

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BLIDA 1
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIE



Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de Master Académique
Option : Système de production agro-écologique



Evaluation de l'effet allélopathique de la moutarde des champs
(*Sinapis arvensis*) sur la germination et la croissance de l'avoine
(*Avena sativa*) en condition contrôlée

Présenté par:

NEKKACHE HADJER
CHOUDAR SARA

Devant le jury composé de :

| | | | |
|---------------------------|--------------------------------|--------------------|------------------|
| Mr BOUTAHRAOUI SA. | Maitre de conférences B | Univ. Blida | Président |
| Mr ABBAD M. | Maitre de conférences A | Univ. Blida | Promoteur |
| Mr DEROUICHE B. | Maitre de conférences B | Univ. Blida | Examineur |

Septembre 2020

Sommaire

| | |
|------------------------|--|
| Résumé | |
| Liste des abréviations | |
| Liste des tableaux | |
| Liste des figures | |
| Introduction | |

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I. Culture de l'avoine

| | |
|---|----|
| I.1. Origine de culture..... | 04 |
| I.2. Origine Génétique..... | 04 |
| I.3. Classification | 05 |
| I.4. Intérêt économique..... | 05 |
| I.5. Intérêt alimentaire..... | 06 |
| I.6. Morphologie de la plante..... | 06 |
| I.6.1. Système racinaire..... | 08 |
| I.6.2. Tiges | 08 |
| I.6.3. Feuilles | 08 |
| I.6.4. Grains | 09 |
| I.6.5. Fleurs | 09 |
| I.6.6. Fruits | 10 |
| I.7. Types d'avoines cultivées | 10 |
| I.7.1. Avena sativa | 10 |
| I.7.2. Avena nuda | 10 |
| I.8. Cycle de vie de l'avoine | 11 |
| I.8.1. Période végétative | 11 |
| I.8.1.1. La phase germination..... | 11 |
| I.8.1.2. La phase levée - tallage | 11 |
| I.8.1.3. La phase tallage – montaison | 12 |
| I.8.2. Période de la montaison | 12 |
| I.8.2.1. La phase montaison | 12 |
| I.8.2.2. La phase épiaison | 12 |

| | |
|--|----|
| I.8.3. La période de maturation | 12 |
| I.8.3.1. La phase de maturation | 12 |
| I.8.3.2. La phase maturité laiteuse | 12 |
| I.8.3.3. La phase maturité pâteuse | 13 |
| I.8.3.4. La phase maturité | 13 |
| I.9. L'effet de climat sur la culture d'avoine | 13 |
| I.9.1. Température | 13 |
| I.9.2. Pluviométrie..... | 14 |
| I.9.3. Lumière | 14 |

Chapitre II. Généralité sur le phénomène de l'allélopathie

| | |
|---|----|
| II.1. Histoire et définitions de l'allélopathie | 16 |
| II.2. Allélopathie et compétition | 17 |
| II.3. Métabolites des plantes | 18 |
| II.3.1. Métabolites primaires | 18 |
| II.3.2. Métabolites secondaires | 19 |
| II.4. Métabolites impliquées dans le phénomène de l'allélopathie | 20 |
| II.5. Métabolites secondaires impliqués dans le phénomène de l'allélopathie | 20 |
| II.5.1. Térpenoïdes | 21 |
| II.5.2. Alcaloïdes | 21 |
| II.5.3. Composés phénoliques | 22 |
| II.6. Composés allélopathiques | 22 |
| II.7. Manifestations de l'allélopathie | 23 |
| II.8. Voies de libération des composés allélopathiques | 24 |
| II.9. Modes d'action des composés allélopathiques | 25 |
| II.10. Facteurs influant l'activité des composés allélopathiques | 26 |
| II.11. Application de l'allélopathie | 27 |
| II.11.1. Concurrence des mauvaises herbes sur la culture | 27 |
| II.11.2. Lutte contre les mauvaises herbes | 27 |
| II.11.3. Gestion des rotations culturales..... | 27 |
| II.11.4. Itinéraires techniques | 27 |

Chapitre III. La moutarde des champs

| | |
|---|----|
| III.1. Description de la moutarde des champs..... | 29 |
| III.2. Classification | 30 |
| III.3. Ecologie | 30 |
| III.4. Nuisibilité et utilité | 30 |
| III.5. Vertus médicinales de la moutarde des champs | 30 |

MATERIELS ET METHODES

| | |
|--|----|
| IV.1. Objectif de travail | 33 |
| IV.2. Matériel végétale utilisé | 33 |
| IV.2.1. Plante adventice | 33 |
| IV.2.2. Le broyage | 34 |
| IV.3. Préparation de différents traitements | 36 |
| IV.3.1. Agitation | 37 |
| IV.3.2. Décantation et Filtration | 37 |
| IV.3.3. Mise en germination | 38 |
| IV.3.4. Paramètres mesurés | 39 |
| IV.3.4.1. Détermination des pourcentages de germination (FG%) | 39 |
| IV.3.4.2. Mesures des longueurs et des poids des racines et des parties aériennes..... | 40 |
| IV.4. Analyse statistique des données..... | 41 |
| Conclusion | 43 |
| Références Bibliographiques..... | 45 |

Remerciements



Il est primordial de remercier « ALLAH » le Tout-Puissant de tout ce qu'il nous apporte dans la vie et de nous avoir donné la force et le courage pour réaliser ce travail.

*Tout d'abord un grand merci pour l'encadrement **Dr ABBAD M**, votre présence et votre disponibilité permanente, pour vos conseils et votre soutien, et pour m'avoir fourni ses idées nécessaires à l'expérimentation, ayant permis la réalisation sans difficulté du présent travail. On' à l'honneur de nous exprimer nos très profondes reconnaissances et nos sentiments les plus sincères*

*Ce travail a été entièrement réalisé au laboratoire de Biotechnologies du productions végétale **SAAD DAHLEB de Blida1**. Nous remerciment vont en particulière à **Le professeur SENOUSSE**. pour nous voir accueillie dans leur laboratoire, guidé et encouragé scientifiquement tout au long de ce travail, nous le remercie vivement pour leur soutien , leur conseils précieux et leur critique qui nous aidé au sein du laboratoire.*

*Nos remerciements vivement les membres du jury qui ont accepté d'évaluer ce travail. Merci à **Mr BOUTAHRAOUI SA**. qui m'a honoré d'avoir accepté de présider le jury. Je tiens à remercier également **Mr DEROUICHE B**. qui a accepté d'examiner ce travail.*

*Nous adressons nos remerciements à tous mes enseignants et sans oublier **Mr HAMOUCHE B**. que le bon dieu ait son âme. Nous avons grandement apprécié votre soutien, votre implication et votre expérience, tout au long de notre cursus universitaire.*

Enfin nos profonds remerciements a tous les personnes que nous ont aidés de prés ou de loin.

