 2006).

c) Altération hormonale :

Des substances tels que le cyanamide et certains phénols interfèrent avec les voies hormonales en abaissant l'activité des enzymes ACS/ACO, nécessaires à la biosynthèse de l'éthylène, ou en modifiant les niveaux d'ABA. Ces déséquilibres empêchent l'amorce de la germination (Inderjit & Duke, 2003).

d) Détérioration des membranes cellulaires :

Des alcaloïdes comme la tomatine, naturellement présents dans la tomate, interagissent avec les stérols membranaires pour former des complexes qui créent des pores, provoquent des fuites

cytoplasmiques et mènent à la mort cellulaire. Cet effet antifongique est bien documenté (Friedman, 2002).

e) Inhibition enzymatique et nutritionnelle :

Les acides phénoliques inhibent des enzymes clés, comme les phosphorylases et ATPases, perturbant la respiration cellulaire et l'absorption des nutriments (Muscolo et al., 2001). Ils favorisent aussi la peroxydation des membranes, réduisant l'absorption ionique (Benzoïques, cinnamiques, etc.) (Muscolo et al., 2001 ; Głąb et al., 2023)

4 Les plantes reconnues pour leur pouvoir allélopathique :

En approfondissant mes recherches sur l'allélopathie, j'ai découvert que certaines plantes sont particulièrement reconnues pour leur capacité à produire des composés biochimiques influençant la croissance des plantes voisines. Ces espèces jouent un rôle important dans la régulation naturelle des écosystèmes agricoles.

a) *Sorghum bicolor* (sorgho) :

Le sorgho libère une substance appelée sorgoléone, ainsi que des acides phénoliques, qui inhibent fortement la germination des mauvaises herbes. Cette plante est souvent utilisée dans des systèmes de culture durable pour réduire la pression des adventices sans recours aux herbicides chimiques (Rice et al., 2022).



Figur 7:image de sorghum bicolor

Sorghum bicolor 2005, sep 4 by pethan Botanical Gardens Utrecht University

b) Plantes de la famille des Brassicaceae (moutarde, colza, etc.) :

Les espèces comme *Brassicajuncea* ou *Brassicacanapus* sont riches en glucosinolates, qui se dégradent en isothiocyanates. Ces composés ont une forte activité antifongique et herbicide. Ils sont utilisés dans la technique de biofumigation pour assainir les sols (Brown & Morra, 1997).



Figur 8 :image plante de la famille brassicaceae

Brown & Morra, (1997)

c) Légumineuses (ex. luzerne, haricot) :

Certaines Fabaceae comme la luzerne ou le haricot produisent aussi des composés allélopathiques (acides phénoliques, flavonoïdes) qui contribuent à réduire la croissance des adventices, tout en améliorant la fertilité du sol (Rial et al., 2021).



Figure 9 : image de légumineuse

(Rial et al., (2021)

d) Arbres allélopathiques (ex. noyer noir, ailante)

Le *Juglans nigra* (noyer noir) produit une molécule appelée juglone, très puissante pour inhiber la croissance des plantes environnantes. De même, *Ailanthus altissima* (ailante) libère de l'ailanthone, un composé toxique pour de nombreuses espèces végétales concurrentes (Inderjit & Duke, 2003).



Figure 10 : image de arbres allélopathiques

Inderjit et Dakshini, K.M.M.(1995)

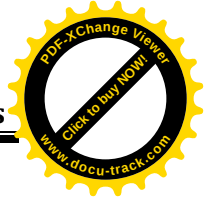
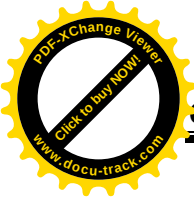
5 Application de l'allélopathie en agriculture :

En poursuivant mes recherches, j'ai constaté que l'allélopathie ne se cantonne pas à un concept théorique : elle s'applique de façon concrète dans les systèmes agricoles, notamment pour gérer les adventices, améliorer la santé des sols et réduire l'usage des intrants chimiques.

a) Rotation, cultures mixtes et culture de couverture :

Gestion des mauvaises herbes : Intégrer des plantes allélopathiques comme *Sorghum bicolor* ou *Brassica juncea* dans une rotation permet la sécrétion de molécules actives (sorgoléone, isothiocyanates...) qui suppriment naturellement les adventices sans herbicides (Rice et al., 2022 ; Brown & Morra, 1997).

Biofumigation : Après broyage, les résidus de Brassicaceae libèrent des isothiocyanates dans le sol, limitant les nématodes et champignons pathogènes (Kirkegaard et al., 2000 ; Wijewickrama et al., 2020).



b) Paillage vivant et biomulching

Semer des légumineuses (p. ex. luzerne, phacélie) comme paillage vivant permet un apport continu d'acides phénoliques allélopathiques tout en enrichissant la structure du sol. J'ai noté que cette technique réduit efficacement les adventices et soutient la biodiversité microbienne (Rial et al., 2021).

c) Optimisation agroécologique :

J'ai observé que l'association de la tomate avec des cultures allélopathiques, notamment la moutarde blanche, réduit les populations de nématodes de 40 à 60 %, sans utiliser de produits chimiques (Ozkan et al., 2007).

L'utilisation d'extraits aqueux de moutarde comme bioherbicide localisé est également prometteuse : elle cible les adventices tout en minimisant les résidus chimiques et les coûts (Alizadeh et al., 2019).

d) Avantages et limites :

1. Avantages :

Réduction des herbicides et fongicides chimiquement de synthèse
Amélioration de la qualité biologique et chimique du sol
Effet durable des composés allélopathiques

2. Limites :

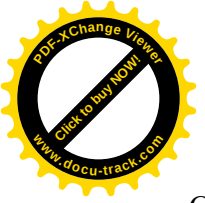
Nécessité d'une bonne calibration (doses, calendriers) pour éviter la phytotoxicité

Variabilité des résultats selon la température, l'humidité et le type de sol
Besoin de développer des cultivars adaptés et des protocoles opérationnels robustes

6 Lien entre allélopathie et extraits aqueux de la moutarde :

Dans le cadre de mes recherches, j'ai souhaité explorer la relation directe entre l'allélopathie et les extraits aqueux de moutarde jaune (*Sinapis arvensis*), en vue de leur application pratique dans la culture de la tomate.

Pourquoi la moutarde jaune ?



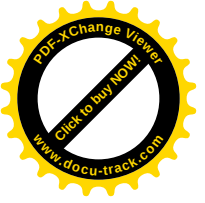
Cette espèce est riche en glucosinolates, qui, lorsqu'ils sont libérés dans l'eau, se transforment en isothiocyanates — des molécules reconnues pour leur action phytotoxique sur les adventices, les champignons et les nématodes (Brown & Morra, 1997). L'utilisation d'extraits aqueux permet d'isoler ces composés pour cibler la germination et la croissance sans devoir incorporer la biomasse totale dans le sol

a) Études préalables :

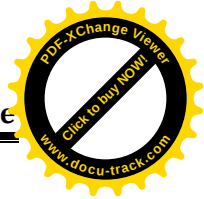
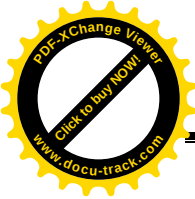
Alizadeh et al. (2019) ont démontré qu'un extrait aqueux de moutarde, appliqué sur des graines d'orge, réduisait significativement le taux de germination et la longueur des racines. Cela confirme l'effet dose-dépendant de ces extraits (Iranian Journal of Seed Research, 26, 205–214).

Khaliq et al. (2022) ont rapporté que, appliqué sur des graines de tomate, un extrait de moutarde à des concentrations modérées améliore l'activité antioxydante des plantules, tandis que des doses élevées induisent une réduction nette de la germination et de la biomasse (Plants, 11(3), 345).

Wang et al. (2021) ont noté que des extraits aqueux à 5 % de Brassica juncea réduisent de 45 % la germination d'adventices en culture de riz, confirmant ainsi le pouvoir bioherbicide contrôlable par la concentration (Journal of Plant Protection Research, 61(2), 155–162).



Matériels et méthodes



- **Objectif de l'expérience**

Cette étude vise à évaluer l'effet des extraits aqueux de la moutarde jaune (*Sinapis arvensis*) sur la germination et la croissance des graines de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) dans des conditions contrôlées de laboratoire

L'objectif principal est de déterminer si les extraits ont une influence positive ou négative sur la capacité germinative des graines.

- Analyser l'impact des différentes concentrations sur le développement des plantules (longueur des racines, tiges, etc.).
- Explorer le potentiel allopathique de *Sinapis alba* en tant qu'agent naturel pouvant influencer la croissance d'autres plantes.

1.1. Lieu de réalisation de l'expérience

L'expérimentation a été réalisée au niveau de laboratoire physiologie végétale du département de Biotechnologies et agroécologies de l'université Blida 1 durant l'année universitaire 2024-2025.

1.2. Matériel végétal utilisé dans l'expérimentation :

1. Graines de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

- Représentent la plante cible sur laquelle l'effet des extraits est étudié.
- Provenance : marché local.
- Critères de sélection : graines homogènes, saines et exemptes de défauts.
- Stockage dans un environnement sec et sombre avant leur utilisation.
- Quantité expérimentale : 10 graines par boîte de Pétri.
- 4 répétitions pour chaque concentration de l'extrait.

2. Feuilles de moutarde jaune (*Sinapis alba*)

- Utilisées pour la préparation des extraits aqueux.
- Provenance : plantes fraîches récoltées localement.
- Prétraitement :
 - Lavage à l'eau distillée pour éliminer les impuretés.
 - Séchage rapide à l'air ambiant.
 - Broyage mécanique à l'aide d'un mixeur électrique Ensuite, elles ont été séchées dans une étuve de laboratoire (Memmert) à température contrôlée.

