



République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique



Université Echahid Hamma Lakdhar -EL-Oued-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département de Biologie

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique en Sciences biologiques

Spécialité : Biodiversité et physiologie végétale

THEME

**Évaluation comparative du potentiel allélopathique de
Eucalyptus globulus et *Ricinus communis*: synthèse
bibliographique et perspectives en bioherbicides**

Présenté Par :

 **TRILLI Ikram**

 **ZINE Basma**

Membres du jury :

Président	Zeid Alia	Université El-Oued
Encadrant	KHECHKHOUCHE EL amine	Université El-Oued
Co-Encadrant	GHAMAM AMARA Djilani	Université El-Oued
Examineur	Bachir Khezzani	Université El-Oued

Année universitaire : 2025/2026

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

DEDICACES

Au nom de Dieu, le Clément, le Miséricordieux. Louange à Dieu qui a illuminé les esprits par le savoir et nous a guidés pour franchir les étapes de ce chemin.

À tous ceux qui ont été la raison de ma présence aujourd'hui au seuil de cette réussite, je dédie le fruit de mon labeur :

À ceux qui portent mon cœur entre leurs mains : ma tendre mère et mon cher père. Vous qui avez éclairé ma voie par vos prières exaucées, et qui avez été le soutien infaillible et le pilier fondamental de chacun de mes succès. À vous, la source de ma fierté et de ma gratitude.

À ces âmes si proches et ces cœurs battants d'amour : mes frères et sœurs, compagnons de mon enfance et de ma jeunesse, qui ont toujours été ma source de force et d'inspiration.

Aux héritiers des prophètes et porteurs du noble message : mes respectueux enseignants, qui ont illuminé nos esprits par le savoir et ont guidé notre parcours académique par leurs précieux conseils et leurs orientations éclairées.

À ceux qui ont donné un sens plus beau à ce voyage du savoir : mes amies et camarades, et tous ceux avec qui j'ai partagé les bancs de l'école et de nobles souvenirs.

À tous les cœurs purs : qui ont prié pour moi en mon absence ou m'ont soutenue par une bonne parole qui m'a poussée vers l'avant.

Je dédie ce diplôme, en priant Dieu de bénir ce travail et d'en faire un premier pas vers un avenir radieux, plein de dévouement et de réussite.

*L'auteure du mémoire : **Ikram Trilli***

DEDICACES

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux.

Louange à Dieu qui m'a accordé la réussite dans l'accomplissement de ce travail, et que la paix et le salut soient sur notre Prophète Mohammed.

Je dédie le fruit de mon effort et de mes études à ceux qui ont été, après Allah, mon soutien à chaque étape de mon parcours : à mes très chers parents, qui m'ont entourée de leur amour et de leur bienveillance, et m'ont comblée de leurs prières sincères. Ils ont été mon meilleur soutien et mon plus grand appui. Qu'Allah les protège et leur accorde une longue vie.

À mes frères et sœurs, ainsi qu'à tous les membres de ma chère famille, qui ont été une source constante d'encouragement et de soutien tout au long de mon parcours académique.

À mes honorables enseignants, qui m'ont éclairé le chemin de la science et du savoir, et à tous ceux qui ont contribué à mon apprentissage et à mon orientation.

À mes amis et collègues, qui ont partagé avec moi ce parcours scientifique, avec ses défis et ses réussites.

À toute personne qui m'a soutenue et m'a accompagnée par un mot bienveillant ou une sincère prière.

Je dédie ce modeste travail en espérant qu'il soit utile et bénéfique, et qu'Allah y mette la baraka et le bien.

L'étudiante : **Basma** ❧

Remerciement

Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux.

Louange à Dieu, Seigneur de l'univers, et que la paix et le salut soient sur le Prophète Mohammed.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements et ma profonde gratitude à mon encadrant le professeur Khechoukh Laïmine, pour son encadrement, ses orientations précieuses et ses conseils scientifiques judicieux, qui ont grandement contribué à la réalisation et à l'achèvement de ce travail dans les meilleures conditions. Je lui adresse mes plus profonds sentiments de respect et de reconnaissance, et je prie Dieu de le récompenser pleinement.

J'adresse également mes vifs remerciements à l'ensemble des enseignants de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, pour les connaissances qu'ils m'ont transmises, ainsi que pour leurs efforts constants dans notre formation et notre encadrement tout au long de notre parcours universitaire.

Je remercie aussi le personnel administratif et pédagogique de la faculté pour leur soutien et les facilités qu'ils ont mises à notre disposition durant nos études.

Enfin, j'implore Dieu de rendre ce travail utile et bénéfique, et de récompenser tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à ma formation et à mon soutien.

Abstract

Allelopathy is a natural biological phenomenon in which certain plants release bioactive compounds that influence the germination and growth of neighboring species. In this context, the present study provides a comparative analysis of the allelopathic potential of *Eucalyptus globulus* and *Ricinus Communis* based on a

comprehensive review of the available scientific literature.

The findings indicate that *Eucalyptus globulus* exhibits strong allelopathic activity due to the presence of terpenoid and phenolic compounds, particularly 1,8-cineole, which effectively inhibit the germination and growth of numerous plant species. These properties make it a promising candidate for the development of natural bioherbicides, although its use may also negatively affect biodiversity and agroecosystems. Similarly, *Ricinus Communis* demonstrates significant allelopathic potential. Its aqueous and organic extracts suppress seed germination and seedling growth through bioactive compounds such as ricin and other secondary metabolites. In addition, this species possesses biopesticidal properties against certain agricultural pests and soil-borne pathogens, highlighting its value in integrated crop management strategies.

The comparative analysis reveals that *Eucalyptus globulus* has a stronger and more persistent phytotoxic effect, whereas *Ricinus Communis* is characterized by a broader mode of action that combines allelopathic and biopesticidal activities. Despite these promising findings, further field-based studies are required to evaluate their effectiveness, selectivity, and environmental safety before their large-scale application in sustainable agriculture.

Keywords: Allelopathy; *Eucalyptus globulus*; *Ricinus communis*; Bioherbicides; Weeds; Phytotoxicity; Sustainable Agriculture.

الملخص

تتناول هذه الدراسة ظاهرة الأليلوباثية باعتبارها آلية طبيعية تعتمد على إفراز بعض النباتات لمركبات كيميائية حيوية تؤثر في إنبات ونمو النباتات المجاورة، مما يجعلها بديلاً واعدًا لمبيدات الأعشاب الكيميائية في إطار الزراعة المستدامة. وهدفت الدراسة إلى إجراء مقارنة بين الإمكانيات الأليلوباثية لنبات *Eucalyptus globulus* ونبات *Ricinus Communis* اعتماداً على مراجعة شاملة للدراسات العلمية المتاحة

أظهرت النتائج أن نبات *Eucalyptus globulus* يمتلك نشاطاً أليلوباثياً مرتفعاً بفضل احتوائه على مركبات تيربينية وفينولية، مثل 1,8-سينيول، التي تثبط إنبات ونمو العديد من النباتات، مما يؤهله ليكون مصدرًا طبيعيًا لتطوير مبيدات أعشاب حيوية، مع ضرورة مراعاة آثاره المحتملة على التنوع الحيوي والنظم الزراعية.

كما بينت الدراسات أن *Ricinus Communis* يمتلك بدوره قدرة أليلوباثية مهمة، حيث تؤدي مستخلصاته إلى تقليل إنبات ونمو الأعشاب الضارة بفضل احتوائها على مركبات نشطة مثل الريسين ومستقلبات ثانوية أخرى، إضافة إلى امتلاكه خصائص مبيدة لبعض الآفات الزراعية ومسببات الأمراض، مما يعزز إمكانياته في برامج الإدارة المتكاملة للمحاصيل.

أوضحت المقارنة أن *Eucalyptus globulus* يتميز بتأثير تثبيطي أقوى وأكثر استمرارية، في حين يتميز *Ricinus communis* بتأثير مزدوج يجمع بين النشاط الأليلوباثي والمكافحة الحيوية للآفات. ورغم النتائج الواعدة، فإن معظم الدراسات أجريت في ظروف مخبرية أو داخل البيوت المحمية، مما يستدعي إجراء بحوث ميدانية إضافية لتقييم فعاليتهما وانتقائيتهما وسلامتهما البيئية قبل اعتمادهما على نطاق واسع في الزراعة المستدامة .

الكلمات المفتاحية: الأليلوباثية، *Eucalyptus globulus*، *Ricinus Communis* ، مبيدات

الأعشاب الحيوية، الأعشاب الضارة، السمية النباتية، الزراعة المستدامة.

Résumé

L'allélopathie est un phénomène biologique naturel par lequel certaines plantes libèrent des composés bioactifs capables d'influencer la germination et la croissance des espèces voisines. Dans cette optique, cette étude a réalisé une analyse comparative du potentiel allélopathique de *Eucalyptus globulus* et de *Ricinus Communis*, à partir d'une synthèse des principales études scientifiques disponibles.

Les résultats montrent que *Eucalyptus globulus* possède une forte activité allélopathique grâce à la présence de composés terpéniques et phénoliques, tels que le 1,8-cinéole, capables d'inhiber efficacement la germination et le développement de nombreuses plantes. Ces propriétés en font un candidat prometteur pour le développement de bioherbicides naturels, bien que son utilisation puisse également avoir des effets négatifs sur la biodiversité et les agroécosystèmes.

De son côté, *Ricinus Communis* présente également un potentiel allélopathique important. Ses extraits réduisent la germination et la croissance des adventices grâce à des composés bioactifs, notamment la ricine et d'autres métabolites secondaires. En outre, cette espèce possède des propriétés biopesticides contre certains ravageurs et agents pathogènes, ce qui renforce son intérêt dans les stratégies de gestion intégrée des cultures. La comparaison met en évidence que *Eucalyptus globulus* exerce une phytotoxicité plus intense et plus persistante, tandis que *Ricinus Communis* se distingue par une action plus diversifiée, associant effets allélopathiques et activités biopesticides. Malgré ces résultats prometteurs, des études complémentaires en conditions réelles sont nécessaires afin d'évaluer leur efficacité, leur sélectivité et leur sécurité environnementale avant une utilisation à grande échelle en agriculture durable.

Mots-clés : Allélopathie ; *Eucalyptus globulus* ; *Ricinus Communis*; Bioherbicides ; Mauvaises herbes ; Phytotoxicité ; Agriculture durable.

Content	
DEDICACES.....	I
DEDICACES.....	II
Remerciement	III
Abstract	IV
المخلص	V
Résumé.....	VI
Content	VII
Liste des figures	XI
Liste des Tableaux	XII
Introduction générale	5
Chapitre 1: Généralités sur l'allélopathie concepts, mécanismes d'action et importance agronomique.	
<i>1.Généralités sur l'allélopathie concepts, mécanismes d'action et importance agronomique.</i>	5
<i>1.1. Définition de historique allélopathie</i>	5
1.1.1 Rappel sur l'historique de l'allélopathie	5
1.1.2 Définition de l'allélopathie.....	6
<i>1.2. Modes de libération des composés l'allélochimiques dans l'environnement.....</i>	7
1.2.1 Décomposition des résidus organiques (Decomposition)	7
1.2.2. Principales familles chimiques d'allélochimiques et leurs mécanismes d'action	8
<i>1.3. Substances allélopathiques (allélochimiques)</i>	12
<i>1.4. Effets des substances allélochimiques sur les plantes</i>	13
<i>1.5. Importance écologique et applications</i>	13
<i>1.6. Applications de l'allélopathie</i>	15
<i>1.7. Définition des mauvaises herbes.....</i>	15
<i>1.8.Caractéristiques biologiques des mauvaises herbes.....</i>	16
1.8.1. Caractéristiques générales des adventices.....	16
1.8.2. Le concept de la « mauvaise herbe idéale » selon Baker(1965)	16
1.8.3. Reproduction végétative et capacité de propagation.....	17
1.8.4. Lutte contre les mauvaises herbes:.....	17
1.8.5. Lutte préventive:	17

Chapitre 2: Présentation de *Eucalyptus globulus* et *Ricinus Communis*

2.Présentation de <i>Eucalyptus globulus</i> et <i>Ricinus Communis</i>	19
2.1 Présentation de <i>Eucalyptus globulus</i>	19
2.1.1. Systématique, origines d <i>Eucalyptus</i> (L'Héritier de Brutelle 1788).....	19
2.1.2. Répartition géographique de l' <i>Eucalyptus</i>	21
2.1.3. Caractéristiques structurelles et morphologiques de l' <i>Eucalyptus</i> (<i>Eucalyptus globulus</i>).....	21
2.1.4. Déffirents usages de l' <i>Eucalyptus globulus</i>	23
2.1.5. Usages industriels.....	24
2.1.6. Principales substances secondaires d' <i>Eucalyptus</i>	24
2.1.6.1. Principaux constituants de l'huile essentielle	24
2.1.6.2. Facteurs influençant la composition chimique	25
2.1.6.3. Méthodes de récolte et de stockage (Harvesting and Storage Methods)	26
2.2 Présentation de <i>Ricinus Communis</i> l.....	27
2.2.1. Taxonomie, origine et répartition mondiale(Carl linnaeus 1753).....	27
2.2.2. Répartition géographique du ricin commen	29
2.2.3. Description morphologique du <i>Ricinus</i> (<i>Ricinus communis</i>).....	30
2.2.4. Déffirents usages de <i>Ricinus Communis</i> l	32
2.2.5. Composition chimique de Ricins communis	33
2.2.6. Toxique du ricin commen (<i>Ricinus communis</i> l).....	36

Chapitre 3: Potentiel allélopathique de *Eucalyptus globulus* Labill. : Une revue systématique de la littérature.

3.1. Potentiel allélopathique de <i>Eucalyptus globulus</i> Labill. : Une revue systématique de la littérature.	39
3.1.1. Méthodologie	39
3.1.1.1. Protocole de revue	39
3.1.1.2. Cadre thématique pour la synthèse des données	40
3.1.1.3. Critères d'inclusion et d'exclusion	41
3.1.1.4. Processus de sélection des études	42
3.1.2. Résultats	45
3.1.2.1. Composition biochimique et mécanismes de libération des allélochemicals... ..	45
3.1.2.2. Effets phytotoxiques sur les cultures agricoles et implications pour la sécurité alimentaire	50
3.1.2.3. Potentiel bioherbicide et stratégies de gestion des adventices	56

3.1.2.4. Impacts écologiques sur le sol, l'eau et la biodiversité non ciblée.....	62
3.1.2.5. Distribution spatiale, risque d'invasion et gestion durable.....	69
3.1.3. Discussion	80
3.2. <i>Évaluation du potentiel allélopathique de Ricinus Communis: revue systématique de la littérature</i>	84
3.2.1. Méthodologie	84
3.2.1.1. Protocole de revue	84
3.2.1.2. Questions de recherche	85
3.2.1.3. Critères d'inclusion et d'exclusion	86
3.2.1.4. Processus de sélection des études	86
3.2.2. Résultats	89
3.2.2.1. Tendances de la recherche	89
3.2.2.2. Effets allélopathiques des extraits de <i>Ricinus Communis</i> sur la germination et la croissance des cultures.....	90
3.2.2.3. Utilisation des extraits de plantes allélopathiques pour le contrôle biologique des mauvaises herbes exotiques envahissantes	93
3.2.2.4. Potentiel bioherbicide et pesticidal des extraits végétaux contre les ravageurs agricoles, les nématodes et les agents pathogènes.....	97
3.2.2.5. Interactions écologiques impliquant l'allélopathie dans la compétitivité des espèces invasives et la tolérance au stress	102
3.2.3. Discussion	107
3.3. <i>Évaluation comparative du potentiel allélopathique de Eucalyptus globulus et Ricinus Communis: une synthèse systématique de la littérature</i>	112
3.3.1. Méthodologie	112
3.3.1.1. Protocole de revue	112
3.3.1.2. Dimensions de la recherche	112
3.3.1.3. Critères d'inclusion et d'exclusion	113
3.3.1.4. Processus de sélection des études	113
3.3.2. Research	114
3.3.2.1. Evolution des recherches	114
3.3.2.2. Effets inhibiteurs sur la germination et la croissance des plantules	115
3.3.2.3. Applications dans la lutte contre les ravageurs et les maladies.....	117
3.3.2.4. Impacts écologiques et potentiel invasif.....	120
3.3.3. Discussion	122

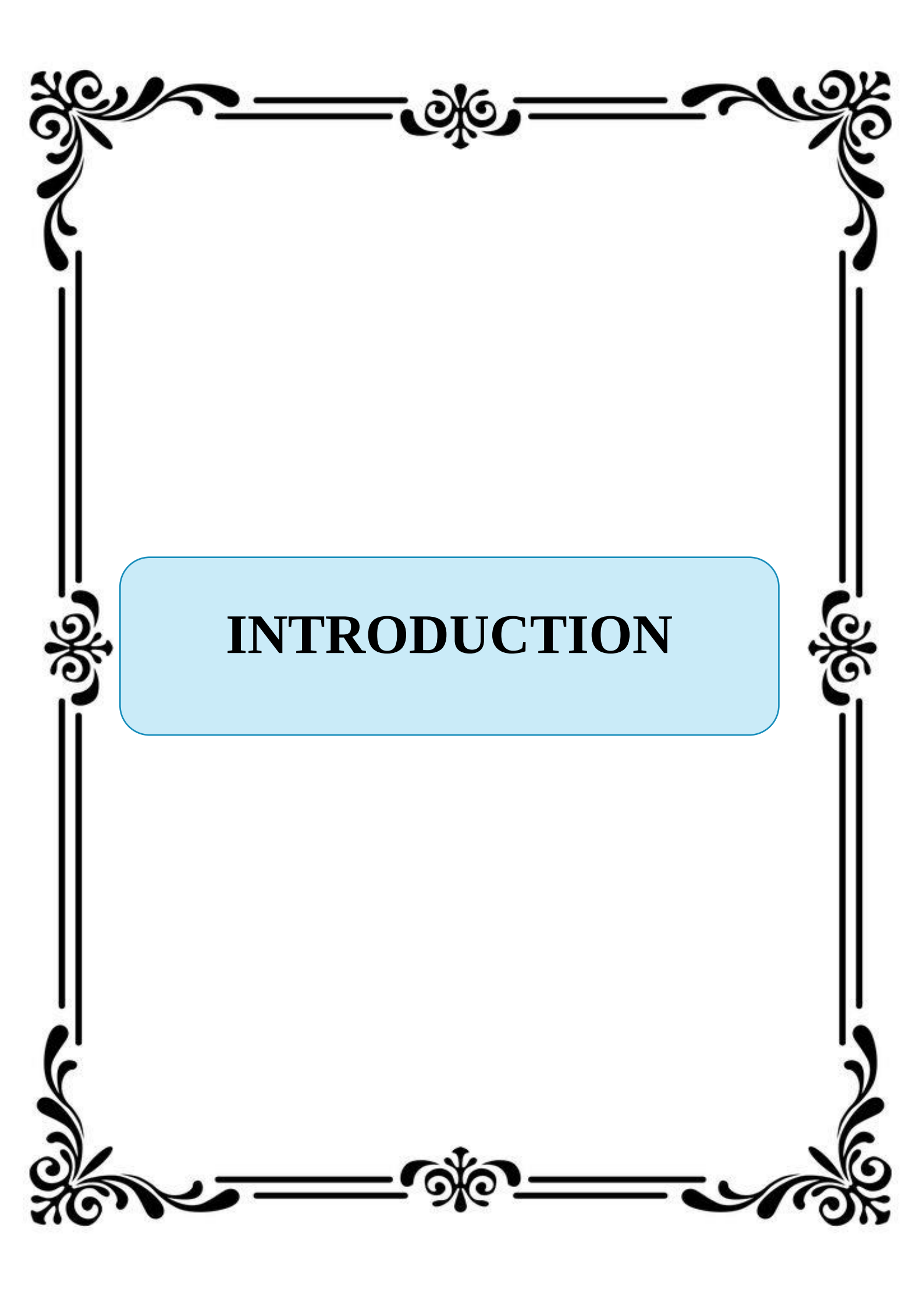
Conclusion générale.....	126
References	128

Liste des figures

Figure 1 : Structure des composés allélopathiques (allélochimiques) extraits de plant <i>spiraea thunbergii</i> et <i>Eucalyptus</i> species.....	10
Figure 2 : Exemples de certains alcaloïdes ayant un effet allélopathique	11
Figure 3: Exemples de certains terpénoïdes ayant un effet allélopathique	12
Figure 4: arbre d' <i>Eucalyptus</i> à l'université d'El Oude, 2026 (Originale)	20
Figure 5: illustrative des fruits et des graines de l' <i>Eucalyptus</i>	23
Figure 6: Vue d'ensemble de Ricin commun	29
Figure 7 : Plante <i>Ricinus Communis</i> poussant à l'état sauvage (a: Feuilles B:Tige C: Racines D:Fleurs et inflorescences)	31
Figure 8: <i>Ricinus Communis</i> flowers from a plant(a:La fleur mâle b:La fleur femelle)	32
Figure 9 : Structures chimiques des constituants actifs présents dans différentes parties de la plante <i>Ricinus communis</i> (a:acide indole -3-acétique b:acide gallique c: quercétine d: acide tannique	35
Figure 10. Diagramme de flux PRISMA illustrant le processus de sélection des études pour la revue systématique sur le potentiel allélopathique	43
Figure 11. Diagramme PRISMA illustrant le processus de sélection des études pour la revue systématique sur le potentiel allélopathique de <i>Ricinus Communis</i>	88
Figure 12. Tendances de la recherche dans le domaine de l'évaluation du potentiel allélopathique de <i>Ricinus Communis</i>	89
Figure 13. Diagramme de flux PRISMA illustrant la Sélection des études	114
Figure 14. Tendances de recherche dans le domaine de l'évaluation du potentiel allélopathique de <i>Eucalyptus globulus</i> et <i>Ricinus Communis</i>	114

Liste des Tableaux

Tableau 1: Classification taxonomique	20
Tableau 2: Classification potanique de <i>Ricinus Communis</i> l.	28
Tableau 3 : Composés chimiques et constituants actifs présents dans différentes parties de <i>Ricinus communis</i>	36
Tableau 4 : valrus de doses létales 50 des composants toxiques du ricin selon différentes d'exposition.....	37
Tableau 5. Taxonomie de la composition biochimique et des mécanismes de libération des allélochemicals chez <i>Eucalyptus globulus</i> Labill.	48
Tableau 6. Taxonomie des effets phytotoxiques de <i>Eucalyptus globulus</i> et des espèces apparentées sur les cultures agricoles.....	54
Tableau 7. Taxonomie du potentiel bioherbicide et des stratégies de gestion des adventices utilisant <i>Eucalyptus globulus</i> et des espèces apparentées	60
Tableau 8. Taxonomie des impacts écologiques de <i>Eucalyptus globulus</i> sur le sol, l'eau et la biodiversité non ciblée.....	68
Tableau 9 : Synthèse des études sur la distribution spatiale, le risque d'invasion et la gestion durable de <i>Eucalyptus globulus</i>	77
Tableau 10 : Synthèse des approches de gestion, d'atténuation et de modélisation des effets allélopathiques.....	79
Tableau 11. Taxonomie des études sur les effets allélopathiques des extraits de <i>Ricinus Communis</i> sur les cultures cultivées.....	91
Tableau 12. Taxonomie des études sur l'utilisation d'extraits de plantes allélopathiques pour la lutte biologique contre les mauvaises herbes.	94
Tableau 13. Taxonomie des études incluses sur le potentiel bioherbicide et pesticidal des extraits végétaux, classées selon l'organisme cible, le type d'extrait/formulation et la bioactivité spécifique.....	98
Tableau 14. Taxonomie des études incluses sur les interactions écologiques impliquant l'allélopathie dans la compétitivité des espèces invasives et la tolérance au stress.	105
Tableau 15. Effets allélopathiques comparés d' <i>Eucalyptus globulus</i> et de <i>Ricinus Communis</i> sur la germination et la croissance des plantes	116
Tableau 16. Taxonomie des applications pesticides des extraits d' <i>Eucalyptus globulus</i> et de <i>Ricinus Communis</i>	118
Tableau 17. Évaluation écologique des traits invasifs et des impacts de <i>Eucalyptus globulus</i> et <i>Ricinus Communis</i>	120



INTRODUCTION



Introduction générale

L'allélopathie constitue un phénomène biologique majeur en écologie végétale et en agronomie. Elle correspond à la capacité de certaines plantes à produire et à libérer des composés bioactifs influençant la germination, la croissance et le développement des espèces voisines. Ce mécanisme joue un rôle essentiel dans la régulation des communautés végétales et dans la limitation naturelle des adventices, ce qui explique l'intérêt croissant qu'il suscite dans la recherche scientifique (Rice, 2012 ; Hartmann, 2008).

Au cours des dernières décennies, les préoccupations liées aux effets néfastes des herbicides chimiques, notamment la contamination des sols et des ressources hydriques, l'apparition de résistances chez les mauvaises herbes et la diminution de la biodiversité, ont favorisé la recherche de solutions alternatives plus respectueuses de l'environnement. Dans ce contexte, les plantes allélopathiques apparaissent comme une source prometteuse de bioherbicides naturels grâce à leurs métabolites secondaires capables d'inhiber le développement des espèces concurrentes (Hartmann, 2008).

Parmi les espèces présentant un fort potentiel allélopathique, *Eucalyptus globulus* et *Ricinus Communis* occupent une place importante en raison de leur large répartition géographique, de leur intérêt économique et de leurs effets biologiques documentés. Ces deux espèces produisent une grande diversité de composés bioactifs susceptibles d'influencer significativement la végétation environnante, ce qui en fait des candidats prometteurs pour une gestion écologique des adventices (May & Ash, 1990 ; Saadaoui et al., 2015). *Eucalyptus globulus*, largement cultivé pour la production de bois, de pâte à papier et d'huiles essentielles, est reconnu pour ses effets inhibiteurs sur de nombreuses espèces végétales. Son activité allélopathique est principalement liée à la présence de terpènes, d'acides phénoliques, de flavonoïdes et de tanins, libérés par les feuilles, les racines et les résidus végétaux. Ces substances limitent la germination et la croissance des plantes voisines, entraînant souvent une réduction de la diversité végétale sous les plantations d'eucalyptus (Shala & Gururani, 2021 ; Reigosa et al., 2006 ; Babu & Kandasamy, 1997).

De son côté, *Ricinus Communis* est une espèce d'intérêt industriel et médicinal, principalement exploitée pour ses graines riches en huile. Cette plante possède également des propriétés insecticides, antifongiques et allélopathiques attribuées à la présence de composés phénoliques, d'alcaloïdes et d'autres métabolites secondaires. Ces composés exercent des effets inhibiteurs sur la germination et la croissance de nombreuses adventices, ce qui renforce son potentiel comme source de bioherbicides naturels (Saadaoui et al., 2015 ; Landoni et al., 2023 ; Janga et al., 2017 ; Morris et al., 2010).

Malgré les nombreuses études consacrées à ces deux espèces, les connaissances sur leurs mécanismes allélopathiques et leurs impacts écologiques restent encore limitées. La plupart des travaux ont été réalisés en laboratoire et peu d'études ont comparé directement leurs effets ou évalué la persistance de leurs composés dans le sol ainsi que leurs conséquences à long terme sur les organismes non ciblés et la biodiversité (Babu & Kandasamy, 1997 ; Kidanu et al., 2004 ; Morris et al., 2010).

Dans cette perspective, ce mémoire vise à évaluer et à comparer le potentiel allélopathique de *Eucalyptus globulus* et de *Ricinus Communis* à partir d'une synthèse bibliographique des études scientifiques disponibles. L'objectif est d'identifier leurs principaux composés allélopathiques, d'analyser leurs effets phytotoxiques sur les adventices, de comparer leurs mécanismes d'action et d'évaluer leur intérêt dans le développement de bioherbicides naturels pour une agriculture durable et respectueuse de l'environnement.

***Chapitre 1: Généralités sur l'allélopathie
concepts, mécanismes d'action et importance
agronomique.***



1. Généralités sur l'allélopathie concepts, mécanismes d'action et importance agronomique.

1.1. Définition de historique allélopathie

Chez les végétaux, en plus de la compétition directe pour les ressources du milieu telles que l'eau, les sels minéraux et la lumière, certaines plantes peuvent influencer d'autres espèces en libérant dans leur environnement physicochimique (sol, eau, atmosphère) des composés chimiques. Ces substances peuvent perturber ou réduire le métabolisme des plantes voisines. En effet, les végétaux produisent une grande diversité de composés secondaires jouant un rôle important dans leur adaptation aux stress biotiques et abiotiques. Lorsque ces composés exercent un effet inhibiteur sur des individus de la même espèce ou d'espèces différentes, ce phénomène est appelé allélopathie (VIARD-CRETAT, 2008).

1.1.1 Rappel sur l'historique de l'allélopathie

Le concept d'allélopathie a été introduit en 1937 par Hans Molisch, qui a publié un ouvrage consacré aux interactions chimiques entre plantes, mettant notamment en évidence le rôle de l'éthylène dans la maturation des fruits. À cette occasion, il a proposé le terme « allélopathie » pour désigner les interactions interspécifiques médiées par des substances chimiques.

Par la suite, en 1984, Rice a posé les bases de l'allélopathie moderne en la définissant comme tout effet, positif ou négatif, direct ou indirect, exercé par une plante ou un micro-organisme sur un autre organisme, à travers la libération de composés chimiques dans l'environnement. Cette définition, toujours adoptée aujourd'hui, permet de distinguer l'allélopathie d'autres interactions biologiques comme le parasitisme et la symbiose, qui impliquent un contact direct entre les organismes, ainsi que de la compétition classique liée à l'exploitation d'une ressource limitée.

Les phénomènes allélopathiques ont été observés aussi bien dans les écosystèmes naturels que dans les milieux soumis à l'activité humaine. Ils suscitent un intérêt croissant en raison de leurs applications potentielles, notamment dans les systèmes agricoles (REGNAULT-ROGER et al., 2008).

Dans les agrosystèmes, on distingue généralement trois types d'interactions allélopathiques



- l'effet des mauvaises herbes sur les cultures, où certaines espèces adventices possèdent un potentiel allélopathique capable de réduire le rendement des cultures
- l'effet des plantes cultivées entre elles, notamment via les résidus végétaux qui peuvent libérer des substances inhibitrices affectant la culture suivante
- l'effet des plantes cultivées sur les mauvaises herbes, interaction bénéfique permettant de limiter leur développement et de réduire l'utilisation des herbicides.

En écologie, l'étude de l'allélopathie contribue à une meilleure compréhension du fonctionnement des écosystèmes. Elle met en évidence le rôle des composés chimiques dans les cycles biogéochimiques, ainsi que dans les processus d'associations végétales et de successions écologiques (REGNAULT-ROGER et al., 2008).

1.1.2 Définition de l'allélopathie

L'allélopathie est définie comme tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, exercé par une plante (y compris les micro-organismes) sur une autre, via la libération de composés chimiques dans l'environnement (RICE, 1984 ; GALLET et PELLISSIER, 2002). Ce concept traduit la capacité de certaines plantes à inhiber ou à empêcher la germination et la croissance des plantes voisines grâce à l'émission de substances chimiques actives (BAIS et al., 2008 ; LESUFFLEUR, 2007).

Les composés allélopathiques affectent plusieurs processus physiologiques fondamentaux chez les plantes, notamment la photosynthèse, la synthèse des protéines, la production de chlorophylle, les relations hydriques, la perméabilité membranaire, la division cellulaire, ainsi que la germination et l'absorption des nutriments (EINHELLIG, 1986 cité par YAMANE et al., 1992 ; FERGUSON et al., 2003 ; NEWMAN & MILLER, 1977).

Par ailleurs, des études montrent que l'intensité et l'expression de l'allélopathie sont influencées par des facteurs environnementaux et physiologiques. Ce phénomène joue ainsi un rôle important dans l'établissement et le maintien des communautés végétales (WALKER et al., 2002 ; FERGUSON et al., 2003 ; BOUTON, 2005). L'expression du potentiel allélopathique dépend de plusieurs facteurs abiotiques, tels que le climat et la nature du sol, ainsi que de facteurs biotiques, en particulier les micro-organismes du sol.

Ces micro-organismes jouent un rôle essentiel dans la régulation de l'activité des composés allélopathiques, en les dégradant ou en les inactivant par divers mécanismes (polymérisation, adsorption, conjugaison), ce qui influence leur biodisponibilité pour les



plantes cibles. À l'inverse, certaines bactéries peuvent augmenter la toxicité de ces composés en transformant des molécules peu actives en substances toxiques (GALLET et PELLISSIER, 2002).

Historiquement, MOLISCH a été le premier, en 1937, à introduire le concept d'allélopathie en le définissant comme des interactions biochimiques entre plantes, incluant les micro-organismes (RICE., 1984). Actuellement, l'allélopathie est considérée comme un mécanisme d'interférence entre plantes, impliquant aussi bien des tissus vivants que des résidus végétaux morts (litière), qui libèrent des composés chimiques ayant généralement un effet inhibiteur sur les plantes associées (WARDLE et al., 1998 ; BOUTON, 2005).

Ces substances toxiques, appelées phytotoxines, peuvent être libérées par différents processus tels que les exsudats racinaires, la volatilisation foliaire ou la décomposition des résidus végétaux (BAIS et al., 2006). Elles peuvent présenter une action sélective, en affectant une seule espèce, ou au contraire un spectre d'action plus large en inhibant plusieurs espèces végétales (WHITTAKER et FEENY., 1971).

1.2. Modes de libération des composés l'allélochimiques dans l'environnement

Les composés responsables de l'effet allélopathique sont libérés dans l'environnement selon quatre mécanismes principaux. Chacun de ces mécanismes joue un rôle important dans l'influence sur la croissance des plantes voisines et l'équilibre des écosystèmes:

1.2.1 Décomposition des résidus organiques (Decomposition)

La décomposition des résidus végétaux constitue une source majeure de libération des composés allélopathiques dans le milieu. L'efficacité de ces composés dépend de la nature des résidus et des conditions de décomposition. En présence d'humidité et en absence d'oxygène, de grandes quantités de ces substances peuvent être produites, ce qui fait de ce mécanisme l'un des plus efficaces (Mojuder, 2000).

Lessivage (Leaching)

Le lessivage joue un rôle important dans le transfert des composés allélopathiques des parties aériennes vers le sol. La quantité et la nature des composés lessivés dépendent fortement des conditions climatiques telles que la température, la lumière, la pluviométrie, la durée des



périodes de sécheresse, le brouillard, la rosée et l'humidité. Les caractéristiques internes des feuilles influencent également ce processus (Reigosa et al., 1999).

Exsudation racinaire (Root Exudation)

Les exsudats racinaires représentent une source importante de libération des composés allélopathiques dans le sol. Ils affectent directement les racines des plantes voisines ainsi que les microorganismes du sol. Ce phénomène dépend de plusieurs facteurs, notamment l'âge de la plante, la température et l'intensité lumineuse. Il joue aussi un rôle dans la distribution des plantes au sein des écosystèmes (Rengel, 2002).

Volatilisation (Volatilization)

La volatilisation correspond à l'émission de composés allélopathiques sous forme gazeuse à travers de petites ouvertures situées au niveau des feuilles. Parmi ces composés volatils figurent les terpènes, l'éthylène et les huiles essentielles. Ces substances peuvent être entraînées par la pluie ou la rosée et s'accumuler dans le sol, où elles peuvent persister pendant une longue période (Garlson et al., 1999 ; Fisher et al., 1994).

1.2.2. Principales familles chimiques d'allélochimiques et leurs mécanismes d'action

L'étude des interactions chimiques entre les plantes constitue un domaine important de l'écologie végétale, notamment en ce qui concerne le phénomène d'allélopathie, qui traduit la capacité de certaines plantes à influencer la croissance et le développement d'autres espèces par l'émission de composés chimiques dans le milieu environnant. Ces substances appartiennent aux métabolites secondaires, qui ne sont pas directement indispensables aux fonctions essentielles de croissance, mais jouent un rôle crucial dans l'adaptation et la compétition au sein des écosystèmes.

Cette thématique revêt une importance particulière en raison de son impact direct sur la germination, la croissance et la répartition du couvert végétal, ce qui en fait un sujet d'intérêt majeur dans la recherche en botanique et en écologie. Dans ce cadre, ce travail vise à mettre en évidence les principales familles chimiques responsables de ce phénomène, notamment les alcaloïdes, les terpènes et les terpénoïdes, tout en soulignant leurs caractéristiques et leur rôle dans les effets allélopathiques entre les plantes.

Les terpénoïdes constituent l'un des groupes les plus importants de métabolites secondaires chez certains genres végétaux tels que *Salvia* et *Eucalyptus*, notamment en raison



de leur richesse en camphre, un composé reconnu pour son activité allélopathique. Après leur libération par la plante, ces substances peuvent se disperser dans l'environnement par différents mécanismes tels que la volatilisation, le ruissellement et la lixiviation, et elles peuvent également être dégradées par les micro-organismes du sol (De Raïssac Marcel et al., 1998).

Les effets des substances allélopathiques sur la germination des graines ou sur la croissance des plantes cibles représentent généralement des manifestations secondaires de perturbations primaires au niveau physiologique ou biochimique. Il convient de noter que les concentrations efficaces de ces composés sont souvent très faibles (mg/L), et que leurs effets peuvent varier considérablement, allant de l'inhibition à la stimulation selon la dose.

Les composés phytochimiques peuvent être classés globalement en deux grandes catégories : les métabolites primaires et les métabolites secondaires. Les métabolites primaires regroupent les composés indispensables aux fonctions vitales de la plante, tels que les glucides, les protéines, les acides aminés, les acides nucléiques (purines et pyrimidines), ainsi que la chlorophylle. En revanche, les métabolites secondaires correspondent à des composés non essentiels à la croissance immédiate, et dont la distribution varie selon les espèces végétales.

Les substances allélopathiques (allélochemicals) appartiennent à cette seconde catégorie, étant des métabolites secondaires produits par les plantes. Elles comprennent plusieurs classes chimiques, notamment les composés phénoliques, les alcaloïdes, les terpènes, ainsi que d'autres groupes comme les glucosinolates, les isothiocyanates et les benzoxazinoïdes (De Raïssac Marcel et al., 1998).

Parmi ces composés, les substances phénoliques sont les plus répandues et les plus actives sur le plan allélopathique. Elles se caractérisent par la présence d'un groupe hydroxyle lié directement à un noyau aromatique. Cette catégorie inclut les phénols simples, les tanins, certains flavonoïdes, ainsi que les dérivés de l'acide cinnamique, les acides benzoïques substitués et les quinones. Parmi les composés les plus courants et les plus actifs figurent l'acide benzoïque et ses dérivés (Archana Joshi et al., 2019) (Fig. 1).

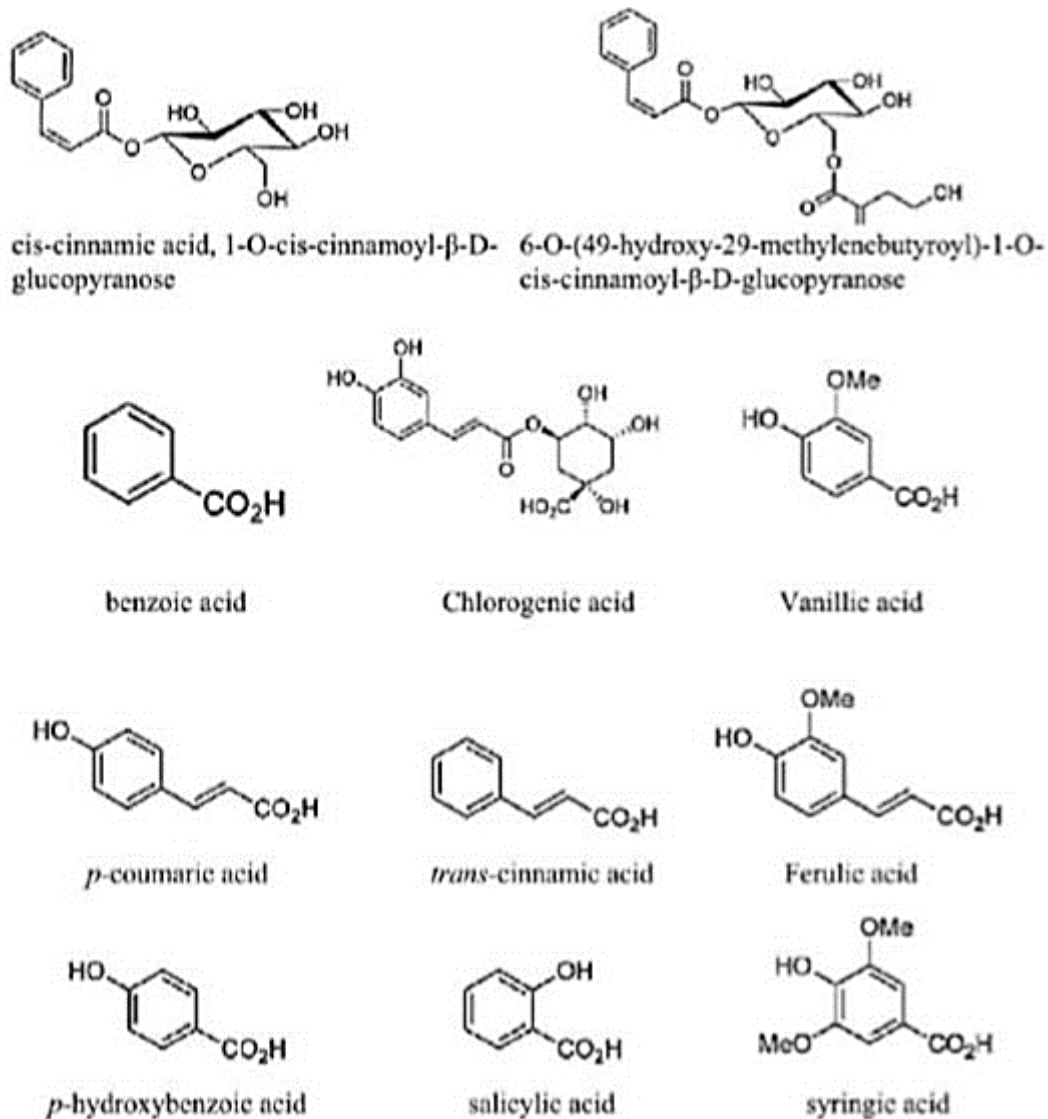


Figure 1 : Structure des composés allélopathiques (allélochimiques) extraits de plant *Spiraea thunbergii* et *Eucalyptus* species

Les alcaloïdes (Alcaloïdes)

Les alcaloïdes sont des composés organiques contenant l'atome d'azote dans leur structure hétérogène, ce qui leur confère des propriétés basiques. De nombreuses études, anciennes et récentes, ont montré que ces composés jouent un rôle important dans l'allélopathie. Parmi les exemples les plus connus figurent la caféine, la gramine et la nicotine, qui présentent toutes des effets allélopathiques variables. La caféine est responsable d'un phénomène d'autotoxicité dans les plantations de café et de thé, tandis que la nicotine inhibe la germination des graines à fortes concentrations. La gramine présente également une phytotoxicité sur plusieurs espèces végétales telles que l'avoine, le blé, le seigle, ainsi que certaines graminées,

notamment *Lolium rigidum*. Par ailleurs, la plante *Rhazy saricta* (Harmal) contient également des alcaloïdes à activité allélopathique (Fig.2).