Je dédie cette thèse

En tout premier lieu, je remercie le bon dieu, tout, puissant, de m'avoir donné la force et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

*A la lumière de mes jours, ma vie et mon bonheur, ta prière et ta bénédiction m'ont été d'un grand secours pour mener à bien mes études, aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer ce que tu mérites pour tous les sacrifices. Tu as fait plus qu'une mère puisse faire pour que ses enfants suivent le bon chemin dans leur vie et leurs études. Je dédie ce travail, puisse dieu, le tout puissant te préserver et t'accorder santé, longue vie et bonheur, à toi **maman** que j'adore.*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, que dieu, le très haut, t'accorder santé, bonheur et longue vie à moi mon **père**.*

*En témoignage de mon affection fraternelle, de ma profonde tendresse et reconnaissance, je vous souhaite une vie pleine de bonheur et de succès et que dieu, le tout puissant, vous protège et vous garde, à mes très chères sœurs **KHADIDJA, AMINA, SARA et RACHIDA** et mes très chers frères **FOUAD, MOHAMED et DJAAFER**.*

*A ma grande mère **KHADOUDJA**, qui a voulu partager cette joie et ce jour avec moi, que le bon dieu ait son âme.*

*A mes frères de cœur : **NADIR et HAMDANE**.*

*A ma nièce **INES** et mes neveux **ADEM et MOHAMMED**.*

*A ma chère binôme **SARA** et sa famille.*

Sous pain de ne pas mentionner une personne, ce travail est dédié à tous les gens qui m'ont encouragée.

NEKKACHE HADJER

Je dédie cette thèse

Avant tout, je remercie Dieu pour l'aide qu'il m'a apporté durant la réalisation de ce travail.

*A ma chère **Mère***

« Tu m'as donné la vie ,la tendresse et le courage pour réussir .

Tout ce que je peux t'offrir ne pourra exprimer l'amour et la

Reconnaissance que je te porte.

Entémoigmage , je t'offer ce modeste travail pou te remercier pour

Tes sacrifices et pour l'affection donttu m'astoujours entourée »

*A mon cher **Père***

*« L'épaule solide ,l'œil attentif compréhensif et la presanne la plus
digne de mon estime et de mon respect.*

Aucune dédicace ne savrait exprimer mes sentimeents, que Dieu te

Préserve et te procure santé et longue vie. »

*A mon frère **Mouhamed***

Que dieu vous gardent pour moi

*A mes sœur **Faiza ,Rafika,Fahima et Ikram***

A tous ma famille

*A Mon binôme,**Hadjer***

CHOU DAR SARA

Liste des abréviations

FAO : Food and Agriculture Organisation.

PG : Pourcentage de Germination

NGG : Nombre des Grains Germée.

NTG : Nombre Total des Grains mis a la germination.

LPR : Longueur de Partie Raçinaire.

PPR : Poids de Partie Raçinaire.

LPA : Langueur de Partie Aérienne.

PPA : Poids de Partie Aérienne.

Liste des tableaux

| | |
|--|----|
| Tableau 1. Classification de l'avoine. | 05 |
| Tableau 2. Sommes des températures pour les différentes phases du développement de l'avoine. | 14 |
| Tableau 3. Besoins en eau de l'avoine durant son cycle de développement. | 14 |

Liste des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1. Appareil végétatif de l'avoine. | 07 |
| Figure 2. Les tiges de l'avoine. | 08 |
| Figure 3. Les feuilles de l'avoine. | 08 |
| Figure 4. Les graines d'avoine. | 09 |
| Figure 5. Dissection d'une fleur d'avoine. | 09 |
| Figure 6. Un épillet d'avoine. | 10 |
| Figure 7. <i>Avena sativa</i> | 10 |
| Figure 8. <i>Avena nuda</i> | 11 |
| Figure 9. Interférence entre plantes. | 18 |
| Figure 10. Les grandes voies de synthèse des métabolites secondaires et relations avec le métabolisme primaire. | 19 |
| Figure 11. Structure les molécules phénoliques. | 22 |
| Figure 12. Structure de l'acide Shikimique. | 23 |
| Figure 13. Voies de libération des molécules allélopathique. | 25 |
| Figure 14. Morphologie de la moutarde des champs <i>Sinapis arvensis</i> | 29 |
| Figure 15. Aspect générale de la moutard des champs (<i>Sinapis arvensis</i>). | 33 |
| Figure 16. Séparation et séchage des différents organes de <i>Sinapis arvensis</i> | 34 |
| Figure 17. La matière sèche de partie aérienne de la moutarde des champs (<i>Sinapis arvensis</i>) | 35 |
| Figure 18. Un broyeur électrique utilisé pour broyer les échantillons. | 35 |

| | |
|--|----|
| Figure 19. La matière végétale de la moutarde des champs obtenue à partir de broyage... | 36 |
| Figure 20. Une balance électronique. | 36 |
| Figure 21. Aspect générale de l'agitation de la solution. | 37 |
| Figure 22. Désinfection des graines d'avoine par l'eau de javel. | 39 |
| Figure 23. Mise en germination des graines d'avoine dans les boites de Pétri. | 39 |
| Figure 24. Les graines germées Après 8 jours d'incubation. | 40 |
| Figure 25. Mesure de la longueur de la partie foliaire et racinaire de la culture d'avoine. | 41 |
| Figure 26. Détermination du nombre des graines germées. | 41 |

Résumé

Le présent travail porte sur la recherche de l'évaluation de l'effet allélopathique de la moutarde des champs (*Sinapis arvensis*) sur la germination et la croissance de l'avoine (*Avena sativa*). Pour cela, des tests biologiques sont effectués pour tester leur potentiel allélopathique sur la germination et la croissance des graines de l'avoine. Des solutions de différentes concentrations (25%, 50%, 75% et 100%) sont préparées à partir des parties foliaire et racinaire de *Sinapis arvensis*. Nous avons testé ces solutions sur les graines de l'avoine à une température de $22,5^{\circ}\text{C} \pm 1$. L'effet allélopathique de ces solutions se manifeste beaucoup plus sur le développement des plantules, surtout sur les racines. Leur effet allélopathique augmente lorsque la concentration des solutions augmente.

Mots clés : Allélopathie, *Sinapis arvensis*, *Avena sativa*, germination, croissance.

ملخص

هذا العمل يتمحور حول البحث عن تقييم التأثير الأليلوباثي لخردل الحقل (*Sinapis arvensis*) على إنبات ونمو الخرطال (*Avena Sativa*) تحت ظروف خاضعة للرقابة. من أجل هذا قمنا بتجارب حيوية. يتم إجراء الاختبارات البيولوجية لاختبار إمكانية الأليلوباتية على إنبات ونمو بذور الشوفان. يتم تحضير محاليل بتركيزات مختلفة (25% ، 50% ، 75% ، 100%) من الأوراق وجزء الجذور من *Sinapis arvensis*. اختبرنا هذه المحاليل على بذور الشوفان عند درجة حرارة 22.5 درجة مئوية ± 1 . يتضح التأثير الأليلوباثي لهذه المحاليل بشكل أكثر وضوحًا في نمو الشتلات ، خاصة على الجذور. تزداد آثارها الأليلوباتية عندما يزداد تركيز المحاليل.

الكلمات المفتاحية: الأليلوباتية ، *Sinapis arvensis* ، *Avena sativa* ، الإنبات ، النمو.

Abstract

The present work concerns the research of the evaluation of the allelopathic effect of field mustard (*Sinapis arvensis*) on the germination and growth of oats (*Avena sativa*). For this, biological tests are carried out to test their potential allelopathic on the germination and growth of oat seeds. Solutions of different concentrations (25%, 50%, 75%, and 100%) are prepared from the leaf and root part of *Sinapis arvensis*. We tested these solutions on oat seeds at a temperature of $22.5\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$. The allelopathic effect of these solutions is much more evident in the development of the seedlings, especially on the roots. Their allelopathic effects increase when the concentration of solutions increases.

Keywords: Allelopathy, *Sinapis arvensis*, *Avena sativa*, germination, growth.

INTRODUCTION

Introduction

Les céréales et leurs dérivées constituent l'alimentation de base dans beaucoup de pays en développement, particulièrement dans les pays maghrébins (**Djermoun, 2009**).