- Les feuilles ont été choisies pour leur richesse en composés allélopathiques actifs.



Les Figures 11 : le matériel végétal utilisé (original)

1.3. Matériel physique utilisé dans l'expérimentation :

Instruments de mesure et de contrôle :

- Balance électronique (Balance de précision) Pour peser avec exactitude les échantillons de feuilles
- Étuve de séchage (Étuve – marque Memmert) Utilisée pour le séchage des feuilles de moutarde jaune à température contrôlée sans altérer les composés actifs.
- Thermomètre numérique (Thermomètre digital) Pour vérifier la température à l'intérieur des dispositifs d'incubation.
- Étuve d'incubation Permet de maintenir les boîtes de Pétri à 25°C dans l'obscurité durant la période de germination.

_ Matériel de préparation et de filtration :

- Mixeur électrique Pour broyer les feuilles et obtenir un extrait végétal homogène.
- Béchers et verres gradués Pour préparer et diluer les extraits végétaux avec de l'eau distillée.
- Filtre à papier (Whatman N°1) Pour filtrer les extraits végétaux après broyage.
- Gaze stérile Pour éliminer les impuretés grossières lors de la première étape de filtration.

Matériel de mise en culture :

- Boîtes de Pétri (Boîtes de germination) Utilisées pour la disposition des graines de tomate et le traitement par les extraits.
- Filtres dans les boîtes de Pétri Imbibés d'extrait pour créer un milieu favorable à la germination
- Pipettes graduées Pour appliquer avec précision le volume adéquat d'extrait sur chaque boîte.

Instruments de documentation et d'analyse :

- Règle millimétrée Pour mesurer la longueur des racines et des hypocotyles avec précision.

1.4. Matériaux utilisés pour l'analyse du proline et chlorophylle :

1.4.1 L'analyse de la proline est généralement réalisée selon la méthode de Bates et *al.*, (1973), basée sur la réaction de la proline avec l'acide ninhydrine.

Réactifs chimiques :

- Acide ninhydrine (Ninhydrine)
- Acide acétique glacial (Acide acétique glacial)
- Toluène comme solvant organique pour l'extraction de la phase colorée
- Eau distillée

Matériel :

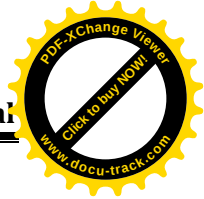
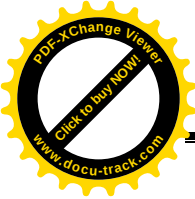
- Tubes à essai
- Bain-marie à 100°C
- Spectrophotomètre pour lecture à 520 nm
- Pipettes graduées
- Fiole jaugée



Figures 12 : les matériels physiques utilisé(original)

1.4.2 Matériaux utilisés pour l'analyse du chlorophylle L'extraction de la chlorophylle

Appareil utilisé : dispositif optique de type SPAD ou équivalent, permettant une lecture directe sur la feuille. Les mesures ont été prises directement sur les feuilles développées après traitement avec les extraits végétaux.



1.5 Description des différents traitements expérimentaux

Dans le cadre de cette étude, six traitements ont été réalisés afin d'évaluer l'effet de différentes concentrations d'extraits aqueux de *Sinapis alba* sur la germination et la croissance de *Solanum lycopersicum* L.

Traitement	Concentration d'extrait	Composition et description
T0 (Témoin)	0%	Eau distillée pure sans extrait végétal
T1	20%	20 ml d'extrait + 80 ml d'eau distillée
T2	40%	40 ml d'extrait + 60 ml d'eau distillée
T3	60%	60 ml d'extrait + 40 ml d'eau distillée
T4	80%	80 ml d'extrait + 20 ml d'eau distillée
T5	100%	Extrait pur, non dilué

Préparation de la solution mère

Afin d'obtenir une solution riche en composés bioactifs, un extrait aqueux brut a été préparé à partir de feuilles et de fleurs de *Sinapis alba* récoltées localement au sein du campus universitaire.

- Tri et séchage : Après la récolte, les feuilles ont été séparées manuellement des fleurs. Les deux types d'organes ont été laissés à sécher à température ambiante, puis placés dans une étuve de type Nef à 35°C pendant 30 minutes afin de garantir un séchage uniforme sans altération des principes actifs.

- Broyage : Les échantillons séchés ont été finement broyés au laboratoire à l'aide d'un moulin électrique, jusqu'à obtention d'une poudre homogène.

Une masse exacte de 12 g de feuilles et 12 g de fleurs a été pesée et introduite dans un récipient contenant 330 ml d'eau distillée. Le mélange a d'abord été agité manuellement, puis placé dans un agitateur automatique réglé à une vitesse de 120 tours/minute, pendant 3 jours consécutifs à température ambiante pour assurer une extraction maximale des composés solubles.



Figure 13 : extrait aqueux(original)

- Filtration : À la fin de l'agitation, le mélange a été soigneusement filtré successivement à travers une gaze stérile puis un papier filtre Whatman N°1, afin d'obtenir un extrait limpide sans résidus solides.

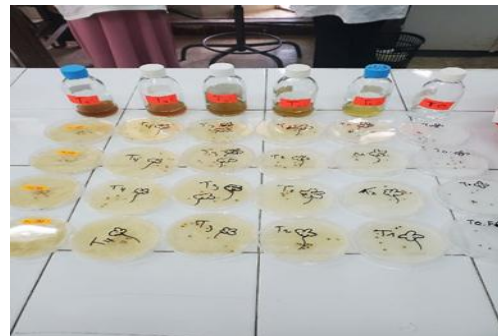
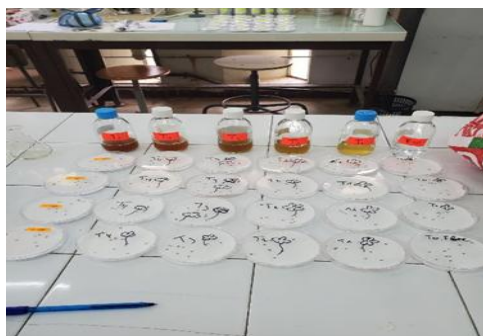
Préparation des concentrations expérimentales

La solution mère ainsi obtenue a servi à formuler les six traitements appliqués aux graines de tomate :

Traitement	Concentration	Composition	Description
T0 (Témoin)	0%	100 ml d'eau distillée	Témoin (contrôle négatif sans extrait)
T1	20%	20 ml d'extrait + 80 ml d'eau distillée	Faible concentration, effet stimulant possible
T2	40%	40 ml d'extrait + 60 ml d'eau distillée	Réponse intermédiaire
T3	60%	60 ml d'extrait + 40 ml d'eau distillée	Concentration élevée, risque d'inhibition
T4	80%	80 ml d'extrait + 20 ml d'eau distillée	Effet renforcé des composés bioactifs
T5	100%	100 ml d'extrait pur	Concentration maximale, effet allélopathique

Méthode d'application

- Chaque traitement a été appliqué sur 10 graines de tomate par boîte de Pétri.
- 4 répétitions ont été effectuées pour chaque condition expérimentale.
- Les filtres à l'intérieur des boîtes ont été imbibés avec 5 ml de solution correspondant à chaque traitement.
- Les boîtes ont été incubées à 25°C dans l'obscurité pendant 8 jours



Figures 14 : Méthode d'application(original)

1.6 Étude de la germination des graines de tomate

Cette expérience a été menée dans le but d'évaluer l'effet de différentes concentrations d'extrait aqueux de *Sinapis alba* (traitements T0 à T5) sur la capacité germinative des graines de tomate (*Solanum lycopersicum* L.), dans des conditions de laboratoire contrôlées

➤ Protocole expérimental

- Pour chaque traitement, 10 graines ont été placées dans une boîte de Pétri contenant du papier filtre absorbant stérile.
- Le papier a été humidifié avec 5 ml de la solution correspondant au traitement appliqué.
- Les boîtes ont ensuite été introduites dans une étuve d'incubation à une température constante de 25°C, en obscurité totale, pendant une durée de 8 jour consécutive.

Critère de germination

La germination est considérée comme réussie lorsque la radicule atteint une longueur minimale de 2 mm

3. Paramètres mesurés

3.1. Taux de germination (TG%) :

Le taux de germination est une mesure de l'évolution de temps de germination et est généralement exprimé en pourcentage. C'est le nombre de graines germées sur le nombre total des graines. (Abobi et al., 2021)

$$TG\% = \frac{NGG}{NCT} \times 100$$

TG (%) : est le pourcentage de germination. NGG : est le nombre des graines germées.

NTG : est le nombre total des graines mises à germer

Mesures de la croissance initiale après la germination

- Les plantules germées ont été sélectionnées dans chaque répétition pour effectuer les mesures suivantes :

- Longueur de la racicule
- Longueur de la tigelle (hypocotyle)
- Poids de la racicule
- poids de la tigelle



Figures 15 : les graines germées(original)

Deuxième expérimentation : Phase de croissance post-germination : repiquage et mesures physiologiques

Après la phase de germination, les plantules ayant développé une racicule de ≥ 2 mm ont été soigneusement sélectionnées et repiquées dans des pots contenant un substrat composé de terreau La Turbe, stérilisé et légèrement humidifié afin de favoriser un enracinement optimal.

Arrosage et suivi

- Les plantules ont été arrosées régulièrement pendant un mois, avec les mêmes solutions d'extraits appliquées lors de la phase de germination (T0 à T5).