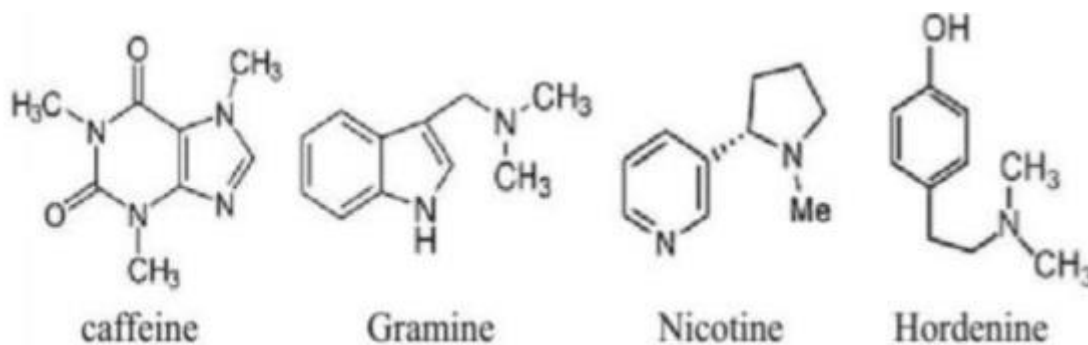


Figure 2 : Exemples de certains alcaloïdes ayant un effet allélopathique (Archana Joshi et al.,2019)

Les terpènes et les terpénoïdes (Terpènes et Terpénoïdes)

Les terpènes constituent un vaste groupe de composés hydrocarbonés produits par de nombreuses plantes, en particulier les conifères. Ils représentent les principaux constituants de la résine ainsi que de la térébenthine (turpentine) qui en est issue, ce qui explique l'origine du terme « terpène » dérivé de « térébenthine ». Lorsque les terpènes subissent des modifications chimiques telles que l'oxydation ou le réarrangement de leur structure carbonée, ils se transforment en composés appelés terpénoïdes. Les terpènes et les terpénoïdes constituent des composants essentiels des huiles essentielles de nombreuses plantes.

D'après Scavo et al. (2019), Les terpénoïdes sont connus pour leurs usages médicaux depuis l'Antiquité, mais plusieurs d'entre eux possèdent également une activité allélopathique. Parmi ces composés, le 1,8-cinéole et le camphre sont des monoterpènes volatils (monoterpènes) qui présentent un effet inhibiteur sur la croissance des plantes. De plus, plusieurs lactones sesquiterpéniques ont été isolées à partir de *Cynara cardunculus*, notamment la cynaropicrine, la cynaratriol, le désacétyl cynaropicrine et ses dérivés 11,13-dihydrogénés, tous ayant montré une activité allélopathique significative (Fig. 3)

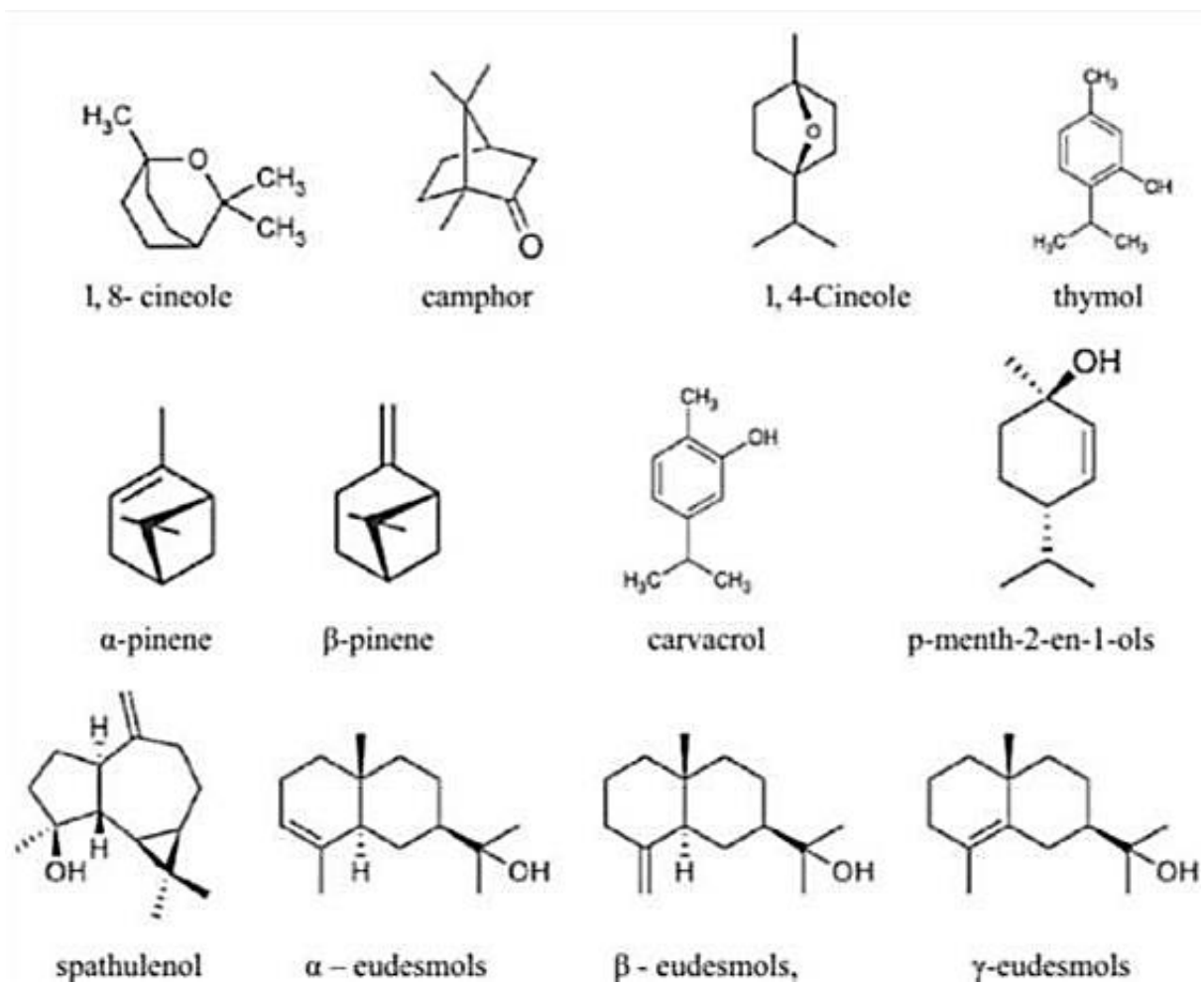


Figure 3: Exemples de certains terpénoïdes ayant un effet allélopathique (Archana Joshi et al., 2019)

1.3. Substances allélopathiques (allélochimiques)

La libération de composés organiques par certaines espèces végétales peut exercer des effets toxiques sur les autres plantes. Les substances chimiques produites par les plantes allélopathiques et responsables de ces interactions sont appelées allélochimiques (ou allelochemicals). La majorité de ces composés est considérée comme des métabolites secondaires, issus des principales voies métaboliques de la plante. Leur rôle biologique au sein de la plante productrice reste, dans de nombreux cas, encore mal élucidé. Toutefois, certains allélochimiques sont connus pour participer à des fonctions structurales, notamment comme intermédiaires dans le processus de lignification, ou encore pour intervenir dans les mécanismes de défense contre les herbivores et les agents pathogènes.

Selon Bounias (1999), le terme « substances allélochimiques » peut également inclure certains alcaloïdes végétaux ayant une action inhibitrice sur la croissance des champignons parasites (Zerroug, 2019). Cependant, dans le cadre de ce travail, ce concept est principalement



utilisé pour désigner la toxicité exercée par des substances végétales sur d'autres espèces végétales.

Les allélochimiques peuvent être libérés dans l'environnement par différents mécanismes, notamment l'exsudation racinaire, la lixiviation des parties aériennes, la volatilisation, ainsi que la décomposition des résidus végétaux (Zerroug, 2019).

1.4. Effets des substances allélochimiques sur les plantes

L'exposition des plantes sensibles aux allélochimiques peut perturber plusieurs processus physiologiques tels que la germination, la croissance et le développement. Ces composés peuvent entraîner un retard de germination, voire une inhibition complète du développement végétal. Les effets morphologiques sont généralement plus visibles aux premiers stades de croissance, se traduisant par des modifications de l'allongement de la tigelle et de la radicule (ou du coléoptile et de la coléorhize chez les Poaceae).

Ces altérations peuvent également persister aux stades post-germinatifs, affectant le développement des tiges et des racines (Zerroug, 2019).

1.5. Importance écologique et applications

Signification écologique des substances allélopathiques (reformulation scientifique – niveau licence)

Les substances allélopathiques jouent un rôle écologique majeur dans les interactions entre les plantes et leur environnement. Ces interactions peuvent s'exprimer à différentes échelles, allant de la niche écologique locale jusqu'à la structuration globale des écosystèmes, notamment en influençant la répartition des espèces végétales et leur adaptation aux conditions environnementales telles que l'altitude. Ces composés, qu'ils soient produits de manière constitutive ou induits par des stress biotiques ou abiotiques, contribuent de façon significative à l'équilibre physiologique des plantes et à leur capacité d'adaptation dans leur milieu naturel (Macheix et al., 2005).

De nombreux phénomènes allélopathiques ont été décrits dans la littérature scientifique. Ils peuvent se manifester entre plantes cultivées, entre plantes spontanées, ou encore entre ces deux catégories. Ces interactions peuvent également impliquer d'autres organismes tels que les insectes et les micro-organismes, voire des relations inter-microbiennes (Pousset, 2009). Selon Friedman (1995), l'allélopathie correspond à l'influence biochimique exercée par une espèce sur une autre dans des conditions naturelles, par des mécanismes non liés à la nutrition.



Dans les écosystèmes forestiers, les adventices peuvent exercer une forte concurrence sur les jeunes arbres, notamment en limitant leur développement aérien et racinaire. Cette inhibition est souvent due à la libération de composés biochimiques capables de freiner la germination et la croissance des plantes voisines (Schütz, 1990). Le sol constitue le principal réservoir de ces substances allélopathiques, qui sont libérées soit par exsudation racinaire directe, soit par la décomposition de la matière végétale. Ces processus représentent une source majeure d'allélochimiques dans les milieux naturels (Narwal, 2000). Par exemple, certaines espèces ne peuvent se développer sous le noyer (*Juglans nigra* L.) en raison de la présence de la juglone, un composé volatil toxique libéré par ses racines.

Dans l'atmosphère, certaines plantes du genre *Allium* L. produisent, en réponse aux attaques d'insectes, des composés soufrés volatils impliqués dans leurs mécanismes de الدفاع. Ces substances possèdent une toxicité large vis-à-vis des insectes ravageurs et peuvent expliquer la faible infestation de certaines espèces comme le poireau (*Allium porrum* L.) (Dugravot et al., 2003).

Dans les milieux marins, les interactions allélopathiques participent également à la compétition entre organismes pour les ressources disponibles. Certaines phytotoxines produites par des flagellés peuvent inhiber la croissance de bactéries et de champignons, leur conférant un avantage compétitif (Frémy et Lassus, 2001). De même, dans la mer Baltique, des cyanobactéries telles qu'*Aphanizomenon flos-aquae* et *Nodularia spumigena* libèrent des substances qui réduisent la croissance de certaines microalgues phytoplanctoniques comme *Rhodomonas* sp., ce qui illustre leur rôle dans la régulation des communautés planctoniques (Suikkanen et al., 2006).

Enfin, dans les systèmes aquatiques d'eau douce, des interactions allélopathiques peuvent également moduler les relations entre espèces. Par exemple, il a été montré que des extraits de *Spirogyra* sp. peuvent stimuler la croissance et la production de toxines chez la cyanobactérie *Oscillatoria agardhii*, ce qui met en évidence la complexité des interactions chimiques entre algues et micro-organismes (Mohamed, 2002).

Ainsi, les substances allélopathiques constituent des médiateurs chimiques essentiels dans la structuration des écosystèmes, influençant à la fois la compétition, la coopération et l'équilibre écologique entre les différentes espèces.



1.6. Applications de l'allélopathie

En milieu naturel, l'allélopathie joue un rôle essentiel dans la répartition spatiale des espèces végétales et dans l'organisation des successions écologiques (CIRAD, 2000).

Compétition entre cultures et mauvaises herbes

Plus de 90 espèces de mauvaises herbes présentent des propriétés allélopathiques, renforçant leur compétitivité.

Lutte contre les mauvaises herbes

- Sélection de variétés allélopathiques (ex : riz)
- Développement d'herbicides biologiques

Exemple : la cyméthylène issue du cinéole d'*Eucalyptus*.

Gestion des rotations culturales

- Autotoxicité : sorgho, riz pluvial
- Effet positif : tournesol améliore le sol
- Inhibition de la fixation de l'azote chez les légumineuses

Gestion des résidus

- Enfouissement pour réduire les effets allélopathiques
- Utilisation en cultures de couverture

1.7. Définition des mauvaises herbes

Les adventices, également appelées mauvaises herbes, correspondent à des plantes qui poussent spontanément dans un milieu donné, notamment dans les champs agricoles ou les jardins. Elles colonisent des habitats naturels ou semi-naturels sans intervention humaine et présentent une grande capacité d'adaptation aux mêmes conditions édaphiques et climatiques que les espèces cultivées. Ainsi, les pratiques agricoles favorisant le développement des cultures peuvent également favoriser l'installation et la prolifération de ces plantes (Hannachi, 2010).

Sur le plan agronomique, les mauvaises herbes représentent une contrainte biologique majeure limitant la production agricole à l'échelle mondiale, en particulier dans les pays en développement. Leur présence dans les parcelles cultivées constitue l'une des principales causes de pertes de rendement observées au champ. Plusieurs études ont montré que ces pertes



peuvent varier entre 13,8 % et 90 %, en fonction du niveau d'infestation et de la sensibilité des cultures (Bétia Etiabi et al., 2021).

1.8.Caractéristiques biologiques des mauvaises herbes

Les adventices (ou mauvaises herbes) possèdent un ensemble de caractéristiques biologiques qui expliquent leur capacité à coloniser rapidement les milieux cultivés et à entrer en compétition avec les plantes cultivées. Ces traits biologiques sont essentiels pour comprendre leur dynamique et pour mettre en place des méthodes de lutte adaptées (Barralis, 1970).

1.8.1. Caractéristiques générales des adventices

Les adventices, définies comme des plantes apparaissant spontanément dans les champs, deviennent problématiques lorsqu'elles interfèrent avec les cultures. Selon Barralis (1970), une plante adventice efficace présente généralement les caractéristiques suivantes:

Une croissance rapide, notamment chez les espèces annuelles à cycle court, entre la germination et la maturation.

Une forte capacité de régénération après des perturbations mécaniques telles que le travail du sol ou les dégâts physiques.

Une adaptation du cycle de développement aux conditions climatiques et aux pratiques agricoles.

Une tolérance à l'ombre, ou la capacité de s'adapter en développant des stratégies d'échappement (plantes grimpantes par exemple).

1.8.2. Le concept de la « mauvaise herbe idéale » selon Baker(1965)

Baker, cité par Navas, a proposé un ensemble de traits définissant la mauvaise herbe idéale, caractérisée par une grande capacité d'adaptation et de dissémination:

Possibilité de germination dans divers types de milieux.

Germination non synchronisée (étalée dans le temps).

Longue durée de viabilité des graines dans le sol.

Croissance rapide des jeunes plantules.



Période juvénile courte et mise à reproduction rapide.

Production importante de graines lorsque les conditions sont favorables.

Capacité de reproduction dans des milieux variés.

Pollinisation peu spécialisée et souvent non dépendante d'un agent précis.

Forte plasticité phénotypique en fonction des conditions du sol et du climat.

Capacité de dispersion efficace à courte et longue distance.

1.8.3. Reproduction végétative et capacité de propagation

Certaines adventices possèdent également des stratégies de reproduction végétative très efficaces, telles que:

Développement de rhizomes et de stolons.

Fragmentation et régénération à partir de petites portions de tiges ou de racines.

Grande capacité colonisatrice des milieux perturbés.(TISSUT et al.,2006).

1.8.4. Lutte contre les mauvaises herbes:

Dans la lutte contre les adventices, les moyens traditionnels sont encore très soit: la destruction mécanique par extirpateur puis sarclage, triage des semences souvent délicat par la convergence de forme entre les graines des plantes utiles et adventices (cas de folle avoine qui accompagne toujours l'avoine cultivée) ou l'aide des désherbants chimiques (MCCULLY et JENSEN, 2004).

1.8.5. Lutte préventive:

La technique du faux-semis est également efficace. Le sol est préparé avant le semis, favorisant ainsi la germination des graines des adventices enfoncées dans le sol. Au moment du semis, ces mauvaises herbes sont enlevées d'un coup. Évitez de le faire avant une ondée car les herbes laissées en place risquent de reprendre. Pour la plupart des espèces vivaces (liseron, chardon, renoncule chiendent,...) il n'y a pas de solution biologique radicale. Il faut extirper les rhizomes en été, par temps sec, pour empêcher les plantes de reconstituer leurs réserves l'hiver (MCCULLY et JENSEN, 2004).

*Chapitre 2: Présentation de Eucalyptus
globulus et Ricinus Communis*



2.Présentation de *Eucalyptus globulus* et *Ricinus Communis*

2.1 Présentation de *Eucalyptus globulus*

2.1.1. Systématique, origines d *Eucalyptus* (L'Héritier de Brutelle 1788)

L'*Eucalyptus* (*Eucalyptus globulus* sp.L'Héritier de Brutelle 1788), appartenant à la famille des Myrtaceae, est considérée comme l'une des plantes aromatiques les plus importantes sur les plans médicinal et économique. Originaire du continent australien, elle a été introduite et largement cultivée dans de nombreuses régions du monde, notamment dans les pays du bassin méditerranéen et en Afrique, en raison de sa grande capacité d'adaptation et de son intérêt économique (Benlabchir et al., 2024).

Les espèces d'*Eucalyptus* sont des arbres à feuillage persistant, caractérisés par des feuilles riches en huiles essentielles contenant divers composés bioactifs. Parmi ceux-ci, le 1,8-cinéole (également appelé eucalyptol) constitue le composant majoritaire de l'huile essentielle de *Eucalyptus globulus* et est responsable d'une grande partie des propriétés biologiques et pharmacologiques de cette plante (Assaggaf et al., 2022).

Depuis longtemps, l'*Eucalyptus* occupe une place importante dans la médecine traditionnelle, notamment pour le traitement des affections respiratoires, la désinfection des plaies et la lutte contre les infections. Des études scientifiques récentes ont confirmé que ses huiles essentielles possèdent plusieurs activités biologiques importantes, notamment des propriétés antibactériennes, antioxydantes, anti-inflammatoires et antimicrobiennes, ce qui renforce son intérêt dans les domaines médical, pharmaceutique et biotechnologique (Dhakad et al., 2018 ; Benlabchir et al., 2024).

Parmi les nombreuses espèces du genre *Eucalyptus*, *Eucalyptus globulus* est l'une des plus répandues et exploitées, en raison de sa forte teneur en composés actifs et de sa remarquable capacité d'adaptation à différentes conditions environnementales. Elle est également largement utilisée dans les programmes de reboisement et de lutte contre la désertification (Batish et al., 2008).

Sur le plan taxonomique, *Eucalyptus globulus* est une plante à fleurs appartenant au règne Plantae. Elle est classée dans la division des Magnoliophyta, caractérisée par la production de fleurs et de graines enfermées, et dans la classe des Magnoliopsida, regroupant les plantes dicotylédones. Cette espèce appartient à l'ordre des Myrtales et à la famille des Myrtaceae, connue pour ses plantes riches en huiles essentielles. Elle est rattachée au genre *Eucalyptus*, qui

comprend un grand nombre d'espèces d'arbres d'importance économique et médicinale (POWO, 2023).

Classification taxonomique:

Le classement botanique représente un outil fondamental en sciences végétales, permettant d'identifier les espèces et de les organiser selon une hiérarchie taxonomique basée sur leurs caractères distinctifs et leurs relations évolutives. Cette classification facilite l'étude comparative des plantes et constitue une référence scientifique essentielle pour comprendre leurs propriétés biologiques, écologiques et leurs applications potentielles, notamment dans le domaine de l'allélopathie.

Tableau 1: Classification taxonomique

Règne	Division	Classe	Ordre	Famille	Genre	Espèce
Plantae	Magnoliophyta	Magnoliopsida	Myrtales	Myrtaceae	<i>Eucalyptus</i>	<i>Eucalyptus globulus</i>



Figure 4: arbre d'*Eucalyptus* à l'université d'El Oude, 2026 (Originale)



2.1.2. Répartition géographique de l'*Eucalyptus*

est une espèce végétale qui a démontré une capacité remarquable à se disperser et à s'adapter à des environnements variés à travers les continents. Son aire d'origine se situe en Australie, principalement dans les régions orientales, ainsi que dans l'archipel de Tasmanie, où il croît naturellement dans les forêts humides et les zones côtières (Brooker et al., 2006).

Grâce à ses caractéristiques écologiques uniques, telles qu'une forte résistance à la sécheresse et une croissance rapide, l'*Eucalyptus* a été introduit dans plusieurs régions du monde au cours des XIX^e et XX^e siècles, à des fins de reboisement, de lutte contre la désertification et de production de bois et de pâte à papier. Parmi les principales zones de diffusion mondiale:

- Europe du Sud : principalement l'Espagne, le Portugal et l'Italie, où ses forêts sont exploitées pour l'industrie papetière.
- Afrique du Nord : Algérie, Maroc et Tunisie, dans le cadre de programmes de reboisement et de lutte contre la désertification (Djabou et al., 2012).
- Amérique du Sud : Brésil et Argentine, à des fins industrielles, environnementales et agricoles.
- Afrique australe et occidentale : pays comme l'Afrique du Sud et le Zimbabwe, dans le cadre de programmes de réhabilitation des terres dégradées.

En Algérie, l'*Eucalyptus* a été introduit durant la période de colonisation française et largement utilisé dans les projets de reboisement, en particulier dans les régions nordiques et côtières. Progressivement, sa répartition s'est étendue aux régions intérieures et méridionales, y compris dans les wilayas du sud-est comme Ouargla et El Oued, où l'espèce a démontré une forte capacité d'adaptation aux climats arides et semi-arides (Benabderrahmane et al., 2020).

Aujourd'hui, l'*Eucalyptus* constitue une composante essentielle de la couverture végétale algérienne, jouant un rôle écologique majeur dans la protection des sols et la lutte contre la désertification, tout en présentant une importance économique et médicinale.

2.1.3. Caractéristiques structurelles et morphologiques de l'*Eucalyptus* (*Eucalyptus globulus*)

L'*Eucalyptus* (*Eucalyptus globulus*) est un arbre à feuilles persistantes, présentant une morphologie particulière qui contribue fortement à sa capacité d'adaptation à diverses conditions environnementales et climatiques, y compris les milieux secs et difficiles.



Tronc et branches

Le tronc de l'*Eucalyptus* se caractérise par sa solidité et son port droit. Il est recouvert d'une écorce lisse ou presque lisse, dont la couche externe se détache en fines bandes, révélant de nouvelles couches de couleur blanche à gris argenté. La hauteur de l'arbre dans son habitat naturel varie entre 30 et 55 mètres, et peut parfois dépasser 70 mètres dans des conditions optimales (Brooker & Kleinig., 2006).

Quant aux branches jeunes, elles sont lisses et présentent une teinte vert bleuâtre, qui devient progressivement grise avec l'âge, reflétant les changements physiologiques liés à la croissance et à la maturation de l'arbre.

Les feuilles constituent l'un des caractères morphologiques essentiels de l'*Eucalyptus* et jouent un rôle fondamental dans la photosynthèse ainsi que dans la régulation de la perte en eau:

- **Feuilles juvéniles** : de forme ovée, disposées de manière opposée sur la branche, présentant une couleur vert-bleuté et recouvertes d'une fine cuticule cireuse qui réduit l'évaporation et protège les tissus végétaux.

- **Feuilles adultes** : de forme lancéolée, mesurant entre 10 et 30 cm de longueur et

2 à 5 cm de largeur, disposées de manière alternée sur la branche. La face supérieure est vert foncé et brillante, tandis que la face inférieure est plus claire. Les feuilles possèdent des glandes huileuses transparentes qui sécrètent l'huile essentielle d'*Eucalyptus*, riche en 18-cinéole, conférant aux feuilles leur arôme caractéristique et renforçant leurs propriétés biochimiques et physiologiques.

Fleurs

Les fleurs de l'*Eucalyptus* se distinguent par leur simplicité et leur attrait esthétique, apparaissant seules ou en petits groupes. Elles présentent des calices et des enveloppes florales ligneuses qui s'ouvrent pour révéler de nombreuses étamines blanches constituant la partie florale visible. La floraison survient généralement à la fin de l'été ou au début de l'automne, en fonction des conditions environnementales, ce qui favorise l'adaptation aux variations climatiques et assure la reproduction efficace de l'espèce.

Fruits et graines

Les fruits se présentent sous forme de capsules ligneuses dures, dont la morphologie varie entre conique et sub-sphérique, et renferment à l'intérieur de petites graines de couleur brune. Ces graines restent protégées jusqu'à ce que le fruit atteigne sa maturité complète, moment où la capsule s'ouvre spontanément (déhiscence) pour libérer les graines. Ce mécanisme constitue une stratégie adaptative efficace permettant la dispersion des diaspores par le vent (anémochorie), ce qui favorise l'expansion spatiale de l'espèce végétale dans son milieu naturel. La dispersion des graines par le vent est un processus écologique clé qui influence la dynamique des populations végétales, leur flux ainsigénétique que leur colonisation de nouveaux habitats (Beckman, 2023).



Figure 5: illustrative des fruits et des graines de l'*Eucalyptus* (مخلوفي, 2025)

2.1.4. Déffirents usages de l'*Eucalyptus globulus*

L'*Eucalyptus globulus* est une plante aromatique présentant une grande importance biologique et économique, ses feuilles et son huile essentielle ayant été utilisées depuis longtemps dans diverses applications médicales, traditionnelles et industrielles, en raison de sa richesse en composés chimiques actifs.

.Usages médicaux

Des études traditionnelles et récentes ont démontré l'efficacité de l'huile d'*Eucalyptus* dans le traitement de plusieurs maladies, en particulier celles liées aux voies respiratoires, grâce à ses propriétés antiseptiques, antimicrobiennes et anti-inflammatoires. Les applications médicales principales incluent:



- **Traitement des maladies respiratoires** : L'huile est utilisée pour soulager le rhume, les infections des sinus, la bronchite et l'asthme, soit par inhalation, soit par application topique, en raison de ses effets apaisants et antiseptiques sur les voies respiratoires(Sadlon & Lamson ,2010)).
- **Renforcement du système immunitaire** : L'huile contribue à stimuler les réponses de défense naturelles de l'organisme, soutenant ainsi l'immunité contre les agents pathogènes (Silva et al .;2003).
- **Soulagement des douleurs** : Elle est efficace pour atténuer les douleurs musculaires et articulaires lorsqu'appliquée localement, grâce à ses propriétés analgésiques et anti-inflammatoires.
- **Désinfection des plaies** : L'huile est utilisée pour nettoyer les plaies et prévenir les infections bactériennes.
- **Antioxydants** : Des recherches récentes indiquent que les composants de l'huile peuvent agir comme des antioxydants naturels, contribuant à la prévention de certaines maladies chroniques (Dhakadet al., 2018).

2.1.5. Usages industriels

Grâce à sa composition chimique riche, l'*Eucalyptus* constitue une matière première essentielle dans plusieurs industries, notamment:

- **Industrie pharmaceutique** : L'huile est intégrée dans la fabrication de pastilles contre la toux, de sirops et de pommades balsamiques destinées à dilater les bronches.
- **Industrie des parfums** : Elle est utilisée comme ingrédient principal dans la fabrication des parfums et des désodorisants, pour son arôme frais et intense.
- **Papeterie** : Les espèces riches en fibres sont exploitées pour produire une pâte à papier de haute qualité.
- **Industrie des détergents et désinfectants** : Les propriétés antimicrobiennes de l'huile renforcent l'efficacité désinfectante des produits divers.

2.1.6. Principales substances secondaires d'*Eucalyptus*

2.1.6.1. Principaux constituants de l'huile essentielle

L'huile essentielle d'*Eucalyptus* se caractérise par sa richesse en composés biologiquement actifs, appartenant majoritairement à la classe des terpènes oxygénés et des sesquiterpènes. Ces composés constituent la base déterminante de ses propriétés thérapeutiques et de ses applications industrielles.



Parmi les principaux constituants identifiés dans l'huile essentielle d'*Eucalyptus*, on distingue:

- **-1,8cinéole (Eucalyptol)** : Il s'agit du composé majoritaire, dont la teneur varie généralement entre 60 % et 85 %, notamment chez *Eucalyptus globulus*. Il possède des propriétés antimicrobiennes, anti-inflammatoires et antiseptiques des voies respiratoires (Silva et al., 2003).
- **α -pinène (alpha-pinène)** : Composé terpénique à odeur boisée caractéristique, contribuant à l'activité anti-inflammatoire et antibactérienne, ainsi qu'à un effet expectorant bénéfique pour le système respiratoire (Benabderrahmane et al. ;2020).
- **Limonène** : Présent en quantités relativement faibles, il confère une note aromatique fraîche et citronnée, et présente des propriétés antioxydantes, avec un potentiel effet protecteur contre certains processus cancéreux (Batish et al 2008).
- **γ -terpinène (gamma-terpinène)** : Participe à l'activité antioxydante de l'huile, améliorant ainsi sa stabilité chimique et son efficacité biologique.
- **α -terpinéol (alpha-terpinéol)** : Composé aromatique important, reconnu pour ses propriétés antimicrobiennes et antispasmodiques.
- **Spathulénol** : Présent dans certaines espèces d'*Eucalyptus*, il contribue également à l'activité antioxydante de l'huile.

2.1.6.2. Facteurs influençant la composition chimique

La composition chimique de l'huile essentielle d'*Eucalyptus* est influencée par divers facteurs environnementaux, physiologiques et technologiques, ce qui entraîne une variabilité significative dans la nature et la proportion des composés actifs.

Parmi les facteurs les plus déterminants:

- **L'espèce et la variété (Species and Variety):**

La composition chimique varie considérablement d'une espèce à une autre, et même entre les différentes variétés d'une même espèce. Cette variabilité affecte notamment la teneur en composés majeurs tels que le 1,8-cinéole et l' α -pinène, influençant ainsi les propriétés biologiques de l'huile essentielle (Benabderrahmane et al. ;2020).

- **Stade phénologique de la plante (Phenological Stage)**

Le stade phénologique constitue un facteur déterminant dans la production des métabolites secondaires, influençant à la fois leur qualité et leur quantité. En effet, les



différentes phases de développement — notamment la formation des feuilles, la floraison et la fructification — conditionnent la biosynthèse des composés aromatiques. Il a été démontré que les huiles essentielles extraites de feuilles matures présentent généralement une teneur plus élevée en composés oxygénés que celles issues de feuilles jeunes, ce qui impacte directement leurs propriétés chimiques et biologiques (Coppen et al.,(2002) .

- **Facteurs environnementaux**

Les conditions environnementales englobent plusieurs paramètres, tels que le climat, la nature du sol, l'altitude et la pluviométrie. Ces facteurs influencent de manière significative l'activité métabolique de la plante, en particulier les voies biosynthétiques responsables de la production des huiles essentielles, entraînant ainsi des variations notables dans leur composition chimique.

2.1.6.3. Méthodes de récolte et de stockage (Harvesting and Storage Methods)

Les techniques de récolte et les conditions de stockage jouent un rôle crucial dans la préservation de la qualité des huiles essentielles. La méthode de collecte des feuilles, la durée et les conditions de stockage, ainsi que les procédés de séchage, peuvent entraîner des pertes en composés volatils ou leur dégradation, altérant ainsi la composition chimique finale de l'huile.

- **Méthode d'extraction (Extraction Method)**

Les propriétés physico-chimiques des huiles essentielles varient en fonction de la méthode d'extraction employée, notamment la distillation à la vapeur, l'extraction par solvants ou l'expression à froid. La distillation à la vapeur est la technique la plus couramment utilisée, car elle permet de mieux préserver les composés volatils par rapport à l'extraction par solvants (Gilles et al., 2010).

- **Durée et conditions de distillation**

La durée de distillation ainsi que la température appliquée exercent une influence directe sur la qualité et la composition de l'huile essentielle. Ces paramètres déterminent les proportions relatives des composés majeurs et mineurs, et des conditions inadéquates peuvent entraîner la dégradation ou la perte de certains constituants sensibles.



2.2 Présentation de *Ricinus Communis* I

2.2.1. Taxonomie, origine et répartition mondiale(Carl linnaeus 1753)

Le Ricin (*Ricinus communis* L. Carl linnaeus 1753) est une plante importante sur les plans médicinal, industriel et agricole. Il appartient à la famille des Euphorbiaceae. Cette espèce se distingue par sa richesse en composés biologiquement actifs et par la diversité de ses utilisations, ce qui lui confère une grande valeur scientifique et économique.

.Le ricin présente des caractéristiques morphologiques bien définies:

Feuilles : grandes, profondément lobées, présentant des variations de couleur.

Tiges : robustes et solides, souvent rougeâtres ou violacées en raison de la présence de pigments anthocyaniques.

Racines : bien ramifiées, permettant une absorption efficace des éléments nutritifs du sol.

Fleurs : unisexuées, regroupées en inflorescences terminales de type grappe.

Fruits et graines : contenus dans des capsules épineuses caractéristiques assurant la protection des graines.

.Le *RICINUS COMMUNIS* contient une grande diversité de métabolites secondaires, variables selon les parties de la plante:

- Feuilles

Tanins : propriétés astringentes et antimicrobiennes

Ricinine : activité anti-inflammatoire

Flavonoïdes (ex. rutine) : effets antioxydants et antibactériens

- Racines

Ellagitannins

Lupéol (Lupeol)

Acide indole-3-acétique (Indole-3-acetic acid)

- Graines

Ricine (Ricin) : protéine biologiquement active très puissante

Ricinine

Composés phénoliques

..Les graines de ricin présentent une forte activité antioxydante, attribuée à leur richesse en flavonoïdes et en tanins.

Ces composés contribuent à la valeur pharmacologique et scientifique de la plante (Monati Meko et al., 2025).

Classification botanique de *Ricinus Communis* l.

La classification botanique constitue une étape essentielle pour l'identification et l'étude des espèces végétales. Elle permet de situer chaque plante dans une hiérarchie taxonomique fondée sur ses caractéristiques morphologiques, anatomiques et génétiques, facilitant ainsi la comparaison entre les espèces et la compréhension de leurs relations évolutives. La présentation de cette classification offre une base scientifique indispensable pour l'analyse de leurs propriétés biologiques, écologiques et allélopathiques (Abomuaghaid et al., 2024).

Tableau 2: Classification botanique de *Ricinus Communis* l.

Domaine	Sous-règne	Règne	Sous- embranchement
Eukaryota	Tracheobionta	Plantae	Angiospermae
Division	Sous-classe	Ordre	Famille
Magnoliophyta	Rosidae	Euphorbiales	Euphorbiaceae
Genre	Espèce		
<i>Ricinus</i>	<i>Ricinus Communis</i>		



Figure 6: Vue d'ensemble de Ricin commun (Université El Oued ,2026)(originale)

2.2.2. Répartition géographique du ricin commun

Selon Foster.(2010). Le ricin (*Ricinus communis*) est une espèce végétale dont l'origine est généralement située dans le sous-continent indien, en Afrique de l'Est ainsi que dans le sud-est du bassin méditerranéen. Toutefois, cette plante a connu une large diffusion en raison de sa culture et de son adaptation dans de nombreuses régions en dehors de son aire d'origine, notamment dans les zones tropicales et subtropicales telles que les Amériques et la Chine, et elle est présente sur tous les continents à l'exception de l'Antarctique (Salihu, et al., 2014). Ses graines ont été très appréciées depuis l'Antiquité pour leurs propriétés industrielles et thérapeutiques.

Rana et al (2010). ont également mis en évidence l'importance traditionnelle du ricin ainsi que son potentiel pharmaceutique, en soulignant la diversité de ses usages et sa valeur biologique complexe. La large distribution de cette plante est étroitement liée à sa grande capacité d'adaptation aux conditions environnementales variées. en particulier aux climats chauds et ensoleillés ainsi qu'aux sols bien drainés, ce qui en fait une culture économiquement rentable dans de nombreuses régions. De plus, les activités humaines, telles que le commerce et la dispersion accidentelle des graines, ont joué un rôle déterminant dans l'expansion de son aire de répartition à l'échelle mondiale (Salihu et al., 2014)

D'après Mashela et Nthangeni (2002), la distribution géographique du ricin est influencée par plusieurs facteurs, notamment son origine historique, sa plasticité écologique et les activités humaines. La plante présente une forte capacité d'adaptation à des conditions environnementales diverses, telles que les sols bien drainés et les températures élevées, ce qui



favorise sa propagation dans différentes régions du pays (Akbar. S, 2020). Par ailleurs, son importance en médecine traditionnelle et sa valeur économique ont contribué à sa culture et à sa dissémination intentionnelle à l'intérieur du territoire. Cependant, sa présence soulève également des préoccupations environnementales, en raison de son potentiel invasif et de ses impacts possibles sur la flore et les écosystèmes locaux (Mabasa et al., 2021).

2.2.3. Description morphologique du *Ricinus* (*Ricinus communis*)

- **Feuilles**

Les feuilles de *Ricinus communis* se distinguent par leur texture ferme et leur couleur vert brillant. Elles sont relativement grandes, pouvant atteindre jusqu'à 60 cm de diamètre, comme illustré à la figure(A)(Wang et al., 2018). Elles sont profondément palmées, composées de cinq à onze lobes pointus partant d'un point central, avec des marges dentées (Nour et al., (2023)). Les nervures sont bien visibles et s'étendent de la nervure centrale vers les extrémités des lobes, contribuant au transport des nutriments et au soutien structural. La couleur des feuilles varie du vert vif au rouge foncé en fonction de la teneur en anthocyanines. Au cours du développement, la couleur évolue du rouge pourpre ou bronze à un vert foncé à maturité (B), en raison des variations de concentration en anthocyanines. (Pina et al., 2021).

- **Tige**

La tige de *Ricinus communis* est robuste, dressée et à surface lisse, ce qui contribue au maintien de la structure générale de la plante. Elle croît verticalement et se ramifie, favorisant la stabilité et l'adaptation aux différentes conditions environnementales (Monati Meko et al., 2025).

. Sa hauteur peut atteindre un à deux mètres, et elle est généralement charnue et dépourvue de poils [Singh et al., 2010)]. Sa couleur varie du vert clair au rouge ou pourpre chez certaines variétés, en raison de la présence d'anthocyanines (Liu et al., 2018). Ces pigments, appartenant à la famille des flavonoïdes hydrosolubles, sont responsables des colorations rouge, violette et bleue, et jouent un rôle dans l'attraction des pollinisateurs, la protection contre les rayons UV et la défense contre les herbivores (Fang et al., 2023)]. La tige présente également des cicatrices foliaires visibles et est recouverte d'une couche cireuse contenant un latex blanc laiteux (Alves de Siqueira et al., 2020). Elle est creuse à l'intérieur et renferme une moelle centrale entourée de faisceaux vasculaires assurant le transport de l'eau et des nutriments

- **Racines**

Les racines de *Ricinus communis* sont épaisses et charnues, pouvant atteindre une profondeur d'environ deux mètres dans le sol (Chouhan et al., 2021). Le système racinaire est constitué d'une racine pivotante principale, accompagnée de racines secondaires et adventives issues de la tige (Zheng et al., 2021). La racine principale s'amincit progressivement, permettant un bon ancrage et l'accès à l'humidité des couches profondes du sol. Les racines secondaires sont fines et fibreuses, se ramifiant latéralement pour former un réseau dense responsable de l'absorption de l'eau et des nutriments (Zheng et al., 2021).

. Elles possèdent également des poils absorbants qui augmentent la surface d'échange (D) (Chouhan, H.S., 2021).