La filière céréalière constitue une des principales filières de la production agricole en Algérie, elles en occupent une place importante dans le système alimentaire et dans l'économie nationale (**djermoun, 2009**), où occupe environ 2 708 880ha de la superficie agricole utile, la production annuelle nationale en 2013 est de 4 910 973.5 T.

Parmi les espèces de céréales cultivées présentant des intérêts économique et écologique du l'Avoine.

L'Avoine cultivée (*Avena sativa*) est une plante du bassin méditerranéen. C'est une espèce fourragère d'une grande qualité nutritive (**Husson et al., 2012**). Elle est même considérée comme une excellente plante nettoiyante, qui permet de contrôler un grand nombre d'adventices grâce à ses facultés allélopathiques très marquées. Même les cultures installées sur résidus d'avoine peuvent généralement être conduites sans utilisation d'herbicides (**Husson et al., 2012**).

Ecologiquement: une plante adventice est une plante qui croit de façon spontanée dans les milieux ou biotopes modifiés par l'homme (**Barralis, 1976**).

En agronomie, le terme mauvaise herbe représente toute plante qui pousse là où sa présence est indésirable (**Pousset, 2003**).

La présence des mauvaises herbes ou plantes adventices dans un champ de céréales peut être nuisible à plusieurs titres. La compétition pour l'eau, les éléments minéraux et la lumière, affecte directement la croissance de la culture et son rendement. L'infestation massive de ces mauvaises herbes gênent les outils de labour et de moisson et rendent la réussite de ces opérations problématique. Le mélange de graines de mauvaises herbes avec les graines de la céréale déprécie la qualité commerciale du produit récolté. Il convient donc de lutter efficacement contre les adventices des céréales (**Ouattar et Ameziane, 1989**).

Les phénomènes de compétition entre les mauvaises herbes et les cultures interviennent également dans les pertes de rendement (**Le Bourgeois et Merlier, 1995**). La présence de ces mauvaises herbes affecte le rendement de l'ordre de 20 à 30 %. Ceci entraîne un déficit monétaire très important surtout dans les cultures céréalières (Hussain et al., 2007).

Allélopathie efficacité des mauvaises herbes sur la germination et croissance des cultures (**Hamayun et al, 2005**). Les effets allélopathiques des différentes mauvaises herbes diffèrent également quant à leurs effets sur germination et la croissance initiale des plantes (**Aziz et al, 2008; Economou et al, 2002**).

Dans la littérature, plusieurs études ont montré que la capacité à supprimer les mauvaises herbes par une culture est très différentes (ou variable) d'une variété à une autre. Cette différence est expliquée en partie par la capacité de ces cultures à sécréter des substances chimiques affectant la croissance des mauvaises herbes à savoir l'allélopathie (**Olofsdotter et al., 2002 ; Wu et al., 2000**). **Sánchez-Moreiras et al. (2004)** et **Olofsdotter et al. (2002)** ont expliqué que l'activité allélopathique est particulièrement élevée chez les céréales.

Des études ont été faites en ce qui concerne l'évaluation de l'effet allélopathique de la moutarde des champs (*Sinapis arvensis*) sur la germination et la croissance de l'avoine en condition contrôlée.

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I :
Culture de l'avoine

I. Culture de l'avoine :

L'avoine est une céréale des zones modérées, disparu de plus en plus des terres arables. C'est une plante rustique, cultivée dans les régions tempérées, principalement comme fourrage vert (parties aériennes et paille), mais aussi pour son grain (en alimentation humaine ou animale). (SIRODOT.G-E., 2016)

I.1. Origine de culture

L'avoine est originaire du nord-est de l'Europe (Autriche et Russie) et des plateaux de l'Éthiopie et de la Chine. Le plus ancien grain d'avoine a été découvert en Égypte dans les vestiges de la Dynastie, autour de 2000 ans avant J.-C., et devait probablement provenir de plantes sauvages, puisque l'avoine n'était pas encore cultivée à cette époque. La plus ancienne avoine cultivée a été découverte dans des grottes en Suisse et daterait de l'époque de l'âge de bronze. L'avoine a été introduite en Amérique en 1609 sur les îles Élisabeth, sur les côtes de l'État du Massachusetts et Georges Washington, premier président des États-Unis d'Amérique, en aurait semé 234,71 hectare) en 1786. (SIRODOT.G-E., 2016)

I.2. Origine Génétique

Avena sativa L. est distribuées autour du bassin Méditerranéen. Comme le genre *Triticum*, le genre *Avena* est représenté par des espèces *diploïdes* ($2n=14$), *tétraploïdes* ($2n=28$) et *hexaploïdes* ($2n=42$). Le schéma évolutif et les mécanismes responsables de l'évolution de la *polyploïdie* sont essentiellement les mêmes que ceux décrits pour le blé. Contrairement au blé, le processus de domestication et de culture de l'avoine n'implique que les espèces *hexaploïdes*. Deux autres espèces, *A. byzantina* (avoine rouge) et *A. nuda* sont mentionnées dans la littérature comme ayant été cultivées dans les premiers temps en Méditerranée orientale. Ces espèces possèdent des panicules peu denses et les caryopses ont tendance à se détacher à leur maturité. Ces taxons sont maintenant considérés comme faisant partie d'*Avena sativa* étant donné qu'ils partagent le même génome. Leur grande similarité génétique avec *A. sativa* ne justifie pas de leur donner un statut spécifique. (Sirodot.g-e ., 2016)

I.3. Classification

Selon **Feillet (2000)** l'avoine est une plante annuelle herbacée monocotylédone appartenant à :

Tableau 1 : Classification de l'avoine.

| | |
|---------------------|---------------------|
| Règne | <i>Plantae</i> |
| Sous-règne | <i>Tracheobiona</i> |
| Division | <i>Magnoliopha</i> |
| Classe | <i>Liliopsida</i> |
| Sous-classe | <i>Commelinide</i> |
| Ordre | <i>Cyperales</i> |
| Famille | <i>Poaceae</i> |
| Sous-famille | <i>Pooideae</i> |
| Tribu | <i>Aveneae</i> |
| Genre | <i>Avena</i> |
| Espèce | <i>Avena sativa</i> |

Feillet (2000).

I.4. Intérêt économique

La production mondiale d'avoine représente près de 800 kilogrammes par seconde, soit 25 millions de tonnes par an. L'Union européenne est la 1ère productrice d'avoine devant la Russie et le Canada. Mais ces deux derniers consomment l'essentiel de leur production. La production mondiale d'avoine est d'environ de 22,5 à 25 millions de tonnes lors de la campagne 2011-2012 cultivés sur 10,6 millions d'hectares. Elle avait beaucoup baissé depuis 50 ans quand elle atteignait 50 millions de tonnes. En effet, l'avoine a très longtemps été l'aliment de choix pour les animaux de traction notamment les chevaux, mais Aujourd'hui on les nourrit avec du maïs ou de l'orge ce qui a précipité le déclin de sa production au niveau mondial. Toutefois, depuis les années 1970, la consommation d'avoine a tendance à remonter car on redécouvre les bienfaits de sa consommation notamment sur la santé. Globalement, la production mondiale d'avoine est très inférieure à celle de blé, de maïs, ou même d'orge. En termes de commerce international, qui concerne environ 10% des récoltes mondiales, c'est donc le Canada qui est de très loin le premier exportateur, essentiellement à destination des Etats-Unis. Les productions européennes,

russes et canadiennes ont accusé en baisse sensible en 2009-2010 et en 2010-2011, où la production mondiale a fini sous les 20 millions de tonnes. **(FAO ,2012).**

I.5. Intérêt alimentaire

L'avoine est utilisée dans l'alimentation humaine sous forme de flocons.