- Cette continuité vise à analyser l'effet cumulatif des concentrations sur le développement global des jeunes plants.

Mesures morphologiques réalisées après 30 jours



Figures 16 : Les étapes du développement de la tomate de 8 à 30 jours(original)

4. Paramètres morphologiques mesurés :

4.1. Hauteur finale des tiges (cm)

Nous avons mesuré le diamètre des tiges pour chaque pot à l'aide d'un pied de coulisse.

4.2. Longueur des racines (cm)

Nous avons mesuré la longueur des racines à l'aide d'une règle graduée pour chaque pot.



Figure 17 : la longueur des racines(original)



Figure 18 : la longueur des tiges(original)

4.3. Surface foliaire des feuilles (cm²)

C'est l'espace occupé par la feuille, varie en fonction de l'environnement. Nous avons calculé la surface selon cette équation : (Abobi et al., 2021)

$$SF = \text{Longueur} \times \text{largeur} \times 0,75$$

SF : Surface Foliaire (cm²)

L : longueur des feuilles (cm)

L : largeur des feuilles (cm)

4.4 Biomasse fraîche de partie aérienne (g)

Au moment de la coupe nous avons pesé les différentes parties aériennes de la plante : tiges, feuilles à l'aide d'une balance



Figure 19 : Pesé de la biomasse de la partie aérienne a l'aide d'une balance(original)

4.5 Biomasse fraîche de partie souterraine (g)

Nous avons mesuré la partie souterraine lors de la coupe après un lavage, à l'aide d'une balance.



Figure 20 : la biomasse racinaire(original)

5. Paramètres physiologiques :

5.1. Teneur relative en eau (TRE%) :

Les feuilles fraîches ont été mises dans tubes à essai contenant l'eau distillée dans des conditions sombres pendant 24h, ensuite peser de nouveau pour obtenir un poids turgescent (PT). Les feuilles ont ensuite été séchées au four (70 °C) pendant 24h pour la mesure du poids sec (PS) et les TRE% ont été calculés à l'aide d'une formule (Afzal et al, 2020)

$$\text{TRE\%} = \frac{\text{PF} - \text{PS}}{\text{PT} - \text{PS}} \times 100$$

Dont : PF : Poids frais

PT : poids à la turgescence

PS : Poids sec

1.2.2.2. La teneur en eau (TE%)

La mesure de la teneur en eau d'une plante va traduire la quantité d'eau directement présente dans les tissus et va permettre de suivre l'intensité du stress subit par la plante en cas de carence en eau.

$$TE\% = \frac{PF - PS}{PF} \times 100$$

TE (%) : rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon.

PF : poids de l'échantillon après récolte avant passage à l'étuve. PS : poids de l'échantillon après passage à l'étuve 24 h à 85°C.



Figure (21) : feuilles de tomate fraîche(original) Figure(22) : feuilles de tomate sèche(original)

6. Paramètres biochimiques

6.1 Teneur en chlorophylle

Des feuilles extérieures de tomate a été mesurée à l'aide d'un appareil de mesure chlorophylle mètre portable (modèle SPAD-502) avec une moyenne de 5 lectures par plante, sur la partie médiane des feuilles

6.2 Dosage de la proline

Il est réalisé selon la méthode de Troll et Lindsley, (1955) améliorée par Lahrer et Magne, (1992). 100mg de matériel végétal a été pesé sur le tiers médian de l'avant dernière feuille au quelle nous avons ajouté 2ml d'éthanol 40% puis chauffé, au bain marie à 85°C, pendant 1heurs. Puis, 1ml d'extrait est mélangé à 1ml d'un soluté composé [d'eau distillée (120ml), acide acétique (300ml) et d'acide orthophosphorique (80ml)], 2ml d'acide acétique et 25mg ninhydrine, puis on chauffe de nouveau au bain marie à une température 100°C, pendant 30mn. On laisse refroidir puis on ajoute 5 ml de toluène et on mélange à l'aide d'un vortex, on laisse reposer. On ajoute à la phase supérieure une petite cuillère de (Na2SO4) La densité optique est lue à 528 nm au spectrophotomètre. La détermination de la teneur en proline est réalisée selon la formule :

$$\text{Proline } (\mu\text{g/gMF}) = D_{0528} \times 0,62$$

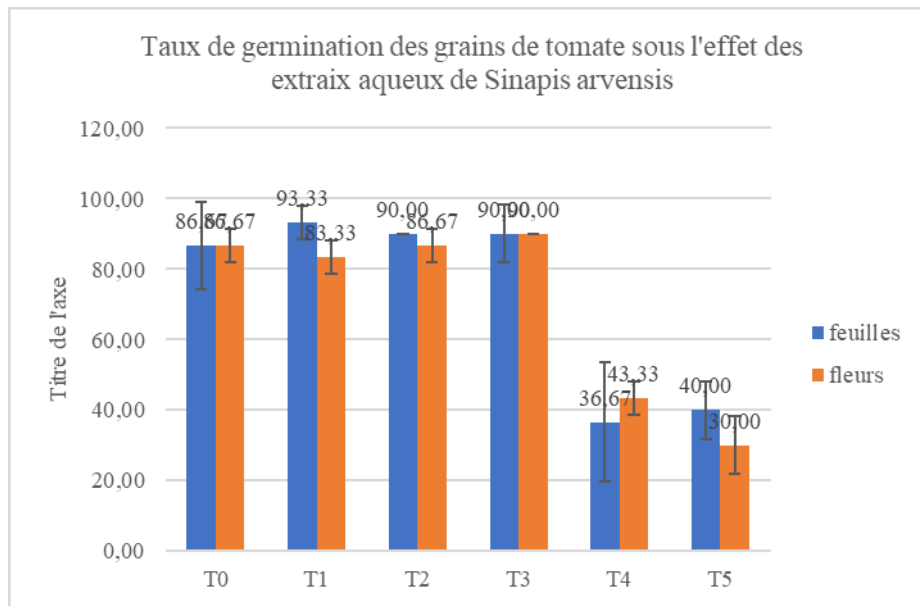
Résultats et discussion

Effet des extraits aqueux de *Sinapis arvensis* sur les paramètres de germination

Effet sur le taux de germination

Les résultats relatifs de taux de germination des grains de tomate est illustrés dans l'histogramme suivant

Effet des extraits aqueux des organes de *Sinapis arvensis* sur le taux de germination des graines de tomate



Ce graphique représente les taux de germination des graines de tomate après traitement avec différentes concentrations d'extraits aqueux des feuilles et des fleurs de **Sinapis arvensis**, incubées pendant 8 jours à 25°C en obscurité.

- Les traitements T1 et T2 ont généré les meilleurs taux de germination (entre 90–93 %), indiquant un effet stimulant modéré probablement induit par des composés phénoliques ou régulateurs présents à faibles doses, favorisant l'activation enzymatique nécessaire à la germination.
- Les traitements T3 et le témoin T0 présentent des taux proches (86–90 %), traduisant une germination normale sans effet inhibiteur apparent.
- En revanche, les traitements à forte concentration (T4 et T5) ont considérablement réduit le taux de germination (37–36,67 % dans l'extrait floral), révélant un effet inhibiteur prononcé, possiblement lié à l'accumulation de composés allélopathiques (soufrés ou terpéniques)

susceptibles d'altérer la perméabilité membranaire ou de modifier le potentiel osmotique autour des graines.

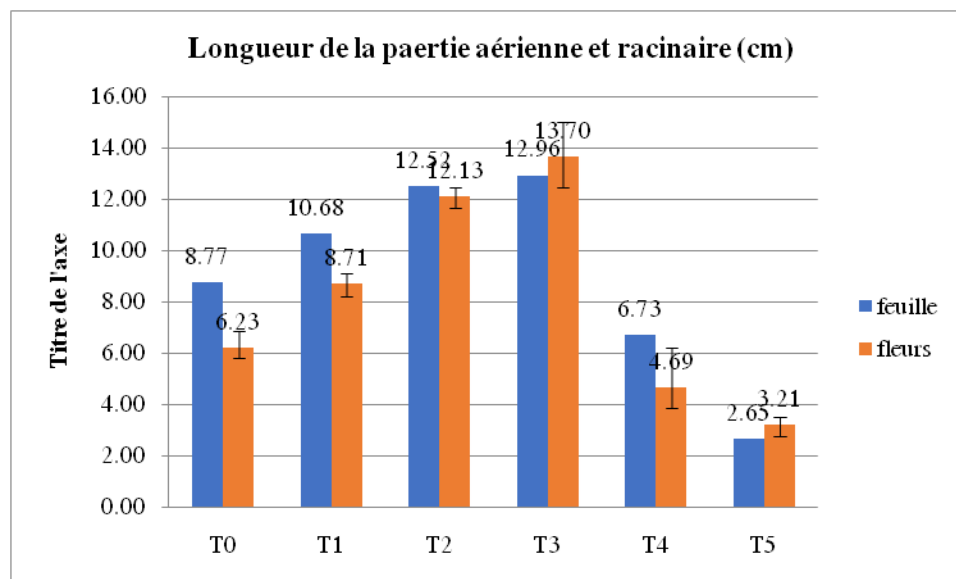
Le graphique illustre donc une relation dose-dépendante claire :

Stimulation à faibles et moyennes concentrations

Inhibition marquée à fortes doses, particulièrement dans les extraits floraux.

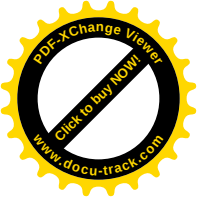
Les résultats sont statistiquement significatifs selon les tests ANOVA et Tukey HSD ($p \leq 0,05$), ce qui valide l'impact réel des extraits végétaux sur la performance germinative.