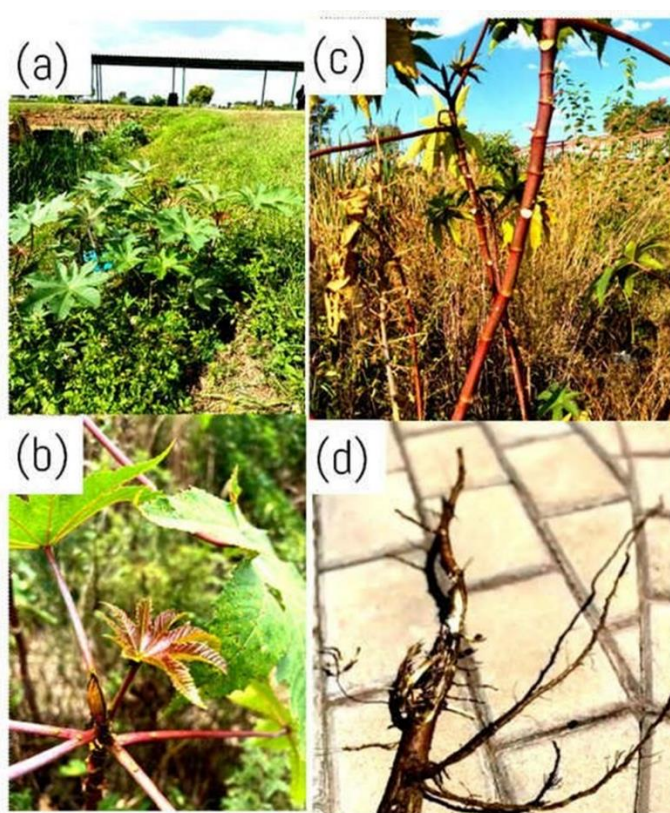


Figure 7 :Plante *Ricinus communis* poussant à l'état sauvage (a: Feuilles B:Tige C: Racines D:Fleurs et inflorescences) (Monati Meko et al., 2025).

- **Fleurs et inflorescences**

Le ricin présente une inflorescence terminale en grappe composée de petites fleurs unisexuées regroupées. Il s'agit d'une plante monoïque portant à la fois des fleurs mâles et femelles (Zheng et al., 2021).

. Les fleurs femelles sont généralement situées à la partie supérieure de l'inflorescence, tandis que les fleurs mâles occupent la partie inférieure (Landoni et al., 2023).

Les fleurs mâles sont relativement grandes et de couleur verte, avec un calice trilobé et de nombreuses étamines, tandis que les fleurs femelles sont plus petites, de couleur rougeâtre, et possèdent un ovaire triloculaire avec un stylo à trois stigmates (figures a et b). Les fleurs mâles mûrissent avant les fleurs femelles, favorisant ainsi la pollinisation croisée et la diversité génétique. Cette organisation florale joue un rôle essentiel dans la reproduction et la formation des graines.

- **Graines**

Selon Soliman (2021) a annoncé que les graines de *Ricinus communis* présentent des caractéristiques morphologiques distinctives et importantes sur le plan écologique. Elles sont dures, brillantes et leur couleur varie du brun clair au brun rouge foncé, entourées d'une capsule sphérique épineuse. Elles ont une forme ovale et une surface lisse, avec une taille comprise entre 1 et 2 cm environ (Alsubeie M.S.,2023). Leur enveloppe externe rigide joue un rôle protecteur contre les contraintes environnementales. Les graines présentent également des motifs et des textures superficielles caractéristiques, reflétant à la fois la diversité génétique et l'influence des conditions environnementales (Herawati et al., 2021).

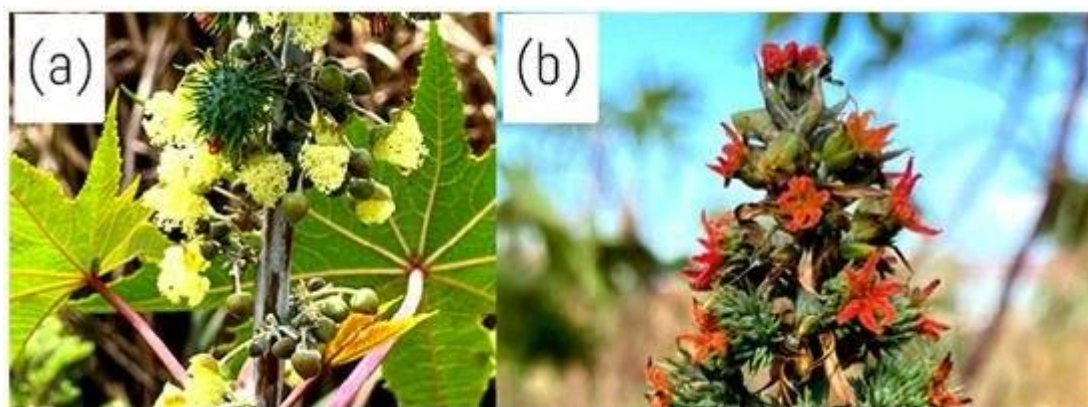


Figure 8: *Ricinus Communis* flowers from a plant(a:La fleur mâle b:La fleur femelle) (Monati Meko et al.,2025).

2.2.4. Différents usages de *Ricinus Communis* l

La plante de ricin (*Ricinus Communis* l) est considérée comme une espèce polyvalente, reflétant une interaction symbiotique claire entre l'homme et l'environnement, et soulignant son importance historique ainsi que la continuité de son utilisation dans les contextes modernes (Monati Meko et al., 2025). Ses usages traditionnels sont profondément enracinés dans un large éventail de civilisations, où ses graines ont été principalement utilisées pour produire l'huile de ricin, reconnue pour son puissant effet laxatif, ce qui en fait un moyen courant pour soulager la constipation et stimuler le transit intestinal. (Rana et al., 2012).



En outre, l'huile de ricin est intégrée dans de nombreuses préparations dermatologiques topiques en raison de ses propriétés hydratantes et antibactériennes, contribuant ainsi au traitement de diverses affections cutanées telles que la dermatite, l'eczéma et l'acné (Monati Meko et al., 2025). Cette huile occupe également une place importante dans les systèmes médicaux traditionnels, tels que l'Ayurveda et la médecine traditionnelle chinoise, grâce à ses propriétés nettoyantes et régénératrices de la peau, ce qui favorise son utilisation dans les remèdes à base de plantes et les produits cosmétiques (Ai et al., 2021); (Al-Kuraishy et al., 2024).

D'un point de vue agricole, le ricin constitue un élément important des écosystèmes agricoles, car ses propriétés inhibitrices de croissance contribuent à réduire les infestations de ravageurs et à favoriser la biodiversité (Yeboah et al., 2021). Sa croissance rapide et sa capacité d'adaptation le rendent également adapté aux programmes de conservation des sols (Hajrah et al., 2019). De plus, la plante occupe une place culturelle dans le folklore et les pratiques traditionnelles de nombreuses sociétés, où elle est associée à des notions de purification et de protection contre les esprits malveillants (Monti Meko et al., 2025).

L'huile de ricin est traditionnellement utilisée comme antiparasitaire, notamment pour favoriser l'expulsion des vers intestinaux. Elle est employée sous forme de petites quantités d'huile tiède pour traiter certaines infections parasitaires, avec une efficacité rapportée contre les vers ronds et les ténias.(Badria et al., 2020).

Ces usages traditionnels ont été appuyés par des études pharmacologiques in vitro, qui ont montré que l'huile de ricin possède une activité kysticide contre *Entamoeba histolytica* ainsi que d'autres parasites intestinaux (Muñoz-Sánchez et al., 2024).

2.2.5. Composition chimique de *Ricinus communis*

La composition chimique constitue une base essentielle pour comprendre la structure moléculaire des substances ou des organismes vivants, en décrivant la nature et l'agencement des éléments et des composés chimiques.(Yeboah et al., (2021). En revanche, les composés actifs sont définis comme des substances présentes dans les produits naturels ou les organismes vivants, dotées d'effets physiologiques et pharmacologiques spécifiques (Ahl, H.; Hikal, W(2022)) La plante de ricin (*Ricinus communis*) se distingue par la complexité de sa composition chimique, chaque partie anatomique renfermant des ensembles distincts de composés bioactifs qui contribuent collectivement à ses propriétés pharmacologiques, thérapeutiques et à sa toxicité globale (Yeboahl et al., (2021) . De plus, la répartition de ces



composés dans les feuilles, les graines, les racines, les tiges et les fleurs reflète non seulement son importance médicinale, mais également son rôle écologique (Patel et al., 2016).

Les feuilles de *R. communis* ont fait l'objet de nombreuses études phytochimiques, révélant la présence de métabolites secondaires majeurs tels que les tanins, les saponines, les alcaloïdes et les flavonoïdes (Mamoucha et al., 2017). Ces composés sont reconnus pour leur importance médicinale, notamment en raison de leurs activités antioxydantes, antimicrobiennes et anti-inflammatoires (Tuyên et al., 2020). Les analyses phytochimiques ont également mis en évidence la présence d'acides phénoliques, tels que l'acide gallique, l'acide ellagique et la quercétine, ainsi que des flavonoïdes comme la rutine et l'épicatéchine. (Thi .V., 2018). La présence de ces composés bioactifs confirme l'intérêt thérapeutique des feuilles dans les pratiques médicinales traditionnelles et modernes.

Les graines de *R. communis* présentent également une composition chimique complexe, constituant la base de la plupart des propriétés pharmacologiques et médicinales de la plante. Elles contiennent des alcaloïdes, notamment la ricinine, ainsi que des flavonoïdes, des saponines et des acides phénoliques (Majumder et al., 2019); (Thi V., 2018)). Outre leurs propriétés anti-inflammatoires et anticancéreuses, ces composés sont également associés à la toxicité de la plante, en raison de la présence de la ricine, une protéine hautement toxique extraite des graines (Patel et al., 2016). Cette dualité confère aux extraits de graines un intérêt particulier dans les recherches pharmacologiques et toxicologiques.

Par ailleurs, les racines de la plante contiennent divers composés bioactifs, dont le lupéol, un triterpénoïde possédant des propriétés anti-inflammatoires et anticancéreuses démontrées. Elles renferment également de l'acide indole-3-acétique, une phytohormone impliquée dans la biosynthèse des métabolites secondaires, contribuant ainsi à la diversité chimique de la plante et à ses applications pharmacologiques potentielles. (Yeboah et al., 2020) Bien que moins étudiés que les feuilles et les graines, ces composés participent à la valeur médicinale globale de la plante.

Concernant les tiges et les fleurs, les données disponibles—bien que limitées—indiquent la présence de tanins à activité antioxydante, ainsi que du β -caryophyllène, un sesquiterpénoïde possédant des propriétés anti-inflammatoires et un rôle dans la défense des plantes. La ricinine, également présente dans les graines, a été identifiée dans les tiges, où elle participe aux mécanismes de défense chimique de la plante (Majumder et al., 2019).

Enfin, bien que les fleurs de *R. communis* soient peu étudiées, elles contiennent également des flavonoïdes tels que la rutine, reconnue pour ses propriétés antioxydantes et son effet protecteur sur les vaisseaux sanguins, ce qui suggère un potentiel pharmacologique intéressant.. (tabe)

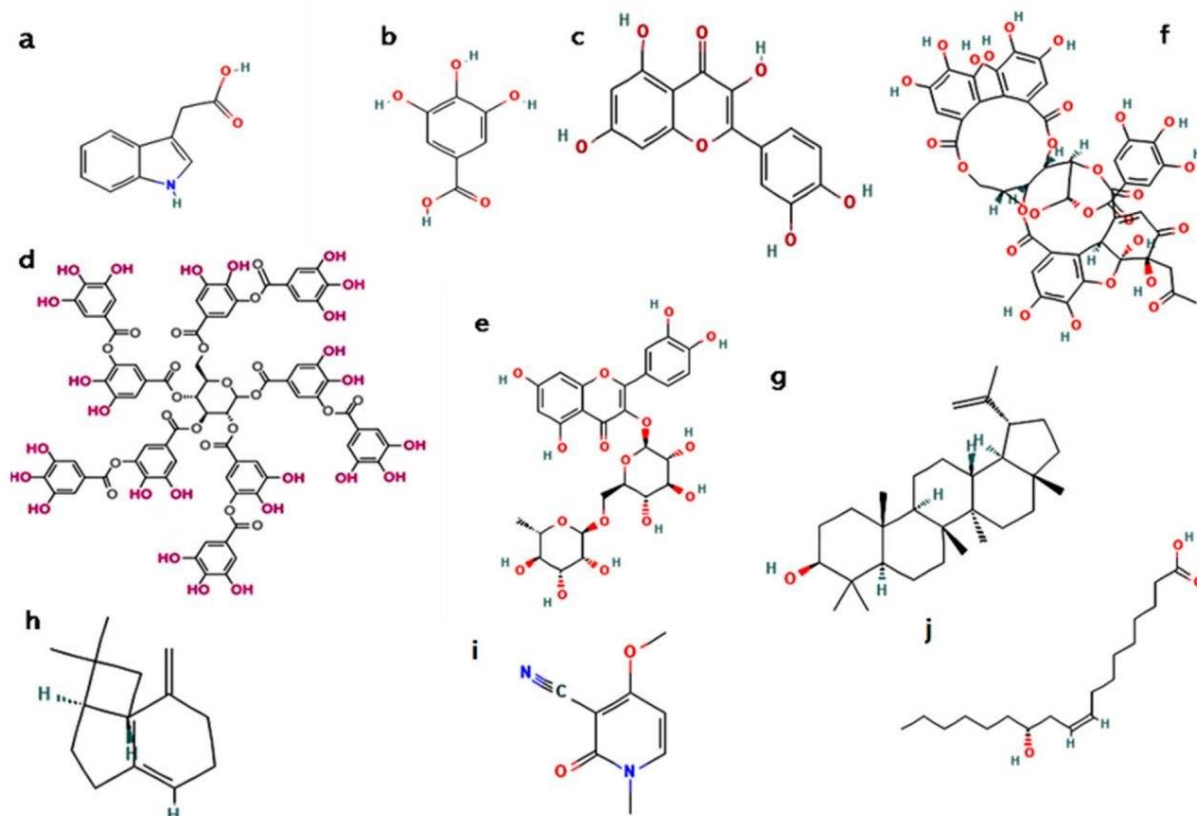


Figure 9 : Structures chimiques des constituants actifs présents dans différentes parties de la plante *Ricinus communis*(a:acide indole -3-acétique b:acide gallique c: quercétine d: acide tannique

E: rutine F: ellagitanins G: lupéol H:B-caryophyllène I: ricinine J: acide ricinoléique)
(Monati Meko et al; (2025).

Tableau 3 : Composés chimiques et constituants actifs présents dans différentes parties de *Ricinus communis*

Partie de la plante	Composé chimique	Constituant actif	Références
Feuilles	Phénols	Acide gallique, acide ellagique, quercétine	(Urushothaman et Chandra 2022).
Feuilles	Flavonoïdes	Rutine, quercétine, isorhamnétine	[Purushothamam et Chandra., 2022).
Feuilles	Alcaloïdes	Ricinine	(Tuy��n et Linh., 2020)
Graines (fruits)	Flavonoïdes	Kaempférol	(Majumder et Debnath , 2019); (Thi V.,2018)
Graines (fruits)	Tanins	Tanins	(Majumder et Debnath.,2019).
Graines (fruits)	Acides gras	Ricine, acide ricinoléique	(Patel et Dumancas.,2016).
Graines (fruits)	Glycosides	Ricine	(Patel V, (2016); (Majumder M, (2019); (Thi V.,2018).
Tiges	Tanins	Tanins	(Suurbaar et al., 2017).
Tiges	Terp��no��ides	B caryophyllène	(Suurbaar et al., 2017).
Racines	Dérivés de l'indole	Acide indole-3-acétique	(Mamoucha S.; 2017).
Racines	Triterp��no��ides	Lupeol	(Suurbaar et al., 2017).

2.2.6. Toxique du ricin comm  n (*Ricinus communis* l)

Les graines de *Ricinus communis* l. constituent une source riche en ricine (ricin), une glycoprotéine extrêmement toxique, class  e parmi les poisons végétaux les plus puissants connus. (Selon Dardona & Ben-Said., 2023), la ricine se caractérise par une activité biologique très élevée, car de très faibles quantités peuvent entraîner des effets létaux chez l'homme, ce qui souligne son importance en toxicologie et dans l'évaluation des risques biologiques. Dans le même sens, les graines contiennent des huiles laxatives riches en triglycérides d'acide ricinoléique, contribuant aux effets physiologiques observés, ainsi que des composés antigéniques responsables de réactions allergiques.

D'après Dardona & Ben-Said, (2023), les principaux effets toxiques de la ricine consistent en des perturbations des cellules du système réticulo-endothélial, entraînant une perte de fluides et de protéines, ainsi que des hémorragies et des œdèmes tissulaires. Les composés allergènes peuvent provoquer des réactions sévères telles que l'urticaire, la rhinite allergique et, dans les cas extrêmes, un choc anaphylactique. Par ailleurs, selon les mêmes auteurs, des symptômes graves ont été observés chez les individus exposés aux graines ou à leurs dérivés, notamment des difficultés respiratoires, une sensation d'étouffement, un larmolement excessif et un œdème facial, tandis qu'un contact oculaire direct peut provoquer une irritation intense.

En outre, l'ingestion d'un nombre important de graines provoque des troubles gastro-intestinaux sévères, tels que diarrhées, vomissements, crampes abdominales, déshydratation et collapsus circulatoire. Même à faibles doses, la ricine peut entraîner des effets graves, incluant nausées, douleurs abdominales, hyperthermie, soif intense et tremblements musculaires, pouvant évoluer vers des convulsions et des défaillances systémiques.

D'après les travaux de (Dardona & Ben -Said ., 2023). la toxicité par injection est plus dangereuse que l'ingestion orale, car une partie importante de la ricine est dégradée lors de la digestion. Malgré les avancées médicales, le traitement spécifique reste limité, et le diagnostic repose principalement sur des méthodes immunologiques basées sur les propriétés antigéniques de la ricine. (Table)

Tableau 4 : valrus de doses létales 50 des composants toxiques du ricin selon différentes d'exposition

Composé	Modèle animal	Voie d'exposition	DL50	Référence
Ricine	Souris (BALB/c)	Voie orale (ingestion)	$\approx 30 \mu\text{g/kg}$	(Whitfield et al., 2020)
Ricine	Souris	Inhalation	$0,24 \mu\text{g/kg}$	(Benson et al., 2011)
Ricine	Souris	Inhalation	$0,58 \mu\text{g/kg}$	(Benson et al., (2011)
Ricine	Cochons	Injection intramusculaire	$5-10 \mu\text{g/kg}$	(Falach et al., 2020)
Ricinine	Souris	Voie intrapéritonéale	340 mg/kg	(Ferraz et al., (2000)
Extrait aqueux de feuilles de ric	Souris (Suisse)	Voie orale (brut)	Aucune toxicité observée jusqu'à 2000 mg/kg	(Pingale, S, 2019)

*Chapitre 3: Potentiel allélopathique de
Eucalyptus globulus Labill. : Une revue
systématique de la littérature.*



3.1. Potentiel allélopathique de *Eucalyptus globulus* Labill. : Une revue systématique de la littérature.

3.1.1. Méthodologie

Cette revue systématique a été réalisée conformément aux recommandations PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021), afin de garantir une approche transparente, reproductible et rigoureuse pour l'identification, le tri et la synthèse des études.

La méthodologie comprend quatre phases : (1) élaboration du protocole de recherche, (2) définition des dimensions analytiques, (3) établissement des critères d'inclusion et d'exclusion, et (4) sélection des études et évaluation de leur qualité.

3.1.1.1. Protocole de revue

Un protocole structuré a été élaboré afin d'identifier les articles scientifiques évalués par les pairs portant sur le potentiel allélopathique de *Eucalyptus globulus* Labill.

La recherche a été effectuée dans quatre bases de données électroniques principales, choisies pour leur complémentarité:

Scopus, pour sa couverture multidisciplinaire (sciences environnementales, biologie végétale, agriculture)

Web of Science, pour ses revues à fort impact et ses outils d'analyse des citations

ScienceDirect, pour ses articles en texte intégral dans les sciences de la vie et de l'environnement

PubMed, pour les études liées à la biochimie et à la toxicologie des métabolites secondaires

Google Scholar, utilisé comme source complémentaire pour inclure la littérature grise et les revues régionales non indexées ailleurs

Les équations de recherche ont été adaptées à chaque base tout en conservant une cohérence conceptuelle.

Pour Scopus : TITLE-ABS-KEY(("Eucalyptus globulus" OR "blue gum") AND (allelopath* OR phytotoxic* OR "growth inhibition" OR "germination inhibition") AND



(extract OR leaf OR litter OR oil OR phenolic)) AND NOT TITLE-ABS-KEY(review OR survey OR "meta-analysis") AND PUBYEAR > 2014, limité aux articles.

Pour Web of Science : TS=("*Eucalyptus globulus*" OR "blue gum") SAME (allelopath* OR phytotoxic* OR "growth inhibition" OR "germination inhibition") SAME (extract OR leaf OR litter OR oil OR phenolic)) NOT TS=(review OR survey OR "meta-analysis") AND PY=(2015–2025), filtré aux articles.

Pour ScienceDirect : requête similaire avec filtres 2015–2025 et articles de recherche.

Pour PubMed : ("*Eucalyptus globulus*"[TIAB] OR "blue gum"[TIAB]) AND (allelopath* [TIAB] OR phytotoxic* [TIAB] OR "growth inhibition"[TIAB] OR "germination inhibition"[TIAB]) AND (extract[TIAB] OR leaf[TIAB] OR litter[TIAB] OR oil[TIAB] OR phenolic[TIAB]) NOT (review[Publication Type] OR systematic review[Publication Type]), avec filtre temporel...

Date à partir du 01/01/2015. Pour Google Scholar, la chaîne de recherche était:

""*Eucalyptus globulus*" OR "blue gum" AND (allelopath* OR "phytotoxic*" OR "growth inhibition" OR "germination inhibition") AND (extract OR leaf OR litter OR oil OR phenolic) -review -survey -meta-analysis", avec une plage d'années de publication fixée entre 2015 et 2025. Toutes les recherches ont été réalisées en janvier 2025.

3.1.1.2. Cadre thématique pour la synthèse des données

Afin d'organiser l'ensemble hétérogène de la littérature sur l'allélopathie de *E. globulus* en une structure analytique cohérente, nous avons développé un cadre thématique comprenant cinq dimensions de recherche. Ces dimensions ont été définies à partir d'un processus itératif de lecture exploratoire et de cartographie conceptuelle, garantissant qu'elles couvrent l'ensemble du spectre de la recherche en allélopathie, des mécanismes moléculaires jusqu'aux conséquences à l'échelle du paysage.

La première dimension, Composition biochimique et mécanismes de libération des allélochemicals, se concentre sur l'identification, la quantification et les voies de biosynthèse des métabolites secondaires produits par *E. globulus*, ainsi que sur les facteurs environnementaux et les tissus végétaux impliqués dans leur libération.

La deuxième dimension, Effets phytotoxiques sur les cultures agricoles et la sécurité alimentaire, examine les preuves empiriques de l'inhibition de la croissance, de la suppression



de la germination et de la réduction du rendement des espèces cultivées économiquement importantes exposées aux allélochemicals de *E. globulus*, afin d'évaluer les implications pour les systèmes agroforestiers et la production alimentaire.

La troisième dimension, Potentiel bioherbicide et stratégies de gestion des adventices, évalue l'efficacité des extraits, huiles essentielles et litières foliaires de *E. globulus* comme herbicides naturels contre les mauvaises herbes problématiques, en tenant compte de leur sélectivité et de leur applicabilité pratique.

La quatrième dimension, Impacts écologiques sur le sol, l'eau et la biodiversité non cible, étudie les conséquences environnementales plus larges de l'allélopathie de *E. globulus*, notamment les modifications des communautés microbiennes du sol, du cycle des nutriments, de la chimie de l'eau, ainsi que les effets sur les insectes bénéfiques, les organismes aquatiques et la flore indigène.

La cinquième dimension, Distribution spatiale, risque d'invasion et gestion durable, synthétise les données relatives aux schémas de dispersion des allélochemicals dans l'environnement, au potentiel invasif de l'espèce dans les régions non natives, ainsi qu'au développement de stratégies de gestion visant à réduire les impacts négatifs tout en exploitant ses propriétés bénéfiques.

Ce cadre multidimensionnel a guidé les phases d'extraction, de synthèse et d'interprétation des données.

3.1.1.3. Critères d'inclusion et d'exclusion

Des critères clairs d'inclusion et d'exclusion ont été établis afin de garantir la pertinence, la qualité et la cohérence des études sélectionnées dans cette revue systématique.

Les études étaient éligibles à l'inclusion si elles répondaient aux critères suivants:

(1) la population ou le sujet d'étude concernait directement *Eucalyptus globulus* Labill. comme source d'allélochemicals, incluant les feuilles, l'écorce, les racines, la litière, les huiles essentielles ou les extraits;

(2) le design de recherche était empirique (bioessais en laboratoire, expériences en serre, essais de terrain ou études observationnelles) mesurant des effets allélopathiques;



(3)les résultats incluait des données quantitatives ou qualitatives sur les taux de germination, la croissance des plantules, la biomasse, les réponses physiologiques ou les changements biochimiques‘

(4)la publication était un article de recherche original évalué par des pairs‘

(5)la langue de publication était l’anglais‘

(6)la période de publication s’étendait de janvier 2015 à janvier 2025, garantissant l’actualité des données.

À l’inverse, les études étaient exclues si elles répondaient à l’un des critères suivants:

(1)elles portaient sur d’autres espèces d’*Eucalyptus* sans données spécifiques sur *E. globulus*‘

(2)elles étaient des revues, méta-analyses, opinions, résumés de conférences ou chapitres d’ouvrages‘

(3)elles ne contenaient pas de données originales sur les effets allélopathiques‘

(4)elles ne fournissaient pas suffisamment de données quantitatives exploitables‘

(5)elles n’étaient pas rédigées en anglais‘

(6)elles étaient publiées avant 2015.

Ces critères ont été appliqués de manière rigoureuse afin de minimiser les biais de sélection.

3.1.1.4. Processus de sélection des études

Le processus de sélection des études a été réalisé en quatre étapes conformément au diagramme PRISMA (Page et al., 2021).

Dans la première étape, les recherches dans les bases de données ont identifié un total de 472 enregistrements. Après suppression de 22 doublons et de 8 enregistrements exclus pour d’autres raisons (articles rétractés ou textes inaccessibles), 442 enregistrements ont été conservés pour le tri.

Dans la deuxième étape, les titres et résumés de ces 442 enregistrements ont été examinés selon les critères d’éligibilité. Ce tri a permis d’exclure 327 études ne répondant pas aux critères,

notamment celles portant sur des aspects non alléopathiques de *E. globulus* (ex. qualité du bois, chimie des huiles essentielles sans bioessais) ou sur d'autres espèces d'*Eucalyptus*.

Par conséquent, 62 articles ont été retenus pour évaluation complète, et tous ont été récupérés avec succès.

Dans la troisième étape, l'analyse en texte intégral de ces 62 articles a conduit à l'exclusion de 8 études en raison de leur inéligibilité, principalement due à l'absence de données quantitatives suffisantes ou à une identification imprécise de l'espèce cible.

Finalement, 54 études ont satisfait à tous les critères d'inclusion et ont été retenues pour la synthèse finale. L'ensemble du processus est illustré dans la **Figure 10**:

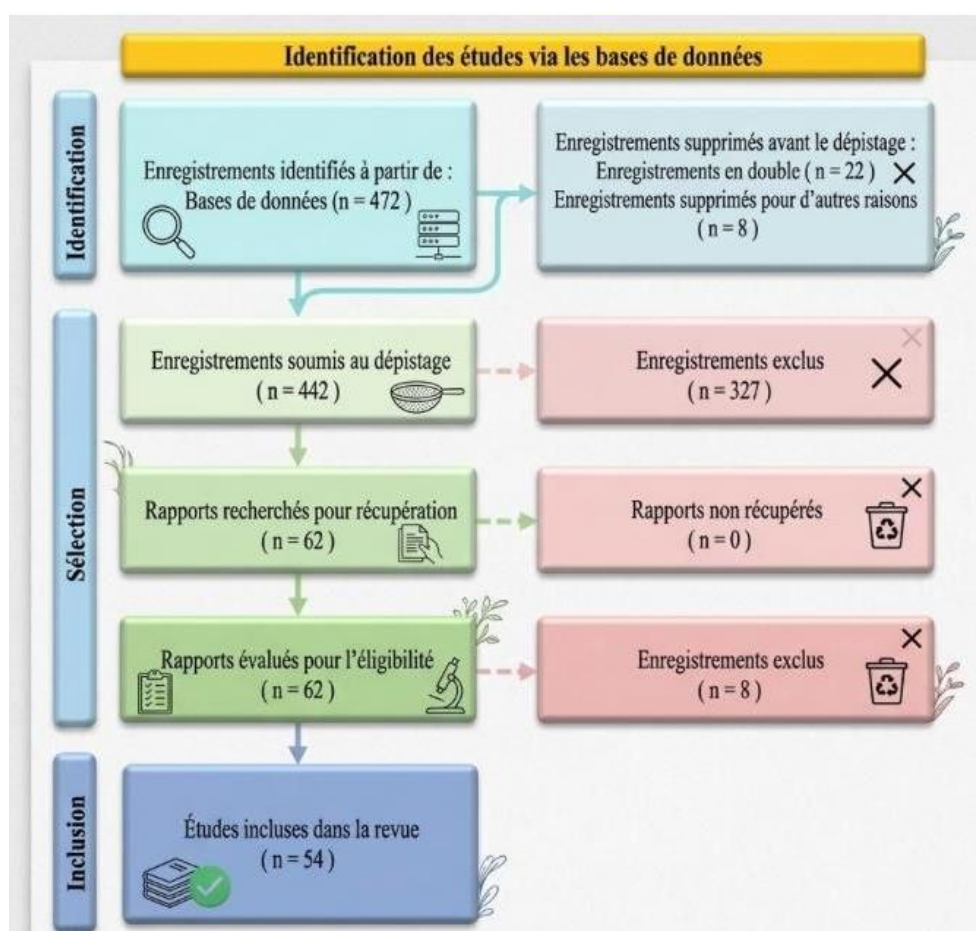


Figure 10. Diagramme de flux PRISMA illustrant le processus de sélection des études pour la revue systématique sur le potentiel alléopathique

L'évaluation de la qualité des 54 études incluses a été réalisée à l'aide d'une grille d'évaluation personnalisée, basée sur des lignes directrices reconnues pour la recherche en



allélopathie (Fujii & Hiradate, 2022). Cette grille a permis d'évaluer chaque étude selon cinq domaines :

Clarté du protocole expérimental, incluant l'utilisation de témoins appropriés et la présence de répétitions;

Validité des méthodes d'extraction et d'application des allélochemicals;

Pertinence du choix des espèces cibles et leur représentativité des conditions réelles;

Rigueur statistique, notamment le signalement de la variabilité des effets;

Prise en compte des facteurs environnementaux confondants.

Chaque domaine a été noté sur une échelle de 0 à 2, pour un score total maximal de 10. Les études obtenant un score ≥ 8 ont été considérées comme de haute qualité, celles entre 5 et 7 comme de qualité moyenne, et celles inférieures à 5 comme de faible qualité.

Aucune étude n'a été exclue uniquement sur la base de son score de qualité, mais cette évaluation a permis de pondérer leur importance lors de la synthèse et de l'interprétation des résultats.

Limites et biais potentiels

Plusieurs limites et sources de biais dans le processus de sélection doivent être reconnues.

Premièrement, la restriction aux publications en langue anglaise peut avoir introduit un biais linguistique, excluant potentiellement des études pertinentes publiées en espagnol, portugais, chinois ou d'autres langues, notamment dans des régions où *Eucalyptus globulus* est largement cultivé, comme l'Amérique du Sud et la péninsule Ibérique.

Deuxièmement, l'exclusion de la littérature grise (thèses, rapports techniques et actes de conférences) peut avoir entraîné un biais de publication, favorisant les études présentant des résultats positifs ou statistiquement significatifs.

Troisièmement, la focalisation sur les articles évalués par des pairs peut avoir exclu des données observationnelles utiles provenant de rapports de gestion ou d'enquêtes écologiques locales.



Quatrièmement, bien que la stratégie de recherche soit exhaustive, certaines études ont pu être omises si elles utilisaient une terminologie alternative pour l'allélopathie ou si elles étudiaient les effets de *E. globulus* sans employer explicitement le terme « allélopathie. »

Enfin, bien que l'évaluation de la qualité ait été systématique, elle impliquait une part de subjectivité dans la notation de certains critères, notamment concernant la pertinence du choix des espèces cibles.

Malgré ces limites, l'application rigoureuse du cadre PRISMA et l'utilisation de plusieurs bases de données constituent une base solide pour la synthèse présentée dans cette revue.

3.1.2. Résultats

3.1.2.1. Composition biochimique et mécanismes de libération des allélochemicals

Le potentiel allélopathique de *Eucalyptus globulus* repose fondamentalement sur son métabolisme secondaire riche et diversifié, qui produit un mélange complexe de composés bioactifs. Comprendre la composition biochimique de ces allélochemicals ainsi que les mécanismes par lesquels ils sont libérés dans l'environnement constitue une condition préalable essentielle pour prédire leurs impacts écologiques et exploiter leurs propriétés bioherbicides.

Les études incluses révèlent un arsenal chimique sophistiqué, principalement composé de terpénoïdes volatils et de composés phénoliques hydrosolubles, dont la libération est régulée à la fois par des facteurs biologiques intrinsèques et des conditions environnementales extrinsèques.

La classe d'allélochemicals la plus étudiée chez *E. globulus* est celle des terpénoïdes, en particulier les monoterpènes et les sesquiterpènes constituant la fraction des huiles essentielles. Une analyse approfondie de la composition des huiles essentielles des feuilles de *E. globulus* cultivées en Éthiopie a identifié le 1,8-cinéole (eucalyptol) comme constituant dominant, représentant plus de 60 % de l'huile totale, accompagné de quantités importantes d' α -pinène, de β -pinène et d'aromadendène (Tadesse et al., 2020).

Ce profil chimique correspond à l'arôme caractéristique de l'espèce et est largement reconnu comme un facteur majeur de son activité allélopathique.

La biosynthèse de ces terpénoïdes est un processus génétiquement régulé, contrôlé par une vaste famille d'enzymes appelées terpène synthases (TPS). La famille des gènes TPS chez *Eucalyptus* a été caractérisée, révélant une histoire évolutive complexe de duplication génique



et de diversification fonctionnelle expliquant la remarquable diversité chimique observée entre les différentes espèces d'*Eucalyptus* (Külheim et al., 2015).

Cette machinerie génétique n'est pas statique ; elle peut être influencée par le niveau de ploïdie, comme démontré dans une étude sur *Eucalyptus benthamii*, où l'autotétraploïdie a provoqué des modifications à court terme de la composition des huiles essentielles, modifiant les proportions relatives des principaux monoterpènes (Duarte et al., 2019).

Une telle plasticité génétique et épigénétique suggère que le profil allélochimique de *E. globulus* peut varier à l'intérieur et entre les populations, avec des conséquences potentielles sur sa puissance allélopathique.

Au-delà des terpénoïdes volatils, un ensemble de composés phénoliques hydrosolubles contribue également de manière importante à l'activité allélopathique de *E. globulus*. Ces composés, comprenant notamment des acides phénoliques (comme l'acide gallique, l'acide férulique et l'acide p-coumarique) ainsi que des flavonoïdes (comme la quercétine et la rutine), sont particulièrement importants car ils peuvent être facilement lessivés dans la solution du sol par les précipitations ou l'irrigation, devenant ainsi hautement biodisponibles pour les organismes cibles.

Il a été démontré que l'extrait aqueux des feuilles de *E. globulus* contient un mélange complexe de ces allélochemicals polaires, dont les effets phytotoxiques ont été évalués de manière systématique (Sasikumar et al., 2018).

La libération de ces composés à partir de la litière foliaire est un processus dynamique, comme l'a montré une étude ayant suivi la relation entre les effets phytotoxiques et la dynamique de libération des allélochemicals issus des feuilles de *E. globulus* utilisées comme engrais vert (Puig et al., 2018).

Cette recherche a révélé que la concentration des composés phénoliques hydrosolubles dans la solution du sol atteignait un maximum peu après l'incorporation du matériel foliaire, coïncidant avec l'inhibition maximale de la germination et de la croissance des plantes cibles.

Cette relation temporelle entre la libération chimique et l'effet biologique souligne l'importance de comprendre la cinétique de mobilisation des allélochemicals à partir des tissus végétaux en décomposition.



Les mécanismes de libération des allélochemicals chez *E. globulus* sont multiples et fonctionnent par plusieurs voies distinctes.

La volatilisation constitue la principale voie de libération des terpénoïdes, lesquels sont émis par les feuilles intactes, particulièrement sous des conditions de forte température et d'intensité lumineuse élevée, formant un nuage volatil susceptible d'affecter directement les plantes voisines.

La décomposition de la litière foliaire représente une voie majeure de libération des composés volatils et non volatils, l'activité microbienne dégradant les structures cellulaires et libérant les métabolites secondaires stockés dans le sol.

L'exsudation racinaire constitue une troisième voie, bien que moins étudiée, par laquelle les allélochemicals sont sécrétés activement ou passivement dans la rhizosphère, influençant directement la zone racinaire des plantes concurrentes.

L'importance relative de ces différentes voies varie probablement selon les conditions environnementales, l'âge de la plante et le type de tissu végétal.

Par exemple, l'utilisation des feuilles de *E. globulus* comme engrais vert, comme étudié dans une recherche (Puig et al., 2018), amplifie artificiellement la voie de décomposition, entraînant une libération rapide et concentrée d'allélochemicals dans le sol. À l'inverse, l'accumulation naturelle de la litière entraîne une libération plus progressive et durable.

La composition chimique de *E. globulus* n'est pas uniforme ; elle présente une forte variabilité influencée à la fois par des facteurs génétiques et environnementaux.

Des variations saisonnières des profils chimiques des huiles essentielles de six espèces d'*Eucalyptus*, y compris *E. globulus*, ont été documentées, avec des changements dans l'abondance relative des constituants majeurs et mineurs au cours des différentes saisons (Elaissi et al., 2015).

Cette dynamique saisonnière implique que le potentiel allélopathique de *E. globulus* peut fluctuer tout au long de l'année, atteignant potentiellement un maximum durant les périodes de croissance active ou de stress.

Par ailleurs, la composition chimique peut varier entre les différentes parties de la plante (par exemple feuilles et écorce) et même entre des individus d'une même population, reflétant la diversité génétique sous-jacente.



L'utilisation de techniques analytiques avancées, telles que la chromatographie gazeuse bidimensionnelle couplée à la spectrométrie de masse à haute résolution (GC×GC-HRMS), a permis un profilage métabolique non ciblé plus détaillé des huiles foliaires d'*Eucalyptus*, révélant une complexité chimique bien plus importante qu'on ne le pensait auparavant (Wong et al., 2017).

Cette approche a permis d'identifier de nombreux composés mineurs susceptibles de contribuer à l'activité allélopathique globale par des interactions synergiques, phénomène souvent négligé dans les études se concentrant uniquement sur les principaux composés majeurs.

Afin de synthétiser les résultats variés concernant la composition biochimique et les mécanismes de libération des allélochemicals de *E. globulus*, nous présentons dans le Tableau 1 une taxonomie complète. Ce tableau organise les principales classes chimiques, les composés spécifiques, les mécanismes de libération ainsi que les principales sources de preuves issues des études incluses. **Tab 5.**

Tableau 5. Taxonomie de la composition biochimique et des mécanismes de libération des allélochemicals chez *Eucalyptus globulus* Labill.

Classe chimique	Composés spécifiques	Mécanismes de libération et de variabilité	Sources
Terpénoïdes	Huiles essentielles (ex. : 1,8-cinéole, α -pinène, aromadendrène)	Volatilisation à partir du feuillage ; libération lors de la décomposition de la litière ; variation saisonnière et génétique de la composition	(Tadesse et al., 2020); (Wong et al., 2017); (Duarte et al., 2019); (Elaissi et al., 2015)
Terpénoïdes	Synthèses des terpènes (enzymes biosynthétiques)	Régulation génétique de la production des terpénoïdes ;	(Külheim et al., 2015).

		influence de la ploïdie	
Composés phénoliques et autres composés polaires	Allélochimiques solubles dans l'eau (ex. : acide gallique, acide férulique, flavonoïdes)	Lessivage dans l'eau du sol à partir de la litière foliaire ; libération durant la décomposition des engrais verts ; dynamique temporelle de la libération	(Sasikumar et al., 2018) ;(Puig et al., 2018)
Profilage analytique et métabolique	Méthodes ciblées et non ciblées (ex. : GC×GC-HRMS)	Détection de la diversité et de la dynamique des composés ; identification des composés mineurs synergiques	(Wong et al., 2017) (Tadesse et al., 2020)
Facteurs biologiques et environnementaux	Ploïdie et génétique	Effets de l'autotétraploïdie sur la composition des huiles essentielles	(Duarte et al., 2019)
Facteurs biologiques et environnementaux	Variation saisonnière et écologique	Changements du profil chimique au fil du temps ; influence du stress environnemental	(Elaissi et al., 2015)

Les données présentées dans le Tableau 5 ainsi que la discussion précédente mettent en évidence la nature complexe et multidimensionnelle de l'allélochimie de *Eucalyptus globulus*. Cette espèce produit une grande diversité d'allélochemicals volatils et non volatils, dont la



libération est assurée par plusieurs mécanismes et modulée par des facteurs génétiques, développementaux et environnementaux.

Cette complexité a des implications importantes tant pour les impacts écologiques de *E. globulus* que pour ses applications potentielles. Par exemple, les variations saisonnières de la composition des huiles essentielles suggèrent que le moment d'incorporation de la litière foliaire comme engrais vert pourrait être optimisé afin de maximiser la concentration des allélochemicals les plus puissants.