En fourrage, lorsque la plante récoltée avant l'épiaison, elle constitue un bon aliment pour les ruminants. Le grain, peut être utilisé en alimentation animale mais il est moins bien apprécié que le blé, présence d'ergot (toxine troubles nerveux...) d'alcaloïdes (résorcinol, gout amer moins dans les nouvelles variétés, beaucoup de NSP et les pétouanes. Bon piège à nitrate, comme la moutarde il gel en hiver. **(Hamadache, 2000)**

On distingue deux grandes catégories de fourrages : les fourrages verts et les fourrages secs. Dans la totalité des exploitations, quelle que soit leur S.A.U, l'avoine est dominante car utilisée comme ration de base ; elle est suivie de l'orge et de l'association vesce avoine (en sec et en vert) dans respectivement 77% et 34%, 21% et 30% des unités. La plupart des éleveurs (87%) exploitent les prairies naturelles. Ce pourcentage élevé coïncide avec la période de sa disponibilité durant la période de notre étude (hiver - printemps). **(Devun J., Legarto J., 2011)**

I.6. Morphologie de la plante

L'avoine est une plante annuelle à racines fasciculés abondantes dans les dix premiers centimètres du sol. Elle peut produire des racines adventives au niveau des nœuds, aux pailles de 80 à 150 cm de la hauteur, simple ou ramifiée à la base et développe un tallage important, C'est une monocotylédone à tige cylindrique de 25 à 150 cm de haut. **(Clement et al. 1971)**



Figure 1 : Appareil végétatif de l'avoine. (Surget et al, 2005)

I.6.1. Système racinaire

L'avoine présente un système racinaire fasciculé assez développé si on le compare à celui du maïs ou des graminées prairiales, notamment le dactyle, mais la profondeur de l'enracinement qui en résulte est souvent liée à la profondeur du plan d'eau (Soltner, 1979). On constate ainsi que celui-ci est du type fasciculé peu développé, 55% du poids total des racines se trouvent entre 0 et 25 cm de profondeur, 17,5% entre 25 et 50 cm, 14,9% entre 50 et 70 cm, 12% au-delà (Clement et al, 1971.)

I.6.2. Tiges

Un pied d'avoine comprend généralement plusieurs tiges. Les plus grandes se terminent par des panicules. Sept ou huit feuilles s'insèrent sur autant de nœuds. On réserve le nom de chaume aux tiges comme celles de l'avoine rigides, dressées, grêles, non ramifiées et creuses sauf aux nœuds. (Boulal et al., 2007)



Figure 2 : Les tiges de l'avoine. (Boulal et al., 2007)

I.6.3. Feuilles

Les feuilles d'un chaume sont alignées sur deux rangés. (Boulal et al., 2007)



Figure 3 : Les feuilles de l'avoine. (Boulal et al., 2007)

I.6.4. Grains :

Le grain est un caryopse entouré de glumelle non adhérente mais restent fermé.
(Soltner et al, 2005)



Figure 4 : Les graines d'avoine. (Soltner et al, 2005)

I.6.5. Fleurs

Les fleurs sont hermaphrodites (les organes mâles et femelles sur les mêmes fleurs). Elles sont auto- polonisées par le vent. Elles sont arrangées en épillets de deux à trois fleurs fertiles, mesurant de 20 à 25 mm de long, entourées de leurs glumelles supérieures et inférieures initialement partiellement masquées par les glumes supérieures et inférieure de l'inflorescence. Ces dernières sont des panicules lâches, Elles mesurent de 8 à 30 cm de long. . (Soltaner, 1990)

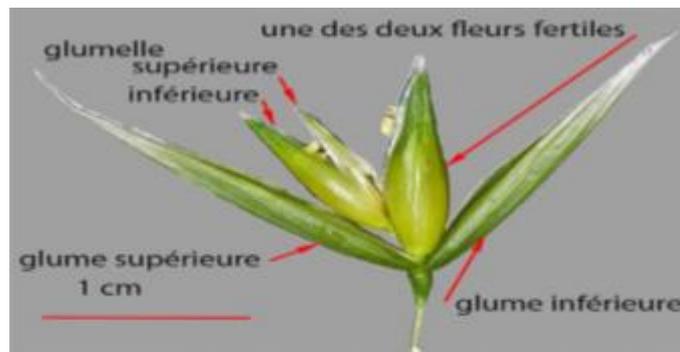


Figure 5 : Dissection d'une fleur d'avoine (surget et al, 2005)

I.6.6. Les fruits :

L'avoine a des épillets de 10 à 75 épillets. (Soltner et al, 2005)



Figure 6 : Un épillet d'avoine. (Soltner et al, 2005)

I.7. Types d'avoines cultivées

I.7.1. *Avena sativa*

C'est une avoine vêtue de type printemps et hiver dont les couleurs de l'enveloppe peuvent être blanches, jaune (grise) ou noire.



Figure 7 : *Avena sativa* (Meziani., 2014)

I.7.2. *Avena nuda*

Avoine nue (grain sans enveloppe) possédant qu'une seule couleur d'amande claire. .
(Ali Meziani., 2014)



Figure 8 : *Avena nuda*. (Meziani., 2014)

I.8. Cycle de vie de l'avoine

On distingue trois périodes importantes dans le cycle végétatif de l'avoine : une période végétative, une période de reproduction et une période de maturation.

I.8.1. Période végétative

Elle s'étend du semis au début de la montaison, elle est subdivisée en plusieurs phases :

I.8.1.1. La phase germination – levée

La germination commence quand le grain a absorbé environ 25% de son poids d'eau. Les téguments se déchirent, la racine principale couverte d'une enveloppe appelée *Coleorhize*, apparaît, suivie par la sortie de la première feuille, couverte d'une enveloppe appelée *Coléoptile*. A la surface du sol, puis apparaissent d'autres racines et feuilles. La durée de cette phase varie avec la température de 8 à 15 jours (**Clement grandcourt et prat, 1970**)

I.8.1.2. La phase levée - tallage

C'est un mode de développement propre aux graminées, caractérisé par la formation du plateau du tallage, l'émission de talles et la sortie de nouvelles racines (**Soltner, (1988)**). La durée de cette période varie de 31 à 89 jours pour des températures moyennes de 09 à 32° C respectivement (**Mekliche, 1983**).

I.8.1.3. La phase tallage – montaison

Elle est caractérisée par la formation de talles et l'initiation florale qui se traduit par l'apparition de la future ébauche de l'épi. Tout déficit hydrique durant cette période se traduit par une diminution du nombre de grains par épi (**Martin- prevel, 1984**).

I.8.2. Période de la montaison

Elle s'étend de la montaison à la fécondation. Elle se distingue par :

a- La phase montaison

Elle commence lorsque les entres nœuds de la tige principale se détachent du plateau du tallage, ce qui correspond à la formation du jeune épi à l'intérieur de la tige. **BELAID (1987)** considère que ce stade est atteint quand la durée du jour est au moins de 12 heures et lorsque la culture a reçu au moins 600°C sur l'année.

b- La phase épiaison

Cette période commence dès que l'épi apparaît hors de sa gaine foliaire et se termine quand il est complètement libéré. La durée de cette phase est de 7 à 10 jours. Elle dépend des variétés et des conditions du milieu, (**Martin- prevel, 1984**). C'est la phase où la culture atteint son maximum de croissance .