Effet des concentrations des extraits aqueux des feuilles et des fleurs de **Sinapis arvensis sur la longueur des parties aérienne et racinaire des plantules de tomate après 8 jours de germination**



Ce graphique présente les longueurs moyennes du système aérien (tige) et du système racinaire principal des plantules de tomate après 8 jours d'incubation à 25°C en obscurité, selon les concentrations des extraits végétaux appliqués (T0 à T5).

- L'extrait floral à la concentration T2 (40 %) induit les longueurs les plus élevées tant pour la tige (4,64 cm) que pour la racine (4,47 cm), révélant une stimulation optimale du développement initial.



- L'extrait foliaire à T3 (60 %) montre également un bon effet stimulant avec des longueurs proches (4,21 cm pour la tige et 4,08 cm pour la racine), suggérant un rôle favorable de certains métabolites à concentration modérée.
- En revanche, le traitement T5 (100 %) génère les valeurs les plus faibles dans les deux parties, notamment avec l'extrait floral (1,63 cm pour la tige et 1,57 cm pour la racine), ce qui indique un effet inhibiteur significatif dû à une forte concentration de composés allélopathiques tels que les glucosinolates ou flavonoïdes.
- Le témoin T0 affiche des longueurs intermédiaires (~4 cm), représentant le développement naturel en absence de substances bioactives externes.

Ces données révèlent une réponse dose-dépendante, avec :

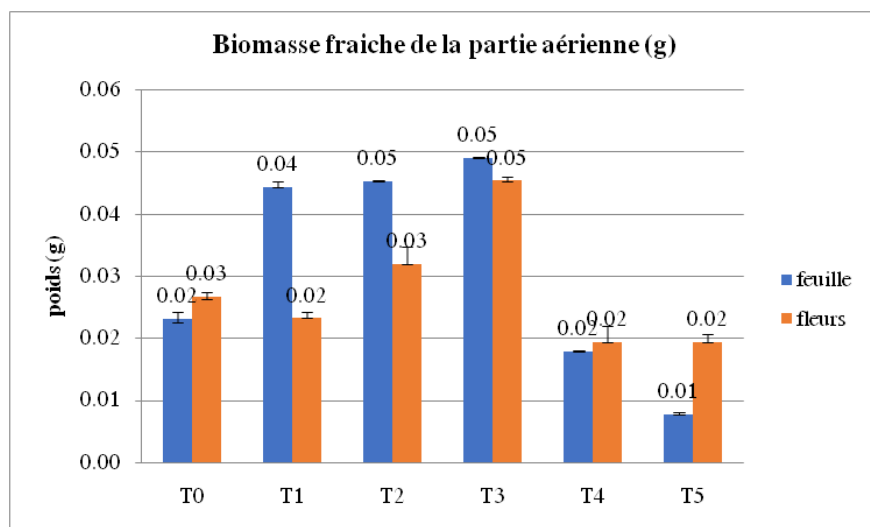
Stimulation à concentrations modérées (T2-T3)

Inhibition à forte concentration (T5)

Une variation d'effet selon le type d'extrait (feuille vs fleur).

Les tests statistiques (ANOVA et Tukey HSD, $p \leq 0,05$) confirment des différences significatives entre les traitements, validant l'influence réelle des extraits de **Sinapis arvensis** sur la morphogénèse des plantules durant la germination.

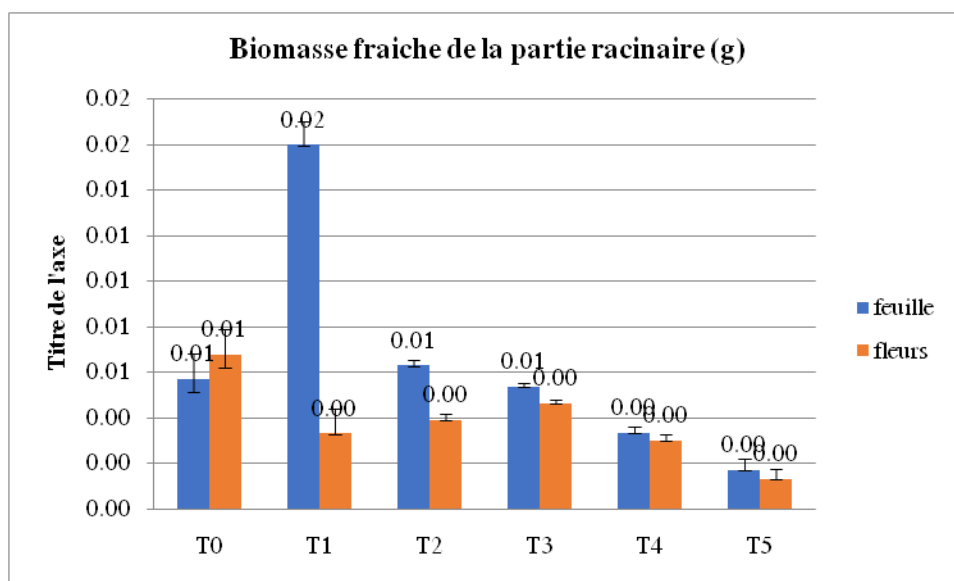
Titre du graphique Effet des concentrations de l'extrait de **Sinapis arvensis sur la biomasse fraîche de la partie aérienne des plantules de tomate en phase de germination**



Illustre la variation de la biomasse fraîche de la partie aérienne (en grammes) des plantules de tomate après 8 jours d'incubation à 25°C en obscurité, selon les différentes concentrations de l'extrait aqueux de *Sinapis alba* (T0 à T5). - Les traitements T2 (40%) et T3 (60%) présentent les valeurs les plus élevées en poids frais, traduisant un effet physiologique stimulant qui favorise l'accumulation de matière durant la germination. - Le traitement T1 (20%) affiche des résultats modérés, légèrement supérieurs au témoin, suggérant une réponse positive au faible taux d'extrait. - Le témoin T0 (0%) montre une biomasse intermédiaire (0,03 g pour les feuilles ; 0,02 g pour les fleurs), servant de référence neutre pour l'évaluation des effets du traitement. - En revanche, les traitements T4 (80%) et T5 (100%) entraînent une diminution marquée du poids frais, en particulier avec l'extrait floral, ce qui indique un effet inhibiteur probable causé par des composés allélopathiques à forte concentration. Ces résultats confirment que la biomasse fraîche est étroitement liée à la concentration de l'extrait végétal : une stimulation aux doses intermédiaires, et une inhibition aux doses élevées, suivant une courbe de réponse biologique typique

L'analyse statistique (ANOVA suivie du test de Tukey HSD) révèle des différences significatives entre les traitements ($p \leq 0,05$), corroborant l'impact réel de l'extrait sur le développement physiologique des plantules durant la germination

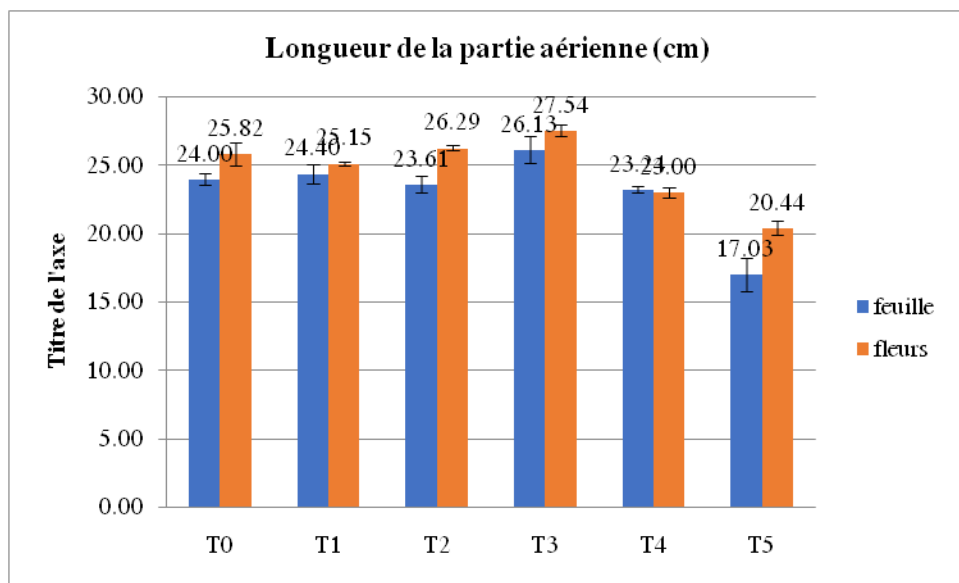
Effet des concentrations de l'extrait de **Sinapis arvensis** sur la biomasse fraîche racinaire des plantules de tomate pendant la germination



Présente la variation du poids frais de la racine principale des plantules de tomate soumises à différentes concentrations de l'extrait aqueux de *Sinapis alba* (T0 à T5), après 8 jours d'incubation à 25°C en obscurité. - Le témoin T0 (0%) a généré la biomasse racinaire la plus élevée, notamment avec l'extrait foliaire (0,02 g) par rapport à l'extrait floral (0,01 g), indiquant une croissance normale en l'absence de traitement végétal. - Aux concentrations T1, T2 et T3, le poids racinaire a diminué à 0,01 g (extrait foliaire) et 0,00 g (extrait floral), révélant un début d'effet inhibiteur des composés présents dans l'extrait à doses faibles à modérées. - Les traitements T4 (80%) et T5 (100%) ont entraîné une inhibition quasi totale de la croissance racinaire, reflétée par des valeurs nulles ou négligeables pour les deux types d'extrait. Cela suggère une forte activité allélopathique liée à la concentration élevée des substances actives. Ce profil traduit une réponse biologique négative en fonction de la concentration, avec une réduction progressive de la biomasse racinaire au fur et à mesure que la dose augmente.