De même, la variabilité génétique des gènes codant les terpène-synthases ouvre la possibilité de sélectionner ou d'améliorer des génotypes de *E. globulus* présentant un potentiel allélopathique accru ou réduit selon les objectifs de gestion recherchés.

L'utilisation de techniques analytiques avancées, telles que la GC×GC-HRMS, est essentielle pour décrypter cette complexité et dépasser une approche limitée à quelques composés majeurs, afin d'obtenir une compréhension plus globale des interactions chimiques à la base de l'allélopathie.

3.1.2.2. Effets phytotoxiques sur les cultures agricoles et implications pour la sécurité alimentaire

Le potentiel allélopathique de *Eucalyptus globulus* représente une menace directe et mesurable pour la productivité agricole, particulièrement dans les systèmes agroforestiers où cette espèce est cultivée à proximité des cultures alimentaires.

Les effets phytotoxiques des allélochemicals de *E. globulus* ont été largement documentés chez un grand nombre d'espèces cultivées d'importance économique, se manifestant par une réduction de la germination des graines, une altération de la croissance des plantules, une diminution de l'accumulation de biomasse et, finalement, une baisse des rendements.

Ces effets ne sont pas uniformes ; ils varient considérablement selon l'espèce cultivée, la concentration et la composition des allélochemicals, la voie d'exposition ainsi que le contexte environnemental.

Comprendre la spécificité et l'ampleur de ces effets phytotoxiques est essentiel pour évaluer les risques pour la sécurité alimentaire et élaborer des recommandations éclairées en matière d'utilisation des terres.



L'effet le plus fréquemment signalé et le plus constamment observé des allélochemicals de *E. globulus* est l'inhibition de la germination des graines. Cette étape initiale du développement végétal est particulièrement sensible aux interférences chimiques, car la radicule et la plumule émergentes sont directement exposées aux allélochemicals présents dans la solution du sol.

Une étude portant sur l'effet allélopathique de l'extrait aqueux de feuilles de *E. globulus* sur le teff des hauts plateaux (*Eragrostis tef*) et l'orge (*Hordeum vulgare*) a montré que les pourcentages de germination diminuaient significativement de manière dose-dépendante, les concentrations élevées d'extrait entraînant une inhibition plus importante (Mekonnen et al., 2017).

De manière similaire, la germination des graines de pois chiche (*Cicer arietinum*) a été fortement supprimée lorsqu'elles étaient exposées aux extraits aqueux de feuilles de *E. globulus*, l'effet étant plus prononcé aux fortes concentrations (Khan et al., 2019).

Ces résultats sont confirmés par des recherches menées sur d'autres légumineuses, telles que le mungo (*Vigna radiata*), où les extraits foliaires de *Eucalyptus camaldulensis* (espèce étroitement apparentée) ont significativement réduit à la fois le pourcentage et la vitesse de germination (Ali et al., 2016).

La cohérence de ces résultats à travers différentes familles de cultures suggère que l'inhibition de la germination constitue un effet général et robuste des allélochemicals des *Eucalyptus*.

Au-delà de la germination, la croissance et le développement post-émergence des plantules sont également fortement compromis par les allélochemicals de *E. globulus*.

Les effets sur la croissance des plantules sont généralement évalués à travers des paramètres tels que la longueur des pousses et des racines, le poids frais et sec des plantules ainsi que la surface foliaire.

Une étude approfondie sur le potentiel allélopathique de l'*Eucalyptus* concernant la germination et la croissance précoce de plusieurs cultures agricoles a révélé que l'allongement des pousses et des racines était significativement inhibé chez toutes les espèces testées, la croissance racinaire étant plus sensible que celle des parties aériennes (Singh et al., 2018).



Cette sensibilité différentielle constitue une observation fréquente en recherche allélopathique, puisque le système racinaire est le principal site de contact avec les allélochemicals présents dans le sol.

L'impact sur le développement racinaire est particulièrement préoccupant, car un système racinaire réduit ou déformé compromet la capacité de la plante à absorber l'eau et les nutriments, entraînant des déficits de croissance à long terme.

Par exemple, les effets des extraits aqueux d'*Eucalyptus* sur la germination et la croissance des plantules du haricot commun (*Phaseolus vulgaris*) et du maïs (*Zea mays*) ont montré que la longueur des racines était plus sévèrement inhibée que celle des pousses dans les deux cultures (Tesfaye et al., 2020).

Ce même schéma a été observé dans une étude portant sur l'effet de l'extrait aqueux foliaire de *Eucalyptus camaldulensis* sur la morphologie, la physiologie et la biomasse du maïs (*Zea mays*), où les réductions de la longueur, du volume et de la biomasse racinaires figuraient parmi les effets les plus marqués (Hussain et al., 2019).

Les effets cumulés de l'inhibition de la germination et de l'altération de la croissance des plantules se traduisent finalement par des réductions du rendement et de la qualité des cultures, constituant les menaces les plus directes pour la sécurité alimentaire.

Bien que de nombreuses études se concentrent sur les premiers stades de croissance, certaines ont étendu leurs observations à des phases de développement plus avancées.

Une étude de terrain sur l'activité allélopathique de l'extrait aqueux des feuilles de *Eucalyptus globulus* sur la croissance, le rendement et les adventices associées du pois (*Pisum sativum*) a montré que l'application de l'extrait supprimait non seulement la croissance des mauvaises herbes, mais affectait également négativement la hauteur des plants de pois, le nombre de gousses et le rendement en graines (Ahmed et al., 2021).

Cet effet double — suppression des mauvaises herbes tout en nuisant à la culture — met en évidence la difficulté d'utiliser les allélochemicals de *E. globulus* dans les systèmes agricoles sans provoquer de dommages collatéraux.

De même, des recherches sur les effets allélopathiques de *Eucalyptus camaldulensis* sur la croissance, le rendement et les caractères liés au rendement du mungo ont signalé des



réductions significatives de la hauteur des plantes, du nombre de branches, du nombre de gousses par plante et du rendement grainier par plante (Rahman et al., 2018).

Ces résultats soulignent les conséquences économiques réelles de l'allélopathie des *Eucalyptus* pour les petits agriculteurs dépendant des systèmes d'interculture ou d'agroforesterie.

Les effets phytotoxiques de *E. globulus* ne se limitent pas aux grandes cultures vivrières; ils s'étendent également à diverses espèces agricoles et horticoles.

Par exemple, l'effet allélopathique des feuilles d'*Eucalyptus* spp. sur certains constituants chimiques des plantules de deux plantes ornementales a été étudié, révélant que les allélochemicals modifiaient les profils biochimiques des plantes cibles, pouvant ainsi affecter leur valeur esthétique et commerciale (Al-Hamzawi & Al-Jasimee, 2018).

Les effets des exsudats d'écorce et de tige d'*Eucalyptus* sur trois cultures ont également été examinés, montrant que même les tissus non foliaires peuvent libérer des composés phytotoxiques affectant la croissance des cultures (Iqbal et al., 2017).

En outre, une étude sur les espèces agroforestières a montré que plusieurs espèces d'*Eucalyptus*, y compris *E. globulus*, exerçaient un effet allélopathique négatif sur des cultures alimentaires et fourragères telles que le maïs, le chou (*Brassica oleracea*) et le blé (*Triticum aestivum*), *E. globulus* produisant notamment des émissions volatiles inhibant spécifiquement la croissance racinaire du concombre (*Cucumis sativus*) (Kidanu et al., 2019).

Ce large spectre d'activité touchant différentes familles végétales et types fonctionnels indique que peu de cultures sont totalement immunisées contre l'influence allélopathique de *E. globulus*.

Cependant, la sensibilité à l'allélopathie de *E. globulus* n'est pas identique chez toutes les espèces cultivées, et une certaine variabilité de sensibilité a été observée.

Une étude portant sur l'extrait aqueux de *Eucalyptus globulus* appliqué à la germination et au développement de cultures andines à Cusco, au Pérou, a montré que les effets allélopathiques n'étaient pas systématiquement inhibiteurs ; certaines cultures présentaient une sensibilité plus faible, voire un léger effet stimulant à faibles concentrations d'extrait (Quispe et al., 2020).



Ce résultat suggère que la réponse aux allélochemicals peut être spécifique à l'espèce et dépendante de la dose, les faibles doses pouvant parfois agir comme stimulants hormétiques.

De même, une étude sur l'effet allélopathique de l'extrait foliaire de *Butea monosperma* sur les cultures légumineuses estivales, bien qu'elle ne porte pas directement sur *E. globulus*, fournit un contexte comparatif utile pour comprendre la variabilité des réponses des légumineuses aux allélochemicals (Prasad et al., 2015).

Les effets phytotoxiques des extraits aqueux foliaires de *Cosmos sulphureus* sur le sorgho (*Sorghum bicolor*), le haricot moth (*Vigna aconitifolia*) et le blé offrent également une perspective comparative, l'étude indiquant que le lixiviat foliaire de *Eucalyptus globulus* exerçait un effet inhibiteur plus important sur *Vigna aconitifolia* que sur d'autres espèces (Sharma et al., 2018).

Ces observations de sensibilité différentielle sont essentielles pour identifier les espèces cultivées potentiellement plus compatibles avec *E. globulus* dans les systèmes agroforestiers et pour élaborer des stratégies de gestion ciblées.

Afin de fournir une vue d'ensemble complète et structurée des effets phytotoxiques de *E. globulus* sur les cultures agricoles, nous présentons dans le Tableau 6 une taxonomie détaillée. Ce tableau classe les cultures affectées par type, précise les impacts mesurés et identifie les principales sources de preuves issues des études incluses. **Tab 6**

Tableau 6. Taxonomie des effets phytotoxiques de *Eucalyptus globulus* et des espèces apparentées sur les cultures agricoles

Sources	Impact Mesuré	Culture Spécifique	Catégorie de Culture
(Mekonnen et al., 2017)	Germination des graines & croissance des plantules	Teff (<i>Eragrostis tef</i>)	Céréales & Grains
(Mekonnen et al., 2017)	Germination des graines & croissance des plantules	Orge (<i>Hordeum vulgare</i>)	
(Tesfaye et al., 2020) (Kidanu et al., 2019)	Germination des graines & croissance des plantules	Maïs (<i>Zea mays</i>)	

(Hussain et al., 2019)	Morphologie, physiologie & biomasse		
(Kidanu et al., 2019); (Sharma et al., 2018)	Germination des graines & croissance des plantules	Blé (<i>Triticum aestivum</i>)	
(Sharma et al., 2018)	Germination des graines & croissance des plantules	Sorgho (<i>Sorghum bicolor</i>)	
(Rahman et al., 2018)	Physiologie des plantules	Riz (<i>Oryza sativa</i>)	
(Khan et al., 2019)	Germination des graines	Pois chiche (<i>Cicer arietinum</i>)	Légumineuses & Protéagineux
(Rahman et al., 2018); (Ali et al., 2016)	Croissance, rendement & composantes du rendement	Haricot mungo (<i>Vigna radiata</i>)	
(Tesfaye et al., 2020)	Germination des graines & croissance des plantules	Haricot commun (<i>Phaseolus vulgaris</i>)	
(Sharma et al., 2018)	Germination des graines & croissance des plantules	Haricot papillon (<i>Vigna aconitifolia</i>)	
(Ahmed et al., 2021)	Croissance, rendement & suppression des mauvaises herbes	Pois (<i>Pisum sativum</i>)	
(Prasad et al., 2015)	Germination des graines & vigueur des plantules	Légumineuses d'été (général)	Autres Cultures
(Quispe et al., 2020)	Germination & développement	Cultures andines (général)	
(Kidanu et al., 2019)	Germination des graines & croissance des plantules	Covo (<i>Brassica oleracea</i>)	

(Al-Hamzawi & Al-Jasimee., 2018).	Constituants chimiques des plantules	Plantes ornementales	
(Kidanu et al., 2019).	Inhibition de la croissance racinaire	Concombre (Cucumis sativus)	Cultures Générales / Multiples
(Singh et al., 2018).	Germination & croissance précoce des plantules	Cultures agricoles multiples	
(Iqbal et al., 2017).	Effets des exsudats d'écorce & de tige	Plantes de cultures multiples	

Les données synthétisées dans le Tableau 6 ainsi que la discussion précédente démontrent clairement que *Eucalyptus globulus* exerce une influence phytotoxique large et puissante sur une vaste gamme de cultures agricoles.

Les effets sont particulièrement marqués durant les étapes critiques de la germination et de l'établissement des plantules, mais ils peuvent persister et s'accumuler, entraînant finalement une réduction du rendement et une compromission de la sécurité alimentaire.

La sensibilité différentielle observée entre les espèces cultivées offre néanmoins un certain espoir quant à l'identification de variétés plus tolérantes ou à la conception de systèmes agroforestiers limitant les interactions négatives.

Cependant, la tendance générale reste celle d'une inhibition étendue, suggérant que la culture de *E. globulus* à proximité immédiate des cultures vivrières comporte des risques importants.

Les implications pour la sécurité alimentaire sont particulièrement préoccupantes dans les régions en développement où les petits agriculteurs pratiquent l'interculture ou l'agroforesterie et disposent souvent de moyens limités pour atténuer ces effets négatifs par des interventions de gestion adaptées.

3.1.2.3. Potentiel bioherbicide et stratégies de gestion des adventices



La forte phytotoxicité des allélochemicals de *Eucalyptus globulus*, bien qu'elle représente une menace pour les cultures agricoles, constitue simultanément une opportunité prometteuse pour le développement de bioherbicides naturels.

Les préoccupations croissantes à l'échelle mondiale concernant les impacts environnementaux et sanitaires des herbicides synthétiques, associées à l'augmentation des populations d'adventices résistantes aux herbicides, ont intensifié la recherche d'alternatives efficaces et durables.

Les propriétés allélopathiques de *E. globulus* offrent une voie particulièrement intéressante dans cette perspective, puisque ses métabolites secondaires peuvent être exploités pour inhiber la germination et la croissance des mauvaises herbes sans laisser l'héritage écotoxicologique persistant caractéristique de nombreux composés synthétiques.

Les études incluses dans cette revue apportent un ensemble substantiel de preuves évaluant le potentiel bioherbicide de *E. globulus* contre diverses espèces adventices, en utilisant différentes formulations et stratégies d'application.

L'approche la plus directe pour exploiter l'allélopathie de *E. globulus* dans la gestion des mauvaises herbes consiste à appliquer des extraits aqueux de feuilles.

Ces extraits sont relativement simples à préparer et peuvent être appliqués comme traitements de pré-levée ou de post-levée.

Une étude portant sur l'effet allélopathique d'un extrait foliaire d'*Eucalyptus* sur des graines de graminées fourragères a montré que l'extrait aqueux des feuilles de *E. urograndis* influençait significativement toutes les caractéristiques évaluées concernant la germination et la croissance initiale des espèces fourragères ciblées, démontrant ainsi un potentiel de suppression sélective des graminées adventices (Oliveira et al., 2019).

Ce résultat est particulièrement pertinent pour la gestion des pâturages, où l'objectif consiste souvent à contrôler les espèces herbacées indésirables tout en favorisant la croissance des fourrages utiles.

Le potentiel bioherbicide des espèces d'*Eucalyptus* pour le contrôle biologique de *Dactyloctenium aegyptium*, une adventice problématique dans de nombreux systèmes agricoles, a également été spécifiquement évalué ; les résultats ont montré que les extraits



aqueux de feuilles pouvaient inhiber efficacement la germination et la croissance précoce de cette mauvaise herbe (Rao et al., 2020).

De manière similaire, une étude analysant le potentiel bioherbicide des extraits aqueux et des huiles foliaires d'espèces d'*Eucalyptus* sur la germination et la croissance initiale d'adventices a révélé que les extraits comme les huiles présentaient des effets inhibiteurs significatifs, l'huile étant généralement plus puissante (Alzahrani et al., 2021).

L'effet allélopathique d'un extrait foliaire d'*Eucalyptus* sur la germination des graines de souchet (*Cyperus rotundus*), une adventice notoirement difficile à contrôler, a également été étudié ; les résultats ont montré que l'extrait pouvait réduire considérablement les taux de germination (Silva et al., 2021).

Ces études démontrent collectivement que les extraits aqueux de *E. globulus* et des espèces apparentées possèdent une activité herbicide à large spectre contre diverses adventices d'importance agronomique.

Au-delà des extraits aqueux bruts, les huiles essentielles dérivées de *E. globulus* représentent une formulation bioherbicide plus concentrée et plus puissante.

Les terpénoïdes volatils, particulièrement le 1,8-cinéole, constituent les principaux composés actifs responsables des effets phytotoxiques de ces huiles.

Une étude sur le potentiel bioherbicide des huiles d'*Eucalyptus* et de girofle, ainsi que de leurs combinaisons, contre quatre espèces adventices a montré que l'huile essentielle d'*Eucalyptus*, seule ou associée à l'huile de girofle, présentait une forte activité herbicide provoquant une dessiccation rapide et une inhibition de croissance des mauvaises herbes ciblées (Almarie, 2021).

Les traitements combinés montraient souvent des effets synergiques, suggérant que le mélange de différentes huiles essentielles pourrait améliorer l'efficacité tout en réduisant les doses nécessaires.

L'étude consacrée au potentiel bioherbicide des espèces d'*Eucalyptus* a également comparé l'efficacité des extraits aqueux et des huiles foliaires, confirmant que l'huile était plus efficace pour inhiber la germination et la croissance des adventices, probablement en raison de sa concentration plus élevée en terpénoïdes bioactifs (Alzahrani et al., 2021).



Ces résultats soulignent le potentiel de l'huile essentielle de *E. globulus* comme bioherbicide de contact à action rapide, particulièrement adapté aux applications de post-levée.

Une approche plus écologiquement intégrée de la gestion des adventices consiste à utiliser *E. globulus* comme engrais vert.

Au lieu d'appliquer directement des extraits ou des huiles, des feuilles fraîches ou sèches sont incorporées dans le sol, où elles se décomposent en libérant les allélochemicals in situ.

Cette méthode reproduit le processus naturel d'accumulation de la litière foliaire et permet une libération plus progressive et durable des composés phytotoxiques.

Une étude a spécifiquement évalué l'aptitude de l'engrais vert de *Eucalyptus globulus* au contrôle des adventices en conditions de terrain réelles (Puig et al., 2018).

Les résultats ont montré que l'incorporation des feuilles de *E. globulus* dans le sol réduisait significativement l'émergence et la biomasse des mauvaises herbes, démontrant la faisabilité pratique de cette approche.

Cependant, l'étude a également souligné que l'efficacité de l'engrais vert dépendait de facteurs tels que la quantité de matière foliaire appliquée, le moment de l'incorporation et le type de sol.

Cette recherche établit un lien essentiel entre les bioessais de laboratoire et les applications à l'échelle du champ, validant l'utilisation des résidus de *E. globulus* comme outil naturel de gestion des adventices.

Le contexte plus large de l'allélopathie dans la durabilité agricole et la gestion des mauvaises herbes est abordé dans une revue synthétique mettant en évidence les implications des interactions allélopathiques pour la protection des cultures (Rice, 2017).

Cette revue souligne que l'allélopathie peut constituer un élément clé des stratégies intégrées de gestion des adventices, réduisant la dépendance aux herbicides synthétiques et favorisant des pratiques agricoles plus durables.

L'influence des extraits allélopathiques d'adventices sur les mauvaises herbes et le rendement du blé a également été étudiée ; cette recherche a indiqué que les extraits de *Eucalyptus camaldulensis* exerçaient un effet allélopathique significatif à la fois sur les adventices et sur la culture elle-même (Khan et al., 2020).



Ce double effet met en évidence un défi majeur dans le développement des bioherbicides : l'obtention d'une sélectivité suffisante.

Un bioherbicide idéal devrait supprimer les adventices sans provoquer de dommages inacceptables sur les cultures.

Les études sur le potentiel bioherbicide de *E. globulus* montrent que cette sélectivité dépend souvent de la dose et de l'espèce concernée.

De faibles concentrations d'extraits ou d'huiles peuvent inhiber la croissance des adventices tout en ayant un impact minimal sur certaines cultures, tandis que des concentrations plus élevées deviennent phytotoxiques de manière non sélective.

Afin d'organiser systématiquement les diverses observations relatives au potentiel bioherbicide et aux stratégies de gestion des adventices impliquant *E. globulus*, nous présentons dans le Tableau 6 une taxonomie complète.

Ce tableau classe les études selon le type de matériel ou d'approche utilisé, les espèces adventices ciblées ainsi que les principaux résultats observés. **Tab 7.**

Tableau 7. Taxonomie du potentiel bioherbicide et des stratégies de gestion des adventices utilisant *Eucalyptus globulus* et des espèces apparentées

Sources	Résultats clés	Contexte d'application	Type de matériel/approche	Axe de recherche
(Oliveira et al., 2019.)	Inhibition de la germination et de la croissance	Semences de fourrage graminé	Extraits aqueux de feuilles	Effets bioherbicides directs
(Rao et al., 2020).	Contrôle biologique efficace	<i>Dactyloctenium aegyptium</i>		
(Alzahrani et al., 2021).	Inhibition significative de la germination et de la croissance	Multiples espèces de mauvaises herbes		

(Silva et al., 2021)	Réduction des taux de germination	Souchet (<i>Cyperus rotundus</i>)		
(Khan et al., 2020)	Effet allélopathique sur les mauvaises herbes et la culture	Mauvaises herbes dans le blé		
(Almarie, 2021)	Forte activité herbicide; effets synergiques avec l'huile de clou de girofle	Quatre espèces adventices	Huiles essentielles et formulations à base d'huile	
(Alzahrani et al., 2021).	Plus puissant que les extraits aqueux	Multiples espèces de mauvaises herbes		
(Puig et al., 2018).	Réduction de l'émergence et de la biomasse des mauvaises herbes	Contrôle des mauvaises herbes au champ	Engrais verts / résidus de champ	
(Rice., 2017).	Composant clé de la gestion intégrée des mauvaises herbes	Durabilité agricole	Allélopathie pour la gestion des mauvaises herbes	Revue et synthèse stratégique
(Alzahrani et al., 2021).	Comparaison de l'efficacité; l'huile est plus puissante	Gestion intégrée des mauvaises herbes	Approches combinées (extraits + huiles)	



Les données synthétisées dans le Tableau 7 ainsi que la discussion précédente démontrent clairement que *Eucalyptus globulus* possède un potentiel bioherbicide considérable pouvant être exploité à travers plusieurs stratégies d'application.

Les extraits aqueux de feuilles constituent une option simple et peu coûteuse pour la suppression des adventices en pré-levée, tandis que les huiles essentielles offrent une formulation plus puissante et à action rapide adaptée au contrôle en post-levée.

L'utilisation d'engrais vert représente une approche écologiquement intégrée qui imite les processus naturels et peut assurer une suppression durable des mauvaises herbes.

Cependant, la transformation réussie de ce potentiel en outils pratiques de gestion des adventices nécessite la prise en compte attentive de plusieurs facteurs.

La relation dose-réponse est essentielle, car des doses excessives peuvent entraîner une phytotoxicité non sélective nuisible aux cultures.

Le moment d'application par rapport aux stades de développement des adventices et des cultures est également crucial afin de maximiser l'efficacité tout en minimisant les dommages aux plantes cultivées.

En outre, le devenir environnemental des allélochemicals de *E. globulus* dans le sol — notamment leur dégradation, leur adsorption et leur lessivage — doit être compris afin de prédire leur persistance et leurs éventuels effets hors cible.

Le développement de formulations standardisées et de protocoles d'application fondés sur des essais rigoureux en conditions de terrain est indispensable pour assurer la viabilité commerciale des bioherbicides à base de *E. globulus*.

3.1.2.4. Impacts écologiques sur le sol, l'eau et la biodiversité non ciblée

L'influence allélopathique de *Eucalyptus globulus* s'étend bien au-delà de la suppression des plantes voisines et affecte les processus écologiques fondamentaux qui soutiennent la santé des sols, la qualité de l'eau et la biodiversité.

La libération d'un mélange complexe de métabolites secondaires dans l'environnement peut déclencher une cascade d'effets modifiant les propriétés physiques, chimiques et biologiques du sol, perturbant les écosystèmes aquatiques et présentant des risques pour les



organismes non ciblés, y compris les insectes bénéfiques, la faune du sol et même les cellules de mammifères.

Comprendre ces impacts écologiques plus larges est essentiel pour une évaluation globale des coûts et bénéfices environnementaux associés à la culture de *E. globulus* et pour élaborer des stratégies de gestion durable limitant les effets indésirables.

Les impacts de *E. globulus* sur les écosystèmes du sol sont multiples et comprennent des modifications du cycle des nutriments, de la structure et de l'activité des communautés microbiennes ainsi que des propriétés physiques du sol.

Une étude portant sur l'effet de l'espacement des plantations de *Eucalyptus globulus* sur les propriétés physicochimiques des sols dans des exploitations agricoles familiales en Éthiopie a montré que la présence de *E. globulus* influençait significativement l'état nutritionnel du sol (Bekele et al., 2019).

Plus précisément, les sols situés sous les plantations de *E. globulus* présentaient des teneurs plus faibles en matière organique, en azote total et en phosphore disponible comparativement aux zones ouvertes adjacentes, suggérant que cette espèce pourrait accélérer l'épuisement des nutriments ou inhiber les processus de recyclage des éléments nutritifs.

L'étude attribuait ces effets en partie à la suppression allélopathique de la végétation du sous-bois, laquelle contribue normalement aux apports de matière organique et à la rétention des nutriments, ainsi qu'aux besoins nutritionnels élevés de ces arbres à croissance rapide.

Ce résultat est confirmé par une revue plus large consacrée au problème de l'impact des espèces d'*Eucalyptus* sur le rendement des cultures et les nutriments du sol en Éthiopie, laquelle a synthétisé des données issues de multiples études concluant que les plantations d'*Eucalyptus*, y compris celles de *E. globulus*, sont associées à une diminution de la fertilité des sols et de la productivité agricole dans les champs voisins (Lemenih & Kassa, 2018).

Cette revue a souligné que les effets allélopathiques de la litière foliaire et des exsudats racinaires d'*Eucalyptus* constituent un mécanisme majeur expliquant ces impacts négatifs, car ils inhibent la croissance des plantes fixatrices d'azote et d'autres organismes bénéfiques du sol.



Les effets des allélochemicals de *E. globulus* sur les communautés microbiennes du sol sont particulièrement préoccupants compte tenu du rôle central des microorganismes dans le cycle des nutriments, la décomposition de la matière organique et la santé des plantes.

Une étude consacrée à l'allélopathie des espèces invasives a explicitement examiné comment les allélochemicals des plantes invasives, y compris les espèces d'*Eucalyptus*, réduisent la croissance des plantes et l'activité microbienne du sol (Inderjit et al., 2019).

Cette recherche a montré que l'introduction de litière foliaire d'*Eucalyptus* dans le sol entraînait une réduction significative de la biomasse microbienne et des taux de respiration, indiquant une suppression globale de l'activité métabolique microbienne.

Cette inhibition des fonctions microbiennes peut avoir des effets en cascade sur les processus du sol, ralentissant la décomposition de la matière organique, réduisant la disponibilité des nutriments assimilables par les plantes et modifiant potentiellement la composition des communautés microbiennes vers des assemblages moins diversifiés et moins fonctionnels.

L'étude a également montré que les effets négatifs sur les microorganismes du sol étaient corrélés avec l'inhibition de la croissance végétale, suggérant l'existence d'une boucle de rétroaction où les allélochemicals suppriment simultanément la communauté végétale et les symbiotes microbiens qui la soutiennent.

Les impacts hydrologiques des plantations de *E. globulus*, notamment leurs effets sur les ressources en eaux souterraines, font l'objet d'un débat important, particulièrement dans les régions arides.

Une étude réalisée à Udigram, dans la vallée de Swat au Pakistan, a spécifiquement évalué les effets de *Eucalyptus globulus* sur les ressources en eaux souterraines (Ahmad et al., 2020).

À partir d'observations de terrain et d'enquêtes communautaires, la recherche a montré que les zones présentant des plantations denses de *E. globulus* avaient des niveaux de nappes phréatiques plus faibles et des débits de sources réduits comparativement aux zones couvertes par une végétation indigène.

L'étude attribuait cet effet à la forte consommation en eau de *E. globulus*, espèce connue pour sa croissance rapide et son système racinaire profond capable d'exploiter les nappes souterraines.



Bien que cet effet soit principalement une conséquence physiologique liée au taux élevé de transpiration de l'arbre plutôt qu'un mécanisme allélopathique direct, la suppression allélopathique de la végétation du sous-bois peut aggraver les pertes d'eau en réduisant l'ombrage et l'effet de paillage qui contribuent normalement à retenir l'humidité du sol.

Une étude plus générale sur l'impact des plantations d'*Eucalyptus* sur les eaux souterraines et les écosystèmes du sol dans les régions sèches a confirmé ces résultats, montrant que les plantations d'*Eucalyptus*, y compris celles de *E. globulus*, peuvent provoquer des diminutions importantes du niveau des nappes et des modifications des régimes d'humidité du sol (Farooq et al., 2021).

Cette recherche a souligné que les effets combinés d'une forte consommation d'eau et de la suppression allélopathique de la végétation indigène créent un impact synergique susceptible de dégrader l'équilibre hydrologique des paysages entiers.

Les allélochemicals libérés par *E. globulus* ne restent pas confinés au milieu terrestre ; ils peuvent être transportés par ruissellement et lessivage vers les écosystèmes aquatiques, où ils exercent des effets toxiques sur les organismes aquatiques.

Une étude portant sur les effets inhibiteurs allélopathiques des extraits d'*Eucalyptus* sur la croissance de *Microcystis aeruginosa*, une cyanobactérie fréquente et souvent nuisible, a montré que les extraits aqueux de feuilles de *Eucalyptus grandis* × *E. urophylla* inhibaient significativement la croissance de cette algue (Zhao et al., 2019).

L'étude a démontré que les extraits d'*Eucalyptus* réduisaient la densité cellulaire algale, la teneur en chlorophylle a et l'activité photosynthétique de manière dose-dépendante.

Ce résultat présente une double implication.

D'une part, il suggère que les allélochemicals d'*Eucalyptus* pourraient être utilisés comme outil biologique pour contrôler les proliférations algales nuisibles dans les eaux eutrophisées.

D'autre part, il soulève des inquiétudes concernant les effets non ciblés de ces composés sur les algues aquatiques bénéfiques et sur la base de la chaîne alimentaire aquatique.

L'inhibition des producteurs primaires tels que *Microcystis* pourrait perturber l'équilibre des écosystèmes aquatiques, entraînant potentiellement des changements dans la composition des communautés et une diminution de la productivité globale.



Les impacts des allélochemicals de *E. globulus* s'étendent également aux organismes terrestres non ciblés, y compris les insectes et les cellules de mammifères, soulevant des préoccupations concernant leurs effets écotoxicologiques plus larges.

L'activité insecticide de l'huile essentielle de *Eucalyptus globulus* a été démontrée contre les larves du quatrième stade de *Culiseta longiareolata*, une espèce de moustique pouvant agir comme vecteur de maladies (Yahia et al., 2020).

L'étude a montré que l'huile essentielle exerçait une activité larvicide significative, les taux de mortalité augmentant avec la concentration et le temps d'exposition.

De plus, l'huile provoquait des effets sublétaux sur les paramètres morphométriques des larves survivantes, indiquant des perturbations du développement.

Bien que cette propriété insecticide puisse être utile pour la lutte contre les moustiques, elle implique également que les allélochemicals de *E. globulus* pourraient nuire aux insectes bénéfiques non ciblés, tels que les pollinisateurs, prédateurs et parasitoïdes.

De manière similaire, l'activité larvicide de l'huile essentielle de *Eucalyptus globulus* a été évaluée contre une autre espèce de moustique, confirmant davantage ses puissantes propriétés insecticides (Benelli et al., 2018).

L'étude a comparé l'efficacité de l'huile de *E. globulus* avec celle d'autres huiles essentielles végétales et a montré qu'elle figurait parmi les plus efficaces, avec de faibles valeurs de LC50.

Les effets non ciblés les plus préoccupants concernent probablement les impacts cytotoxiques et génotoxiques des extraits de *E. globulus* sur les cellules de mammifères.

Une étude a spécifiquement évalué les effets cytotoxiques et génotoxiques de *Eucalyptus globulus* sur la lignée cellulaire Vero, un modèle standard utilisé pour les tests de toxicité cellulaire chez les mammifères (Moura et al., 2021).

Les résultats ont montré que les extraits de *E. globulus* présentaient des effets cytotoxiques significatifs, réduisant la viabilité cellulaire de manière dose-dépendante.

De plus, les extraits induisaient des dommages à l'ADN, mis en évidence par une augmentation de la fréquence des micronoyaux et d'autres aberrations chromosomiques, indiquant un potentiel génotoxique.



Ces résultats soulèvent des interrogations importantes concernant la sécurité des allélochemicals de *E. globulus* pour la santé humaine et animale, particulièrement dans les contextes où les populations ou le bétail peuvent être exposés à de fortes concentrations de ces composés via l'eau, le sol ou l'air contaminés.

Cette étude souligne la nécessité d'évaluations toxicologiques rigoureuses avant toute application à grande échelle des extraits ou huiles essentielles de *E. globulus* dans la gestion des adventices ou des ravageurs.

Les effets cumulatifs de l'allélopathie de *E. globulus* sur la diversité végétale indigène et la structure des écosystèmes sont profonds, puisque la suppression de la végétation du sous-bois peut conduire à des communautés végétales simplifiées et à une réduction de la biodiversité.

Une étude portant sur la diversité et la densité des plantes ligneuses dans certaines plantations d'*Eucalyptus* et d'autres espèces forestières en Éthiopie a montré que les plantations de *E. globulus*, particulièrement celles âgées de plus de 20 ans, présentaient une diversité et une densité significativement plus faibles en espèces ligneuses par rapport aux plantations d'espèces indigènes (Tesfahunegn et al., 2019).

L'étude attribuait cette réduction de biodiversité principalement aux effets allélopathiques de *E. globulus*, qui inhibent la germination et l'établissement des espèces ligneuses indigènes dans le sous-bois.

Elle soulignait également que la principale préoccupation des communautés locales et des spécialistes de la conservation concernait les effets allélopathiques souvent reprochés aux plantations d'*Eucalyptus*, notamment la suppression de la flore native.

Ce constat est cohérent avec la littérature générale sur les invasions d'*Eucalyptus*, laquelle rapporte systématiquement que les plantations de *E. globulus* créent des sous-bois appauvris comportant peu d'espèces végétales indigènes.

Afin de fournir une vue d'ensemble structurée et complète des divers impacts écologiques de *E. globulus*, nous présentons dans le Tableau 8 une taxonomie détaillée.

Ce tableau classe les impacts selon les composantes écologiques affectées, précise les effets mesurés et identifie les principales sources de preuves issues des études incluses. **Tab 8.**



Tableau 8. Taxonomie des impacts écologiques de *Eucalyptus globulus* sur le sol, l'eau et la biodiversité non ciblée.

Dimension écologiq	Composant affecté	Impact spécifique	Source
Sol et eau	Sol	Appauvrissement en nutriments et érosion	(Bekele et al., 2019) (Lemenih & Kassa, 2018).
	Eau	Diminution des eaux	(Hoogar et al.,2019);(Khan &Khan.,2019).
		Inhibition des organismes aquatique	(Zhao et al.,2019).
Biodiversité non ciblée	Invertébré	Effet insecticide	(Yahia et al., 2020); (Baranova &Obona,2020).
	Cellules de mammifères	Effets et cytotoxique et génotoxique	(Asif & Shaeedi.,2024).
	Plantes et végétation	Inhibition de la croissance et perte	(QUet al.,2021) ;(Belayneh.,2020);(Zhao et al.,2019).

Les données synthétisées dans le Tableau 8 ainsi que la discussion précédente dressent un tableau complexe et préoccupant des impacts écologiques de *Eucalyptus globulus*. Les allélochemicals produits par cette espèce n'agissent pas isolément ; ils interagissent avec et amplifient les effets liés à la forte consommation d'eau et à la croissance rapide de l'arbre, créant ainsi un ensemble de problèmes environnementaux interdépendants.

L'épuisement des nutriments du sol et la suppression de l'activité microbienne peuvent entraîner une diminution durable de la fertilité des sols, persistant même longtemps après l'exploitation des arbres.

La réduction de la disponibilité des eaux souterraines peut avoir de graves conséquences tant pour les communautés humaines que pour les écosystèmes aquatiques dépendants des débits de base.



Les effets toxiques observés sur les organismes aquatiques, les insectes bénéfiques et les cellules de mammifères soulèvent de sérieuses préoccupations écotoxicologiques qui nécessitent des investigations complémentaires.

La simplification générale des communautés végétales et la perte de biodiversité dans les plantations de *E. globulus* représentent une modification fondamentale de la structure et du fonctionnement des écosystèmes.

Ces résultats soulignent l'urgence d'adopter une approche de précaution concernant l'expansion des plantations de *E. globulus*, en particulier dans les zones écologiquement sensibles, ainsi que la nécessité de développer des stratégies de gestion capables de limiter la dispersion des allélochemicals hors des plantations et de réduire leurs impacts sur les organismes non ciblés.

3.1.2.5. Distribution spatiale, risque d'invasion et gestion durable

La distribution spatiale de *Eucalyptus globulus* dans les paysages ne relève pas uniquement de la conception des plantations ; il s'agit d'un processus dynamique qui interagit avec les propriétés allélopathiques de l'espèce pour déterminer son risque d'invasion et les possibilités d'une gestion durable.

La libération d'allélochemicals dans l'environnement crée une empreinte chimique pouvant s'étendre au-delà du voisinage immédiat des arbres, influençant l'établissement et la persistance de la végétation indigène et des cultures agricoles sur des distances considérables.

Comprendre les schémas de cette influence spatiale, les facteurs contrôlant le risque d'invasion ainsi que le développement de stratégies de gestion conciliant bénéfices économiques et intégrité écologique est essentiel pour assurer une gestion responsable des paysages où *E. globulus* est cultivé.

La distribution spatiale des allélochemicals de *E. globulus* dans l'environnement dépend de multiples facteurs interactifs, notamment la densité et l'âge des plantations, les régimes dominants de vent et d'écoulement de l'eau, la topographie du site et les propriétés physicochimiques du sol.

Les terpénoïdes volatils, tels que le 1,8-cinéole, peuvent être transportés dans l'air sur de longues distances, créant un nuage allélopathique volatil susceptible d'affecter les plantes situées sous le vent.



Les composés phénoliques hydrosolubles sont principalement transportés par l'eau du sol, se déplaçant latéralement par écoulement souterrain et verticalement par lessivage, créant ainsi un gradient de concentration allélochimique décroissant avec la distance par rapport aux arbres sources.

Une étude modélisant la distribution spatiale de *Eucalyptus globulus* dans le bassin supérieur du Nil Bleu à l'aide des données multispectrales Sentinel-2 et de variables environnementales fournit un cadre permettant de comprendre les schémas paysagers de cette espèce (Yimam et al., 2024).

Cette recherche a utilisé la télédétection et des variables environnementales pour cartographier la distribution actuelle de *E. globulus* et identifier les zones écologiquement favorables à son établissement.

L'étude a montré que *E. globulus* n'est pas réparti aléatoirement dans le paysage, mais qu'il se concentre dans certaines positions topographiques et zones climatiques, souvent à proximité des établissements humains et des terres agricoles.

Cette configuration spatiale a des implications directes sur les impacts allélopathiques, puisque la proximité des plantations de *E. globulus* avec les cultures augmente la probabilité du transport des allélochemicals vers les zones agricoles.

Le risque d'invasion présenté par *E. globulus* dépend à la fois de ses caractéristiques biologiques intrinsèques, notamment son potentiel allélopathique, et des caractéristiques du milieu récepteur.

Une étude visant à prédire le risque d'invasion de 16 espèces d'*Eucalyptus*, dont *E. globulus*, à l'aide d'un protocole d'évaluation développé pour le Brésil, fournit un cadre systématique pour évaluer ce risque (Silva et al., 2020).

Le protocole examinait plusieurs critères, notamment l'historique d'invasion ailleurs, la biologie reproductive, les mécanismes de dispersion et le potentiel allélopathique.

L'étude a montré que *E. globulus* obtenait un score relativement élevé dans l'évaluation du risque d'invasion, principalement en raison de ses effets allélopathiques documentés, de sa capacité à produire de grandes quantités de graines dispersées par le vent et de son aptitude à rejeter après perturbation.



L'évaluation concluait que *E. globulus* présente un risque d'invasion significatif dans de nombreuses régions du Brésil, particulièrement dans les zones à climat méditerranéen similaires à son aire d'origine.

Ce résultat est confirmé par une étude cartographiant la distribution de *Eucalyptus globulus* dans les Ghâts occidentaux à l'aide de modèles de niche écologique (Ramesh et al., 2021).

Cette recherche a utilisé des modèles de distribution des espèces pour prédire l'aire potentielle de *E. globulus* dans ce hotspot de biodiversité, révélant que de vastes zones des Ghâts occidentaux sont climatiquement favorables à l'espèce.

L'étude mentionnait explicitement que *E. globulus* tend à exercer des effets allélopathiques via le lessivage de composés biochimiques, ce qui pourrait faciliter son invasion en supprimant les compétiteurs indigènes.

La combinaison d'une forte adéquation climatique et d'un potentiel allélopathique élevé suggère que *E. globulus* pourrait devenir un envahisseur problématique dans les Ghâts occidentaux s'il n'est pas soigneusement géré.

Le risque d'invasion est encore aggravé par la possibilité que *E. globulus* agisse comme moteur d'autres invasions biologiques.

Une étude a examiné si *Acacia melanoxylon* et *Eucalyptus globulus*, deux espèces invasives, favorisent l'invasion d'autres espèces en testant les effets de leurs allélochemicals sur la germination (Souza et al., 2019).