I.8.3. La période de maturation

a- La phase de maturation

Cette phase est caractérisée par le grossissement du grain, l'accumulation de l'amidon et les pertes de l'humidité des graines qui marque la fin de la maturation (**Boufenar-zaghouane, 2006**). Cette phase de maturation dure en moyenne 45 jours. Les graines vont progressivement se remplir et passer par différents stades :

b- La phase maturité laiteuse

Ce stade est caractérisé par la migration des substances de réserves vers le grain et la formation des enveloppes. Le grain est de couleur vert clair, d'un contenu laiteux et atteint sa dimension définitive.

c- La phase maturité pâteuse

Durant cette phase les réserves migrent depuis les parties vertes jusqu'aux grains. La teneur en amidon augmente et le taux d'humidité diminue. Quand l'avoine est mûre le végétal est sec et les graines des épis sont chargées de réserves (**Soltner, 1988**).

d- La phase maturité complète

Après le stade pâteux, le grain mûrit, se déshydrate. Il prend une couleur jaune, durcit et devient brillant. Ce stade est sensible aux conditions climatiques et à la condition de récolte (**Soltner, 1988**)

I.9. Effet de climat sur la culture d'avoine

I.9.1. Température

Selon **Vilain(1997)**, la température influe sur la croissance de la plante, car toutes les réactions biochimiques impliquées dans la croissance sont sensibles à la température. Le zéro de végétation de l'avoine est de 0°C, mais le seuil pratique est de l'ordre de 3 à 5°C. L'optimum de température pour la germination se situe entre 20 et 30°C, (**Diehi, 1975**)

La sortie de chaque organe (feuille, talle, racine) s'effectue pour une somme de température déterminée. La température trop basse après la levée retardent la sortie de la première talle, et à partir de la première talle le tallage est favorisé par des températures basse, qui allongent la phase tallage montaison et donc augmentent le temps dont dispose la plante pour émettre les talles (**Soltner, 1980**).

Pour que l'avoine puisse réaliser les différentes phases physiologiques ainsi son cycle de développement, il a besoin d'une certaine somme de température qui varie d'une phase à l'autre.

Tableau 2 : Sommes des températures pour les différentes phases du développement de l'avoine.

| Phases | Besoins en températures |
|-----------------------|-------------------------|
| Semis-Levée | 150°C |
| Levée- Fin de tallage | 500°C |
| Montaison-Floraison | 850 °C |
| Floraison – Maturité | 850 °C |
| Total | 2350 °C |

(ITGC., 2001).

I.9.2. Pluviométrie

L'eau joue un rôle vital dans la croissance de la plante. Puisqu'en plus de l'eau de constitution des celle qui entre dans les synthèses glucidiques catalysées par la chlorophylle, L'eau véhicule les éléments minéraux de la sève brute. Pour germer, l'avoine a besoin d'un sol humide mais sans excès. Les besoins en eau augmentent après le tallage. La période critique, c'est-à-dire l'époque des plus forts besoins en eau commence environ 20jours avant l'épiaison et se termine 25 à 30 jours après la floraison (**Anonyme., 1981**)

Tableau 3 : Besoins en eau de l'avoine durant son cycle de développement.

| Stades | Besoins en eau (mm) |
|---------------------------|---------------------|
| Semis –Levée | 20 |
| Levée – Montaison | 60 |
| Montaison – Epiaison | 180 |
| Epiaison- Grains laiteux | 160 |
| Grains laiteux – Maturité | 80 |
| Total | 500 |

(ITGC., 2001).

I.9.3. Lumière

L'avoine est adaptée aux jours longs (donc la floraison s'effectue plus rapidement en jour longs).Il faut que la durée d'éclairement soit d'environ 12 heures pour que l'épi commence à monter dans la tige. Au-dessous de cette valeur seuil de durée de jour, il n'y a pas de formation d'épillets et les plantes continueront à différencier des organes végétatifs (**Simon et al, 1989**).

Chapitre II :
Généralités sur le phénomène
de l'allélopathie

Chapitre II. Généralités sur le phénomène de l'allélopathie

Les communautés végétales sont en partie régies par les interactions entre espèces. Il existe deux modalités d'interactions entre les plantes: les relations de facilitation représentant l'effet positif d'une espèce sur d'autres espèces, comme la protection contre l'herbivorie et les associations symbiotiques et les interférences négatives. Ces dernières peuvent être directes; c'est-à-dire, de plante à plante (compétition, allélopathie) ou indirectes (attraction ou entretien d'organismes comme les herbivores affectant les plantes voisines) (**Bouton, 2005**).

II.1. Histoire et définitions de l'allélopathie

L'allélopathie est une interaction chimique à distance exercée entre plants d'espèces différentes par l'intermédiaire des substances, généralement toxiques (antibiotiques, toxines, inhibiteurs de germination ou de croissance) excrétées par leurs racines ou par leurs feuilles dans le milieu environnant (air, eau, sol) (**Foret, 2004**).

Dès l'antiquité, l'homme a observé que certains végétaux gênaient le développement d'autres espèces voisines : Théophraste remarquait que le pois chiche détruisait les mauvaises herbes. En outre, il est constaté que le noyer ne laissait pousser aucune plante sous son feuillage (**Rizvi Et Rizvi, 1991**). Au siècle dernier, De Candolle suggéra que la fatigue des sols pourrait être due à des exsudats des cultures. En 1937, **Molisch** précisa le phénomène et créa le terme d'allélopathie (**Chadda, 2008**).

En 1937, à la fin de sa vie, **HANS MOLISH** publie son dernier livre, consacré aux interactions chimiques entre plantes, largement illustrées par les effets de *l'éthylène* sur la maturation des fruits. A cette occasion, il propose d'utiliser le terme d'allélopathie pour décrire ce type de relations interspécifiques faisant appel à des médiateurs chimiques.

En 1984, Rice pose les fondements de l'allélopathie « moderne » et la définit comme un effet positif ou négatif, direct ou indirect, d'un végétal-micro-organisme inclus sur un autre, par le biais de composés chimiques libérés dans l'environnement. Cette définition prévaut aujourd'hui et illustre bien en quoi ce type d'interaction diffère du parasitisme et de la symbiose (où il y a contact direct entre les protagonistes) ainsi que de la compétition (dans laquelle une ressource commune et limitée est exploitée par les protagonistes). Des phénomènes allélopathiques ont pu être détectés à la fois dans des

écosystèmes naturels ou soumis à la gestion humaine, et des applications pratiques commencent à voir le jour notamment pour les agro systèmes (**REGNAULT-ROGER et al., 2008**).

Beaucoup d'auteurs dont **Caussanel (1975)**, **Desaymard (1977)**, **Drapier (1983)**, **Singh et al., (2001)**, **Brunel (2002)**, **Delabays et Mermillod (2002)**, **Pellissier (2002)**, **de Raissac (2002)**, **Lacroix, (2003)**, **Cordonnier (2004)**, **Leconte (2004)**, **Lelong et al. (2004)**, **Kim (2004)**, **UkChon et al., (2004)**, **Delabays, (2005)**, **Hulot et Lacroix (2005)** s'accordent pour définir l'allélopathie comme l'ensemble des phénomènes qui sont dus à l'émission ou à la libération de substances organiques par divers organes végétaux, vivants ou morts et qui s'expriment par l'inhibition ou la stimulation de la croissance des plantes se développant au voisinage de ces espèces ou leur succédant sur le même terrain (**Chadda, 2007**).