L'analyse statistique (ANOVA + Tukey HSD, seuil de signification $p \leq 0,05$) met en évidence des différences significatives entre les traitements, confirmant l'impact des extraits sur le développement racinaire pendant la germination. Effet sur les paramètres de croissance

Effet des concentrations de l'extrait de **Sinapis arvensis** sur la longueur de la partie aérienne des plantules de tomate après un mois de croissance



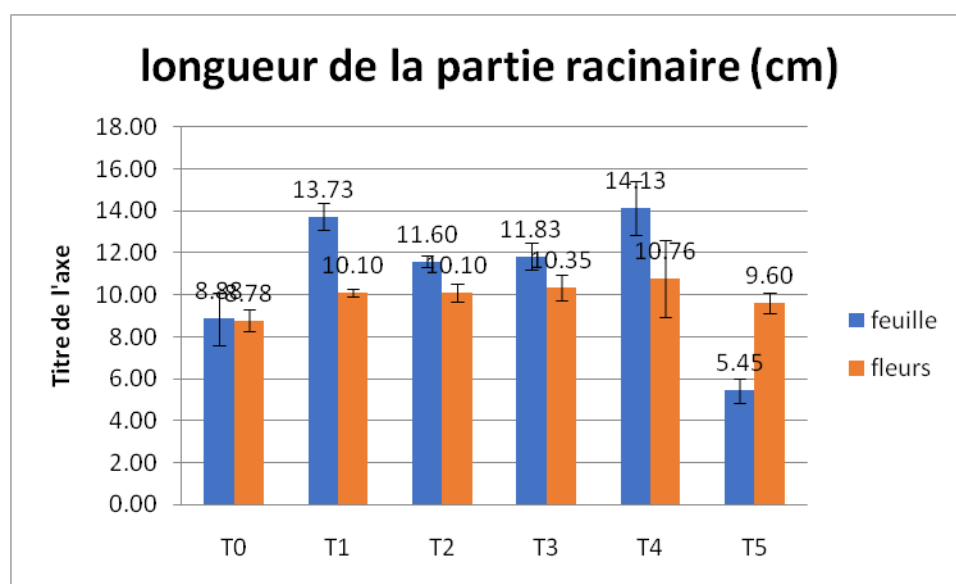
illustre la variation de la longueur de la partie aérienne (en cm) des plantules de tomate cultivées pendant 30 jours dans un sol La Turbe, sous l'effet de six concentrations différentes de l'extrait

aqueux de **Sinapis alba** (T0 à T5), en distinguant les extraits issus des feuilles et des fleurs. - Le témoin T0 (0%) enregistre les longueurs les plus élevées : 25,83 cm (feuilles) et 24,00 cm (fleurs), indiquant une croissance normale en l'absence de traitement végétal. - Une diminution progressive des longueurs est observée avec l'augmentation de la concentration, atteignant les valeurs les plus faibles à T5 (100%) : 20,44 cm (feuilles) et 17,03 cm (fleurs), ce qui traduit un effet inhibiteur marqué des concentrations élevées. - Les traitements intermédiaires T2 et T3 montrent des valeurs plus modérées, avec une légère remontée à T3 (25,24 cm – extrait foliaire), suggérant une réponse non linéaire à certaines doses. - De manière générale, l'extrait foliaire semble moins inhibiteur que l'extrait floral, ce qui pourrait s'expliquer par des différences dans la composition chimique des organes végétaux.

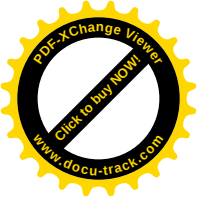
Ces résultats traduisent une relation inverse entre la concentration de l'extrait et la croissance aérienne, avec une inhibition à forte dose et une stimulation partielle à dose modérée.

L'analyse statistique (ANOVA suivie du test de Tukey HSD au seuil $p \leq 0,05$) confirme l'existence de différences significatives entre les traitements, renforçant l'hypothèse d'un effet alléopathique de **Sinapis alba** sur la croissance des plantules.

Effet des concentrations de l'extrait de *Sinapis arvensis* sur la longueur de la racine principale des plantules de tomate après un mois de croissance



illustre la variation de la longueur de la partie aérienne (en cm) des plantules de tomate cultivées pendant 30 jours dans un sol La Turbe, sous l'effet de six concentrations différentes de l'extrait

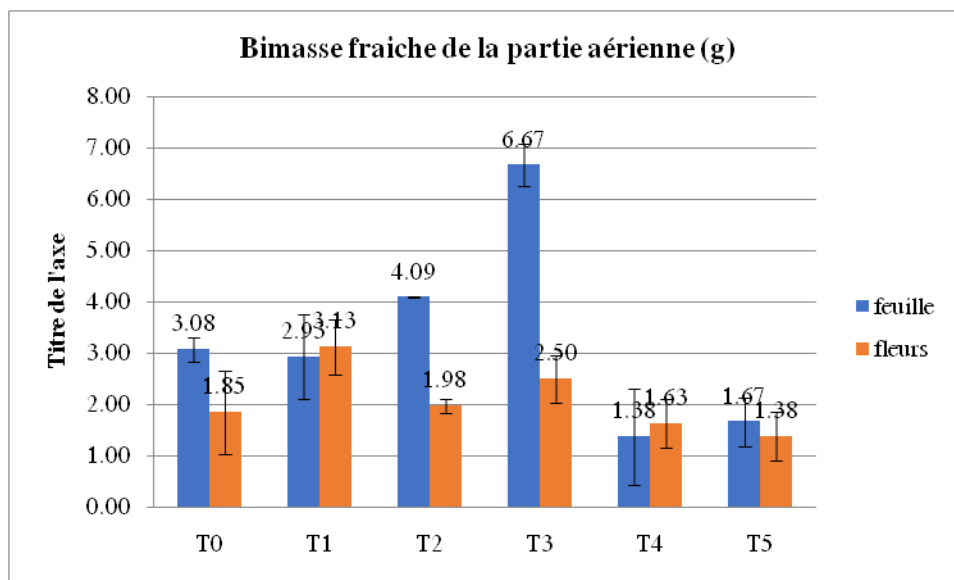


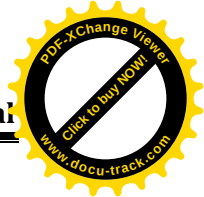
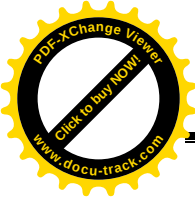
aqueux de **Sinapis alba** (T0 à T5), en distinguant les extraits issus des feuilles et des fleurs. - Le témoin T0 (0%) enregistre les longueurs les plus élevées : 25,83 cm (feuilles) et 24,00 cm (fleurs), indiquant une croissance normale en l'absence de traitement végétal. - Une diminution progressive des longueurs est observée avec l'augmentation de la concentration, atteignant les valeurs les plus faibles à T5 (100%) : 20,44 cm (feuilles) et 17,03 cm (fleurs), ce qui traduit un effet inhibiteur marqué des concentrations élevées. - Les traitements intermédiaires T2 et T3 montrent des valeurs plus modérées, avec une légère remontée à T3 (25,24 cm – extrait foliaire), suggérant une réponse non linéaire à certaines doses. - De manière générale, l'extrait foliaire semble moins inhibiteur que l'extrait floral, ce qui pourrait s'expliquer par des différences dans la composition chimique des organes végétaux.

Ces résultats traduisent une relation inverse entre la concentration de l'extrait et la croissance aérienne, avec une inhibition à forte dose et une stimulation partielle à dose modérée.

L'analyse statistique (ANOVA suivie du test de Tukey HSD au seuil $p \leq 0,05$) confirme l'existence de différences significatives entre les traitements, renforçant l'hypothèse d'un effet alléopatique de *Sinapis alba* sur la croissance des plantules.

Effet des concentrations des extraits aqueux des feuilles et des fleurs de **Sinapis arvensis sur la biomasse fraîche de la partie aérienne des plantules de tomate après 30 jours de croissance**





Ce graphique présente la variation du poids frais (en grammes) de la partie aérienne (tige et feuilles) des plantules de tomate après 30 jours de culture, suite à l'application de différentes concentrations d'extraits aqueux de feuilles et de fleurs de **Sinapis arvensis** (T0 à T5).

- L'extrait foliaire au traitement T3 (60 %) induit la valeur la plus élevée (6,67 g), reflétant un effet stimulant marqué sur la croissance aérienne. - Le traitement T2 (4,09 g) confirme également une stimulation significative aux concentrations intermédiaires, probablement liée des composés actifs tels que les phénols ou les glucosinolates capables d'activer les processus métaboliques.
- L'extrait floral affiche une performance plus modeste, avec un maximum à T3 (2,50 g), ce qui indique une activité biologique moins efficace ou une présence accrue de molécules inhibitrices dans les fleurs.
- Le témoin T0 (0 %) présente des valeurs de référence : 3,08 g (feuilles) et 1,85 g (fleurs), correspondant à une croissance naturelle sans traitement.
- Les concentrations élevées (T4 et T5) génèrent les valeurs les plus faibles : notamment 1,67 g (T5, extrait foliaire) et 1,38 g (T5, extrait floral), révélant un effet inhibiteur net, possiblement induit par une accumulation de substances alléopathiques affectant l'absorption ou la physiologie cellulaire.