La recherche supposait que les allélochemicals libérés par ces arbres invasifs pourraient constituer une « arme nouvelle » supprimant non seulement les espèces indigènes mais favorisant également l'établissement d'autres espèces invasives tolérantes ou stimulées par ces composés.

Les résultats des bioessais de germination ont montré que les allélochemicals des deux espèces avaient des effets spécifiques selon les espèces, inhibant la germination de certaines plantes tout en n'ayant aucun effet, voire un effet stimulant, sur d'autres.

Cette sensibilité différentielle pourrait créer un filtre écologique favorisant certaines espèces invasives au détriment des espèces indigènes, accélérant ainsi le processus global d'invasion.



Ce résultat met en évidence les conséquences écologiques complexes et souvent imprévisibles de l'introduction d'une espèce fortement allélopathique dans un nouvel environnement.

Les impacts socioéconomiques et environnementaux des plantations d'*Eucalyptus* en Éthiopie ont fait l'objet d'évaluations approfondies, examinant à la fois les avantages et les défis associés à cette espèce.

Une évaluation globale des impacts socioéconomiques et environnementaux des plantations d'*Eucalyptus* en Éthiopie a montré que, bien que *E. globulus* procure des avantages économiques importants — notamment le bois, le combustible et la génération de revenus — il impose également des coûts environnementaux considérables, incluant la suppression allélopathique des cultures et de la végétation indigène, l'épuisement des nutriments du sol et la réduction des ressources en eaux souterraines (Gebremedhin et al., 2020).

L'étude indiquait que l'effet inhibiteur des extraits foliaires de *E. globulus* sur la germination et la croissance des cultures augmentait avec la concentration des extraits, confirmant le caractère dose-dépendant de son activité allélopathique.

Elle concluait que l'impact net des plantations de *E. globulus* dépend du contexte, variant selon les pratiques de gestion, la localisation des plantations et les conditions environnementales et socioéconomiques spécifiques.

Cette perspective nuancée est également retrouvée dans une étude examinant les opportunités et les défis des plantations d'*Eucalyptus* en Europe, avec un focus sur l'expérience de la péninsule Ibérique (Ayele et al., 2018).

Cette recherche a montré que *E. globulus* est l'espèce d'*Eucalyptus* la plus cultivée dans la péninsule Ibérique, où elle est appréciée pour sa croissance rapide et son rendement élevé en pâte à papier.

Cependant, l'étude a également identifié plusieurs défis majeurs, notamment la forte consommation d'eau de l'espèce, ses effets allélopathiques sur la végétation indigène et son potentiel d'augmentation du risque d'incendie en raison de l'inflammabilité de sa litière.

L'étude soulignait que les projections climatiques prévoient une expansion des *Eucalyptus* vers de nouvelles régions d'Europe, ce qui pourrait aggraver ces problèmes environnementaux en l'absence de mesures de gestion appropriées.



Le développement de stratégies de gestion durable pour *E. globulus* nécessite une approche holistique intégrant les dimensions écologiques, économiques et sociales.

Une étude portant sur les impacts environnementaux, les compromis d'utilisation des terres et les voies de gestion durable de l'expansion des plantations d'*Eucalyptus* en Éthiopie fournit un cadre pour cette intégration (Mekuria et al., 2021).

La recherche a utilisé une combinaison de télédétection, d'enquêtes de terrain et d'entretiens avec les parties prenantes afin d'évaluer les impacts environnementaux de l'expansion des *Eucalyptus* et d'identifier des voies de gestion permettant de limiter les effets négatifs tout en maintenant les bénéfices économiques.

L'étude a montré que l'expansion des plantations d'*Eucalyptus*, notamment de *E. globulus* et *E. camaldulensis*, a entraîné d'importants compromis d'utilisation des terres, incluant la conversion de terres agricoles et de pâturages en plantations, avec des conséquences sur la sécurité alimentaire et les moyens de subsistance.

Parmi les stratégies de gestion durable recommandées figurent:

l'établissement de zones tampons entre plantations et cultures afin de réduire le transport des allélochemicals;

l'utilisation de plantations mixtes pour améliorer la biodiversité;

l'adoption de pratiques de récolte rotative permettant la récupération des sols.

L'étude insistait également sur l'importance de la participation communautaire dans les processus décisionnels afin de garantir que les stratégies de gestion soient socialement acceptables et économiquement viables.

Les défis et opportunités spécifiques liés à l'expansion des *Eucalyptus* en Éthiopie sont approfondis dans une étude qualifiant l'*Eucalyptus* à la fois d'arbre « salvateur » et « provocateur » (Tadesse et al., 2019).

Cette recherche reconnaissait que l'*Eucalyptus* fournit des biens et services essentiels, tels que le bois, le combustible et les matériaux de construction, fortement demandés en Éthiopie

Cependant, l'étude documentait aussi les préoccupations répandues concernant les impacts environnementaux négatifs des *Eucalyptus*, notamment leurs effets allélopathiques sur



les cultures et la végétation indigène, leur forte consommation d'eau et leur contribution à la dégradation des sols.

Elle mentionnait que des recherches antérieures avaient proposé plusieurs solutions pour atténuer les effets allélopathiques des *Eucalyptus*, notamment:

L'incorporation de matière organique dans le sol afin d'adsorber les allélochemicals;

L'utilisation de variétés culturales tolérantes

L'étude concluait qu'une gestion durable des *Eucalyptus* en Éthiopie exige une approche équilibrée reconnaissant à la fois les avantages et les coûts de cette espèce, tout en impliquant l'ensemble des acteurs concernés dans l'élaboration des plans de gestion.

Le potentiel du biochar pour atténuer les effets allélopathiques des plantes invasives, y compris les *Eucalyptus*, a également été exploré comme stratégie innovante de gestion.

Une étude a examiné le potentiel du biochar pour réduire les effets allélopathiques des plantes invasives dans les îles tropicales à travers des essais de germination (Njeru et al., 2020).

La recherche supposait que le biochar, matériau riche en carbone produit par pyrolyse de matière organique, pourrait adsorber les allélochemicals présents dans la solution du sol, réduisant ainsi leur biodisponibilité et leur phytotoxicité.

Les résultats ont montré que l'ajout de biochar au sol réduisait significativement les effets inhibiteurs des extraits végétaux sur la germination des graines, suggérant que le biochar pourrait être utilisé comme amendement du sol pour atténuer les impacts allélopathiques.

Bien que cette étude n'ait pas spécifiquement testé les extraits de *E. globulus*, le principe d'adsorption des allélochemicals par le biochar semble également applicable à cette espèce.

Cette approche représente une voie prometteuse pour la restauration des sols contaminés par les allélochemicals de *E. globulus*, permettant potentiellement la restauration de la végétation indigène ou la culture sécurisée de plantes agricoles à proximité des plantations.

La croissance et le rendement des cultures dans les systèmes agroforestiers incluant *E. globulus* ont été directement évalués dans des études de terrain.

Une étude a analysé la croissance et le rendement du maïs dans un système agroforestier en couloirs avec *Eucalyptus* dans la zone de Kafa en Éthiopie (Kebede et al., 2021).



La recherche a comparé les rendements du maïs cultivé entre les rangées de *E. globulus* avec ceux de parcelles en monoculture.

Les résultats ont montré que les rendements du maïs étaient significativement plus faibles dans le système agroforestier que dans les parcelles de monoculture, la réduction étant plus marquée dans les couloirs les plus proches des arbres.

L'étude attribuait cette diminution à une combinaison de facteurs:

Compétition pour la lumière, l'eau et les nutriments;

effets allélopathiques de la litière foliaire et des exsudats racinaires de *E. globulus*.

Ce résultat constitue une preuve directe que la proximité spatiale de *E. globulus* avec les cultures peut affecter négativement la productivité agricole, soulignant l'importance d'une planification spatiale rigoureuse dans les systèmes agroforestiers.

Le rôle de la disponibilité des nutriments dans la modulation des effets allélopathiques des espèces invasives a également été étudié, avec des implications importantes pour la compréhension du risque d'invasion de *E. globulus* dans différents contextes environnementaux.

Une étude a examiné l'effet de l'enrichissement nutritif sur les impacts allélopathiques d'espèces exotiques invasives sur des plantes indigènes (Xiao et al., 2019).

Les chercheurs supposaient qu'une disponibilité accrue en nutriments — résultant par exemple des dépôts d'azote atmosphérique ou des fertilisants — pourrait augmenter la production d'allélochemicals par les plantes invasives, renforçant ainsi leurs effets suppressifs.

Les résultats ont confirmé cette hypothèse, montrant que les effets allélopathiques étaient plus marqués dans des conditions riches en nutriments.

Cela suggère que le risque d'invasion de *E. globulus* pourrait être plus élevé dans les environnements fertiles tels que les terres agricoles.

La modélisation des effets allélopathiques sur les populations végétales concurrentes fournit un cadre théorique utile pour comprendre les conséquences démographiques de l'allélopathie de *E. globulus*.



Une étude a développé un modèle simulant les effets allélopathiques stimulants et inhibiteurs sur des populations végétales concurrentes (Dipesh & Kumar, 2022).

Le modèle intégrait à la fois les effets inhibiteurs directs des allélochemicals et les effets hormétiques potentiels à faibles concentrations.

Les simulations ont montré que l'allélopathie peut avoir des effets complexes et non linéaires sur la dynamique des populations selon:

l'intensité de l'effet allélopathique;

la densité de l'espèce allélopathique;

les capacités compétitives des espèces cibles.

Le modèle prédisait qu'une allélopathie forte peut conduire à l'exclusion des espèces sensibles, tandis qu'une allélopathie faible peut favoriser la coexistence dans certaines conditions.

Enfin, l'utilisation des espèces d'*Eucalyptus* pour le reboisement après incendie soulève également des préoccupations écologiques.

Une étude a examiné les effets des extraits foliaires de *Eucalyptus camaldulensis*, *Pinus brutia* et *Pinus pinea* sur la division cellulaire des apex racinaires de *Pinus brutia* (Önen et al., 2020).

Bien que cette étude ait porté sur *E. camaldulensis* plutôt que *E. globulus*, elle constitue un exemple pertinent du potentiel des allélochemicals d'*Eucalyptus* à perturber la régénération des espèces forestières indigènes après perturbation.

Les résultats ont montré que l'extrait foliaire de *E. camaldulensis* réduisait significativement l'indice mitotique et augmentait la fréquence des anomalies chromosomiques dans les cellules racinaires de *P. brutia*, indiquant un effet génotoxique.

Cela suggère que l'utilisation des *Eucalyptus* dans les programmes de reboisement post-incendie pourrait freiner la régénération naturelle des espèces indigènes et favoriser une dominance progressive des *Eucalyptus*.



Afin de fournir une vue d'ensemble structurée et complète des résultats concernant la distribution spatiale, le risque d'invasion et la gestion durable de *Eucalyptus globulus*, nous présentons dans le **Tableau 9** une taxonomie détaillée. **Tab 9**

Ce tableau classe les études selon leur objectif principal, précise les principaux résultats et identifie les principales sources de preuves issues des études incluses. et la gestion durable de *Eucalyptus globulus*

Tableau 9 : Synthèse des études sur la distribution spatiale, le risque d'invasion et la gestion durable de *Eucalyptus globulus*

Orientation de la recherche	Aspect spécifique	Résultats clés	Sources
Distribution spatiale et modélisation	Télédétection et données environnementales	La distribution de <i>E. globulus</i> a été cartographiée dans le bassin supérieur du Nil Bleu ; concentration près des établissements et des terres cultivées.	(Yimam et al., 2024).
Distribution spatiale et modélisation	Modélisation de niche écologique	De vastes zones des Ghâts occidentaux sont climatiquement favorables ; l'allélopathie facilite l'invasion.	(Ramesh et al., 2021).
Évaluation du risque d'invasion	Protocole d'évaluation des risques	<i>E. globulus</i> a obtenu un score élevé de risque d'invasion en raison de l'allélopathie, de la production de graines et de la	(Silva et al., 2020).

		capacité de régénération.	
Évaluation du risque d'invasion	Facteur favorisant d'autres invasions	Les allélocomposés peuvent faciliter l'établissement d'autres espèces invasives.	(Souza et al., 2019).
Évaluation du risque d'invasion	Amélioration des nutriments	Une disponibilité plus élevée en nutriments peut amplifier les effets allélopathiques.	(Xiao et al., 2019).
Évaluation socioéconomique et environnementale	Étude de cas en Éthiopie	Des bénéfices économiques importants mais aussi des coûts environnementaux ; impact net dépendant du contexte.	(Gebremedhin et al., 2020).
Évaluation socioéconomique et environnementale	Étude de cas dans la péninsule Ibérique	L' <i>Eucalyptus</i> le plus planté de la région ; les défis incluent l'utilisation de l'eau, l'allélopathie et le risque d'incendie.	(Ayele et al., 2018).
Voies de gestion durable	Compromis d'utilisation des terres	Zones tampons, plantations mixtes et récolte rotative recommandées.	(Mekuria et al., 2021).



Tableau 10 : Synthèse des approches de gestion, d'atténuation et de modélisation des effets allélopathiques.

Catégorie	Approche / mécanisme	Résultats clés	Sources
	Atténuation par le biochar	Le biochar peut adsorber les allélochimiques et réduire la phytotoxicité.	(Njeru et al., 2020).
	Impacts de l'agroforesterie	Le rendement du maïs est réduit dans les cultures en couloir avec <i>E.</i> <i>globulus</i> .	(Kebede et al., 2021).
	Reboisement après incendie	Les extraits d' <i>Eucalyptus</i> peuvent inhiber la division cellulaire chez les espèces indigènes de pin.	(Önen et al., 2020).
	Solutions contre l'allélopathie	L'incorporation de matière organique et l'utilisation de variétés tolérantes sont suggérées.	(Tadesse et al., 2019).
Approches théoriques et de modélisation	Modélisation de la dynamique des populations	L'allélopathie peut conduire à l'exclusion des espèces ou à leur coexistence selon l'intensité et le contexte.	(Dipesh & Kumar, 2022).



Les preuves synthétisées dans le Tableau 10 ainsi que dans la discussion précédente démontrent que la distribution spatiale, le risque d'invasion et la gestion durable de *Eucalyptus globulus* sont intrinsèquement liés à ses propriétés allélopathiques. Les allélocomposés produits par cette espèce créent une empreinte chimique qui dépasse les limites des plantations, influençant la composition et la productivité des écosystèmes adjacents. Le risque d'invasion est considérable, en particulier dans les régions climatiquement favorables où le potentiel allélopathique de l'espèce peut supprimer les compétiteurs indigènes et potentiellement favoriser l'établissement d'autres espèces envahissantes. Le développement de stratégies de gestion durable nécessite une approche holistique intégrant la planification spatiale, la restauration des sols et la participation communautaire. L'utilisation de zones tampons, d'amendements à base de biochar et de variétés culturales tolérantes offre des pistes prometteuses pour atténuer les impacts négatifs de l'allélopathie d'E. globulus tout en conservant ses avantages économiques. Cependant, la mise en œuvre efficace de ces stratégies exige une compréhension approfondie du contexte environnemental et socioéconomique local, ainsi qu'un engagement envers une gestion adaptative capable de répondre aux nouveaux défis à mesure qu'ils apparaissent.

3.1.3. Discussion

La synthèse des preuves présentées dans cette revue systématique révèle que le potentiel allélopathique de *Eucalyptus globulus* constitue un phénomène multifacette ayant de profondes implications pour la productivité agricole, la conservation de la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes. Pris ensemble, les résultats issus des cinq dimensions thématiques convergent vers une conclusion cohérente : E. globulus possède un arsenal chimique sophistiqué, principalement composé de terpénoïdes volatils et de composés phénoliques hydrosolubles, libérés par plusieurs voies, et exerçant un large éventail d'effets phytotoxiques sur les cultures et les adventices, tout en déclenchant des conséquences écologiques en cascade touchant les communautés microbiennes du sol, les organismes aquatiques et la faune terrestre non ciblée.

La régularité avec laquelle l'inhibition de la germination et la suppression de la croissance des plantules sont rapportées chez diverses cultures — des céréales comme le teff et le maïs aux légumineuses telles que le pois chiche et le mungo — souligne la robustesse de l'effet allélopathique et son potentiel à compromettre la sécurité alimentaire dans les systèmes agroforestiers (Mekonnen et al., 2017); (Khan et al., 2019) ;(Singh et al., 2018) ;(Tesfaye et al.,



2020). Toutefois, la littérature met également en évidence d'importantes nuances, notamment une sensibilité différentielle selon les espèces, des effets hormétiques dépendants de la dose à faibles concentrations, ainsi que des interactions synergiques possibles entre allélocomposés, suggérant que les conséquences écologiques de l'allélopathie d'*E. globulus* dépendent fortement du contexte plutôt qu'elles ne soient uniformément déterministes (Quispe et al., 2020) (Almarie, 2021).

Les implications théoriques de cette synthèse sont importantes, car elles contribuent à un cadre conceptuel plus raffiné pour comprendre les interactions chimiques végétales dans les écosystèmes envahis. La vision traditionnelle de l'allélopathie comme une interaction inhibitrice simple et unidirectionnelle est remise en question par les preuves montrant que les allélocomposés d'*E. globulus* peuvent simultanément inhiber certaines espèces tout en ayant des effets négligeables, voire stimulants, sur d'autres. Cette sensibilité différentielle suggère que l'allélopathie peut agir comme un filtre écologique, favorisant sélectivement les espèces tolérantes tout en excluant les espèces sensibles, modifiant ainsi la composition des communautés végétales au-delà d'une simple réduction de biomasse.

De plus, la constatation que les allélocomposés d'*E. globulus* inhibent l'activité microbienne du sol et perturbent les cycles nutritifs introduit un mécanisme par lequel l'allélopathie peut produire des effets indirects et en cascade sur les processus écosystémiques, effets qui ne sont pas pris en compte dans les bioessais classiques centrés uniquement sur les plantes (Inderjit et al., 2019). Cette observation rejoint le paradigme émergent de « l'allélopathie médiée par le sol », selon lequel l'impact principal des allélocomposés ne cible pas directement la plante réceptrice mais les communautés microbiennes responsables de la disponibilité des nutriments et de la santé végétale.

Les preuves indiquant que les extraits d'*E. globulus* peuvent induire des effets cytotoxiques et génotoxiques sur des cellules mammifères élargissent encore la portée conceptuelle de l'allélopathie au-delà des interactions plante-plante pour inclure des dimensions écotoxicologiques plus larges, longtemps négligées dans la littérature (Moura et al., 2021).

Les implications pratiques de cette synthèse sont également majeures, notamment pour la planification de l'utilisation des terres, la vulgarisation agricole et la gestion des ressources naturelles dans les régions où *E. globulus* est cultivé ou naturalisé. Pour les décideurs et les gestionnaires, les résultats constants montrant que les plantations d'*E. globulus* réduisent la



fertilité des sols, épuisent les ressources en eau souterraine et suppriment la végétation indigène fournissent une base empirique solide pour la mise en place de mesures de précaution, telles que l'établissement de zones tampons entre plantations et terres agricoles, la limitation de la taille des plantations dans les régions arides, et la priorité donnée aux espèces arborées indigènes dans les projets de reboisement (Bekele et al., 2019);(Ahmad et al., 2020) (Tesfahunegn et al., 2019);(Mekuria et al., 2021).

Pour les agriculteurs, les preuves montrant que les extraits foliaires et les huiles essentielles d'E. globulus peuvent efficacement inhiber la germination et la croissance des adventices ouvrent des perspectives prometteuses pour le développement de bioherbicides naturels réduisant la dépendance aux herbicides synthétiques, particulièrement dans l'agriculture biologique ou dans les contextes où la résistance aux herbicides devient préoccupante (Oliveira et al., 2019) (Alzahrani et al., 2021) (Almarie, 2021). Néanmoins, l'exploitation pratique de ce potentiel bioherbicide doit être abordée avec prudence, compte tenu des effets non ciblés documentés sur les cultures et du potentiel cytotoxique observé sur des cellules mammifères (Moura et al., 2021).

Plusieurs limites méthodologiques de cette revue systématique doivent être explicitement reconnues, car elles peuvent influencer l'interprétation et la généralisation des résultats. Premièrement, la restriction aux publications en anglais a probablement introduit un biais linguistique, excluant potentiellement des études pertinentes publiées en espagnol, portugais, chinois ou dans d'autres langues. Deuxièmement, l'exclusion de la littérature grise, comme les thèses et rapports techniques, a pu entraîner un biais de publication favorisant les études présentant des résultats positifs ou statistiquement significatifs. Troisièmement, l'accent mis sur les articles publiés entre 2015 et 2025 a pu écarter des travaux plus anciens mais fondamentaux pour la compréhension de l'allélopathie d'E. globulus. Enfin, l'évaluation qualitative des études comportait une part de subjectivité, notamment concernant la pertinence des espèces cibles et l'adéquation des contrôles environnementaux.

Au-delà de ces limites méthodologiques, plusieurs lacunes importantes apparaissent dans la littérature actuelle. Il existe un besoin urgent d'études de terrain à long terme suivant le devenir et les effets des allélocomposés d'E. globulus dans des conditions environnementales réelles, car la majorité des études incluses ont été réalisées en laboratoire ou en serre (Babu & Kandasamy, 1997). Les recherches futures devraient également explorer les interactions synergiques ou antagonistes entre les nombreux allélocomposés produits par l'espèce, en



utilisant des techniques analytiques avancées telles que la chromatographie bidimensionnelle couplée à la spectrométrie de masse haute résolution (Wong et al., 2017).

Les conséquences écologiques des allélocomposés d'*E. globulus* sur les organismes non ciblés représentent un autre domaine insuffisamment étudié. Bien que certaines études aient démontré des effets insecticides, larvicides et cytotoxiques, les impacts potentiels sur les pollinisateurs, la faune du sol et les vertébrés restent largement inconnus (Yahia et al., 2020) (Benelli et al., 2018); (Moura et al., 2021). Les recherches futures devraient adopter une approche multitrophique afin d'évaluer les effets en cascade des allélocomposés à travers les réseaux trophiques.



3.2. Évaluation du potentiel allélopathique de *Ricinus Communis*: revue systématique de la littérature

3.2.1. Méthodologie

3.2.1.1. Protocole de revue

Cette revue systématique de la littérature a été réalisée conformément aux lignes directrices PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Page et al., 2021) afin de garantir une méthodologie transparente, reproductible et rigoureuse. Le protocole de revue a été conçu pour identifier, sélectionner et synthétiser tous les articles évalués par les pairs portant sur le potentiel allélopathique de *Ricinus Communis*. Une stratégie de recherche exhaustive a été mise en œuvre à travers quatre grandes bases de données électroniques, chacune choisie pour ses atouts spécifiques dans la couverture de la littérature scientifique pertinente. Scopus a été retenue comme base de données principale en raison de sa vaste couverture des revues scientifiques évaluées par les pairs dans les domaines des sciences de la vie, des sciences agronomiques et des sciences environnementales, ce qui en fait une source centrale pour les recherches sur l'allélopathie et les interactions végétales. Web of Science a été sélectionnée pour la qualité élevée de son contenu indexé et pour son puissant système d'indexation des citations, essentiel pour identifier les études influentes et suivre les tendances de recherche. ScienceDirect a été incluse en raison de son accès privilégié aux articles en texte intégral publiés dans les revues Elsevier, particulièrement dans les domaines des sciences végétales, de l'écologie et de la recherche agronomique. Enfin, Google Scholar a été utilisé comme moteur de recherche complémentaire afin d'inclure la littérature grise ainsi que des études provenant d'un éventail plus large de sources, notamment des revues non anglophones et des actes de conférences, réduisant ainsi le risque de biais de publication.

Les équations de recherche ont été élaborées à partir d'une combinaison de mots-clés liés à l'espèce cible et aux concepts fondamentaux de l'allélopathie et de la phytotoxicité. Pour Scopus, la requête suivante a été utilisée : TITLE-ABS-KEY("RICINUS COMMUNIS" AND (allelopath* OR phytotoxic* OR "germination inhibition" OR "growth inhibition")) AND NOT TITLE-ABS-KEY(review OR survey OR "meta-analysis"). La recherche a ensuite été affinée en limitant le type de document à « Article » à l'aide des filtres latéraux afin d'exclure les revues et les communications de conférences. Une requête équivalente a été appliquée dans Web of Science : TS=("RICINUS COMMUNIS" AND (allelopath* OR phytotoxic* OR "germination inhibition" OR "growth inhibition")) NOT TS=(review OR survey OR "meta-analysis"), puis les résultats ont été restreints aux seuls documents de type « Article ». Pour ScienceDirect, la chaîne de recherche suivante a été utilisée : "RICINUS

COMMUNIS" AND (allelopath* OR phytotoxic* OR "germination inhibition" OR "growth inhibition") NOT (review OR survey OR "meta-analysis"), avec un filtrage supplémentaire afin d'inclure uniquement les « Research articles ». Dans PubMed, la recherche a ciblé les champs titre et résumé : ("Ricinus Communis")[Title/Abstract] OR "Castor oil plant" [Title/Abstract]) AND (allelopath* [Title/Abstract] OR phytotoxic * [Title/Abstract] OR "germination inhibition"[Title/Abstract] OR "growth inhibition"[Title/Abstract]) NOT (review[Publication Type] OR systematic[sb]), en appliquant le filtre « Journal Article » et en excluant les revues via le type de publication. Pour Google Scholar, la requête suivante a été utilisée : " Ricinus Communis" AND (allelopath* OR "allelopathic potential" OR "phytotoxic*" OR "germination inhibition" OR "growth inhibition") -review -survey -"meta-analysis". Les brevets ont été exclus à l'aide du terme -patent lorsqu'ils apparaissaient de manière importante, tandis que les articles de synthèse ont été éliminés manuellement puisque Google Scholar ne propose pas de filtre spécifique pour exclure les revues. Les recherches ont été réalisées en janvier 2026 et ont couvert l'ensemble de la littérature disponible jusqu'à cette date, sans restriction temporelle.

3.2.1.2. Questions de recherche

Afin de structurer cette revue systématique et d'orienter la synthèse des résultats, nous avons formulé quatre questions de recherche principales abordant le potentiel allélopathique de *Ricinus Communis* sous différents angles. La première question examine les effets directs des extraits de R. communis sur la germination et la croissance des cultures, ce qui est fondamental pour comprendre à la fois les avantages potentiels et les risques liés à l'utilisation de cette plante dans les systèmes agricoles.

La deuxième question explore la manière dont ces extraits allélopathiques peuvent être exploités pour le contrôle biologique des mauvaises herbes exotiques envahissantes, une application cruciale compte tenu de la menace mondiale que représentent les espèces invasives pour la biodiversité et la productivité agricole.

La troisième question élargit le champ d'étude afin d'évaluer le potentiel bioherbicide et pesticide des extraits de R. communis contre divers ravageurs agricoles, notamment les insectes, les nématodes et les agents pathogènes, afin de déterminer son utilité en tant que biopesticide polyvalent.

Enfin, la quatrième question porte sur les interactions écologiques impliquant l'allélopathie dans le contexte de R. communis en tant qu'espèce invasive elle-même, en examinant comment ses caractéristiques allélopathiques contribuent à sa compétitivité et à sa tolérance au stress dans les écosystèmes naturels.



Ces quatre questions fournissent ensemble un cadre complet pour évaluer le potentiel allélopathique de *R. communis* ainsi que ses implications pour l'agriculture durable et la gestion des écosystèmes.

3.2.1.3. Critères d'inclusion et d'exclusion

Afin de garantir la pertinence et la cohérence des études sélectionnées pour cette revue systématique, nous avons établi un ensemble clair de critères d'inclusion et d'exclusion appliqués de manière uniforme tout au long du processus de sélection.

Les études étaient considérées comme admissibles si elles répondaient aux critères suivants : il devait s'agir d'articles de recherche originaux publiés dans des revues à comité de lecture, rédigés en anglais et portant sur les effets allélopathiques ou phytotoxiques des extraits, composés ou résidus de *Ricinus Communis*. Les études devaient présenter des données empiriques concernant l'inhibition de la germination, la suppression de la croissance ou d'autres effets phytotoxiques mesurables sur des espèces végétales cibles, notamment des cultures, des mauvaises herbes ou d'autres plantes.

En outre, les études portant sur l'activité pesticides ou nématicide des extraits de *R. communis* ont également été incluses lorsqu'elles rapportaient des effets sur des ravageurs agricoles, des nématodes ou des agents pathogènes. Aucune restriction temporelle n'a été imposée quant à la date de publication, afin de couvrir toute l'étendue historique des recherches sur ce sujet.

À l'inverse, les études ont été exclues lorsqu'il s'agissait d'articles de synthèse, de méta-analyses, d'enquêtes, de résumés de conférences, de chapitres d'ouvrages ou d'autres publications non évaluées par les pairs. Les études se limitant uniquement à la caractérisation chimique de *R. communis* sans évaluation de son activité biologique ont également été exclues, de même que celles portant sur les propriétés médicinales ou toxicologiques de *R. communis* dans les contextes de santé humaine ou animale sans lien avec l'allélopathie ou la lutte contre les ravageurs.

Les études ne fournissant pas suffisamment de données quantitatives pour l'extraction ou dont le texte intégral n'était pas disponible ont aussi été exclues. Ces critères ont été définis de manière à correspondre aux questions de recherche et à garantir que seules des recherches originales, pertinentes et de haute qualité contribuent à la synthèse des résultats.

3.2.1.4. Processus de sélection des études



Le processus de sélection des études a été mené de manière systématique et transparente, conformément aux directives PRISMA, afin de minimiser les biais et d'assurer la reproductibilité. Les recherches initiales dans les bases de données ont permis d'identifier un total de 419 références provenant des quatre bases de données consultées.

Après suppression de 19 doublons et de 4 références retirées pour d'autres raisons (par exemple des articles rétractés ou des textes intégraux inaccessibles), 396 références ont été conservées pour le dépistage. Deux évaluateurs indépendants ont examiné les titres et résumés de ces 396 références selon les critères d'inclusion et d'exclusion prédéfinis.

Au cours de cette première étape de sélection, 283 références ont été exclues parce qu'elles ne répondaient pas aux critères d'éligibilité, principalement parce qu'elles portaient sur des aspects non alléopathiques de *R. communis*, tels que ses propriétés médicinales, ou parce qu'il s'agissait d'articles de revue ou de résumés de conférences.

Les 69 références restantes ont été recherchées pour obtention du texte intégral, et les 69 articles ont été récupérés avec succès. Ces articles ont ensuite été évalués en détail par les deux mêmes évaluateurs, qui ont examiné indépendamment chaque étude selon les critères d'inclusion. Les désaccords entre les évaluateurs ont été résolus par discussion et consensus.

Au cours de cette phase d'évaluation de l'éligibilité, 35 articles ont été exclus pour diverses raisons, notamment l'insuffisance des données concernant les effets alléopathiques, l'absence de pertinence par rapport aux questions de recherche ou le non-respect du critère de publication dans une revue à comité de lecture. Par conséquent, 34 études ont finalement été retenues dans cette revue systématique.

L'ensemble du processus de sélection des études est illustré dans le diagramme de flux PRISMA (Figure 11), qui fournit un résumé visuel du nombre de références à chaque étape.

Identification des études à partir des bases de données

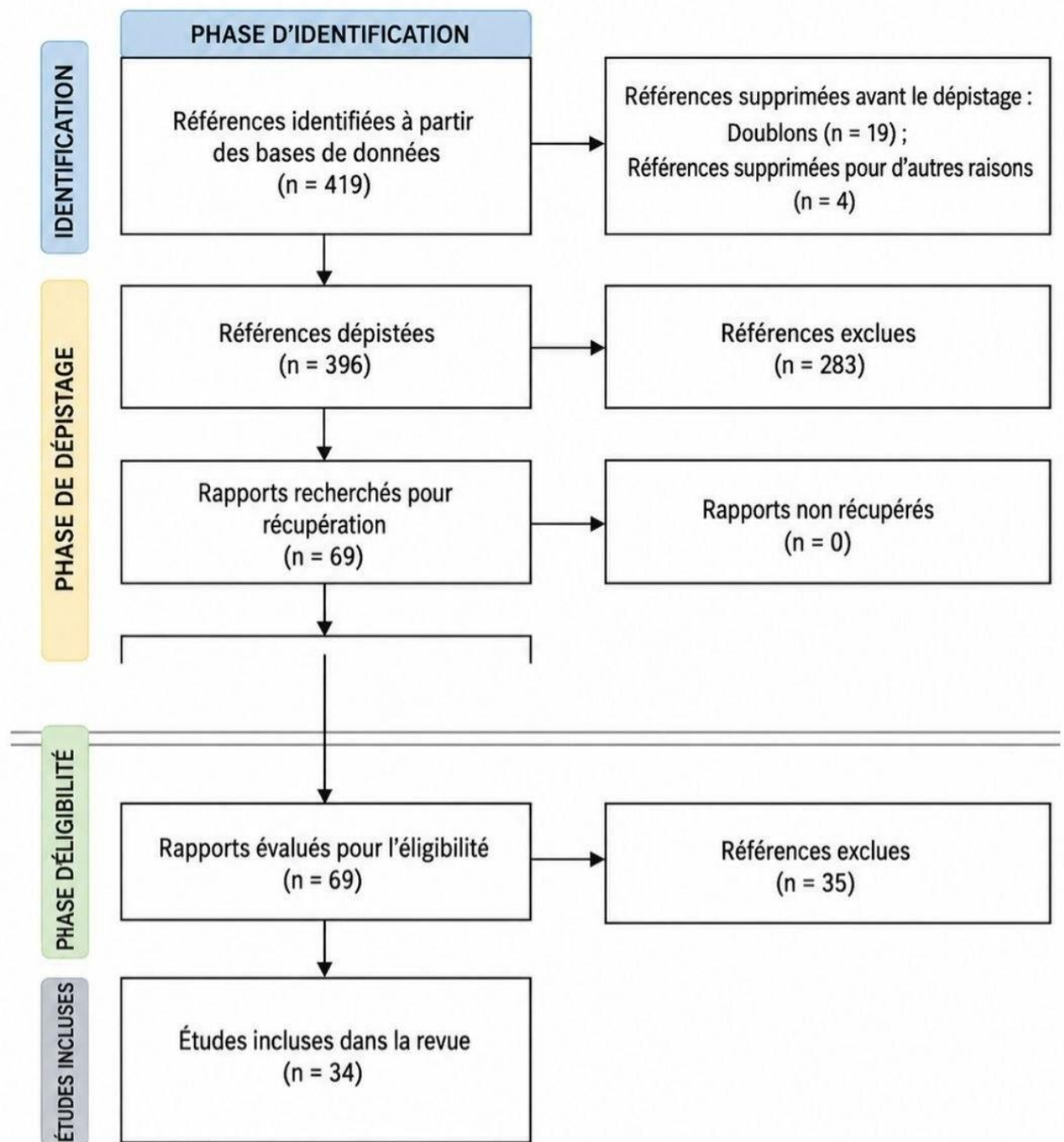


Figure 11. Diagramme PRISMA illustrant le processus de sélection des études pour la revue systématique sur le potentiel alléopathique de *Ricinus Communis*.

Le processus de sélection des études, bien que rigoureux, présente certaines limites et sources potentielles biais. La restriction aux articles publiés en langue anglaise a pu introduire un biais linguistique, en excluant potentiellement des études pertinentes publiées

dans d'autres langues, notamment dans les régions où *Ricinus Communis* est indigène ou largement étudié, telles que l'Afrique, l'Asie et l'Amérique du Sud. De plus, l'exclusion de la

littérature grise, comme les thèses, les rapports techniques et les actes de conférences, peut avoir conduit à l'omission de données précieuses, bien que cette décision ait été prise afin de privilégier la qualité des travaux évalués par les pairs. Le recours à des chaînes de recherche et à des bases de données spécifiques a également pu entraîner l'omission d'études utilisant une terminologie différente ou indexées dans des bases moins couramment utilisées. Malgré ces limites, l'approche systématique adoptée, incluant un double processus de sélection indépendant ainsi que des critères d'éligibilité clairement définis, renforce la fiabilité et la validité des résultats de cette revue.

3.2.2. Résultats

3.2.2.1. Tendances de la recherche

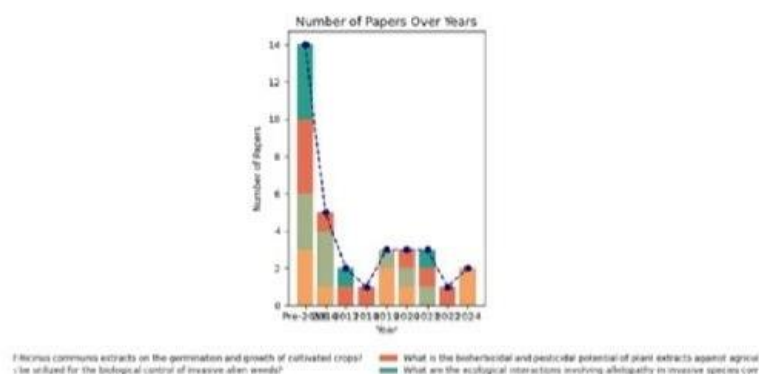


Figure 12. Tendances de la recherche dans le domaine de l'évaluation du potentiel allélopathique de *Ricinus Communis*.

La distribution temporelle des 34 études incluses révèle un intérêt soutenu, bien que fluctuant, pour le potentiel allélopathique de *Ricinus Communis* au cours des deux dernières décennies. Comme illustré dans la Figure 12, l'activité de recherche a été particulièrement concentrée avant 2016, avec 14 publications représentant le groupe le plus important. Cette phase initiale a permis d'établir les connaissances fondamentales concernant les propriétés phytotoxiques des extraits de ricin. Un pic notable du nombre de publications a été observé en 2016 avec cinq études, suivi d'un déclin puis d'une stabilisation, les productions annuelles variant entre une et trois études entre 2017 et 2024. Cette tendance suggère que, bien que le sujet n'ait pas connu une croissance spectaculaire, il demeure un domaine d'investigation spécialisé et constamment étudié.



Un examen plus approfondi de la distribution thématique selon les quatre questions de recherche révèle des modèles distincts d'orientation scientifique. L'étude des effets des extraits de *Ricinus Communis* sur la germination et la croissance des cultures, ainsi que leur potentiel bioherbicide et pesticidal, représente les thèmes les plus régulièrement explorés, avec un flux constant de publications depuis les premières années jusqu'à aujourd'hui. En revanche, les recherches portant sur le contrôle biologique des mauvaises herbes exotiques envahissantes et sur les interactions écologiques de *RICINUS COMMUNIS* en tant qu'espèce invasive montrent une activité davantage concentrée dans les années antérieures, avec moins de contributions récentes.

Cette divergence peut indiquer que les travaux fondamentaux sur la phytotoxicité directe et l'activité pesticidale à large spectre ont été largement établis, tandis que les dimensions plus appliquées et écologiques de la recherche ont bénéficié d'une attention moins soutenue. La tendance générale met en évidence un domaine de recherche en phase de maturité, dans lequel les principaux effets allélopathiques sont bien documentés, mais où la transformation de ces connaissances en applications pratiques adaptées aux conditions de terrain, ainsi qu'une meilleure compréhension des conséquences écologiques, demeurent des perspectives ouvertes pour les recherches futures.

3.2.2.2. Effets allélopathiques des extraits de *Ricinus Communis* sur la germination et la croissance des cultures

L'étude des effets allélopathiques des extraits de *Ricinus Communis* sur les cultures constitue un pilier fondamental des recherches consacrées à cette plante, car elle traite directement des avantages et des risques potentiels liés à son utilisation dans les systèmes agricoles. Un important corpus de données, regroupant de multiples études, démontre de manière cohérente que les extraits aqueux et organiques obtenus à partir de différentes parties de *Ricinus Communis* en particulier les feuilles et les graines, exercent des effets inhibiteurs significatifs sur la germination et la croissance précoce des plantules d'un large éventail de cultures d'importance économique. Cette phytotoxicité est généralement attribuée à la présence de métabolites secondaires bioactifs, notamment la ricine, la ricinine et divers composés phénoliques, capables d'interférer avec les processus physiologiques fondamentaux des plantes cibles (Page et al., 2021; Saddiqe et al., 2020); (Silva et al., 2016; Syed et al., 2024); (Akmm et al., 2019).



Cependant, ces effets ne sont pas uniformes selon les espèces cultivées, et le degré d'inhibition dépend fortement de plusieurs facteurs, notamment la concentration de l'extrait, la partie de la plante utilisée, l'espèce cultivée concernée et le stade de croissance au moment de l'application. Par exemple, des études menées sur des céréales telles que le maïs (*Zea mays*) ont montré que les extraits aqueux de feuilles de *Ricinus Communis* peuvent réduire de manière significative le pourcentage de germination ainsi que l'élongation des racines et des plumules (Saddiqe et al., 2020);(Syed et al.,2024). Cette inhibition est souvent dose-dépendante, les concentrations plus élevées entraînant une suppression plus marquée. De même, des cultures oléagineuses telles que le soja (*Glycine max*), le carthame (*Carthamus tinctorius*) et le tournesol (*Helianthus annuus*) se sont révélées particulièrement sensibles aux effets allélopathiques des extraits de ricin, les extraits de feuilles fraîches provoquant d'importantes réductions de la germination et des paramètres de croissance précoce (Silva et al., 2016; Syed et al.,2024); (Akmm et al.,2019). La sensibilité de ces cultures suggère que l'utilisation de *Ricinus Communis* comme bioherbicide nécessiterait une attention particulière concernant le moment d'application et le dosage, afin d'éviter des dommages involontaires aux cultures désirées.

Afin de fournir une vue d'ensemble structurée des résultats issus des études incluses, nous les avons classées selon le type de culture cible, l'effet mesuré et le type d'extrait ou de partie végétale utilisée. Cette taxonomie, présentée dans le Tableau 11, synthétise les données des études pertinentes et met en évidence la diversité des cultures étudiées.