II.2. Allélopathie et compétition

Schoener (1983) divise la compétition en catégories selon les mécanismes par lesquels s'exprime. L'une des catégories est la compétition chimique (par la production de toxines qui agissent à distance); ce mécanisme est appelé l'allélopathie. Plusieurs travaux notoires ont étudiés les processus de cette interaction dont les travaux de **Whittaker et Feeny, 1971** ; **Harborne, 1982** ; **Rice, 1984** ; **Putnam et Tang, 1986** ; **Gopal et Goel, 1993** ; **Seigler, 1996**). Généralement, ils pensent à des plantes exsudant des poisons qui empêchent la croissance des autres plantes (**Ricklefs et Miller, 2005**).

L'exposition des plantes sensibles aux allélochimiques peut affecter leur germination, leur croissance et leur développement. En effet, la germination des graines est alors retardée ou le développement des plantes est inhibé. Les variations morphologiques sont observées le plus souvent aux premiers stades de développement : des effets sur l'allongement de la tigelle et de la racine (coléoptile et coléorhiz des poacées). Ces variations peuvent être observées aux stade post-levée sur le développement des pousses et des racines (**Kruseet al., 2000**).

Les plantes présentes dans une parcelle cultivée interfèrent entre elles de différentes manières. Traditionnellement, cette interférence est attribuée principalement à des effets de compétition pour les ressources de l'environnement telles que l'eau, la lumière ou les substances nutritives (**Delabays, 2005**). Dans ce même contexte, **Rizvi Et Rizvi (1991)** et

Delabays (2004) soulignent que les phénomènes de concurrence entre végétaux se composent d'une part de la compétition pour les ressources du milieu et d'autre part de l'allélopathie (**Figure 09**).

Le phénomène de l'allélopathie a été souvent considéré comme une part de la compétition ou complètement ignorée. Actuellement, ces deux mécanismes sont bien différenciés et sont généralement regroupés sous le terme d'interférences négatives. Les effets de ces interactions dépendent des facteurs physiques environnementaux et de la combinaison entre la compétition pour les ressources, les composés allélopathiques émis dans l'environnement et les facteurs de facilitation (**Delabays, 2004**)

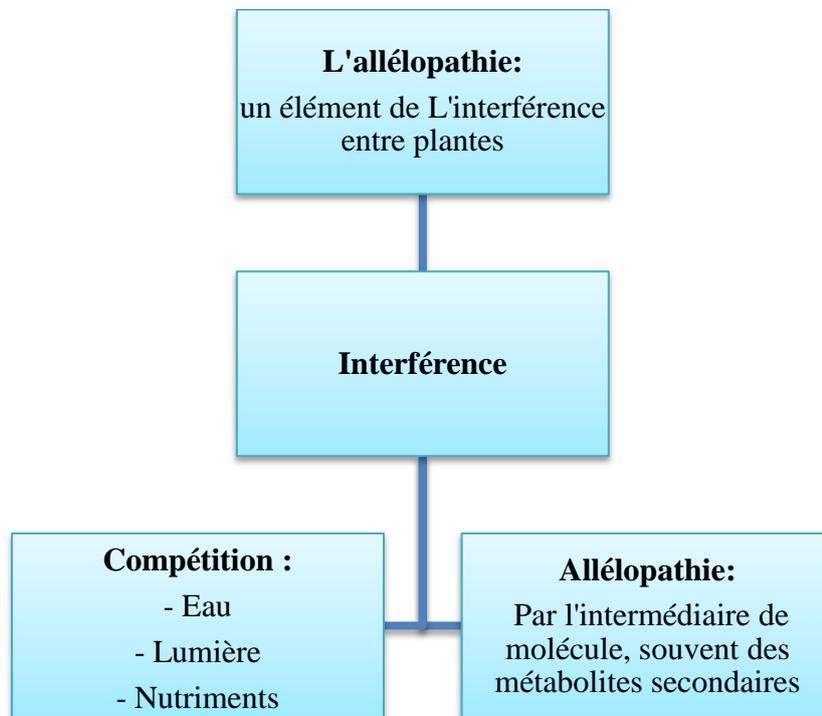


Figure 9 : Interférence entre plantes (**Delabays et Mermillod, 2002**)

II.3. Métabolites des plantes

Chez les végétaux, deux catégories de voie métaboliques se déroulent déterminant ainsi deux types de métabolites, dites primaires et secondaires.

II.3.1. Métabolites primaires

Le métabolisme peut également être subdivisé différemment. Par exemple toutes les cellules renferment des glucides phosphorylés, des acides aminés, des lipides et des

acides nucléiques, ces molécules qui sont à la base de la machinerie moléculaire de la cellule sont dénommées métabolites primaires (Hopkins, 2003).

II.3.2. Métabolites secondaires

Les métabolites secondaires sont des produits dérivant du métabolisme général et ne jouent apparemment aucun rôle vital. Ils sont propres à chaque espèce. Ils sont l'expression de la diversité du monde vivant. Ce sont des molécules qui ne participent pas directement au développement des plantes, mais plutôt, elles interviennent dans les relations avec les stress biotiques et abiotiques ou améliorent l'efficacité de la reproduction. Elles varient en fonction des espèces (Buchanan, 2006).

Un métabolite secondaire est une molécule ,telle que les acides phénoliques les flavonoïdes, les trapézoïdes et les alcaloïdes, que produisent les organismes en dehors des voie métaboliques strictement nécessaires à assurer la survie (on parle de métabolisme primaire dans ce cas). Cette gamme de composés est très développée chez les végétaux et constitue un moyen de lutte contre des concurrents écologiques (allélopathie) ou des prédateurs (production des substances toxiques ou des mauvais goût contre un Herbivore (Figure 02)(Benchacha, 2008).

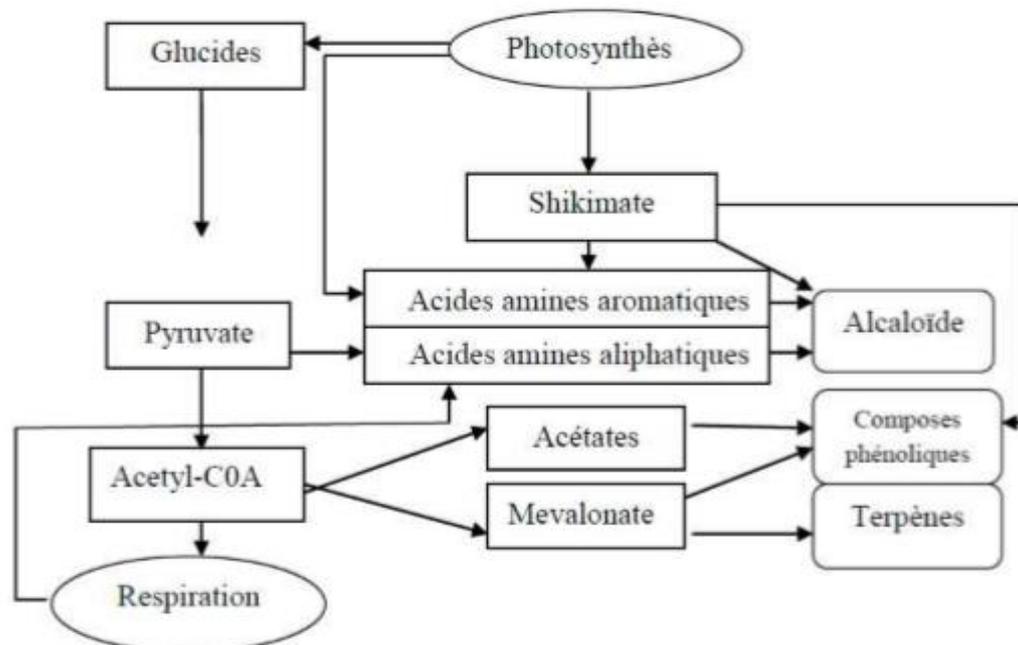


Figure 10 : Les grandes voies de synthèse des métabolites secondaires et relations avec le métabolisme primaire (REGNAULT-ROGER, 2008)

Ils dérivent principalement des métabolismes primaires via les molécules charnières comme l'acide Shikimique, l'acetyl-CoA et l'acide mevalonique. Il existe donc des liens étroits entre la grande fonction physiologique des végétaux (photosynthèse et respiration) et la production de métabolites secondaires, potentiellement allélopathiques. Leur importance quantitative chez les végétaux est extrêmement variable et contrôlée par des facteurs aussi bien génétiques qu'environnementaux. Ainsi, leur apparition et/ou accumulations coïncident souvent avec une étape de développement, et seront modulées par les conditions environnementales (**REGNAULT-ROGER, 2008**).