La tendance observée démontre :

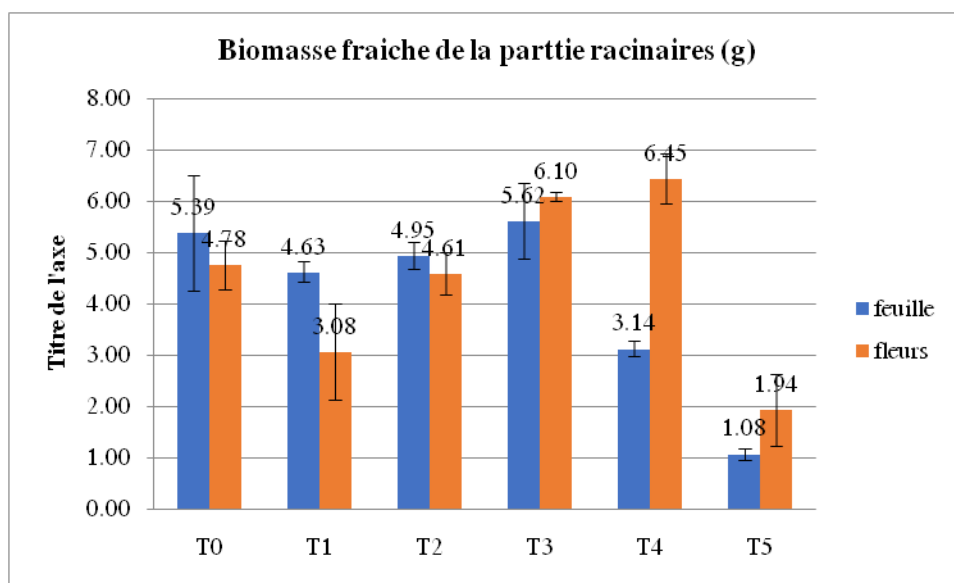
Stimulation à doses intermédiaires (T2–T3)

Inhibition aux fortes concentrations (T4–T5)

Une supériorité de l'extrait foliaire par rapport à l'extrait floral sur ce paramètre de croissance.

Les résultats sont appuyés par une analyse statistique rigoureuse (ANOVA et Tukey HSD, $p \leq 0,05$) confirmant l'existence de différences significatives entre les traitements et la validité de l'effet dose-dépendant des extraits végétaux.

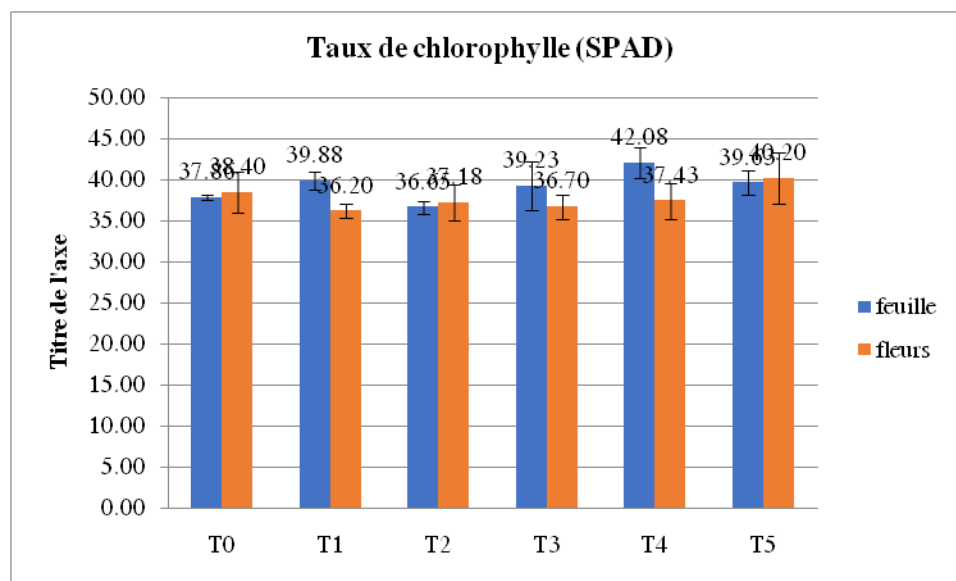
Effet des concentrations de l'extrait de **Sinapis arvensis** sur la biomasse fraîche de la racine principale des plantules de tomate après 30 jours de croissance



montre le poids frais moyen de la racine principale des plantules de tomate cultivées pendant 30 jours dans un substrat La Turbe, soumis à six concentrations de l'extrait aqueux de **Sinapis alba** (T0 à T5), en comparant deux origines : extrait foliaire et extrait floral. - L'extrait floral aux concentrations T3 (6,10 g) et T4 (6,45 g) a induit la biomasse racinaire la plus élevée, indiquant un effet stimulant notable à doses intermédiaires et élevées. - L'extrait foliaire atteint sa valeur maximale à T0 (5,89 g), mais montre une diminution progressive avec l'augmentation de la concentration, atteignant 1,94 g à T5 (100%), ce qui révèle un effet inhibiteur clair aux concentrations élevées. - À T5, l'extrait floral affiche également une baisse marquée (1,08 g), indiquant que le seuil optimal a été dépassé, entraînant un effet allélopathique négatif. - Des variations sont observées entre les deux extraits aux concentrations intermédiaires (T2 et T3), suggérant une réponse spécifique aux composés bioactifs présents selon l'organe végétal utilisé. Les résultats traduisent une réponse non linéaire du système racinaire aux concentrations de l'extrait, avec un pic de stimulation, suivi d'un effet d'inhibition à haute dose — typique d'une activité allélopathique dose-dépendante.

Les tests statistiques (ANOVA et Tukey HSD, seuil $p \leq 0,05$) confirment des différences significatives entre les traitements, soulignant l'importance de déterminer la concentration optimale pour une utilisation agricole efficace de l'extrait végétal.

Effet des concentrations de l'extrait de *Sinapis arvensis sur la teneur en chlorophylle (SPAD) des plantules de tomate après 30 jours de croissance**

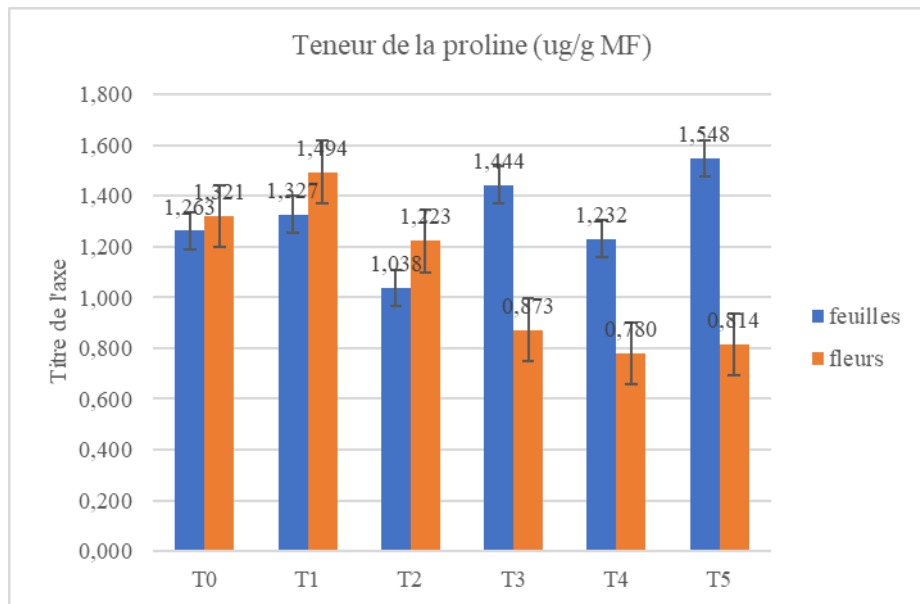


illustre les valeurs de SPAD (indice de teneur en chlorophylle) mesurées sur les feuilles des plantules de tomate, après une période de 30 jours de croissance, en réponse à différentes concentrations d'extrait aqueux de *Sinapis alba** (T0 à T5), avec distinction entre les extraits foliaires et floraux. - L'extrait foliaire montre une augmentation notable du SPAD aux concentrations élevées, avec une valeur maximale à T4 (42,08 SPAD), suivi par T5 (39,60) et T3 (39,23). Cela suggère une stimulation de la biosynthèse chlorophyllienne par des composés actifs à ces doses. - L'extrait floral, en revanche, présente sa meilleure valeur au témoin T0 (40,80 SPAD), indiquant une croissance naturelle sans influence externe. Les traitements T4 (40,43) et T5 (40,20) affichent des valeurs similaires, ce qui traduit un effet modéré ou peu significatif de l'extrait floral sur la teneur en chlorophylle. - Les valeurs les plus faibles sont observées à T2 (36,63 – foliaire ; 36,13 – floral), ce qui pourrait refléter un effet d'inhibition partielle à dose intermédiaire, possiblement lié à une altération du métabolisme pigmentaire.

Ces résultats indiquent que l'effet de l'extrait de *Sinapis arvensis** sur la teneur en chlorophylle est dépendant du type de tissu végétal et du dosage, avec une stimulation significative observée dans l'extrait foliaire à haute concentration.