Tableau 11. Taxonomie des études sur les effets allélopathiques des extraits de *Ricinus Communis* sur les cultures cultivées.

Type de culture cible	Effet mesuré	Extrait / Partie de la plante	Sources
Céréales (Maïs)	Germination et croissance des plantules	Extrait aqueux (Général)	(Saddiqe et al., 2020); (syed et al.,2024)
	Germination et croissance des plantules	Extrait de feuilles fraîches	(syed et al.,2024)
Oléagineux (Soja, Carthame, Tournesol)	Germination et croissance des plantules	Extrait aqueux (Général)	(Silva et al., 2016); (syed et al.,2024).

	Germination et croissance des plantules	Extrait de feuilles fraîches	(Silva et al., 2016).
	Croissance des plantules (Général)	Extraits de plantes enrichis en huile	(Akmm et al.,2019).
Mauvaises herbes (Cuscuta)	Propriétés de germination	Résidu solide / Extrait de racine	(Seyyedi et al.,2013).
Espèces cultivées multiples/générales	Germination (Général)	Extrait aqueux (Général)	(Page et al., 2021).
	Croissance des plantules (Général)	Extraits de plantes enrichis en huile	(AKMM et al.,2019).
Études agronomiques / non-allélopathiques	Rendement et systèmes de culture	N/A (Pratique agronomique)	(Vaghela et al.,2019), (Kasali et al.,2024).
	Stress environnemental (Nanosilver)	N/A (Étude de toxicologie)	(Yasur et Rani.,2013).

Comme le montre le Tableau 11, la majorité des études se sont concentrées sur les effets des extraits aqueux sur la germination et la croissance des plantules de céréales et d'oléagineux. Le constat commun à ces travaux est que les extraits de *Ricinus Communis* possèdent une forte activité phytotoxique, généralement plus marquée à des concentrations élevées. Par exemple, l'étude de (Page et al., 2021) a examiné les effets des extraits aqueux sur six espèces cultivées et a rapporté des réductions significatives de la germination pour l'ensemble des espèces testées, bien que l'ampleur de l'effet varie selon l'espèce. Cela suggère une activité à large spectre qui ne se limite pas à un seul groupe taxonomique.

En outre, les travaux de (Seyyedi et al.,2013).ont étendu cette investigation aux adventices parasites telles que la cuscute (*Cuscuta campestris*), démontrant que les résidus solides et les extraits racinaires de *R. communis* peuvent également inhiber la germination de cette mauvaise herbe problématique, ce qui indique une application potentielle dans la gestion des infestations de plantes parasites.



Il est important de noter que toutes les études incluses dans cette revue n'ont pas directement mesuré les effets allélopathiques sur les cultures. Par exemple, les études (Veghela et al.,2019) et (Kasali.,2024) se sont concentrées sur des pratiques agronomiques, telles que les systèmes de culture et l'application d'engrais organiques pour la culture du ricin, plutôt que sur ses propriétés allélopathiques. De même, l'étude (Yasur et Rani2013) a examiné les effets environnementaux des nanoparticules d'argent sur la germination et la croissance des plantules de ricin, ce qui relève davantage d'une étude toxicologique que d'une évaluation du potentiel allélopathique propre à la plante.

Ces études ont néanmoins été incluses dans la revue élargie car elles apportent un contexte utile sur l'agronomie et les interactions environnementales de *R. communis*, même si elles ne contribuent pas directement aux preuves concernant ses effets allélopathiques sur les cultures. Malgré cela, l'ensemble des données issues des études spécifiquement axées sur l'allélopathie soutient fortement la conclusion selon laquelle les extraits de *R. communis* peuvent altérer de manière significative la germination et la croissance précoce d'un large éventail de cultures agricoles. Cette constatation présente des implications importantes à la fois pour le développement de bioherbicides et pour la gestion du ricin en tant qu'adventice potentielle dans les systèmes agricoles.

3.2.2.3. Utilisation des extraits de plantes allélopathiques pour le contrôle biologique des mauvaises herbes exotiques envahissantes

L'application des extraits de plantes allélopathiques pour le contrôle biologique des mauvaises herbes exotiques envahissantes représente une stratégie prometteuse et respectueuse de l'environnement, en accord avec les principes de la gestion intégrée des adventices. Les études incluses dans cette revue fournissent des preuves convaincantes que les extraits provenant de diverses plantes allélopathiques, y compris *Ricinus Communis*, peuvent efficacement inhiber la germination, la croissance et le développement morphologique de plusieurs espèces adventices envahissantes problématiques. Cette approche offre une alternative potentielle aux herbicides de synthèse, souvent associés à la contamination environnementale et à l'évolution de résistances aux herbicides. Les résultats des études incluses sont organisés de manière systématique dans le Tableau 12, qui présente une taxonomie des recherches basée sur les espèces adventices ciblées, la source de la plante allélopathique et les effets spécifiques mesurés.

Tableau 12. Taxonomie des études sur l'utilisation d'extraits de plantes allélopathiques pour la lutte biologique contre les mauvaises herbes.

Espèce de mauvaise herbe cible	Source de plante allélopathique	Effet mesuré	Sources
Cassia uniflora	<i>Ricinus Communis</i>	Attributs morphologiques	(Ramgunde et Chaturvedi.,2016).
Cassia uniflora	Vitex negundo	Attributs morphologiques	(Ramgunde et Chaturvedi.,2016).
Malachra capitata	<i>Ricinus Communis</i>	Attributs morphologiques	(Vaishali et Alka.;2019).
Hyptis suaveolens	<i>Ricinus Communis</i>	Perspectives de biocontrôle	(Ramgunde et Chaturvedi.,2016).
Cyperus rotundus	Thevetia peruviana	Germination et croissance des plantules	(Begam et al.,2020).
Cyperus rotundus	Nerium oleander	Germination et croissance des plantules	(Begam et al.,2020).
Parthenium hysterophorus	Mélanges d'extraits (non spécifiés)	Gestion des adventices pour améliorer le rendement	(Adnan et al.,2021).
Xanthium strumarium	Xanthium strumarium	Changements cytologiques chez la lentille	(Mukherjee et Dalal.;2015).
Espèces végétales indigènes	Argemone mexicana	Croissance des espèces indigènes	(Namkelejee et al.,2014).
Vigna unguiculata (Niébé)	Tithonia diversifolia	Paramètres biochimiques et croissance	(Oyeniyi et al.,2016).
Lactuca sativa (Laitue)	Miconia spp.	Germination et croissance	(Santos et al.,2015).



Comme le montre le Tableau 12, les recherches sur le contrôle biologique des mauvaises herbes envahissantes à l'aide d'extraits allélopathiques se sont concentrées sur une grande diversité d'espèces cibles, chacune représentant une menace importante pour les écosystèmes agricoles ou naturels. Par exemple, l'étude (Ramgunde et Chaturvedi.,2016) a examiné les effets allélopathiques de *Ricinus Communis* et *Vitex negundo* sur les caractéristiques morphologiques de *Cassia uniflora*, une mauvaise herbe exotique envahissante. Les résultats ont montré que les extraits aqueux des deux espèces végétales réduisaient significativement la longueur des pousses, la longueur des racines et l'accumulation de biomasse chez *C. uniflora*, les effets étant plus prononcés à des concentrations élevées des extraits. Cette observation suggère que les extraits de *Ricinus Communis* pourraient être utilisés efficacement comme bioherbicide contre cette espèce adventice particulière, réduisant ainsi son avantage compétitif dans les habitats envahis.

De manière similaire, les travaux de (Vaishali et Alka.,2019). ont examiné l'effet allélopathique de *Ricinus Communis* sur les caractéristiques morphologiques de *Malachra capitata*, une autre mauvaise herbe exotique envahissante. L'étude a rapporté que les extraits foliaires de *Ricinus Communis* entraînaient des réductions significatives de la hauteur des plantes, de la surface foliaire et du poids sec des plantules de *M. capitata*, indiquant un fort potentiel suppressif. L'étude (Ramgunde et Chaturvedi.,2016). a prolongé cette approche en explorant les perspectives allélopathiques de plusieurs plantes, dont *Ricinus Communis*, pour le biocontrôle de *Hyptis suaveolens*, une adventice hautement envahissante dans les régions tropicales et subtropicales. Les résultats de cette étude ont confirmé la tendance générale, montrant que les extraits de *Ricinus Communis* inhibaient efficacement la germination et la croissance précoce de *H. suaveolens*, offrant ainsi un outil potentiel pour la gestion de cette espèce problématique.

Au-delà des effets directs de *Ricinus Communis*, les études incluses ont également exploré le potentiel allélopathique d'autres espèces végétales pour le contrôle des mauvaises herbes, fournissant ainsi un contexte plus large pour le développement des bioherbicides. Par exemple, l'étude (Begam et al.,2020). a examiné les effets suppressifs des extraits foliaires de *Thevetia peruviana* et de *Nerium oleander* sur la germination et la croissance des plantules de *Cyperus rotundus* (souchet violet), l'une des adventices les plus problématiques au monde. Les résultats ont montré que les deux extraits végétaux réduisaient significativement la germination du souchet et inhibaient la croissance de ses tubercules souterrains, suggérant que ces plantes



pourraient constituer des sources précieuses d'herbicides naturels pour la gestion de cette adventice résistante.

L'étude (Adnan et al., 2021). a adopté une approche plus appliquée en évaluant l'utilisation de mélanges d'extraits végétaux, en combinaison avec des produits chimiques et des adjuvants, afin d'améliorer la gestion de *Parthenium hysterophorus* dans la production du gombo. Cette étude a démontré que des approches intégrées, combinant des extraits allélopathiques avec d'autres méthodes de contrôle, pouvaient améliorer le rendement des cultures tout en supprimant efficacement la mauvaise herbe envahissante, mettant ainsi en évidence le potentiel pratique de cette stratégie.

Par ailleurs, les recherches de (Mukherjee et Dalal., 2015). ont examiné les modifications cytologiques chez la lentille (*Lens culinaris*) en réponse à l'effet allélopathique de *Xanthium strumarium* (lampourde commune). Bien que cette étude ne soit pas directement centrée sur *Ricinus Communis*, elle fournit des informations précieuses sur les mécanismes cellulaires sous-jacents à l'inhibition allélopathique. Les résultats ont montré que les extraits de *X. strumarium* induisaient des aberrations chromosomiques et des anomalies mitotiques dans les cellules méristématiques des racines de lentille, indiquant que les allélocomposés peuvent provoquer des effets génotoxiques contribuant à la suppression de la croissance.

Cette observation souligne l'importance de comprendre le mode d'action des composés allélopathiques au niveau cellulaire.

L'étude (Mukherjee et Dalal., 2015). a investigué les effets allélopathiques d'*Argemone mexicana* (pavot du Mexique) sur la croissance des espèces végétales indigènes, révélant que cette adventice envahissante possède elle-même de fortes propriétés allélopathiques capables de supprimer la flore locale, facilitant ainsi sa propre invasion. Cela met en évidence la complexité des interactions écologiques impliquant l'allélopathie dans la dynamique des espèces invasives.

Enfin, les études (Oyeniyi et al., 2016) et (Santos et al., 2015) ont examiné respectivement les effets allélopathiques de *Tithonia diversifolia* (tournesol mexicain) et de *Miconia* spp. sur la croissance et les paramètres biochimiques des plantes cibles. L'étude sur *T. diversifolia* a démontré que ses extraits modifiaient significativement les paramètres biochimiques (par exemple, la teneur en chlorophylle et en protéines) ainsi que la croissance de *Vigna unguiculata* (niébé), indiquant que les allélocomposés peuvent perturber des processus métaboliques fondamentaux. L'étude sur *Miconia* spp. a montré que leurs extraits inhibaient la germination



et la croissance de *Lactuca sativa* (laitue), une espèce couramment utilisée dans les bioessais, confirmant ainsi le potentiel allélopathique de ce genre.

Collectivement, ces études fournissent une base de preuves solide soutenant la faisabilité de l'utilisation des extraits de plantes allélopathiques, en particulier ceux de *RICINUS COMMUNIS*, pour le contrôle biologique des mauvaises herbes exotiques envahissantes. Le schéma constant d'inhibition observé à travers plusieurs espèces adventices et différentes sources végétales suggère que cette approche possède une large applicabilité, bien que l'efficacité spécifique et les méthodes optimales d'application varient probablement selon l'espèce cible et le contexte environnemental.

3.2.2.4. Potentiel bioherbicide et pesticidal des extraits végétaux contre les ravageurs agricoles, les nématodes et les agents pathogènes

L'exploration des extraits d'origine végétale en tant que bioherbicides et biopesticides représente un domaine crucial de l'agriculture durable, offrant la possibilité de réduire la dépendance aux produits agrochimiques de synthèse tout en contrôlant un large éventail de menaces agricoles. Les études incluses dans cette revue fournissent des preuves substantielles que les extraits de *Ricinus Communis* et d'autres plantes allélopathiques possèdent une bioactivité significative contre une grande diversité de ravageurs agricoles, notamment les insectes, les nématodes et les agents pathogènes des plantes. Ce potentiel multifonctionnel fait de *Ricinus Communis* un candidat particulièrement précieux pour les stratégies de gestion intégrée des ravageurs, puisque ses extraits peuvent simultanément supprimer les adventices, dissuader les insectes phytophages et inhiber les agents pathogènes du sol. Les résultats des études incluses sont systématiquement organisés dans le Tableau 13, qui présente une taxonomie complète des recherches basée sur l'organisme cible, le type d'extrait ou de formulation utilisé et la bioactivité spécifique mesurée.

Tableau 13. Taxonomie des études incluses sur le potentiel bioherbicide et pesticidal des extraits végétaux, classées selon l'organisme cible, le type d'extrait/formulation et la bioactivité spécifique.

Organisme cible	Type d'extrait / formulation	Bioactivité spécifique	Sources
Mauvaises herbes	Formulation végétale (huile essentielle de <i>Ferula assa-foetida</i> + huile de ricin)	Activité herbicide (allélopathique) contre les espèces d' <i>Amaranthus</i>	(Trassoli et al.,2021).
Mauvaises herbes	Extraits aqueux de plantes (diverses espèces)	Activité bioherbicide (post-levée) contre <i>Bidens bipinnata</i>	(Lopes et al.,2022).
Mauvaises herbes	Extraits aqueux (haricot Jack, haricot Velvet)	Activité bioherbicide post-levée	(IS24. *Unknown publication).
Mauvaises herbes	Extraits bruts (fruits de <i>Cucumis myriocarpus</i>)	Sensibilité des plantules de la famille des Alliées	(Mafeo et al.,2011).

Extraits riches en polyphénols (*Mentha piperita*, *Ricinus Communis*)— Activité insecticide contre les espèces d'Aphis (Boualemet al.,2017).

Insectes — Réponses de défense des plantes (induites par l'alimentation des aleurodes) — Induction des mécanismes de défense chez *Ricinus Communis* (Kurra et Pathipati, 2015).

Nématodes — Extraits aqueux de graines (ail, ricin) — Activité nématocide contre *Meloidogyne incognita* (Jidere &Oluatayo,2018).

Nématodes — Extraits botaniques (divers) — Inhibition de l'éclosion des œufs et mortalité des juvéniles (Mashela & Nthangeni,2002).



Nématodes — Extraits bruts de fruits (*Cucumis myriocarpus*) — Activité bionématique (pré-émergente) sur les plantules de céréales (Mahlo et al.,2010).

Agents pathogènes — Extraits végétaux (diverses espèces) Activité antifongique contre les champignons phytopathogènes (Khan et al.,2021).

Comme le montre le Tableau 13, les recherches sur le potentiel bioherbicide des extraits végétaux ont exploré à la fois des extraits d'espèces uniques et des formulations complexes. L'étude (Tarassoli et al.,2021) a examiné l'effet allélopathique d'une formulation végétale contenant de l'huile essentielle de *Ferula assa-foetida* et de l'huile de ricin (*Ricinus Communis*) en tant qu'herbicide contre les espèces d'*Amaranthus*, un genre adventice problématique dans de nombreux systèmes de culture. Les résultats ont montré que cette formulation combinée présentait une activité herbicide significative, réduisant la germination et la croissance des adventices plus efficacement que chacun des composants pris séparément, suggérant ainsi une interaction synergique entre l'huile essentielle et l'huile de ricin. Cette découverte est particulièrement importante car elle indique que l'association des extraits de *Ricinus Communis* avec d'autres composés bioactifs peut renforcer leur efficacité, permettant potentiellement de réduire les doses d'application et la phytotoxicité envers les cultures non ciblées.

L'étude (Lopes et al.,2021). a évalué le potentiel bioherbicide de plusieurs espèces végétales, y compris *Ricinus Communis*, sur l'adventice *Bidens bipinnata* L., rapportant que les extraits aqueux de ces plantes inhibaient significativement la germination et la croissance des plantules lors d'applications post-levée. Ce travail souligne le potentiel des extraits aqueux simples comme bioherbicides économiques, notamment dans les systèmes agricoles familiaux où l'accès aux herbicides de synthèse peut être limité.

Des preuves supplémentaires du potentiel bioherbicide des extraits végétaux proviennent d'études sur les légumineuses. L'étude (IS24. *Unknown publication). a évalué le potentiel des extraits aqueux de pois sabre (*Canavalia ensiformis*) et de pois mascate (*Mucuna pruriens*) comme bioherbicides post-levée. Bien que cette étude n'implique pas directement *Ricinus Communis*, elle fournit un contexte comparatif précieux, démontrant que les extraits dérivés des légumineuses peuvent également agir comme bioherbicides efficaces, élargissant ainsi la gamme des sources végétales disponibles à cette fin. De même, l'étude (Mafeo et al.,2011).a examiné la sensibilité de certaines plantules d'*Alliaceae* aux extraits bruts des fruits de *Cucumis myriocarpus*, révélant que ces extraits provoquaient une inhibition significative de la croissance chez les plantules d'oignon et d'ail. Cette observation met en évidence le potentiel des extraits



de fruits de cucurbitacées comme bioherbicides, bien que la phytotoxicité non spécifique observée sur les cultures d'Alliaceae souligne la nécessité de tests rigoureux de sélectivité.

Le potentiel insecticide des extraits de *Ricinus Communis* constitue une autre dimension importante de son activité pesticidale. L'étude (Boualem, et al., 2017) a identifié des polyphénols provenant de *Mentha piperita* L. et de *Ricinus Communis* à l'aide de la méthode HPLC-DAD-ESI-MS et a évalué leurs propriétés insecticides contre les espèces d'Aphis, ravageurs agricoles communs causant des dommages importants à de nombreuses cultures. Les résultats ont montré que les extraits riches en polyphénols des deux plantes présentaient une activité insecticide significative, entraînant la mortalité des populations de pucerons.

L'étude a également identifié certains composés polyphénoliques spécifiques, tels que les flavonoïdes et les acides phénoliques, comme étant probablement responsables de cette bioactivité. Cette découverte est importante car elle fournit une base chimique aux propriétés insecticides de *Ricinus Communis* et suggère que ces composés pourraient être isolés et développés en biopesticides ciblés.

L'étude (Kurra & Pathipati, 2015). a adopté une approche différente en examinant les réponses de défense induites chez les plantes de *Ricinus Communis* soumises au stress alimentaire de l'aleurode (*Trialeurodes ricini*). Les résultats ont montré que l'infestation par les aleurodes déclenchait la surexpression de diverses enzymes liées à la défense ainsi que de métabolites secondaires, notamment des composés phénoliques et des inhibiteurs de protéases, renforçant ainsi la résistance de la plante aux attaques ultérieures de ravageurs. Cette étude fournit des informations importantes sur le rôle écologique de *Ricinus Communis* en tant que plante capable de se défendre activement contre l'herbivorie et suggère que l'induction de ces réponses de défense pourrait être exploitée pour la gestion des ravageurs grâce à l'application d'éliciteurs.

Le potentiel nématocide des extraits végétaux constitue un domaine de recherche particulièrement prometteur, compte tenu des pertes économiques importantes causées par les nématodes à galles (*Meloidogyne* spp). dans les cultures maraîchères et de plein champ. L'étude (Jidere & Oluwatayo, 2018). a comparé l'efficacité des extraits aqueux de gousses d'ail et de graines de ricin contre le nématode à galles *Meloidogyne incognita* infectant les plants de tomate. Les résultats ont montré que les deux extraits réduisaient significativement les populations de nématodes dans le sol ainsi que les galles racinaires sur les racines de tomate, l'extrait d'ail présentant une efficacité légèrement supérieure à celle de l'extrait de graines de



ricin. Toutefois, l'extrait de graines de ricin a également montré certains effets phytotoxiques sur les plants de tomate à des concentrations élevées, indiquant qu'une optimisation rigoureuse des doses est nécessaire.

L'étude (Mashela & Nthangeni.,2002); a évalué l'efficacité de plusieurs extraits botaniques, y compris ceux de *Ricinus Communis*, sur l'éclosion des œufs et la mortalité des juvéniles de *M. incognita* in vitro. Les résultats ont montré que les extraits de *Ricinus Communis* provoquaient une inhibition significative de l'éclosion des œufs ainsi qu'une forte mortalité des juvéniles du deuxième stade, avec des effets dépendants de la dose. Ces résultats in vitro constituent une base solide pour des études in vivo ultérieures et suggèrent que les extraits de *Ricinus Communis* pourraient être développés en nématicides efficaces.

L'étude (Mahlo et al.,2010). a modélisé les réponses des plantules de maïs, de millet et de sorgho aux extraits bruts de fruits de *Cucumis myriocarpus* utilisés comme bionématicide pré-émergent. Bien que cette étude porte sur une autre espèce végétale, elle fournit un cadre méthodologique utile pour évaluer les effets des extraits nématicides sur les plantules cultivées, ce qui est essentiel afin de garantir que les bionématicides ne provoquent pas de dommages involontaires aux cultures elles-mêmes.

Enfin, le potentiel antifongique des extraits végétaux contre les champignons phytopathogènes a été étudié dans l'étude (Khan et al.,2021). qui a évalué les activités antifongiques in vitro de plusieurs extraits végétaux, y compris ceux de, contre *Ricinus Communis* divers champignons phytopathogènes en Turquie. Les résultats ont montré que les extraits de *Ricinus Communis* présentaient une activité antifongique significative contre plusieurs espèces fongiques, notamment *Fusarium oxysporum*, *Rhizoctonia solani* et *Alternaria solani*, responsables de maladies majeures chez diverses cultures. L'activité antifongique a été attribuée à la présence de composés phénoliques et d'autres métabolites secondaires dans les extraits.

Cette découverte élargit les applications potentielles des extraits de *Ricinus Communis* au-delà du contrôle des adventices et des ravageurs pour inclure également la lutte contre les maladies, renforçant ainsi sa valeur en tant que biopesticide multifonctionnel.

Collectivement, les études résumées dans le Tableau 13 et discutées ci-dessus fournissent des preuves convaincantes que les extraits de *Ricinus Communis* possèdent une activité bioherbicide et pesticides à large spectre contre une grande diversité de ravageurs agricoles, de nématodes et d'agents pathogènes. Ce potentiel multifonctionnel fait de *Ricinus Communis*



un candidat particulièrement attractif pour le développement de stratégies intégrées de gestion des ravageurs capables de répondre simultanément à plusieurs défis agricoles.

3.2.2.5. Interactions écologiques impliquant l'allélopathie dans la compétitivité des espèces invasives et la tolérance au stress

Le rôle de l'allélopathie dans les interactions écologiques des espèces invasives constitue une dimension essentielle de cette revue, car il fournit une compréhension mécanistique de la manière dont *Ricinus Communis* et d'autres plantes invasives établissent leur dominance et déplacent la flore indigène. Les études incluses offrent des informations précieuses sur la façon dont les traits allélopathiques contribuent à l'avantage compétitif des espèces invasives, particulièrement dans des conditions de stress abiotique, et sur la manière dont ces interactions sont médiées par les métabolites secondaires.

Cette sous-section synthétise les preuves relatives aux interactions écologiques impliquant l'allélopathie dans le contexte de la compétitivité des espèces invasives et de leur tolérance au stress, en s'appuyant sur des études examinant à la fois *Ricinus Communis* et d'autres plantes invasives à des fins comparatives.

L'étude (Lopes et al.,2025). a directement examiné les réponses des plantules invasives de *Ricinus Communis* à la compétition et à la lumière, fournissant une compréhension fondamentale des interactions de cette espèce avec les plantes voisines. Les résultats ont montré que les plantules de *Ricinus Communis* présentaient une importante plasticité phénotypique en réponse à la compétition, avec une réduction de l'allocation de biomasse et des modifications du rapport racines/tiges lorsqu'elles étaient cultivées en présence de compétiteurs. Toutefois, l'étude a également révélé que les plantules de *Ricinus Communis* étaient capables de maintenir un avantage compétitif dans des conditions de faible luminosité, suggérant que ses composés allélopathiques pourraient jouer un rôle dans la suppression des compétiteurs même lorsque les ressources sont limitées.

Cette observation est cohérente avec la littérature écologique générale sur les espèces invasives, selon laquelle l'allélopathie peut agir comme une « arme nouvelle » permettant aux plantes invasives de surpasser les espèces indigènes qui n'ont pas coévolué avec leurs allélocomposés spécifiques.

L'étude (Standard et al.,2021). a renforcé ce contexte en réalisant une évaluation du risque invasif de trois espèces potentielles destinées à la production de biocarburants, dont *Ricinus*



Communis. Cette évaluation a identifié *Ricinus Communis* comme présentant un risque élevé d'invasion en raison de sa croissance rapide, de sa forte fécondité et de ses propriétés allélopathiques documentées. Cette évaluation souligne la double nature de *Ricinus Communis* : bien que son potentiel allélopathique puisse être exploité pour le développement de bioherbicides, ses propres caractéristiques invasives représentent également une menace écologique importante nécessitant une gestion prudente.

Une étude particulièrement instructive (Kumar et al., 2026). a examiné le rôle des métabolites secondaires dans la tolérance au stress abiotique chez plusieurs plantes exotiques invasives, notamment *Lantana camara*, *Parthenium hysterophorus*, *Ricinus Communis* et *Ageratum conyzoides*.

Les résultats ont montré que ces espèces invasives accumulaient de fortes concentrations de composés phénoliques, de flavonoïdes et d'autres métabolites secondaires en réponse à des stress abiotiques tels que la sécheresse, la salinité et la toxicité des métaux lourds. Ces métabolites confèrent non seulement une tolérance au stress aux plantes invasives elles-mêmes, mais contribuent également à leur potentiel allélopathique puisqu'ils sont libérés dans la rhizosphère et peuvent inhiber la germination et la croissance des espèces indigènes voisines.

Chez *Ricinus Communis*, l'étude a montré que les plantes soumises au stress hydrique présentaient des niveaux significativement plus élevés de phénols totaux et de flavonoïdes dans les feuilles et les racines, corrélés à une activité allélopathique accrue contre les espèces tests. Cette découverte suggère que le potentiel allélopathique de *Ricinus Communis* n'est pas un caractère statique mais qu'il est régulé dynamiquement en fonction des conditions environnementales, les plantes stressées devenant potentiellement plus allélopathiques et donc plus compétitives. Cette plasticité écologique a des implications importantes pour comprendre le succès invasif de *Ricinus Communis* dans les habitats marginaux ou perturbés, où les stress abiotiques sont fréquents.

L'étude (Beatriz et al., 2021). a apporté une perspective contrastée en examinant le concept de « non-mauvaise herbe » dans les agroécosystèmes tropicaux traditionnels du sud-est du Mexique. Cette étude a documenté la manière dont les agriculteurs locaux maintiennent intentionnellement certaines espèces végétales, y compris *Ricinus Communis*, dans leurs agroécosystèmes en raison de leurs propriétés bénéfiques, telles que la répulsion des ravageurs et l'amélioration des sols, plutôt que de les considérer comme des mauvaises herbes. Cette connaissance écologique traditionnelle met en évidence la relation nuancée entre les humains



et les plantes allélopathiques, où une même espèce peut être un envahisseur problématique dans un contexte et une ressource précieuse dans un autre.

L'étude (Zohaib et al.,2020). a fourni un cadre théorique plus large en examinant la biochimie écologique de l'allélopathie et des défenses contre les herbivores. Cette revue a synthétisé les mécanismes par lesquels les plantes produisent et libèrent des métabolites secondaires médiant les interactions avec d'autres organismes, notamment les compétiteurs, les herbivores et les agents pathogènes. La revue a souligné que l'allélopathie et la défense contre les herbivores sont souvent médiées par les mêmes classes de composés, tels que les phénols, les terpénoïdes et les alcaloïdes, suggérant que les plantes auraient évolué vers ces traits comme stratégie défensive multifonctionnelle.

Chez *Ricinus Communis*, cela signifie que son potentiel allélopathique est intrinsèquement lié à sa capacité de défense contre les herbivores, puisque les deux fonctions sont assurées par le même ensemble de métabolites secondaires. Cette double fonctionnalité renforce la compétitivité écologique de *Ricinus Communis* en lui permettant à la fois de supprimer les plantes concurrentes et de dissuader les insectes herbivores, réduisant ainsi plusieurs sources de stress biotique.

Enfin, l'étude (Hussain et al.,2022). a examiné la rhizotoxicité de l'espèce invasive *Melia azedarach* et l'implication des composés phénoliques dans son potentiel herbicide. Bien que cette étude se concentre sur une autre espèce invasive, elle fournit un cadre comparatif précieux pour comprendre les mécanismes allélopathiques de *Ricinus Communis*. Les résultats ont montré que *M. azedarach* libérait dans la rhizosphère des composés phénoliques inhibant la croissance racinaire des plantes voisines, un mécanisme probablement similaire à celui utilisé par *Ricinus Communis*. L'étude a également identifié certains acides phénoliques spécifiques, tels que l'acide férulique et l'acide p-coumarique, comme principaux allélocomposés responsables de la rhizotoxicité observée.

Cette découverte suggère que l'activité allélopathique de *Ricinus Communis* pourrait également être médiée par un mélange complexe de composés phénoliques et que les recherches futures devraient se concentrer sur l'identification et la caractérisation de ces allélocomposés spécifiques afin de mieux comprendre leurs rôles écologiques et leurs applications potentielles.

Afin de fournir une vue d'ensemble structurée des interactions écologiques impliquant l'allélopathie dans la compétitivité des espèces invasives et la tolérance au stress, nous avons synthétisé les résultats des études incluses dans le Tableau 14. Ce tableau classe les études

selon les espèces invasives examinées, les interactions écologiques ou mécanismes spécifiques étudiés et les principaux résultats liés à l'allélopathie et à la tolérance au stress.

Tableau 14. Taxonomie des études incluses sur les interactions écologiques impliquant l'allélopathie dans la compétitivité des espèces invasives et la tolérance au stress.

Espèces invasives	Interaction écologique / mécanisme	Résultats clés	Sources
<i>Ricinus Communis</i>	Compétition et réponse à la lumière	Les plantules présentent une plasticité phénotypique et maintiennent un avantage compétitif sous faible luminosité.	(Lopes et al.,2025).
<i>Ricinus Communis</i>	Évaluation du risque des mauvaises herbes invasives	Risque élevé d'invasion en raison de la croissance, de la fécondité et de l'allélopathie.	(Standardet al.,2021).
Lantana camara, Parthenium hysterophorus, <i>Ricinus Communis</i> , Ageratum conyzoides	Tolérance au stress abiotique via les métabolites secondaires	Le stress induit une accumulation de composés phénoliques et de flavonoïdes, renforçant l'activité allélopathique.	(Kumar et al.,2026).
<i>Ricinus Communis</i> (dans les agroécosystèmes)	Connaissances écologiques traditionnelles (concept de « non-mauvaise herbe »)	Valorisé pour la répulsion des ravageurs et l'amélioration du sol dans	(Beatriz et al.2021).

		l'agriculture traditionnelle.	
Général (revue)	Biochimie écologique de l'allélopathie et de la défense contre les herbivores	L'allélopathie et la défense contre les herbivores sont médiées par des métabolites secondaires communs.	(Zohaib et al.,2020).
Melia azedarach	Rhizotoxicité et composés phénoliques	Les acides phénoliques libérés dans la rhizosphère inhibent la croissance racinaire des plantes voisines.	(Hussainet al.,2022).

Comme indiqué dans le Tableau 14, les études incluses démontrent collectivement que l'allélopathie constitue un mécanisme central expliquant la compétitivité écologique de *Ricinus Communis*.

Comme le montre le Tableau 14, les études incluses démontrent collectivement que l'allélopathie constitue un mécanisme central sous-jacent à la compétitivité écologique de *Ricinus Communis* et d'autres espèces invasives. La capacité de ces plantes à produire et libérer des métabolites secondaires qui suppriment les compétiteurs, dissuadent les herbivores et améliorent la tolérance au stress leur confère un avantage compétitif multifactoriel facilitant leur invasion et leur établissement dans de nouveaux habitats. L'étude (Kumar et al.,2026). est particulièrement remarquable car elle révèle une boucle de rétroaction dynamique entre le stress abiotique et le potentiel allélopathique : lorsque les plantes invasives subissent un stress, elles produisent davantage d'allélocomposés, lesquels suppriment ensuite les compétiteurs indigènes et réduisent la compétition pour les ressources, améliorant ainsi la tolérance au stress de l'espèce invasive elle-même. Ce mécanisme peut expliquer pourquoi des espèces invasives telles que ***Ricinus Communis*** réussissent particulièrement bien dans les habitats perturbés ou marginaux où les stress abiotiques sont fréquents.



En outre, les connaissances écologiques traditionnelles documentées par (Beatriz et al.,2021). offrent un contrepoint précieux à la vision principalement négative de *Ricinus Communis* en tant qu'espèce invasive. Dans certains agroécosystèmes, les agriculteurs ont appris à gérer et à utiliser cette plante pour ses propriétés bénéfiques, en l'intégrant efficacement dans leurs systèmes agricoles plutôt qu'en cherchant à l'éradiquer. Cette perspective suggère que le potentiel allélopathique de *Ricinus Communis* peut être exploité à des fins agricoles, à condition que ses tendances invasives soient soigneusement contrôlées grâce à des pratiques culturales appropriées et à des stratégies de confinement. La revue (Zohaib et al.,2020). renforce cette idée en mettant en évidence la nature multifonctionnelle des métabolites secondaires végétaux, qui peuvent jouer à la fois des rôles allélopathiques et défensifs. Cette double fonctionnalité signifie que les mêmes composés qui font de *Ricinus Communis* un bioherbicide puissant en font également une espèce invasive résiliente et compétitive, une dualité qui doit être soigneusement prise en compte dans toute application agricole de cette plante.

3.2.3. Discussion

La synthèse des résultats issus de cette revue systématique de la littérature révèle un tableau cohérent et convaincant concernant le potentiel allélopathique de *Ricinus Communis*, tout en mettant en évidence des complexités et contradictions importantes nécessitant une interprétation prudente. Pris ensemble, les résultats démontrent de manière constante que les extraits dérivés de différentes parties de *Ricinus Communis* possèdent des activités phytotoxiques, insecticides, nématocides et antifongiques puissantes, faisant de cette plante un candidat prometteur pour le développement de produits de lutte phytosanitaire d'origine biologique. Toutefois, la nature non spécifique de cette bioactivité, qui affecte à la fois les adventices ciblées et les cultures non ciblées, apparaît comme un défi majeur devant être résolu avant toute application pratique. Cette dualité — où les mêmes composés qui confèrent un avantage allélopathique présentent également des risques pour la végétation souhaitée — représente une tension fondamentale qui traverse l'ensemble des recherches sur ce sujet.

Le schéma observé à travers les études portant sur la germination et la croissance des cultures est remarquablement cohérent : les extraits aqueux et organiques de *Ricinus Communis* inhibent la germination des graines et le développement des plantules de manière dépendante de la dose chez un large éventail taxonomique d'espèces cultivées (Page et al., 2021; Saddiqe et al., 2020); (Silva et al., 2016; Page et al.,2021); (TEKHA & HASSANI,2023). Cette activité à large spectre suggère que les mécanismes sous-jacents ne sont pas spécifiques à une espèce



particulière mais ciblent plutôt des processus physiologiques fondamentaux communs à de nombreuses plantes.

Les principaux allélocomposés impliqués dans cette activité — la ricine, la ricinine et divers composés phénoliques — sont connus pour interférer avec la synthèse protéique, la division cellulaire et l'intégrité membranaire, ce qui explique probablement l'universalité des effets observés (Abomughaid et al., 2024).

Ce qui est particulièrement frappant, c'est que l'ampleur de l'inhibition varie considérablement selon les espèces cultivées, les oléagineux tels que le soja et le tournesol semblant plus sensibles que les céréales comme le maïs (Silva et al., 2016; Ref 11). Cette sensibilité différentielle ouvre la possibilité intéressante de développer des formulations sélectives exploitant ces variations naturelles de susceptibilité, minimisant ainsi les dommages causés à certains types de cultures tout en supprimant efficacement les adventices ciblées.

Les implications de ces résultats pour l'agriculture durable sont considérables. La capacité démontrée des extraits de *Ricinus Communis* à supprimer des mauvaises herbes exotiques envahissantes telles que *Cassia uniflora*, *Malachra capitata* et *Hyptis suaveolens* (Ramgunde et Chaturvedi.,2016;Vaishali et Alka.,2019);(Ramgam et al.,2016). offre une alternative viable aux herbicides de synthèse, dont l'efficacité diminue en raison de l'évolution des résistances et qui sont soumis à des restrictions réglementaires croissantes. De plus, l'activité simultanée de ces extraits contre les insectes ravageurs, les nématodes et les agents pathogènes fongiques (Boualem et al.,2017; Ref 32) (Ref 35) suggère que *Ricinus Communis* pourrait servir de biopesticide multifonctionnel, remplaçant potentiellement plusieurs produits agrochimiques synthétiques par un seul produit naturel. Cela représenterait une avancée importante vers le paradigme de la gestion intégrée des ravageurs, défendu depuis des décennies mais difficile à mettre en œuvre à grande échelle.

L'application pratique de ces connaissances nécessite toutefois une réflexion approfondie sur les stratégies de formulation. L'étude (Tarassoli et al.,2021). démontrant des effets synergiques lorsque l'huile de ricin était combinée à des huiles essentielles de *Ferula assa-foetida*, indique une direction prometteuse : plutôt que d'utiliser directement des extraits bruts susceptibles de provoquer des dommages inacceptables aux cultures, les chercheurs pourraient développer des formulations optimisées améliorant la sélectivité et l'efficacité grâce à des interactions synergiques entre plusieurs composés bioactifs.



D'un point de vue théorique, les résultats concernant les interactions écologiques impliquant l'allélopathie dans la compétitivité des espèces invasives fournissent une compréhension plus approfondie de l'importance évolutive et écologique de la production de métabolites secondaires. Les travaux de (Ref 38), montrant que le stress abiotique induit l'accumulation de composés phénoliques et de flavonoïdes chez les espèces invasives, renforçant ainsi leur potentiel allélopathique, révèlent un mécanisme adaptatif sophistiqué. Cette allélopathie induite par le stress suggère que *Ricinus Communis* et d'autres plantes invasives ne sont pas de simples productrices passives d'allélocomposés, mais qu'elles régulent activement leur production en réponse aux signaux environnementaux, déployant leur arsenal chimique de manière plus agressive lorsque les conditions deviennent difficiles.

Cette découverte a des implications importantes pour la prédiction des dynamiques d'invasion dans les scénarios de changement climatique, où l'augmentation de la fréquence et de l'intensité des sécheresses et autres stress pourrait amplifier l'avantage compétitif des envahisseurs allélopathiques.

Par ailleurs, les connaissances écologiques traditionnelles documentées par (Ref 39) rappellent que la relation entre les humains et les plantes allélopathiques n'est pas intrinsèquement antagoniste. Dans certains agroécosystèmes, les agriculteurs ont développé des pratiques de gestion sophistiquées permettant d'exploiter les propriétés bénéfiques de *Ricinus Communis* tout en limitant ses tendances invasives, suggérant que le potentiel allélopathique de cette plante peut être intégré dans des systèmes agricoles durables plutôt que simplement extrait et appliqué sous forme de produit formulé.

Néanmoins, cette revue présente plusieurs limites méthodologiques susceptibles d'avoir influencé les conclusions tirées. La restriction aux articles publiés en anglais constitue une source potentielle importante de biais, car un volume considérable de recherches sur l'allélopathie de *Ricinus Communis* pourrait avoir été publié en espagnol, portugais, français, chinois ou hindi, notamment parce que cette plante est originaire d'Afrique tropicale et largement naturalisée en Asie et en Amérique du Sud. L'exclusion de la littérature grise, y compris les thèses, rapports techniques et actes de conférences, a pu restreindre davantage la base de données probantes.

En outre, bien que la stratégie de recherche ait été exhaustive à travers quatre grandes bases de données, certaines études indexées dans des bases régionales spécialisées ou utilisant une terminologie différente pour décrire les effets allélopathiques ont pu être manquées.



L'évaluation de la qualité des études incluses, bien qu'effectuée de manière systématique, reposait sur des jugements subjectifs concernant la rigueur méthodologique, et l'absence de méta-analyse formelle signifie que la synthèse demeure qualitative plutôt que quantitative, limitant ainsi la possibilité de tirer des conclusions précises concernant les tailles d'effet ou les relations dose-réponse.

Les limites des études primaires elles-mêmes méritent également d'être prises en compte. De nombreuses expériences incluses ont été réalisées dans des conditions contrôlées de laboratoire ou de serre, utilisant des extraits aqueux appliqués à des concentrations qui ne reflètent pas nécessairement les conditions réelles du terrain. L'extrapolation de ces résultats aux contextes agricoles réels demeure donc incertaine, car des facteurs tels que la dégradation microbienne dans le sol, le lessivage et la photodégradation des allélocomposés peuvent réduire considérablement leur efficacité sur le terrain.