II.4. Métabolites impliquées dans le phénomène de l'allélopathie

De nombreuses études notoires ont montrées que les composées chimiques impliquées dans les interactions allélopathiques entre végétaux dérivent de métabolismes secondaires des certaines plantes caractéristiques. Les études analytiques munies dans ce contexte ont rapportées la nature chimique de ces composées et leurs modalités d'action. Ces métabolites se rencontrent généralement en faible quantités et leur production peut être soit largement répandue soit limitée à certaines familles botaniques, ou à certains genres voir à certaines espèces particulières. De nombreux métabolites secondaires intervienne dans les mécanismes de défense végétaux vis-à-vis de phytophages ; servent à réduire l'impact des insectes ou des animaux prédateurs ou bien exercent d'autres fonctions de protection (**HOPKINS, 2003**).

Les métabolites secondaires végétales, bien sont impliquées dans les mécanismes de défenses des plantes, elles contribuent aussi dans les processus de compétitions inter et intraspécifiques des végétaux, dans les différentes types d'associations. Elles sont ainsi impliquées dans les phénomènes d'attractions (substances sémio-chimiques), comme c'est le cas de mécanismes d'attraction des pollinisateurs (**BUCHANAN, 2006**).

II.5. Métabolites secondaires impliqués dans le phénomène de l'allélopathie

Les métabolites secondaires constituent un groupe très hétérogène par leur nature chimique comme par leur répartition systématique, leur localisation anatomique et leur action physiologique supposée. Parmi les familles chimiques les plus connues par ces effets biologiques on cite les terpenoïdes, composés phénoliques et les alcaloïdes

II.5.1. Térpenoïdes

Les terpenoïdes des plantes sont beaucoup utilisés en raison de leurs qualités aromatiques. Ils jouent un rôle dans les remèdes en herboristerie traditionnelle et font l'objet de recherche pour découvrir des effets antibactériens, antinéoplasiques ou autres effets pharmaceutiques (**BEN CHACHA, 2008**).

Les térpenoïdes constituent un vaste groupe de métabolites secondaires de structure diverse, et sont impliqués dans de nombreuses interactions biotiques. *Les terpenoïdes* sont très largement distribués et beaucoup possèdent des fonctions physiologiques primordiales, comme éléments des stéroïdes liés aux membranes, des pigments caroténoïdes, de la chaîne latérale aphytale de la chlorophylle et d'hormones (acide gibbérellique et acide abscissique). Ils sont formés par la polymérisation des unités à 5 atomes de carbone (isoprène). Le nom à l'origine historique car les premiers membres du groupe ont été isolés de la térébenthine. Ils sont appelés aussi isoprénoïdes car leur dégradation thermique libère l'isoprène (**JUDD et al., 2002**).

II.5.2. Alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des molécules organiques hétérocycliques azotées, d'origine naturelle. Les alcaloïdes présentent des structures très diverses. Ils dérivent de différents acides aminés ou de l'acide mevalonique en passant par différentes voies biosynthétiques. Ils ont une activité biologique chez les animaux, souvent même à très faibles concentrations, et beaucoup sont couramment utilisés en médecine ou bien toxiques (par exemple la cocaïne, la morphine, l'atropine, la colchicine, la quinine, et la strychnine (**JUDD et al., 2002**). A la différence des composés terpéniques et des polyphénols, les alcaloïdes forment une grande famille des molécules chimiquement hétérogènes. Leurs caractéristiques communes sont leur solubilité dans l'eau, la présence d'au moins un atome d'azote et leur forte activité biologique. Le mot "alcaloïde" est pratiquement synonyme du mot "drogue"; 10 des 12 drogues qui ont pour origine une plante et qui sont commercialisés (**Balandrin et al. 1985**). La plupart des *alcaloïdes* sont synthétisés à partir d'un petit nombre d'acides aminés (*tyrosine, tryptophane, ornithine, arginine et lysine*). La nicotine, l'*alcaloïde* du tabac, est synthétisée à partir de l'acide nicotinique et la caféine est un dérivé purique. Bien que quelques alcaloïdes soient répartis dans plusieurs genres voire plusieurs familles, la plupart des espèces végétales possèdent leur propre panoplie

d'alcaloïdes. Comme pour les autres métabolites secondaires, un alcaloïde donné peut être confiné dans des organes particuliers comme par exemple les racines, les feuilles ou les jeunes fruits (Hopkins, 2003).

II.5.3. Composés phénoliques

Les composés phénoliques ou polyphénols forment une grande famille de composés chimiques très divers depuis les simples acides phénoliques jusqu'aux grands polymères complexes que sont par exemple, les tanins et la lignine. Comme pour d'autre produits secondaires, de nombreux composés phénoliques semblent être impliqués dans des interactions plante/herbivore; certains (exemple la lignine) sont des composés structuraux importants alors que d'autre semblent n'être que de simples métabolites terminaux qui ne possèdent pas de fonction déterminée (Figure11) (Hopkins, 2003).

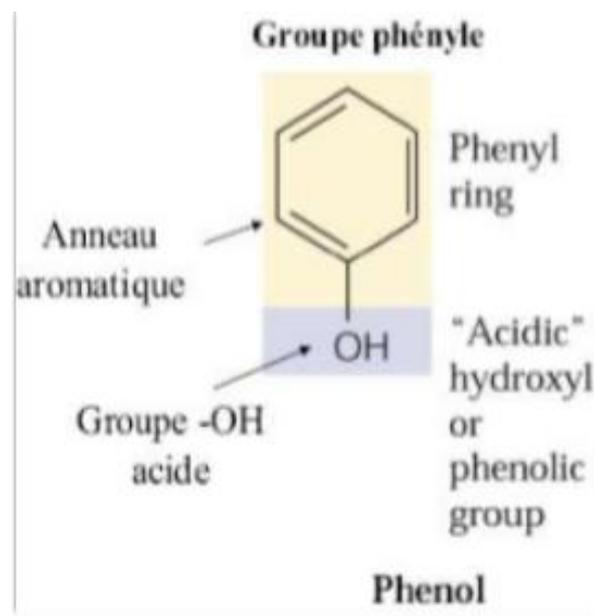


Figure 11 : Structure des composés phénoliques. (Buchanan, 2006)

II.6. Composés allélopathiques

Les composés allélopathiques sont des métabolites secondaires appartenant à différentes classes de composés chimiques, issus souvent de la voie de synthèse de Shikimate (BOUTON, 2005). L'acide Shikimique, plus connu sous sa forme anionique, les Shikimate, est un intermédiaire biochimique important dans les plantes et le micro organismes. Il doit son nom à la fleur japonaise shikimi, *Illicium religiosum*, Illiciacees) ou anis étoile (Figure 04). (MEYER et al., 2004)

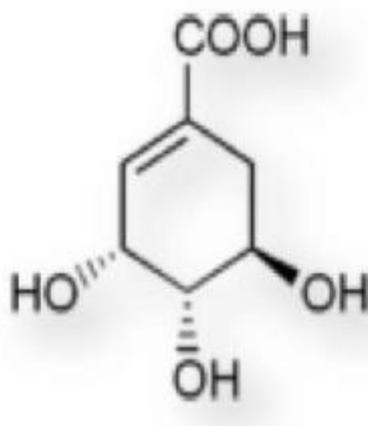


Figure 12 : Structure de l'acide Shikimique (BOUTON, 2005).