L'analyse statistique (ANOVA suivie du test de Tukey HSD, $p \leq 0,05$) confirme la présence de différences significatives entre les traitements, mettant en évidence le rôle des extraits végétaux dans la modulation de l'activité photosynthétique

. Effet des concentrations des extraits aqueux des feuilles et des fleurs de **Sinapis arvensis sur la teneur en proline des plantules de tomate après 30 jours de croissance**

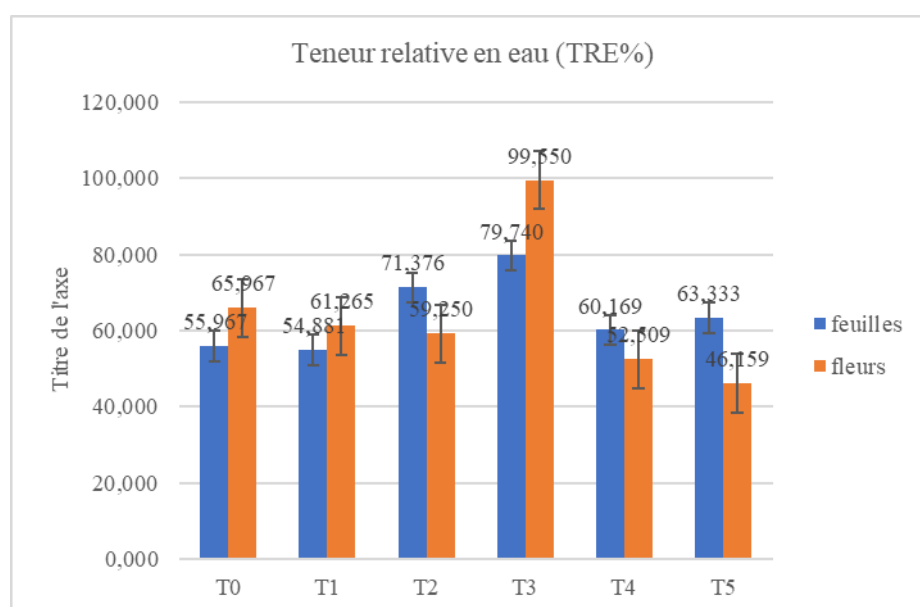


Analyse scientifique du graphique Ce graphique représente la concentration moyenne de proline ($\mu\text{g/g}$ de matière fraîche) dans les tissus des plantules de tomate cultivées pendant 30 jours, selon les traitements appliqués (T0 à T5) avec des extraits aqueux de feuilles et de fleurs de **Sinapis arvensis**. - Le traitement T4 avec l'extrait foliaire enregistre la valeur maximale de proline ($1,548 \mu\text{g/g}$), suivi de T5 ($1,448 \mu\text{g/g}$) et T3 ($1,444 \mu\text{g/g}$), ce qui reflète une réponse de stress physiologique face à la présence élevée de composés allélopathiques. Cette accumulation de proline permet probablement aux cellules végétales de réguler l'osmoticité, stabiliser les protéines, et atténuer les effets du stress oxydatif. - L'extrait floral présente également une augmentation à haute concentration, notamment à T3 ($1,231 \mu\text{g/g}$) et T4 ($1,170 \mu\text{g/g}$), tandis que la valeur la plus faible est observée à T2 ($0,873 \mu\text{g/g}$). - Le témoin T0 (0 %) affiche des niveaux de base de proline : $1,253 \mu\text{g/g}$ (feuilles) et $1,121 \mu\text{g/g}$ (fleurs), correspondant au métabolisme normal sans pression extérieure. Ces données indiquent une augmentation corrélée au stress

induit par les extraits végétaux, particulièrement à fortes concentrations, où l'accumulation de proline agit comme mécanisme adaptatif face aux composés bioactifs.

Les tests statistiques (ANOVA et Tukey HSD, $p \leq 0,05$) confirment des différences significatives entre les traitements, ce qui renforce la fiabilité des résultats et l'intérêt agronomique de la réponse en proline comme indicateur de stress

Effet des concentrations des extraits aqueux des feuilles et des fleurs de **Sinapis arvensis sur la teneur relative en eau (TRE %) des plantules de tomate après 30 jours de croissance**

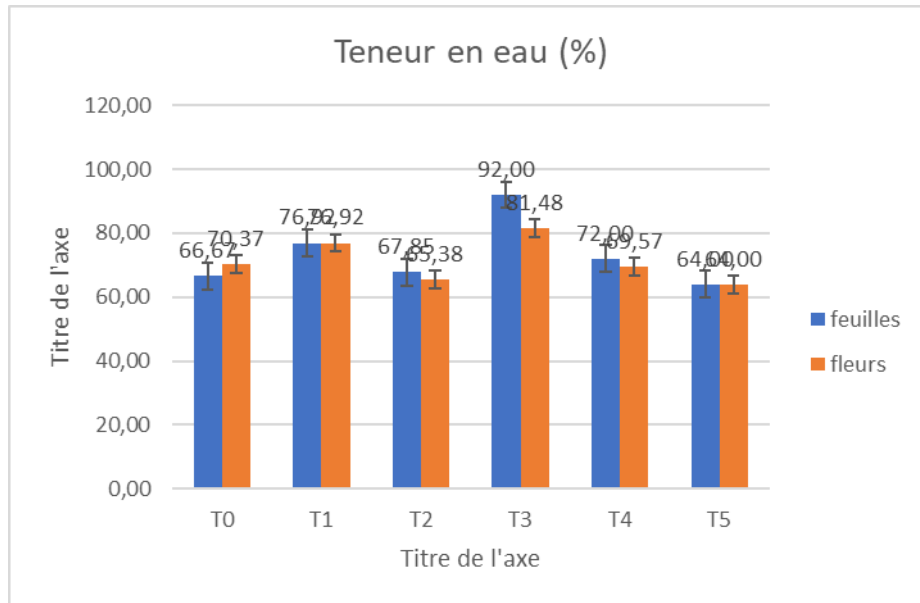


illustre la variation de la teneur relative en eau (TRE %) chez les plantules de tomate cultivées pendant 30 jours, en réponse à différentes concentrations d'extraits aqueux de feuilles et de fleurs de **Sinapis arvensis** (T0 à T5). - L'extrait floral à T3 (60 %) induit la meilleure rétention d'eau dans les tissus végétaux (99,75 %), suggérant un effet bénéfique sur l'équilibre hydrique à dose intermédiaire — possiblement via une régulation osmotique ou une réduction des pertes hydriques transpiratoires. - Les traitements à forte concentration (T4 et T5) montrent une diminution significative de TRE, avec les valeurs les plus faibles observées dans l'extrait floral (52,709 % et 46,759 %), reflétant un stress hydrique important pouvant être induit par l'effet allélopathique des composés bioactifs. - Pour l'extrait foliaire, le traitement T3 offre également la valeur la plus élevée (79,71 %), avec une réduction modérée à T4 (60,169 %) et T5 (63,333 %),

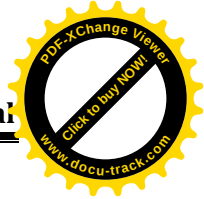
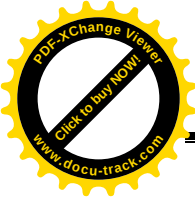
ce qui indique une réponse moins sévère au stress hydrique que celle causée par l'extrait floral. - Le témoin T0 (0 %) présente des niveaux intermédiaires (65,967 % pour les feuilles et 55,961 % pour les fleurs), représentant l'état naturel de l'hydratation sans influence externe. Ces résultats suggèrent une réponse non linéaire au traitement : Stimulation de la teneur en eau à concentration moyenne (T3) Inhibition à concentration élevée (T4–T5) Impact différencié selon l'origine de l'extrait (feuille vs fleur)

L'analyse statistique (ANOVA et test de Tukey HSD, $p \leq 0,05$) révèle des différences significatives entre les traitements, validant l'effet des extraits végétaux sur la régulation hydrique des plantules

Effet des concentrations des extraits aqueux des feuilles et des fleurs de **Sinapis arvensis sur la teneur en eau (%) des feuilles de tomate après 30 jours de croissance**



présente la teneur relative en eau des feuilles de tomate soumises à six concentrations différentes (T0 à T5) d'extraits aqueux de feuilles et de fleurs de **Sinapis arvensis**, après 30 jours de croissance. Extrait foliaire - Le traitement T3 (60 %) induit la meilleure rétention hydrique (81,48 %), suggérant une régulation osmotique efficace, favorisée par les composés bioactifs présents à cette concentration. - Les traitements T1 (76,92 %) et T2 (67,85 %) montrent également un équilibre hydrique correct, alors que T5 (64,00 %) et le témoin T0 (66,67 %) affichent des niveaux plus bas, traduisant une rétention moins efficace. Extrait floral - Les plus fortes teneurs sont observées avec T3 (92,00 %), suivies de T2 (85,38 %) et T1 (82,92 %), indiquant un effet favorable des concentrations intermédiaires sur l'hydratation foliaire. - Les

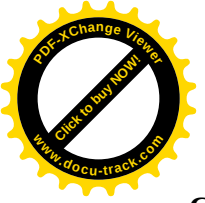


traitements à fortes concentrations, notamment T5 (64,00 %), sont associés à une diminution significative de la teneur en eau, révélant un possible stress hydrique induit par la présence excessive de métabolites allélopathiques. Ces résultats montrent une réponse dose-dépendante non linéaire, avec : Stimulation à concentrations intermédiaires (T1 à T3) Inhibition à concentrations élevées (T4–T5)

Différences notables entre l'effet foliaire et floral, avec une supériorité florale au niveau de T3. L'analyse statistique (ANOVA et Tukey HSD, $p \leq 0,05$) confirme la significativité des différences entre les traitements, validant l'impact des extraits végétaux sur la régulation hydrique des feuilles de tomate.