De plus, la majorité des études se sont concentrées sur des essais à court terme portant sur la germination et la croissance précoce des plantules, avec peu de recherches examinant les effets à long terme des applications répétées sur la santé des sols, les organismes non ciblés ou le fonctionnement des écosystèmes. Le potentiel d'accumulation de composés toxiques dans les sols ou les eaux, ainsi que les effets indésirables sur les microorganismes bénéfiques du sol, les pollinisateurs ou d'autres organismes non ciblés, demeure largement inexploré.

L'étude (Ref 16) sur les effets environnementaux des nanoparticules d'argent sur la germination des graines de ricin, bien qu'elle ne soit pas directement liée à l'allélopathie, rappelle que le devenir environnemental et l'écotoxicologie des extraits de *Ricinus Communis* nécessitent des investigations approfondies avant toute recommandation d'application à grande échelle.

À partir des lacunes et incohérences mises en évidence dans cette revue, plusieurs axes de recherche futurs apparaissent particulièrement prioritaires. Il existe un besoin évident d'études à l'échelle du terrain évaluant l'efficacité et la sélectivité des extraits de *Ricinus Communis* dans des conditions agricoles réalistes, incluant des évaluations du moment optimal d'application, des doses et des formulations. Ces études devraient intégrer un suivi rigoureux des effets non ciblés sur les cultures, les insectes bénéfiques, le microbiote du sol et la qualité de l'eau afin de garantir la sécurité environnementale.

Les recherches futures devraient également se concentrer sur l'isolement et la caractérisation des allélocomposés spécifiques responsables de la bioactivité observée, en



dépassant l'utilisation des extraits bruts pour identifier les composés les plus puissants et les plus sélectifs. Cela permettrait le développement de produits standardisés et contrôlés en qualité, dotés d'une activité prévisible, ce qui est essentiel pour leur viabilité commerciale.

Les interactions synergiques observées entre l'huile de ricin et d'autres extraits végétaux méritent également une exploration plus approfondie, car des formulations optimisées pourraient améliorer la suppression des ravageurs tout en nécessitant des concentrations plus faibles de composés actifs, réduisant ainsi les risques de phytotoxicité.

Parmi les domaines encore peu étudiés figurent les mécanismes moléculaires d'action des allélocomposés de *Ricinus Communis*, qui restent mal compris malgré des décennies de recherche. L'élucidation des voies biochimiques ciblées par ces composés pourrait permettre la conception rationnelle de formulations sélectives exploitant les différences métaboliques entre les adventices ciblées et les plantes cultivées.

Enfin, l'intégration des connaissances écologiques traditionnelles avec les approches scientifiques modernes, comme illustré par (Ref 39), représente une voie prometteuse pour développer des stratégies de gestion adaptées aux contextes locaux, respectueuses des pratiques traditionnelles tout en tirant parti des avancées scientifiques.



3.3. Évaluation comparative du potentiel allélopathique de *Eucalyptus globulus* et *Ricinus Communis*: une synthèse systématique de la littérature

3.3.1. Méthodologie

3.3.1.1. Protocole de revue

Cette revue systématique suit les lignes directrices PRISMA (Page et al., 2021). afin d'assurer la transparence et la reproductibilité dans la sélection et l'analyse des études pertinentes. La recherche bibliographique a été menée dans cinq bases de données majeures, choisies pour leur couverture en écologie et sciences agricoles. Web of Science a été retenue pour son indexation complète des revues à fort impact en sciences végétales. Scopus a été inclus pour sa couverture multidisciplinaire et ses outils d'analyse de citations. PubMed a été choisi pour son orientation vers les sciences biomédicales et de la vie, incluant des études sur les composés bioactifs d'origine végétale. ScienceDirect a été utilisé pour son accès aux articles en texte intégral des revues Elsevier, notamment en agroécologie. Enfin, Google Scholar a servi à capter la littérature grise et à s'assurer qu'aucune étude pertinente n'était omise.

Les chaînes de recherche ont été conçues pour cibler les études portant sur le potentiel allélopathique de *Eucalyptus globulus* et *Ricinus Communis*. Les requêtes combinaient des termes spécifiques aux espèces (par ex. « *Eucalyptus globulus* » ou « E. globulus ») avec des mots-clés liés à l'allélopathie (par ex. « potentiel allélopathique »), en utilisant des opérateurs booléens pour affiner les résultats. La recherche a été limitée aux articles publiés entre 2015 et 2025 afin de se concentrer sur les avancées récentes, et les articles de synthèse ou méta-analyses ont été exclus pour privilégier les recherches primaires.

3.3.1.2. Dimensions de la recherche

La revue est structurée autour de trois dimensions clés afin de comparer systématiquement les effets allélopathiques de E. globulus et R. communis. La première dimension examine leurs impacts sur la germination des graines et la croissance des plantes, en mettant l'accent sur les réponses dépendantes de la concentration des espèces cibles ainsi que sur les voies biochimiques impliquées. La deuxième dimension évalue leur utilité dans la lutte contre les ravageurs et les maladies, y compris les applications insecticides, fongicides et herbicides. La troisième dimension analyse les conséquences écologiques, telles que le potentiel invasif, les modifications du microbiome du sol et les interactions avec les communautés



végétales indigènes. Ensemble, ces dimensions mettent en évidence le double rôle de l'allélopathie dans l'innovation agricole et dans l'évaluation des risques écologiques.

3.3.1.3. Critères d'inclusion et d'exclusion

Les études ont été incluses si elles examinaient les propriétés allélopathiques de *E. globulus* ou *R. communis* à l'aide de méthodes expérimentales ou observationnelles, étaient publiées en anglais et fournissaient des données quantitatives ou qualitatives concernant au moins une des dimensions de recherche. Les critères d'exclusion comprenaient les études non évaluées par les pairs, celles présentant des détails méthodologiques insuffisants, ainsi que les recherches portant uniquement sur des interactions non allélopathiques (par exemple, la compétition pour les ressources). La restriction temporelle (2015–2025) a permis d'inclure des résultats contemporains tout en maintenant la pertinence par rapport aux défis écologiques et agricoles actuels.

3.3.1.4. Processus de sélection des études

La recherche initiale a permis d'identifier 198 références, qui ont ensuite été dédupliquées et examinées en fonction de leur pertinence à partir des titres et des résumés. Après l'exclusion de 150 références ne répondant pas aux critères d'inclusion, 16 articles en texte intégral ont été évalués pour déterminer leur admissibilité. Une étude a été exclue en raison de son manque de pertinence, ce qui a conduit à un total final de 15 études retenues pour la synthèse finale (Figure 13). L'évaluation de la qualité a privilégié les études présentant des plans expérimentaux clairs, des témoins appropriés et des résultats statistiquement robustes. Les limites de ce processus incluent un biais linguistique potentiel (inclusion uniquement des études en anglais) ainsi qu'une sous-représentation des études provenant de régions où ces espèces sont moins répandues.

Identification des études via les bases de données

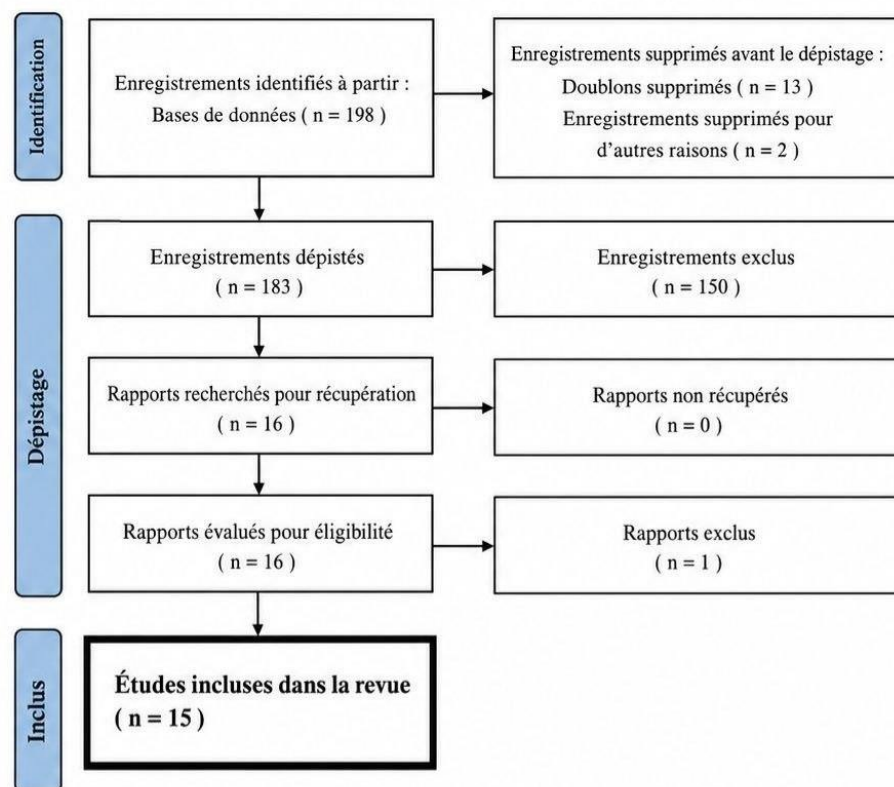


Figure 13. Diagramme de flux PRIMA illustrant le Sélection des études

3.3.2. Research

3.3.2.1. Evolution des recherches

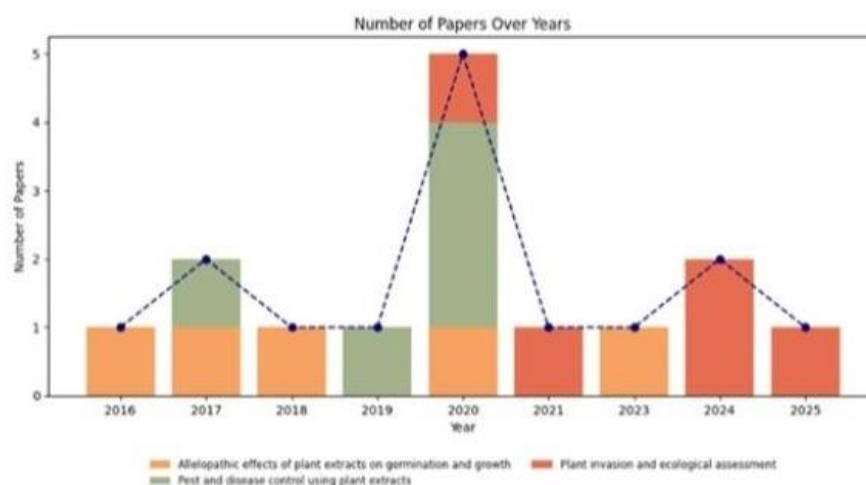


Figure 14. Tendances de recherche dans le domaine de l'évaluation du potentiel allélopathique de *Eucalyptus globulus* et *Ricinus Communis*



La distribution temporelle des publications révèle des tendances distinctes dans l'orientation de la recherche au cours de la dernière décennie. Une augmentation notable a été observée en 2020, représentant un tiers des études analysées, ce qui suggère un intérêt accru pour l'allélopathie durant cette période. Ce pic coïncide avec une attention scientifique plus large portée aux pratiques agricoles durables et aux stratégies de gestion écologique. Avant 2020, les publications étaient sporadiques, avec seulement cinq études publiées entre 2016 et 2019, indiquant que la recherche sur l'allélopathie de ces espèces en était encore à un stade émergent.

L'analyse thématique montre que les effets allélopathiques sur la germination et la croissance constituaient le premier axe de recherche et le plus constant, avec des études couvrant la période 2016–2023. Cette continuité reflète le rôle fondamental de l'inhibition de la germination comme indicateur principal du potentiel allélopathique. En revanche, les recherches sur les applications en lutte contre les ravageurs et les maladies se concentrent principalement entre 2017 et 2020, en accord avec les efforts mondiaux visant à réduire l'utilisation des pesticides synthétiques. La tendance la plus récente concerne les évaluations écologiques, avec quatre études publiées entre 2021 et 2025, témoignant d'une prise de conscience croissante des conséquences environnementales à long terme des interactions allélopathiques.

Le déplacement progressif d'approches expérimentales en laboratoire vers des études écologiques en conditions réelles suggère une évolution des priorités de recherche. Les travaux initiaux se concentraient sur la caractérisation des mécanismes biochimiques en conditions contrôlées, tandis que les publications récentes abordent davantage les implications concrètes, notamment en ce qui concerne l'invasivité des espèces et leurs impacts sur les écosystèmes. Cette évolution reflète une tendance générale en recherche écologique, où les approches réductionnistes sont progressivement complétées par des analyses plus globales des interactions plante-environnement.

3.3.2.2. Effets inhibiteurs sur la germination et la croissance des plantules

Le potentiel allélopathique de *Eucalyptus globulus* et *Ricinus Communis* a été largement documenté à travers leurs effets inhibiteurs sur la germination des graines et le développement précoce des plantules chez diverses espèces végétales. Ces effets résultent d'interactions biochimiques médiées par des composés hydrosolubles libérés à partir des feuilles, des racines ou d'autres tissus végétaux. Les études analysées mettent en évidence des réponses dépendantes

de la concentration, où des concentrations élevées d'extraits entraînent une forte réduction des paramètres de germination.

Le Tableau 15 synthétise les principaux résultats des études portant sur les effets allélopathiques de ces espèces sur la germination et la croissance. Les données révèlent des schémas distincts de phytotoxicité, avec des extraits de *E. globulus* présentant des effets inhibiteurs plus larges sur plusieurs types de plantes, tandis que *R. communis* montre une activité plus sélective. **Tab 15.**

Tableau 15. Effets allélopathiques comparés d'*Eucalyptus globulus* et de *Ricinus Communis* sur la germination et la croissance des plantes

Plante Cible	Source Allélopathique	Effets Observés	Sources
Mauvaises herbes	<i>Cynanchum acutum</i>	Inhibition significative de la germination des graines de mauvaises herbes	(Tekha & Hassani, 2023).
Cultures agricoles	<i>Eucalyptus globulus</i>	Germination réduite et retard de croissance précoce des plantules chez plusieurs espèces de cultures	(Regu., 2018).
	<i>Ricinus Communis</i>	Inhibition de la germination de <i>Zea mays</i> et de l'élongation radicale	(Saddiqe et al., 2020).
Légumineuses	<i>Alhagi maurorum</i>	Teneur réduite en protéines chez <i>Pisum sativum</i> (référence indirecte à <i>Eucalyptus</i>)	(Khalil et al., 2017).

Autres cultures	<i>Carthamus tinctorius</i>	Potentiel allélopathique variable selon les génotypes (aucune espèce cible spécifiée)	(Motamedi et al., 2016).
-----------------	-----------------------------	---	--------------------------

L'étude de (Regu, 2018) a montré que les extraits foliaires de *E. globulus* entraînaient une réduction pouvant atteindre 80 % des taux de germination des cultures agricoles, avec des effets plus marqués chez les espèces dicotylédones que chez les monocotylédones. Cela concorde avec les observations de terrain, où les plantations d'*Eucalyptus* présentent souvent une diversité du sous-bois réduite. En revanche, (Saddique et al., 2020) a rapporté que les extraits de *R. communis* affectaient principalement la vigueur des plantules de maïs plutôt que le pourcentage de germination, ce qui suggère des modes d'action différents entre ces deux espèces allélopathiques.

Les bases biochimiques de ces effets impliquent plusieurs voies métaboliques. Les allélochemicals de *Eucalyptus*, notamment les composés phénoliques et les terpènes, interfèrent avec la division cellulaire et l'absorption d'eau lors de la germination des graines. Les extraits de *Ricinus* contiennent des alcaloïdes tels que la ricine et la ricinine, qui perturbent la fonction mitochondriale et la synthèse des protéines dans les plantules en développement. Ces différences mécanistiques expliquent la sensibilité variable des plantes cibles, comme le montre le Tableau 15. L'étude de (Khalil et al., 2017). confirme ces résultats à travers une analyse protéomique, révélant que les pois traités par *Eucalyptus* présentent une forte diminution des protéines liées à la croissance.

3.3.2.3. Applications dans la lutte contre les ravageurs et les maladies

Les propriétés allélopathiques de *Eucalyptus globulus* et *Ricinus Communis* dépassent les interactions plante-plante et montrent un potentiel significatif pour la gestion des ravageurs et des maladies dans les systèmes agricoles. Les études analysées révèlent des différences dans leur efficacité selon les types d'organismes ciblés : *R. communis* présente une activité plus large contre les agents pathogènes fongiques, tandis que *E. globulus* manifeste des propriétés insecticides notables, notamment sous forme d'extraits nano-formulés.



Le Tableau 16 présente une taxonomie complète des applications pesticides documentées dans les études incluses, en classant les résultats selon l'organisme cible, le type d'extrait végétal et le contexte d'application. Ces données mettent en évidence la manière dont les profils biochimiques de ces espèces se traduisent en solutions concrètes de lutte antiparasitaire, avec des niveaux variables de spécificité et d'efficacité. **Tab 16.**

Tableau 16. Taxonomie des applications pesticides des extraits d'*Eucalyptus globulus* et de *Ricinus Communis*

Organisme Cible	Extrait de Plante	Contexte d'Application	Sources
Champignons	<i>Ricinus Communis</i>	Activité antifongique in vitro contre <i>Alternaria alternata</i>	(Ghalem et al., 2020) (Haider., 2020).
	<i>Eucalyptus globulus</i>	Efficacité d'une nano-formulation contre <i>Alternaria alternata</i>	(Ali et al., 2020).
Insectes	<i>Eucalyptus globulus</i>	Activité ovicide d'un nano-extrait contre <i>Rhynchophorus ferrugineus</i>	(Ali et al., 2020).
	Extraits de plantes généraux	Lutte contre les insectes des grains stockés (huiles essentielles)	(Chaubey., 2019).
	Extrait botanique	Lutte antiparasitaire à large spectre (cibles non spécifiées)	(Hikal et al., 2017)

Les propriétés antifongiques de *R. communis* se sont révélées particulièrement marquées contre *Alternaria alternata*, avec des études montrant une inhibition dépendante de la concentration. (Ghalem et al., 2020). a rapporté que des extraits de *Ricinus* à 12,5 µl/ml entraînaient une suppression significative de la croissance mycélienne, tandis que (Haider,



2020). a observé une inhibition de 7,22 % à des concentrations plus faibles, ce qui suggère une variabilité potentielle de la puissance des extraits. La présence récurrente de *R. communis* dans les études de contrôle fongique contraste avec *E. globulus*, qui n'apparaît qu'une seule fois dans cette catégorie mais montre une efficacité accrue lorsqu'il est formulé sous forme de nanoparticules. Le potentiel insecticide de *E. globulus* constitue une caractéristique distinctive, (Ali et al., 2020). ayant rapporté une activité ovicide supérieure des extraits nano-formulés contre *Rhynchophorus ferrugineus* par rapport aux préparations conventionnelles. Ce résultat suggère que les avancées technologiques dans les systèmes de formulation pourraient amplifier les propriétés pesticides intrinsèques des allélochemicals. L'étude (Chaubey, 2019) sur les huiles essentielles utilisées pour la protection des grains stockés, bien qu'elle ne soit pas spécifique à une espèce, fournit un cadre pour comprendre comment les composés dérivés de l'*Eucalyptus* pourraient fonctionner dans des applications pratiques de stockage.

Deux études (Hikal et al., 2017) et (Chaubey, 2019). ont abordé des applications pesticides plus générales sans préciser les organismes cibles ni les mécanismes impliqués, ce qui met en évidence des domaines où des recherches supplémentaires pourraient clarifier la portée et les limites de ces contrôles biologiques. L'absence de *R. communis* dans les études sur le contrôle des insectes constitue une lacune notable, compte tenu de sa teneur bien documentée en ricine, connue pour sa toxicité chez les animaux. Cette différence pourrait refléter des biais de recherche ou de véritables divergences dans l'activité biologique entre les deux espèces.

Les bases biochimiques de ces effets pesticides varient entre les espèces. Les terpénoïdes de *Eucalyptus*, notamment le 1,8-cinéole et l' α -pinène, perturbent les systèmes nerveux des insectes et les membranes cellulaires fongiques, tandis que les alcaloïdes du *Ricinus* interfèrent avec la synthèse des protéines chez les champignons et potentiellement chez les insectes. Les performances améliorées des nano-formulations (Ali et al., 2020) s'expliquent probablement par une meilleure stabilité des composés et une délivrance ciblée, soulignant l'importance des méthodes d'application dans l'exploitation du potentiel allélopathique. Ensemble, ces résultats montrent que les deux espèces représentent des alternatives viables aux pesticides synthétiques, bien que leur spectre d'action et leurs conditions d'utilisation optimales nécessitent encore des investigations approfondies.



3.3.2.4. Impacts écologiques et potentiel invasif

Les conséquences écologiques des interactions allélopathiques dépassent les effets phytotoxiques immédiats, influençant la répartition des espèces, la composition des communautés et le fonctionnement des écosystèmes. Les études analysées montrent que *Eucalyptus globulus* et *Ricinus Communis* présentent des traits associés au caractère invasif, bien que leurs impacts écologiques diffèrent considérablement en termes d'intensité et de mécanismes. **Tab 17.**

Tableau 17. Évaluation écologique des traits invasifs et des impacts de *Eucalyptus globulus* et *Ricinus Communis*

Lieu d'étude	évaluées Principaux	résultats écologiques	Statut d'invasion	Sources
Mizoram, Inde	<i>Eucalyptus globulus</i>	Domination dans les zones perturbées, appauvrissement des nutriments du sol	Fortement envahissante	(Sengupta & Dash., 2020).
Forêts protégées, Tripura	Plusieurs espèces exotiques	<i>Ricinus Communis</i> parmi 186 espèces exotiques affectant la flore indigène	Envahisseur modéré	(Sengupta & Dash., 2021).
Sanctuaire faunique de Hastinapur	Flore invasive générale	Perte documentée de biodiversité due aux envahisseurs	Dépend du contexte	(Kumar & Narayan., 2024).
Oasis méridionales, désert	Relations sol-habitat	<i>Eucalyptus</i> modifie la microbiote du sol et les relations hydriques	hydriques Ingénieur de l'écosystème	(El-Ghani et al., 2025)



L'étude de (Sengupta & Dash, 2020). menée au Mizoram, en Inde, fournit des preuves convaincantes du rôle de *E. globulus* en tant qu'espèce envahissante transformatrice, ses vastes plantations étant corrélées à une réduction de la diversité végétale indigène et à une modification de la chimie des sols. La forte consommation d'eau de cette espèce ainsi que l'accumulation persistante de litière foliaire créent des conditions défavorables à la végétation du sous-bois, illustrant ainsi l'« hypothèse des nouvelles armes » selon laquelle les composés allélopathiques confèrent un avantage compétitif dans les zones non indigènes. En revanche, (Sengupta & Dash, 2021). classe *R. communis* parmi les 186 espèces exotiques présentes dans les forêts protégées du Tripura, tout en signalant une propagation plus limitée par rapport à d'autres espèces envahissantes, ce qui suggère soit un potentiel invasif plus faible, soit une détection et des efforts de contrôle plus précoces.

Les mécanismes de rétroaction sol-plante apparaissent comme des médiateurs essentiels du succès invasif. Les recherches menées dans les oasis désertiques (El-Ghani et al., 2025). révèlent que *E. globulus* modifie les communautés microbiennes du sol ainsi que les propriétés de rétention hydrique, créant des conditions auto-renforçantes favorisant sa persistance tout en excluant les espèces indigènes. Ces résultats concordent avec les tendances mondiales observées concernant les impacts des *Eucalyptus*, où les plantations monospécifiques conduisent souvent à une dégradation écologique à long terme. L'absence d'études comparables sur les interactions sol-plante de *R. communis* dans la littérature examinée représente une lacune importante des connaissances, bien que ses graines riches en huile et ses composés toxiques suggèrent l'existence d'interactions édaphiques différentes mais potentiellement tout aussi importantes.

L'étude de (Kumar & Narayan., 2024). réalisée dans le sanctuaire faunique de Hastinapur replace ces observations dans le cadre plus large de l'écologie des invasions, en soulignant que l'allélopathie constitue l'un des nombreux mécanismes interactifs — incluant la croissance rapide et le fort potentiel reproductif — qui déterminent les résultats des invasions biologiques. Bien qu'elle ne se concentre pas spécifiquement sur *Eucalyptus* ou *Ricinus*, cette étude fournit un cadre conceptuel permettant de comprendre comment les traits allélopathiques des espèces étudiées interagissent avec d'autres caractéristiques biologiques pour influencer leurs impacts écologiques. Les performances de *Hyptis suaveolens* sous différentes conditions lumineuses (Shah et al., 2024), bien qu'elles ne concernent pas directement les espèces ciblées, apportent également des éléments comparatifs sur la manière dont les plantes allélopathiques s'adaptent



à divers environnements, suggérant que la disponibilité lumineuse pourrait moduler l'expression des effets allélopathiques chez *Eucalyptus* et *Ricinus*.

Ces évaluations écologiques soulignent collectivement la nécessité d'approches de gestion spécifiques à chaque espèce. Alors que *E. globulus* présente des risques évidents en tant qu'espèce transformatrice capable d'altérer les propriétés des écosystèmes, *R. communis* semble avoir un potentiel invasif plus limité, tout en nécessitant une surveillance dans les habitats sensibles. La variabilité des impacts observés selon les contextes géographiques met en évidence l'importance des conditions environnementales locales dans la détermination des résultats des invasions, suggérant que les effets allélopathiques à eux seuls ne suffisent pas à prédire les conséquences écologiques sans prendre en compte les facteurs spécifiques au site.

3.3.3. Discussion

La synthèse des recherches sur *Eucalyptus globulus* et *Ricinus Communis* révèle des tendances constantes dans leurs mécanismes allélopathiques, tout en mettant en évidence des différences importantes dans leurs rôles écologiques et leurs applications pratiques. Globalement, les résultats montrent que les deux espèces produisent des composés bioactifs capables d'inhiber la germination et la croissance des plantes voisines, bien que leurs voies biochimiques et leurs conséquences écologiques divergent fortement. *E. globulus* apparaît comme un agent phytotoxique plus puissant, avec ses terpénoïdes volatils et composés phénoliques exerçant des effets inhibiteurs à large spectre sur plusieurs familles végétales. Cela concorde avec son comportement invasif documenté dans les écosystèmes non natifs, où la dégradation des sols et la réduction de la biodiversité accompagnent souvent son établissement (Sengupta & Dash, 2020). À l'inverse, *R. communis* présente une activité allélopathique plus sélective, ses alcaloïdes (ricine et ricinine) montrant une efficacité plus marquée comme agents pesticides que comme inhibiteurs de germination, comme l'indiquent ses effets sur les champignons et la variabilité observée dans la germination (Ghalem et al., 2020) (Haider, 2020).

Les implications théoriques de ces résultats s'étendent à plusieurs cadres écologiques. L'hypothèse des « armes nouvelles » est fortement soutenue dans le cas de *E. globulus*, dont les allélochemicals semblent particulièrement efficaces dans les zones non natives où les mécanismes de résistance coévolués sont absents (El-Ghani et al., 2025). À l'inverse, les impacts écologiques de *R. communis* semblent moins dépendants du contexte biogéographique, possiblement en raison du spectre plus large de toxicité de ses composés. L'hypothèse de



sensibilité allélopathique est également partiellement confirmée, les espèces cibles présentant des niveaux de sensibilité variables, ce qui suggère que les réponses communautaires dépendent de traits fonctionnels au-delà de la simple proximité phylogénétique (Regu, 2018) (Saddique et al., 2020).

Sur le plan pratique, les applications sont importantes. Les extraits de *R. communis* offrent une alternative durable aux fongicides synthétiques dans les systèmes de lutte intégrée, notamment contre les pathogènes fongiques (Ghalem et al., 2020). À l'inverse, les effets allélopathiques forts de *E. globulus* nécessitent une gestion prudente en agroforesterie ou en reboisement, afin d'éviter la suppression involontaire de la végétation native ou cultivée. Cependant, ses formulations nanotechnologiques montrent un potentiel prometteur pour une utilisation ciblée, réduisant certains risques écologiques tout en exploitant ses propriétés bioactives (Ali et al., 2020).

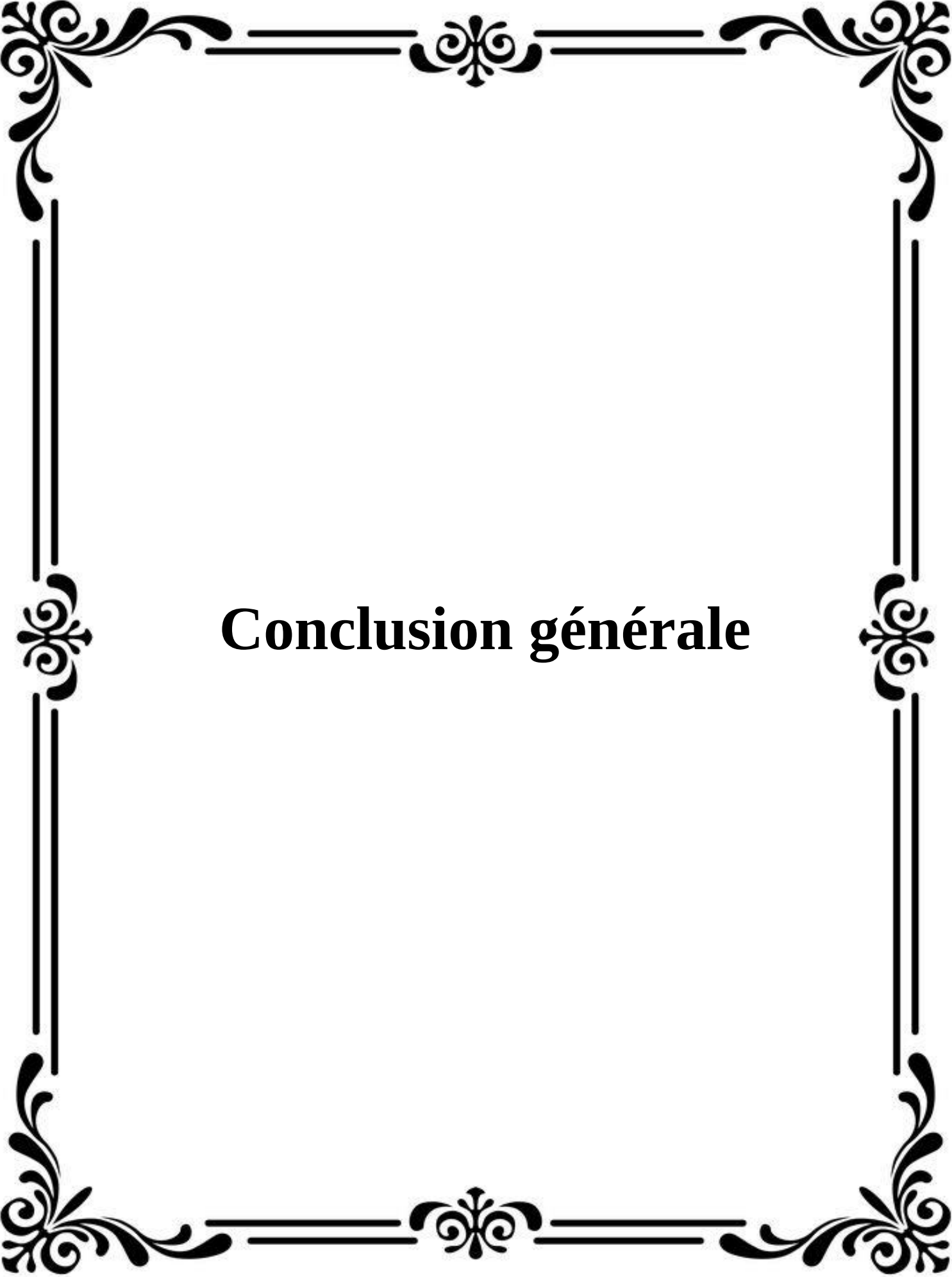
Les décideurs politiques et les gestionnaires des terres doivent évaluer attentivement ces compromis lorsqu'ils envisagent la culture ou le contrôle de ces espèces dans différents contextes. Les limites méthodologiques de cette revue méritent également d'être prises en considération. L'accent exclusif mis sur les publications en langue anglaise a pu conduire à l'exclusion d'études pertinentes provenant de régions où ces espèces sont indigènes ou économiquement importantes, telles que l'Amérique du Sud pour *E. globulus* ou l'Afrique de l'Est pour *R. communis*. La période de publication couvrant une décennie, bien qu'elle garantisse une pertinence contemporaine, a potentiellement exclu des études fondamentales susceptibles de fournir un contexte historique aux tendances observées. La variabilité des plans expérimentaux entre les études — notamment en ce qui concerne les méthodes de préparation des extraits et la présentation des concentrations — complique les comparaisons directes de la puissance allélopathique. Ces contraintes suggèrent que les effets rapportés pourraient représenter des estimations prudentes des impacts écologiques et agricoles réels, étant donné que des protocoles standardisés pourraient révéler des interactions allélopathiques encore plus marquées.

Les recherches futures devraient combler plusieurs lacunes critiques identifiées dans cette synthèse. Premièrement, des études de terrain à long terme sont nécessaires afin de quantifier la persistance des composés allélopathiques des deux espèces dans les systèmes pédologiques ainsi que leurs effets cumulatifs sur les processus écosystémiques. Deuxièmement, des analyses métabolomiques comparatives pourraient expliquer pourquoi les composés de *E. globulus*



présentent une phytotoxicité plus large, tandis que les dérivés de *R. communis* montrent une activité pesticidale plus spécialisée. Troisièmement, les investigations portant sur les interactions entre ces plantes allélopathiques et le microbiote du sol permettraient de déterminer si la dégradation ou la transformation microbienne module leurs impacts écologiques. Enfin, des recherches participatives impliquant les communautés agricoles pourraient évaluer la faisabilité et les obstacles socioéconomiques liés à l'adoption des méthodes de lutte antiparasitaire à base de *Ricinus* dans des conditions réelles. De telles études permettraient de combler l'écart entre les résultats obtenus en laboratoire et les applications pratiques, garantissant ainsi que les recherches sur l'allélopathie produisent des bénéfices concrets tout en minimisant les risques écologiques.

Les rôles écologiques contrastés de ces espèces mettent en évidence un paradigme plus large en biologie des invasions : le potentiel allélopathique seul ne détermine pas le succès invasif, mais interagit plutôt avec les traits du cycle de vie et le contexte environnemental pour façonner les résultats écologiques. Alors que *E. globulus* illustre la manière dont l'allélopathie peut entraîner une transformation des écosystèmes, *R. communis* démontre que même des espèces hautement bioactives peuvent présenter un caractère invasif limité dans certaines conditions. Cette dualité suggère que les stratégies de gestion doivent dépasser les simples classifications d'« espèce invasive » ou de « espèce bénigne » afin de considérer la façon dont les caractéristiques biochimiques interagissent avec les facteurs abiotiques et biotiques locaux pour déterminer les impacts écologiques. Une telle compréhension nuancée sera essentielle pour prévoir et atténuer les effets des invasions végétales dans un contexte de changement global, tout en exploitant les propriétés allélopathiques au service d'une agriculture durable.



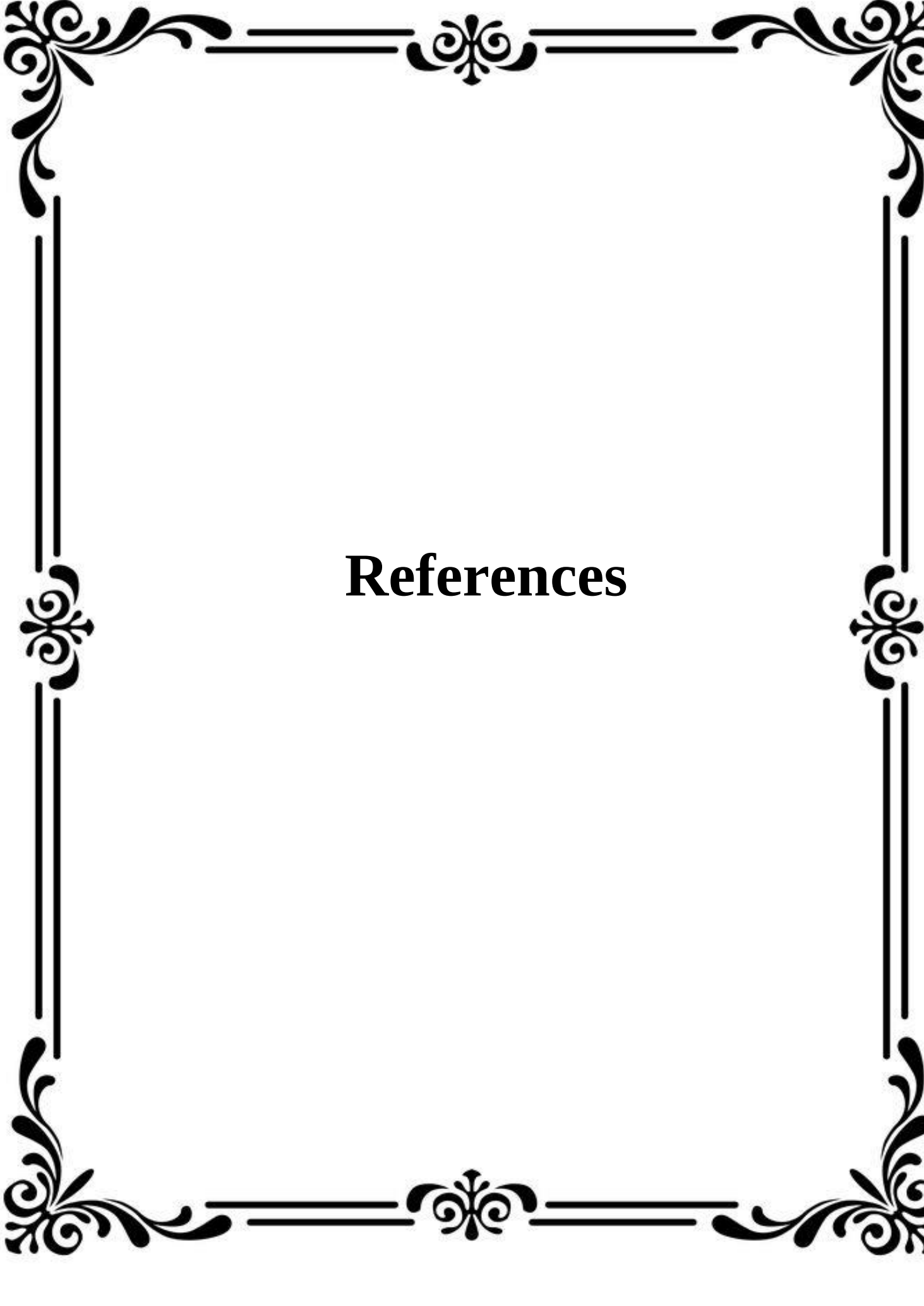
Conclusion générale

Conclusion générale

Cette étude comparative a permis de mettre en évidence le potentiel allélopathique de *Eucalyptus globulus* et *Ricinus Communis* comme alternatives naturelles pour la gestion des mauvaises herbes. Les résultats montrent que *Eucalyptus globulus* possède une activité allélopathique très élevée grâce à ses terpènes et composés phénoliques, capables d'inhiber efficacement la germination et la croissance de nombreuses espèces végétales. Toutefois, cette forte activité peut également avoir des effets écologiques négatifs sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes.

De son côté, *Ricinus Communis* présente un potentiel allélopathique important, associé à des propriétés insecticides, nématocides et antifongiques. Son action est plus polyvalente mais moins sélective, ce qui nécessite une optimisation de ses formulations avant une utilisation à grande échelle. La comparaison entre les deux espèces montre que *Eucalyptus globulus* agit principalement comme un inhibiteur puissant et durable, tandis que *Ricinus Communis* offre une bioactivité multifonctionnelle pouvant contribuer à la protection des cultures. Ces résultats soulignent l'intérêt de ces plantes dans le développement de bioherbicides naturels et de stratégies agroécologiques durables.

Enfin, cette étude recommande la poursuite des recherches sur l'identification des composés actifs, l'évaluation de leurs effets écologiques à long terme et le développement de formulations plus ciblées et plus sûres afin de favoriser une agriculture durable respectueuse de l'environnement.



References

References

1. Abomughaid, M., Teibo, J. O., Akinterinwa, O. A., Adevou, A. M., Ayandeyi Teibo, T., Affi, M., Al-Farga, A. M., Al-kuraishy, H. M., Al-Gareeb, A. I., Alexiou, A., Papadakis, M., & El-Saber Batiha, G. (2024). A phytochemical and pharmacological review of *Ricinus Communis* L. *Discover Applied Sciences*, 6, Article 315.
2. Adnan, M., Hayyat, M. S., Mumtaz, Q., Safdar, M. E., et al. (2021). Improving the management of *Parthenium hysterophorus* to enhance okra production through the application of chemicals, adjuvants and plant extract blends. *Journal of Sustainable Agriculture*.
3. Ahmad, S., & Khan, A. (2019). Effects of *Eucalyptus globulus* on the underground water in Udigram, Swat, Pakistan. *International Journal of Economic and Environmental Issues*, 9(2), 45-52.
4. Ahmed, G., El-Rokiek, K., & El-Din, S. A. S. (2017). Allelopathic activity of *Eucalyptus globulus* leaf water extract on *Pisum sativum* growth, yield and associated weeds. *Journal of Agricultural Sciences*, 25(1), 89-98.
5. Ain, Q., Mushtaq, W., Shadab, M., & Siddiqui, M. B. (2023). Allelopathy: An alternative tool for sustainable agriculture. *Physiology and Molecular Biology of Plants*.
6. Akbar, S. (2020). *Ricinus Communis* L. (Euphorbiaceae). In *Handbook of 200 Medicinal Plants: A Comprehensive Review of Their Traditional Medical Uses and Scientific Justifications* (pp. 1539–1550). Springer.
7. Al-Hamzawi, M. K. A. A., & Al-Jasimee, K. H. A. (2018). Allelopathic effect of *Eucalyptus* spp. leaves on some chemical constituents of seedlings of two ornamental plants. *Plant Archives*, 18(2), 1455-1462.
8. Ali, A., Haq, Z., Muhammad, L., Badshah, L., et al. (2019). Allelopathic effect of *Eucalyptus camaldulensis* L. on seed germination and seedling growth of mungbean *Vigna radiata* (L.) Wilczek. *Pakistan Journal of Botany*, 51(4), 1325-1331.
9. Ali, M. A., Mohanny, K. M., Mohamed, G. S., et al. (2020). Insecticidal potential of some plant extracts in nano and normal form on immatures stages of red palm weevil *Rhynchophorus ferrugineus*. *Journal of Plant Protection and Pathology*, 11(4), 215-222.