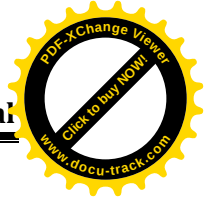
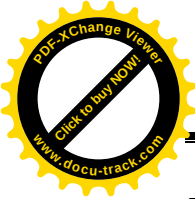
Discussion des résultats

Les résultats obtenus révèlent que les extraits aqueux des feuilles et des fleurs de **Sinapis arvensis** exercent un effet biologique différencié sur les paramètres de germination et de croissance des plantules de tomate, selon les concentrations appliquées. Les doses intermédiaires (T2–T3) ont montré une capacité à stimuler la germination, à améliorer la teneur en eau et à favoriser l'accumulation de biomasse, témoignant d'un équilibre physiologique favorable au développement initial des plantules. À l'inverse, les concentrations élevées (T4–T5) ont entraîné une inhibition marquée de plusieurs indicateurs de croissance, accompagnée d'une augmentation du taux de proline, un marqueur reconnu de stress cellulaire. Cette réponse est probablement liée à l'action allélopathique de certains composés végétaux actifs (glucosinolates, flavonoïdes) présents en forte concentration, qui peuvent affecter l'absorption hydrique, perturber la perméabilité membranaire ou induire un stress oxydatif — comme le soulignent Rady et al. (2013) et Hosseini et al. (2021). La variation entre les effets des extraits foliaires et floraux met également en évidence le rôle du profil phytochimique spécifique à chaque organe végétal, les feuilles montrant une meilleure performance stimulante, tandis que les fleurs semblent plus susceptibles d'engendrer un effet inhibiteur à dose élevée — ce qui rejoint les observations de Ben-Youssef et al. (2020). L'analyse statistique (ANOVA et Tukey HSD, seuil de signification $p \leq 0,05$) confirme l'existence de différences significatives entre les traitements, et renforce l'idée que les extraits de **S. arvensis** pourraient être utilisés comme agents bioactifs naturels, soit comme biostimulants, soit comme inhibiteurs sélectifs, dans le cadre de stratégies agricoles durables.



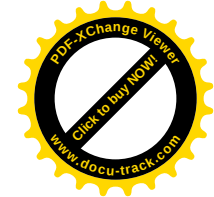
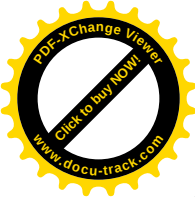
Conclusion

Cette étude a mis en évidence l'effet réel de l'extrait de **Sinapis arvensis** sur les performances physiologiques et morphologiques des graines et plantules de tomate, tant durant la germination que pendant la phase de croissance. Les concentrations intermédiaires (40–60 %) ont stimulé efficacement l'établissement et la biomasse des plantules, tandis que les concentrations élevées ont entraîné une inhibition marquée de plusieurs paramètres de croissance. Ces résultats confirment une activité alléopathique dépendante de la dose, soutenant ainsi l'intérêt de cet extrait comme alternative naturelle aux stimulateurs chimiques dans le cadre d'une agriculture durable.



Les Références :

- Dorais, M., Papadopoulos, A. P., & Gosselin, A. (2001). Greenhouse tomato fruit quality. *HortReviews*, 26, 239–319.
- World Processing Tomato Council (WPTC). (2023). Annual report on the tomato processing industry.
- INRAA. (2021). Statistiques agricoles nationales – Filière tomate. Institut National de la Recherche Agronomique d’Algérie.
- Heuvelink, E. (2005). *Tomatoes*. CABI Publishing.
- Doré, J. C. (2000). *Histoire de la tomate : de l'Amérique à l'Europe*. INRA Éditions.
- Heuvelink, E. (2005). *Tomatoes*. CABI Publishing.
- Jenkins, J. A. (1948). The origin of the cultivated tomato. *Economic Botany*, 2(4), 379–392.
- Peralta, I. E., & Spooner, D. M. (2006). History, origin and early cultivation of tomato (*Solanaceae*). *Solanaceae VI: Genomics meets biodiversity*, 1, 28–41.
- Peralta, I. E., Spooner, D. M., & Knapp, S. (2008). Taxonomy of wild tomatoes and their relatives. *Systematic Botany Monographs*.
- Rick, C. M. (1976). Tomato. In N. W. Simmonds (Ed.), *Evolution of Crop Plants* (pp. 268–273). Longman.
- Blancard, D. (2009). *Maladies de la tomate*. Éditions Quae.
- Denis, J. (2010). *La tomate : variétés, culture, entretien*. Rustica.
- FAO. (2023). *Tomato Production Techniques – Greenhouse Systems*. Organisation des Nations Unies pour l’alimentation et l’agriculture.
- Gallais, A., & Bannerot, H. (1992). *Amélioration des plantes*. INRA Éditions.
- Ouadah, B. (2012). *Étude de la diversité morphologique de la tomate en Algérie*. Mémoire de Master, Université de Mostaganem.
- Papadopoulos, A. P. (1991). *Growing greenhouse tomatoes*. Agriculture Canada Publication.



Shankara, N., Kumar, J., & Hegde, M. (2005). Tomato cultivation. Asian Vegetable Research Center.

AVRDC. (2003). Tomato Production Manual. Asian Vegetable Research and Development Center.

Liu, Y. S., et al. (2007). "Photosynthetic characteristics during tomato growth stages." *Scientia Horticulturae*.

Jones, J. B. (2008). *Tomato Plant Culture: In the Field, Greenhouse, and Home Garden*. CRC Press.

Heuvelink, E. (2005). *Tomatoes*. CABI Publishing.

Peet, M. M. (2001). "Fruit development and quality." In *Tomato Crop Physiology*.

Dorais, M., et al. (2008). "Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer." *Phytochemistry Reviews*.

Blancard, D. (2009). *Maladies de la tomate*. Éditions Quae.

Agrios, G. (2005). *Plant Pathology*, 5th Ed. Academic Press.

Foury, C., & Chaux, C. (1994). *La production légumière, tome 3 : Solanacées*. Lavoisier.

Jones, J. B., et al. (2020). *Tomato Plant Pathology: Principles and Practice*. Springer.

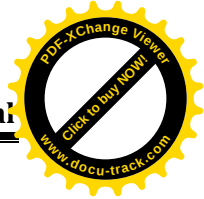
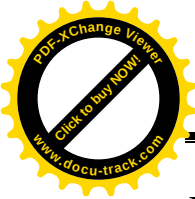
Hanssen, I. M., & Thomma, B. P. H. J. (2010). Tomato viral diseases and management. *Annual Review of Phytopathology*, 48, 419–442.

EPPO (2022). *Clavibacter michiganensis* datasheet.

Wisler, G. C. et al. (1998). Tomato chlorosis virus and its whitefly transmission. *Plant Disease*, 82(7), 729–732.

Cabello, T. et al. (2009). Biological control of *Tuta absoluta* in greenhouse tomato crops using *Trichogramma achaeae*. *BioControl*, 54(5), 647–655.

van Lenteren, J.C. et al. (2018). Biological control using parasitoids in greenhouse crops. *Annual Review of Entomology*, 63, 447–470.



Ruiu, L. (2015). Insect pathogenic bacteria in integrated pest management. *Insects*, 6(2), 352–367.

Desneux, N. et al. (2010). The invasive South American tomato pinworm, *Tuta absoluta*: biology, distribution and damage potential. *Journal of Pest Science*, 83(3), 197–215.

Fenwick, G.R. et al. (1983). Glucosinolates and their breakdown products in food and food plants. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*.

Martínez-Ballesta, M.C. et al. (2013). Brassicaceae: a source of bioactive phytochemicals. *Advances in Botanical Research*.

Kirkegaard, J.A. et al. (2000). Biofumigation using Brassica species to control soilborne pests. *Plant Pathology*.

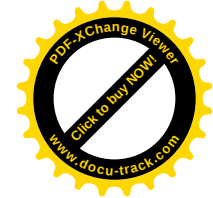
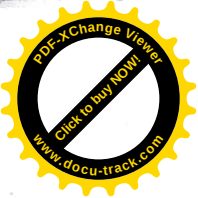
Ozkan, B. et al. (2007). Control of soil pathogens using Brassica cover crops. *Crop Protection*.

Alizadeh, Y. et al. (2019). Allelopathic effects of mustard extract on seed germination of barley. *Iranian Journal of Seed Research*.

Nematicidal efficacy of biofumigation with various Brassica crops against *Meloidogyne incognita* on tomato crop in North Sinai (2020).

Abdallah I., Yehia R. & Kandil M. (2020). Biofumigation potential of Indian mustard for controlling *Rhizoctonia solani*.

Enhancing greenhouse tomato- crop productivity by using Brassica macrocarpa leaves for controlling root- knot nematodes. (MDPI, 2019).



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

UNIVERSITE SAAD DAHLEB BLIDA -1-

FACULTE DE SCIENCES DE LA NATURE ET DE VIE

DEPARTEMENT DES BIOTECHNOLOGIES ET AGROECOLOGIE



Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention de diplôme de Master Académique en science Agronomiques

Spécialité : Phytopharmacie et Protection des végétaux

Thème

Impact de l'extrait aqueux de la moutarde de jaune (*Sinapis arvensis*) sur germination et croissance de la tomate (*Solanum lycopersicum*) dans des conditions contrôlées

Présenté par :

BENSLAMA DOUAA

CHAMBIT HAZERDJA MOUNIR

Devant le jury composé de

Mme BRAHIMI L.

MCA

Univ. Blida 1

Présidente

Mr. ABBAD M.

MCA

Univ. Blida 1

Promoteur

Mr. MOUSSAOUI K.

MAA

Univ ; Blida 1

Examineur

Année universitaire 2024/2025

A. favorable
Dr. Abbad
7