10. Almarie, A. (2021). Bioherbicidal potential of *Eucalyptus* and clove oil and their combinations on four weedy species. *Iraqi Journal of Science*, 62(8), 2541-2550.
11. Alsubeie, M. S. (2023). Morphological, genetic characterisation, and chemical analysis of castor bean (*Ricinus Communis*) growing in Riyadh Saudi Arabia. *Entomological Applied Science Letters*, 10, 38–44.
12. Alves de Siqueira, J. I., RodrigueLandoni, M., Bertagnon, G., Ghidoli, M., Cassani, E., Adani, F., & Pilu, R. (2023). Opportunities and challenges of castor bean (*Ricinus Communis* L.) genetic improvement. *Agronomy*, 13, Article 2076.
13. Alzahrani, N., Prajapati, N., Sharma, R., & Singh, H. (2020). Unraveling the bioherbicidal potential of *Eucalyptus* species aqueous leaf extract and leaf oil on germination and initial growth performance of weed. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(11), 1832-1845.
14. Assaggaf, H. M., et al. (2022). Singular and combined effects of essential oil and honey of *Eucalyptus globulus* on anti-inflammatory, antioxidant and antimicrobial properties. *Molecules*, 27(17), Article 5598.
15. Avcioğlu, S., Dişkaya, S. V., Uludamar, E. B. K., et al. (2026). Evaluation of nematocidal potential of *Ricinus Communis* seed extracts against *Meloidogyne incognita*. *Australasian Plant Pathology*.
16. Ayele, M. H., Almeida, S., Barreiro, M. R., Branco, E., Deus, et al. (2021). Opportunities and challenges of *Eucalyptus* plantations in Europe: The Iberian Peninsula experience. *European Journal of Forest Research*, 140(2), 315-328.
17. Babu, R. C., & Kandasamy, O. S. (1997). Allelopathic effect of *Eucalyptus globulus* Labill. on *Cyperus rotundus* L. and *Cynodon dactylon* L. Pers. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 179(3), 123-128.
18. Bais, H. P., Weir, T. L., Perry, L. G., Gilroy, S., & Vivanco, J. M. (2006). The role of root exudates in Rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, 57, 233-266.
19. Bajwa, U., & Sandhu, K. S. (2014). Effect of handling and processing on pesticide residues in food - a review. *Journal of Food Science and Technology*.

20. Baker, H. G. (1965). Characteristics and modes of origin of weeds. In H. G. Baker & G. L. Stebbins (Eds.), *The Genetics of Colonizing Species* (pp. 147–172). Academic Press.
21. Barralis, G. (1970). *Les mauvaises herbes et leur concurrence avec les cultures*. Institut National de la Recherche Agronomique (INRA).
22. Batish, D. R., Singh, H. P., Kohli, R. K., & Kaur, S. (2008). *Eucalyptus* essential oil as a natural pesticide. *Forest Ecology and Management*, 256(12), 2166-2174.
23. Beckman, N. G. (2023). The causes and consequences of seed dispersal. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*.
24. Begam, U. J., Srikrishnah, S., et al. (2020). Allelopathic suppressive effects of *Thevetia peruviana* L. and *Nerium oleander* L. leaf extracts on germination and seedling growth of *Cyperus rotundus* L. *AGRIEAST: Journal of Agricultural Sciences*.
25. Bekele, A., Chane, A., & Belay, T. (2021). The effect of *Eucalyptus globulus* woodlots spacing on physico-chemical properties of soil in smallholder farmers, Sidama region, southcentral Ethiopia. *Global Scientific Journal*, 9(5), 712-725.
26. Benabderahmane, M. L., Belkacem, S., & Benhassaini, H. (2020). Introduction and adaptation of *Eucalyptus* species in Algeria: Past and present. *African Journal of Ecology*, 58(2), 123.
27. Benelli, B., Baranová, B., & Oboňa, J. (2024). Larvicidal activity of *Eucalyptus globulus* L., *Lavandula angustifolia* L., *Cymbopogon citratus* L. and *Citrus sinensis* L. + *Illicium verum* L. essential oils against mosquitoes. *Allelopathy Journal*, 61(1), 45-58.
28. Benlabchir, A., et al. (2024). Chemical characterization and biological activities of *Eucalyptus globulus* essential oil using GC-MS analysis. *Pharmaceuticals*, 17.
29. Benson, J., Gomez, A., Wolf, M., Tibbetts, B., & March, T. (2011). The acute toxicity, tissue distribution, and histopathology of inhaled ricin in Sprague Dawley rats and BALB/c mice. *Inhalation Toxicology*, 23, 247–256.
30. Boualem, M., Mokhtar, M., Saiah, F., et al. (2017). Identification of *Mentha piperita* L. and *Ricinus Communis* L. polyphenols by HPLC-DAD-ESI-MS and evaluation of their insecticidal properties against *Aphis*. *South Asian Journal of Life Sciences*.

31. Bouton, F. (2005). *Mise en évidence du potentiel allélopathiques de la graminée Festuca Panuculata dans les prairies subalpine* (Rapport de stage de master 1). Université Joseph Fourier.
32. Brooker, M. I. H., & Kleinig, D. A. (2006). *Field guide to Eucalypts* (Vol. 1). Bloomings Books.
33. Bétia, E., Bazoumana, K., & Hamidou, T. (2021). Inventaire des mauvaises herbes et des méthodes de lutte contre l'enherbement dans les exploitations de la zone cotonnière Est du Burkina Faso. *International Journal of Biological and Chemical Sciences*.
34. Chaubey, M. K. (2019). Essential oils as green pesticides of stored grain insects. *European Journal of Biological Research*, 9(4), 202-244.
35. Chouhan, H. S., Swarnakar, G., & Jogpal, B. (2021). Medicinal properties of *Ricinus Communis*: A review. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 12, 3632–3642.
36. CIRAD. (2000). *Allélopathie et interactions biologiques en milieu naturel et agricole*. Centre de coopération internationale en recherche agronomique pour le développement.
37. da Silva, R. F., Bressan, R. T., Zilli, B. M., et al. (2016). Allelopathic effect of aqueous extract of fresh leaf castor beans (*Ricinus Communis* L.) applied to the beginning stage of soy (*Glycine max* L.) and safflower (*Carthamus tinctorius* L.). *African Journal of Biotechnology*.
38. Dardona, Z., & Ben-Said, M. (2024). Biological potentialities of *Ricinus Communis* L. with emphasis on the anti-parasitic effect and mechanisms of action. *Israa University Journal of Applied Science (IUJAS)*.
39. Deus, E., Richardson, D. M., Catry, F. X., Rego, F. C., et al. (2025). Invasion ecology of eucalypts: A review. *Biological Invasions*, 27(1), 45-68.
40. Dhakad, A. K., Pandey, V. V., Beg, S., Rawat, J. M., & Singh, A. (2018). Biological, medicinal and toxicological significance of *Eucalyptus* leaf essential oil: A review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(3), 833-848.
41. Dipesh, & Kumar, P. (2022). Modelling the stimulatory and inhibitory allelopathic effects on competing plant populations. *AIP Conference Proceedings*, 2453(1), Article 020043.

42. Djabou, N., et al. (2012). Chemical composition and antimicrobial activity of *Eucalyptus globulus* essential oil from Algeria. *Journal of Essential Oil Research*, 24(5), 513-519.
43. dos Santos, M. A. F., da Silva, M. A. P., et al. (2015). Allelopathy of *Miconia* spp. (Melastomataceae) in *Lactuca sativa* L. (Asteraceae). *Journal of Agricultural Science*.
44. Duarte, A. J. da Silva, Clarindo, W. R., Simiqueli, G. F., et al. (2021). Short-term changes related to autotetraploidy in essential oil composition of *Eucalyptus benthamii* Maiden & Cabbage and its applications in different bioassays. *Scientific Reports*, 11(1), Article 12045.
45. Dugravot, S., Ghumare, S. S., & Ahuja, I. (2003). Allelochemicals as plant defense compounds against insects. *Journal of Chemical Ecology*, 29(8), 1911–1924.
46. El-Ghani, M. A., Ragaey, M., El-Wahab, S. A., & Gaafar, A. (2025). Unravelling the relationship between soil, habitat, and species distribution patterns in an urbanized desert landscape: Insights from Southern oases, Western Desert. *Urban Ecosystems*, 28(2), 311-329.
47. Elaissi, I. P., Migacz, M., Wang, M., Faoro, J. A. M., dos Santos, S. M., et al. (2024). Management of leaf biomass to support sustainable biopharmacy: Evaluation of seasonal chemical variations and biological activities of six *Eucalyptus* essential oils. *International Journal of Plant Production*, 18(2), 201-215.
48. Falach, R., Sapoznikov, A., Evgy, Y., Aftalion, M., Makovitzki, A., Agami, A., Mimran, A., Lerer, E., Ben David, A., Zichel, R., et al. (2020). Post-exposure anti-ricin treatment protects swine against lethal systemic and pulmonary exposures. *Toxins*, 12, Article 354.
49. Farooq, R., Hoogar, S., Malakannavar, et al. (2019). Impact of *Eucalyptus* plantations on ground water and soil ecosystem in dry regions. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(4), 1612-1618.
50. Ferguson, J. J., & Rathinasabathi, B. (2003). *Allelopathy: How plants suppress other plants*. University of Florida.
51. Ferraz, A. C., Pereira, L. F., Ribeiro, R. L., Wolfman, C., Medina, J. H., Scorza, F. A., & Da Cunha, C. (2000). Ricinine-elicited seizures: A novel chemical model of convulsive seizures. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 65, 577–583.

52. Fisher, N. H., Williamson, G. B., Weidenhamer, J. D., & Richardson, D. R. (1994). In search of allelopathy in the Florida scrub: The role of terpenoids. *Journal of Chemical Ecology*, 20, 1355-1380.
53. Frémy, J. M., & Lassus, P. (2001). *Toxicité des microalgues marines et des cyanobactéries*. IFREMER.
54. Friedman, J. (1995). Allelopathy, autotoxicity, and germination. In *Allelopathy: Organisms, Processes, and Applications* (pp. 629–644). American Chemical Society.
55. Fujii, Y., & Hiradate, S. (2022). *Allelopathy: New Concepts & Methodology*. Google Books.
56. Garlson, L., Bauder, J., & Cash, D. (1999). Invloed van planten op elkaar en op insecten. *Plant Regulating Processes*, 1, Article 288.
57. Gebremedhin, K. G., Belachew, W. K., & Minale, W. K. (2025). Socioeconomic and environmental impacts of *Eucalyptus* plantations in Ethiopia: An evaluation of benefits, challenges, and sustainable practices. *The Scientific World Journal*, 2025, Article ID 8849210.
58. Ghalem, B. R., Talia, B., & Omar, H. (2020). Antifungal activities of five commercial extracts against *Alternaria alternata*. *Journal of Biotechnology Research*, 6(3), 24-31.
59. Haider, E. (2020). *Assessment of phytoextracts against leaf spot of brinjal caused by Alternaria alternata (Fr.) Keissler* (Master's thesis). University of Agriculture, Faisalabad.
60. Hannachi, A. (2010). *Etude des mauvaises herbes des cultures de la région de Batna : Systématique, Biologie et Ecologie* (Mémoire de magister). Université Ferhat Abbas-Sétif.
61. Hartmann, T. (2008). The lost origin of chemical ecology in the late 19th century. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(12), 4541-4546.
62. Herawati, I. E., Lesmana, R., Levita, J., & Subarnas, A. (2021). Determination and purification of ricin protein from *Ricinus Communis* L. seeds using CLC (Column Liquid Chromatography) and FPLC (Fast Protein Liquid Chromatography). *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Technology*, 8, 118–124.

63. Hikal, W. M., Baeshen, R. S., & Said-Al Ahl, H. A. H. (2017). Botanical insecticide as simple extractives for pest control. *Cogent Biology*, 3(1), Article 1404274.
64. Hussain, S., Singh, D. R., & Batish, R. K. (2022). Rhizotoxicity and herbicidal potential of invasive *Melia azedarach*: The role of rhizosphere phenolic acids (Ferulic and p-Coumaric) in plant-plant interactions. *Journal of Plant Ecology*.
65. Hussain, Z., & Getnet, Z. (2017). Effect of *Eucalyptus camaldulensis* leaf aqueous extract on morphology, physiology and biomass of *Zea mays*. *Biotechnology International*, 10(2), 67-74.
66. Inderjit, Qu, T., Du, X., Peng, Y., Guo, W., Zhao, C., & Losapio, G. (2021). Invasive species allelopathy decreases plant growth and soil microbial activity. *PLoS ONE*, 16(2), Article e0246857.
67. Iqbal, I. J., Sarmin, M. S., Rahman, M. H., Amin, et al. (2020). Effects of bark and stem exudates of *Eucalyptus* on three crop plants. *Journal of Science and Technology*, 18, 45-52.
68. Islam, A. K. M. M., Haque, M. M., Bhowmik, O., et al. (2019). Allelopathic potential of three oil enriched plants against seedling growth of common field crops. *Journal of Botanical Research*.
69. Janga, M. R., Raoof, M. A., & Ulaganathan, K. (2017). Effective biocontrol of Fusarium wilt in castor (*Ricinus Communis* L.) with *Bacillus* sp. in pot experiments. *Rhizosphere*, 4, 66-70.
70. Jidere, C. I., & Oluwatayo, J. I. (2018). Efficacy of some botanical extracts on root-knot nematode (*Meloidogyne incognita*) egg-hatch and juvenile mortality in vitro. *Asian Journal of Agricultural and Horticultural Research*.
71. Joshi, A., Sharma, A., Bachheti, R., Husen, A., & Pandey, D. P. (2019). Plant allelochemicals and their various applications. *Springer*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-76887-8_14-1
72. Kasali, M. A., Olowe, V. I. O., Sakariyawo, O. S., & Odueme, P. U. (2024). Response of castor (*Ricinus Communis* L.) to organic fertilizer application and sowing date in the humid tropics. *OCL*.

73. Kebede, A., Alemayhu, A., Gizachew, K., Yakob, G., Kidan, B. G., et al. (2026). Growth and yield of maize in *Eucalyptus* tree alley cropping agroforestry practice in Kafa Zone, Ethiopia. *BioRisk*, 21, 13-26.
74. Khalil, R., Madany, M., & Gamal, A. (2017). Investigation of the allelopathic potential of *Alhagi maurorum* on *Pisum sativum* L. *Benha Journal of Applied Sciences*, 2(1), 85-94.
75. Khan, A., & Samanta, A. (2022). Effect of aqueous leaf extract of *Eucalyptus globulus* Labill. on seed germination of chickpea. *The Journal of Phytopharmacology*, 11(3), 178-182.
76. Khan, B. S., Mengal, S. U., Baloch, Y., Sun, W., Bashir, et al. (2015). The influence of allelopathic weeds extracts on weeds and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Journal of Biology, Agriculture and Healthcare*, 5(12), 110-117.
77. Khan, M. A., et al. (2021). Plant-derived antifungal compounds and their applications against phytopathogenic fungi: A review. *Frontiers in Plant Science*, 29(12), 1529–1533.
78. Kidanu, A., Kugedera, A., & Kokerai, L. (2019). Agroforestry species have negative allelopathic effect on food and fodder crops. *International Journal of Agriculture and Agribusiness*, 4(1), 88-95.
79. Kidanu, S., Mamo, T., & Stroosnijder, L. (2004). *Eucalyptus*-wheat interaction on Ethiopian Nitosols. *Agricultural Systems*, 80(2), 151-170.
80. Kumar, A., & Narayan, R. (2024). Floristic composition and nativity analysis: Hastinapur Wildlife Sanctuary. *Environment and Ecology*, 42(1), 112-125.
81. Kumar, A., Misra, S., & Singh, R. (2026). Phenolic profiling unravelling allelopathic encounters in agroecology and plant stress tolerance. *Journal of Plant Ecology*.
82. Kurra, S., & Pathipati, U. R. (2015). Whitefly, *Trialeurodes ricini* (Genn) feeding stress induced defense responses in castor, *Ricinus Communis* L. plants. *Journal of Asia-Pacific Entomology*.
83. Külheim, C., Padovan, A., Hefer, C., Krause, S. T., Köllner, T. G., et al. (2015). The *Eucalyptus* terpene synthase gene family. *BMC Genomics*, 16(1), 1-14.

84. Landoni, M., Bertagnon, G., Ghidoli, M., Cassani, E., & et al. (2023). Opportunities and challenges of castor bean (*Ricinus Communis* L.) genetic improvement. *Agronomy*, 13(5), Article 1273.
85. Lemenih, M., & Kassa, B. B. (2020). Existing dilemma of the impact of *Eucalyptus* species on crop yield and soil nutrients in Ethiopia. *Journal of Applied and Natural Science*, 12(3), 345-356.
86. Lesuffleur, F. (2007). *Rhizdépôt à court terme de l'azote et exsudation racinaire des acides aminés par le tréfle blanc (Trifolium repense L.)*.
87. Liu, Y., Tikunov, Y., Schouten, R., Marcelis, L., Visser, R., & Bovy, A. (2018). Anthocyanin biosynthesis and degradation mechanisms in solanaceous vegetables: A review. *Frontiers in Chemistry*, 6fx, Article 52.
88. Lopes, A. M., et al. (2025). *Ricinus Communis* L. leaf extracts as a sustainable alternative for weed management. *Journal of Crop Protection*.
89. Lopes, R. W. N., Morais, E. M., Lacerda, J. J. J., et al. (2022). Bioherbicidal potential of plant species with allelopathic effects on the weed *Bidens bipinnata* L. *Scientific Reports*.
90. Macheix, J. J., Fleuriet, A., & Jay-Allemand, C. (2005). *Les composés phénoliques des végétaux : un exemple de métabolites secondaires d'importance économique*. Presses Polytechniques et Universitaires Romandes.
91. Mafeo, T. P., Mashela, P. W., et al. (2011). Sensitivity of selected Alliaceae seedlings to crude extracts of *Cucumis myriocarpus* fruits. *African Journal of Agricultural Research*.
92. Mahlo, S. M., McGaw, L. J., & Eloff, J. N. (2010). Antifungal activity of leaf extracts from South African trees against plant pathogens. *African Plant Protection*.
93. Majumder, M., Debnath, S., Gajbhiye, R. L., Saikia, R., Gogoi, B., Samanta, S. K., Das, D. K., Biswas, K., Jaisankar, P., & Mukhopadhyay, R. (2019). *Ricinus Communis* L. fruit extract inhibits migration/invasion, induces apoptosis in breast cancer cells and arrests tumor progression in vivo. *Scientific Reports*, 9fx, Article 14493.
94. Mamoucha, S., Tsafantakis, N., Fokialakis, N., & Christodoulakis, N. (2017). Structural and phytochemical investigation of the leaves of *Ricinus Communis*. *Australian Journal of Botany*, 65, 58–66.

95. Mashela, P. W., & Nthangeni, M. E. (2002a). Bio-nematicidal properties of *Cucumis myriocarpus* fruit extracts against root-knot nematodes. *Journal of Plant Protection*.
96. Mashela, P. W., & Nthangeni, M. E. (2002b). Efficacy of *Ricinus Communis* fruit meal with and without *Bacillus* species on suppression of *Meloidogyne incognita* and growth of tomato. *Journal of Phytopathology*, 150, 399–402.
97. May, F. E., & Ash, J. E. (1990). An assessment of the allelopathic potential of *Eucalyptus*. *Australian Journal of Botany*, 38(3), 245-254.
98. McCully, K. V., & Jensen, K. I. N. (2004). *Weed management and preventive control methods in agricultural systems*. CABI Publishing.
99. Mekonnen, F., Nega, F., & Gudeta, T. B. (2019). Allelopathic effect of *Eucalyptus globulus* Labill. on seed germination and seedling growth of highland teff (*Eragrostis tef* (Zuccagni) Trotter)) and barley (*Hordeum vulgare* L.). *Journal of Experimental Agriculture International*, 35(4), 1-11.
100. Mekuria, Y., Gelaye, Y., & Getachew, K. (2026). Environmental impacts, land-use trade-offs, and sustainable management pathways of *Eucalyptus* plantation expansion in Ethiopia. *The Scientific World Journal*, 2026, Article ID 9948123.
101. Mohamed, Z. A. (2002). Allelopathic effects of *Spirogyra* sp. on the growth and toxin production of *Oscillatoria agardhii*. *Hydrobiologia*, 477(1–3), 25–30.
102. Mojuder, V. (2000). Eco-friendly technologies for management of phytoparasitic nematodes in pulses and vegetable crops. *Allelopathy in Ecological Agriculture and Forestry. Proceeding of the 3rd International Congress on Allelopathy in Ecological Agriculture*, 62, 59-69.
103. Monati Meko, T., Ramotulo, T. G. B., Mfenyo, M., Motshudi, S., Naidoo, C. M., & Makhafola, A. (2025). Phytochemical composition and multifunctionality.
104. Morris, J. B., Wang, M. L., & Morse, S. A. (2010). *Ricinus*. In C. Kole (Ed.), *Wild Crop Relatives: Genomic and Breeding Resources* (pp. 241-255). Springer.
105. Motamedi, M., Karimmojeni, H., & Sini, F. G. (2016). Evaluation of allelopathic potential of safflower genotypes (*Carthamus tinctorius* L.). *Journal of Plant Protection and Pathology*, 7(6), 401-407.

106. Moura, Z., Asif, Z., & Shaheedi, M. H. (2024). Cytotoxic and genotoxic effects of *Eucalyptus globulus* on Vero cell line. *Journal of Epidemiology and Infection*, 42(1), 89-96.
107. Mukherjee, S., & Dalal, T. (2015). Cytological changes in lentil in response to allelopathic effect of *Xanthium strumarium* L. *International Journal of Advanced Research*.
108. Namkeleja, H. S., Tarimo, M. T. C., et al. (2014). Allelopathic effects of *Argemone mexicana* to growth of native plant species. *American Journal of Plant Sciences*.
109. Narwal, S. S. (2000). *Allelopathy in ecological agriculture and forestry*. Kluwer Academic Publishers.
110. Navas, M. L. (1991). Contribution à l'étude des stratégies adaptatives des adventices. *Agronomie*, 11(6), 493–502.
111. Newman, E. I., & Miller, M. H. (1977). Allelopathy among some British grassland species. II. Influence of root exudates on phosphore uptake. *Journal of Ecology*, 65, 399–411.
112. Njeru, L., Sujeeun, L., & Thomas, S. C. (2017). Potential of biochar to mitigate allelopathic effects in tropical island invasive plants: Evidence from seed germination trials. *Tropical Conservation Science*, 10, 1-11.
113. Nour, I. H., Alhadead, K., Ellmouni, F. Y., Badr, R., Saad, T. I., El-Banhawy, A., & Abdel Rahman, S. M. (2023). Morphological, anatomical and chemical characterization of *Ricinus Communis* L. (Euphorbiaceae). *Agronomy*, 13, Article 985.
114. Oliveira, F. P., Carvalho, C. A. D., Melo, M. S., Machado, D., Dias, et al. (2015). The allelopathic effect of *Eucalyptus* leaf extract on grass forage seed. *Planta Daninha*, 33(4), 655-663.
115. Oyeniyi, T. A., Odekanyin, O. O., Kuku, A., et al. (2016). Allelopathic effects of *Triticum aestivum* L. diversifolia extracts on biochemical parameters and growth of *Vigna unguiculata*. *International Journal of Plant & Soil Science*.
116. Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., et al. (2021). The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, 372, Article n71.

117. Patel, V., Dumancas, G., Viswanath, L., Maples, R., & Subong, B. (2016). Castor oil: Properties, uses, and optimization of processing parameters in commercial production. *Lipid Insights*, 9fx, Article LPI.S40233.
118. Paton, D. M. (1980). *Eucalyptus* physiology. II. Temperature responses. *Australian Journal of Botany*, 28(5), 555-566.
119. Pina, F., Alejo-Armijo, A., Clemente, A., Mendoza, J., Seco, A., Basílio, N., & Parola, A. (2021). Evolution of flavylum-based color systems in plants: What physical chemistry can tell us. *International Journal of Molecular Sciences*, 22, Article 3833.
120. Pingale, S. (2019). Toxicity study of *Ricinus Communis*. *Journal of Current Pharmaceutical Research*, 9fx, 28–34.
121. Pousset, J. L. (2009). *L'allélopathie : les interactions chimiques entre les plantes*. Éditions Quae.
122. POWO (Plants of the World Online). (2023). *Eucalyptus globulus* Labill.
123. Prasad, R., Tripathi, V. D., Singh, P., Handa, A. K., et al. (2015). Allelopathic effect of *Butea monosperma* L. leaf extract on seed germination and seedling vigour of selected summer legume crops. *Indian Journal of Agricultural Research*, 49(3), 245-251.
124. Puig, C. G., Gonçalves, R. F., Valentão, P., et al. (2018). The consistency between phytotoxic effects and the dynamics of allelochemicals release from *Eucalyptus globulus* leaves used as bioherbicide green manure. *Journal of Chemical Ecology*, 44(4), 389-400.
125. Puig, C. G., Revilla, P., Barreal, M. E., Reigosa, M. J., & Pedrol, N. (2019). On the suitability of *Eucalyptus globulus* green manure for field weed control. *Crop Protection*, 121, 134-142.
126. Purushothaman, D., & Chandra, M. (2022). Evaluation of phytochemical constituents and antioxidant activities of *Ricinus Communis* L. *Research Journal of Pharmacy and Technology*, 15, 5619–5624.
127. Quispe, J. E., Gil-Mora, M., & Casas-Toribio, S. M. (2023). Extracto acuoso de *Eucalyptus globulus* Labill. en la germinación y desarrollo de cultivos andinos: Un estudio de alelopatía en Cusco, Perú. *Revista Forestal Del Perú*, 38(1), 45-56.

128. Rahman, M. S., Hossain, M. S. H., Selim, M. M., Aktar, A., Kanti, R., Shiton, et al. (2020). Allelopathic effects of *Eucalyptus camaldulensis* on growth, yield and yield contributing character of mungbean. *Asian Journal of Crop Science*, 12(1), 34-41.
129. Ramesh, P. S., Edward, J., & Regupathikannan, J. (2026). Mapping the distribution of *Eucalyptus globulus* in the Western Ghats using ecological niche modelling. *Israel Journal of Ecology and Evolution*, 72(1), 56-68.
130. Ramgunde, V., & Chaturvedi, A. (2016a). Allelopathic effect of *Ricinus Communis* L. and *Vitex negundo* L. on morphological attributes of invasive alien weed: *Cassia uniflora* Mill. *IRA-International Journal of Applied Sciences*.
131. Ramgunde, V., & Chaturvedi, A. (2016b). Allelopathic perspectives of some plants for biocontrol of invasive alien weed: *Hyptis suaveolens* L. (Poit.). *American Journal of Research Communication*.
132. Rana, M., Dhamija, H., Prashar, B., & Sharma, S. (2012). *Ricinus Communis* L.—A review. *International Journal of PharmTech Research*, 4fx, 1706–1711.
133. Rao, A., & Ehtaiwesh, A. (2021). Evaluation of herbicidal potential of *Eucalyptus* spp for biological control of *Dactyloctenium aegyptium* L. *Journal of Pure & Applied Sciences*, 20(2), 102-109.
134. Regnault-Roger, C., Philogène, B. Jr., & Vincent, Ch. (2008). *Biopesticides d'origine végétale*. Ed. TEC & DOC.
135. Regu, W. (2018). Allelopathic potential of *Eucalyptus* on germination and early seedling growth performance of agricultural crops. *International Journal of Agricultural Innovations and Research*, 7(2), 2319-1473.
136. Reigosa, M. J., Sanchez-Moreiras, A., & Gonzalez, L. (1999). Ecophysiological approach in allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(5), 577-608.
137. Reigosa, M. J., Pedrol, N., & González, L. (2006). *Allelopathy: A physiological process with ecological implications*. Springer Science & Business Media.
138. Rendón-Aguilar, B., Vibrans, H., & Gepts, P. (2021). Weed management or weed semidomestication? The traditional knowledge and management of useful weeds in traditional Mexican agroecosystems. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine*.
139. Rengel, Z. (2002). Genetic control of root exudation. *Plant and Soil*, 145, 59-70.

140. Rice, E. L. (1984). *Allelopathy* (2nd ed.). Academic Press.
141. Rice, E. L. (1985). Allelopathy—An overview. *Chemically Mediated Interactions Between Plants and Other Organisms*.
142. Rice, E. L. (2012). *Allelopathy* (2nd ed.). Academic Press.
143. Rice, Z., Muhammad, N., Inayat, A., Majeed, H., Ali, et al. (2019). Allelopathy and agricultural sustainability: Implication in weed management and crop protection - An overview. *European Journal of Ecology*, 5(2), 78-92.
144. Saadaoui, E., Martín, J. J., Ghazel, N., et al. (2015a). Allelopathic effects of aqueous extracts of *Ricinus Communis* L. on the germination of six cultivated species. *International Journal of Plant & Soil Science*, 7(4), 220-227.
145. Saadaoui, E., Martín, J. J., Ghazel, N., et al. (2015b). Allelopathic effects of aqueous extracts of *Ricinus Communis* L. on the germination of six cultivated species. *Journal of Plant Protection Research*.
146. Saddiqe, Z., Nazir, A., & Sabir, M. (2020). Allelopathic effect of *RICINUS COMMUNIS* L. extracts on germination and seedling growth of *Zea mays* L. *Journal of Natural and Applied Sciences*, 4fx(1), 89-98.
147. Sadlon, A. E., & Lamson, D. W. (2010). Immune-modifying and antimicrobial effects of *Eucalyptus* oil and simple inhalation devices. *Alternative Medicine Review*, 15(1), 33-47.
148. Salihu, B., Gana, A. K., & Apuyor, B. (2014). Castor oil plant (*Ricinus Communis* L.): Botany, ecology and uses. *International Journal of Scientific Research*, 3, 1333–1341.
149. Sasikumar, C. G., Puig, M. J., Reigosa, P., Valentão, P. B., Andrade, et al. (2018). Unravelling the bioherbicide potential of *Eucalyptus globulus* Labill: Biochemistry and effects of its aqueous extract. *PLoS ONE*, 13(11), Article e0205997.
150. Scavo, A., Abbate, C., & Mauromicale, G. (2019). Plant allelochemicals: Agronomic, nutritional and ecological relevance in the soil system. *Plant Soil*, 442, 23-48.
151. Schütz, J. P. (1990). Sylviculture et concurrence des adventices en milieu forestier. *Revue Forestière Française*, 42(2), 125–136.
152. Sengupta, R., & Dash, S. S. (2020). A comprehensive inventory and ecological assessment of alien plant invasion in Mizoram, India. *Indonesian Journal of Forestry Research*, 7(2), 105-123.

153. Sengupta, R., & Dash, S. S. (2021). A comprehensive inventory of alien plants in the protected forest areas of Tripura and their ecological consequences. *Nelumbo*, 63(1), 188-210.
154. Seyyedi, M., Moghaddam, P. R., et al. (2013). Allelopathic potential of sunflower and castor bean on germination properties of dodder (*Cuscuta campestris*). *African Journal of Agricultural Research*.
155. Shah, K., Sharma, G. P., & Sagar, R. (2024). An arrow in the quiver: Evaluating the performance of *Hyptis suaveolens* (L.) Poit. in different light levels. *Ecological Processes*, 13(1), 12-24.
156. Shala, A. Y., & Gururani, M. A. (2021). Phytochemical properties and diverse beneficial roles of *Eucalyptus globulus* Labill.: A review. *Horticulturae*, 7(9), Article 280.
157. Sharma, P., Gharpure, B., Vaishali, & Nivedita, G. (2023). Phytotoxic effects of aqueous leaf extracts of *Cosmos sulphureus* Cav. on *Sorghum bicolor* L, *Vigna aconitifolia* L, *Triticum aestivum* L. *Journal of Tropical Agriculture*, 61(1), 112-121.
158. Silva, J., Abebe, W., Sousa, S. M., Duarte, V. G., Machado, M. I. L., & Matos, F. J. A. (2003). Analgesic and anti-inflammatory effects of essential oils of *Eucalyptus*. *Journal of Ethnopharmacology*, 89(2-3), 277-283.
159. Silva, C., Braulio, S., et al. (2021). Efeito alelopático do extrato foliar de eucalipto na germinação de sementes de tiririca (*Cyperus rotundus* L.). *Brazilian Journal of Applied and Experimental Research*, 4(2), 145-158.
160. Silva, S. R., Ziller, M., de Sá Dechoum, et al. (2019). Predicting invasion risk of 16 species of eucalypts using a risk assessment protocol developed for Brazil. *Austral Ecology*, 44(6), 1012-1024.
161. Singh, R. K., Gupta, M. K., Singh, A. Extr., & Kumar, S. (2010). Pharmacognostical investigation of *Ricinus Communis* stem. *International Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, 1fx, 89–94.
162. Soliman, S. S. M., & Soliman, A. S. (2021). Diversity assessment by molecular barcoding and seed morphology in *Ricinus Communis* L. *Baghdad Science Journal*, 18, Article 41.

163. Souza, S. F., Riveiro, Ó., Cruz, & Reyes, O. (2024). Are the invasive *Acacia melanoxylon* and *Eucalyptus globulus* drivers of other species invasion? Testing their allelochemical effects on germination. *New Forests*, 55(2), 231-245.
164. Srinithan, T., & Raman, R. (2024). Utilization of *Parthenium hysterophorus* aqueous extracts as a bio-herbicide - An alternative for synthetic herbicides. *Environment and Ecology*.
165. Standard, A., Suseela, M. R., & Sanjeev. (2021). Invasive risk assessment of potential biofuel crops: A case study of *Ricinus Communis*, *Jatropha curcas*, and *Pongamia pinnata*. *Environmental Management*.
166. Suikkanen, S., Fistarol, G. O., & Granéli, E. (2006). Allelopathic effects of the Baltic cyanobacteria *Aphanizomenon flos-aquae* and *Nodularia spumigena* on algal monocultures. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 336(1), 41–47.
167. Suurbaar, J., Mosobil, R., & Donkor, A. M. (2017). Antibacterial and antifungal activities and phytochemical profile of leaf extract from different extractants of *Ricinus Communis* against selected pathogens. *BMC Research Notes*, 10, Article 660.
168. Syed, S., Bano, A., Naeem, M., & Amist, N. (2024). Allelopathic effects of *Taraxacum officinale* L. and *Ricinus Communis* L. leaves extracts on sunflower and maize. *Allelopathy Journal*.
169. Tadesse, A., Kassahun, & Feleke, G. (2019). Chemical composition and physico-chemical analysis of *Eucalyptus globulus* leave and oil. *Science Journal of Chemistry*, 7(6), 104-111.
170. Tadesse, D., Jaleta, B., Mbilinyi, H., Mahoo, et al. (2016). *Eucalyptus* expansion as relieving and provocative tree in Ethiopia. *Journal of Agriculture and Environment for International Development*, 110(2), 211-226.
171. Tekha, O., & Hassani, N. (2023). Effet des extraits aqueux de *Cynanchum acutum* L., 1753 sur la germination des grains de quelques mauvaises herbes (Mémoire de Master). Université Kasdi Merbah-Ouargla.
172. Tesfahunegn, S., Alem, & Nakhooda, M. (2017). Woody plant diversity and density in selected *Eucalyptus* and other plantation forest species in Ethiopia. *Biodiversity and Conservation of Woody Plants*, 23(4), 456-471.

173. Tesfaye, W., & Gurmu, R. (2015). Effects of aqueous *Eucalyptus* extracts on seed germination and seedling growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *Zea mays* L. *Open Access Library Journal*, 2, Article e1234.
174. Thi, V. (2018). Contribution to results of the chemical constituents of *Ricinus Communis*. *Vietnam Journal of Science and Technology*, 54, Article 523.
175. Tissut, M., Ravanel, P., & Saunier, R. (2006). *Biologie et physiologie végétales*. De Boeck Université.
176. Trassoli, Z., Labbafi, M., & Jokar Shoorjieh, F. (2021). Allelopathic effect of herbal formulation containing *Ferula assa-foetida* L. essential oil and castor oil (*Ricinus Communis* L.) as an herbicide on *Amaranthus*. *Journal of Medicinal Plants*.
177. Tuyền, P. N. K., Linh, T. T. T., Son, D. V., Thang, N. V., Dang, V., Trang, N. T. Q., & Duong, H. T. (2020). Phenolic compounds from the leaves of *Ricinus Communis* Linn. *Science and Technology Development Journal*, 23, 1069–1072.
178. Vaghela, S. J., Patel, J. C., Patel, D. G., et al. (2019). Yield, equivalent yield and economics of castor as influenced by different castor (*Ricinus Communis* L.) based cropping systems in North Gujarat agro-climatic zone. *Journal of Oilseeds Research*.
179. Vaishali, R., & Alka, C. (2019). Allelopathic effect of some plants on morphological attributes of invasive alien weed: *Malachra capitata* (L.) L. *GSC Biological and Pharmaceutical Sciences*.
180. Viard-Crétat, F. (2008). *Mécanisme de régénération des espèces végétales dans les prairies subalpine* (Thèse de doctorat). Université Montpellier II.
181. Wang, S., Zhao, Y., Guo, J., & Liu, Y. (2018). Antioxidative response in leaves and allelochemical changes in root exudates of *Ricinus Communis* under Cu, Zn, and Cd stress. *Environmental Science and Pollution Research*, 25, 32747–32755.
182. Whitfield, S., Padgen, D., Knight, S., Gwyther, R., Holley, J., Clark, G., & Green, A. (2020). Establishment of a novel oral murine model of ricin intoxication and efficacy assessment of ovine ricin antitoxins. *Toxins*, 12, Article 784.
183. Wong, Y. F., Perlmutter, P., & Marriott, P. J. (2017). Untargeted metabolic profiling of *Eucalyptus* spp. leaf oils using comprehensive two-dimensional gas chromatography with high resolution mass spectrometry. *Metabolomics*, 13(3), 32–41.

184. Xiao, T., Yu, H., Song, Y. B., Jiang, Y. P., Zeng, B., & Dong, M. (2019). Nutrient enhancement of allelopathic effects of exotic invasive on native plant species. *PLoS ONE*, 14(4), Article e0215473.
185. Yahia, H., Djebbar, F., Mahdi, D., & Soltani, N. (2023). Insecticidal activity of *Eucalyptus globulus* (Labill) essential oil against *Culiseta longiareolata* (M., 1838) (Diptera: Culicidae). *Allelopathy Journal*, 58(2), 123-134.
186. Yamane, A. D., Nishimura, H., & Mizutani, J. (1992). Allelopathy of yellow fieldcress (*Rorippa sylvestris*): Identification and characterization of phototoxic constituents. *Journal of Applied Ecology*, 18(5), 683-691.
187. Yasur, J., & Rani, P. U. (2013). Environmental effects of nanosilver: Impact on castor seed germination, seedling growth, and plant physiology. *Environmental Science and Technology*.
188. Yeboah, A., Lu, J., Gu, S., Shi, Y., Amoanimaa-Dede, H., Agyenim-Boateng, K., & Yin, X. (2020). The utilisation of *Ricinus Communis* in the phytomanagement of heavy metal-contaminated soils. *Environmental Reviews*, 28, 466–477.
189. Yeboah, A., Ying, S., Lu, J., Xie, Y., Amoanimaa-Dede, H., Boateng, K. G. A., Chen, M., & Yin, X. (2021). Castor oil (*Ricinus Communis*): A review on the chemical composition and physicochemical properties. *Food Science and Technology*, 41(Suppl.).
190. Yimam, A., Mekuriaw, A., Assefa, D., & Bewket, W. (2024). Modelling *Eucalyptus globulus* spatial distribution in the upper Blue Nile basin using multi spectral Sentinel-2 and environmental data. *Heliyon*, 10(3), Article e25412.
191. Zerouug, F. (2019). *Etude du pouvoir allelopathique de quarte plantes spontanées sur la germination de deux mauvaises herbes des céréales* (Mémoire de master). Université Mohamed Khider de Biskra.
192. Zhao, W., Zheng, Z., Zhang, J. L., Roger, S. F., & Luo, X. Z. (2019). Allelopathically inhibitory effects of *Eucalyptus* extracts on the growth of *Microcystis aeruginosa*. *Chemosphere*, 219, 412-421.
193. Zheng, J., Suhono, G. B., Li, Y., Jiang, M. Y., Chen, Y., & Siddique, K. H. (2021). Salt-tolerance in castor bean (*Ricinus Communis* L.) is associated with thicker roots and better tissue K⁺/Na⁺ distribution. *Agriculture*, 11fx, Article 821.

References

194. Zohaib, A., Abbas, T., & Tabassum, T. (2020). Allelopathic potential of *Ricinus Communis* L. and its utilization as a natural herbicide: A review. *Journal of Natural Herbicides*.
195. Önen, B. Y., Kaynas, S., & Öney Birol, S. (2020). Afforestation of post-fire *Pinus brutia* Ten. forests: Effects of *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh., *P. brutia* and *Pinus pinea* L. leaf extracts on cell division in *P. brutia*. *Allelopathy Journal*, 50(2), 185-196.