Les composés allélopathiques sont le plus souvent des composés phénoliques. Pour être considérés comme composés allélopathiques, les acides phénoliques doivent notamment être sous forme active (libre et protonée) (Blum, 2004). Ces composés ne jouent aucun rôle dans le métabolisme de base de la plante émettrice. Il s'agit de:

- **Gaz toxiques** : le cyanure ou l'ammoniac inhibe la germination et la croissance des plantes, alors que l'éthylène stimule la germination ;
- **Acides organiques**: l'acide citrique inhibe la germination à (0,1%) ; les acides oxalique ou acétique, très abondants, peuvent inhiber la germination ;
- **Composés aromatiques**: acides phénoliques, coumarines (parmi les composés naturels les plus phytotoxiques); alcaloïdes (caféine et nicotine); flavonoïdes, tannins (peu efficace); quinone (la juglone du noyer, inhibe la croissance des plantes herbacées comme la luzerne, mais également des arbres comme le pommier) (Dobremez et al, 1995 ; Chadda, 2007).

II.7. Manifestations de l'allélopathie

L'allélopathie est un phénomène complexe: entre la molécule synthétisée dans une plante et l'effet allélopathique proprement dit en conditions naturelles, de multiples facteurs peuvent intervenir, tels que le niveau de production des composés phyto-toxiques dans les plantes, leur relâchement dans le milieu, leur persistance ou leur transformation éventuelle (Delabays, 2005).

Une fois les allélochimiques sont relâchés dans l'environnement, ils provoquent l'inhibition qui peut résulter d'une action directe sur la plante cible et son métabolisme (division cellulaire, synthèse des protéines, perméabilité membranaire,...) ou d'un effet indirect, par exemple, dans le cas des légumineuses, sur les nodosités responsables de la fixation biologique de l'azote (**Elrefai et Moustafa, 2004**).

II.8. Voies de libération des composés allélopathiques

Tous les organes végétaux contiennent des quantités variables de substances potentiellement allélopathiques qui sont libérées dans l'environnement par des voies diverses, actives ou passives : volatilisation, exsudation racinaire, lessivage ou décomposition des résidus végétaux incluant les racines. La libération de substances toxiques volatiles par les plantes est un phénomène écologiquement plus important dans les milieux arides ou semi-arides. Les substances émises par cette voie sont le plus souvent des mono terpènes simples (**BERTIN et al., 2003**).

On appelle exsudats racinaires toutes les substances organiques solubles et insolubles libérées dans le sol par les racines saines ou lésées. L'exsudation racinaire présente un intérêt particulier pour les phénomènes allélopathiques parce qu'il s'agit d'une voie de libération directe des toxines dans la rhizosphère, pouvant ainsi potentiellement influencer la composition de la flore microbienne (**BERTIN et al., 2003**).

Le lessivage de tissus végétaux, principalement de feuilles, par la pluie, le brouillard ou la neige conduit à la dissolution et au transport de constituants solubles vers le sol. La grande majorité des substances allélopathiques peut être lessivée, y compris les terpènes, les alcaloïdes et les substances phénoliques (**TUKEY, 1970**).

Dans les situations naturelles, il est difficile de différencier l'importance relative de ces aspects. Ce phénomène d'allélopathie a été décrit chez les espèces de la famille des Astéracées (**Rice, 1984**).

Quel que soit le mode d'émission par la plante productrice, les substances vont évoluer et migrer dans le milieu par différentes manières; volatilisation, ruissellement, lessivage, et dégradation. (**Figure 13**) (**Lance et al, 1996; Chadda, 2007**).

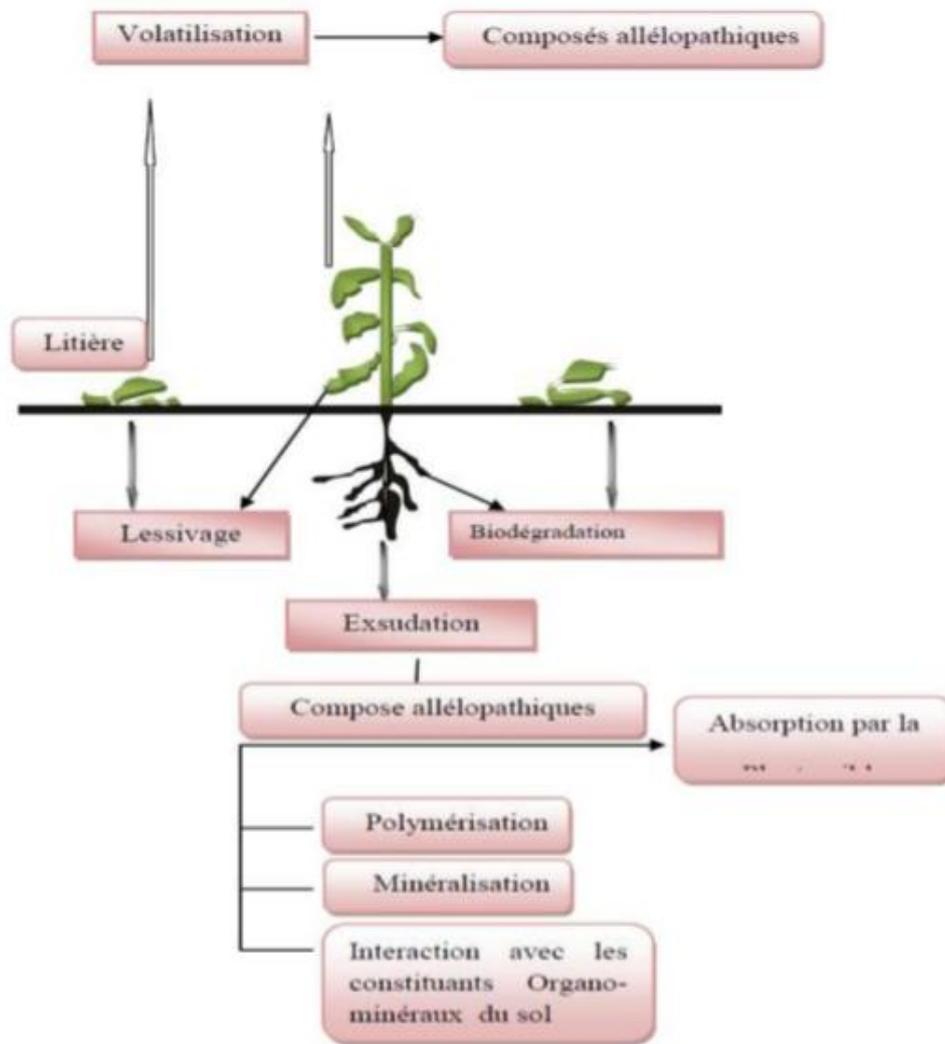


Figure 13 : Voies de libération des molécules allélopathique (REGNAULT-ROGER, 2008)

II.9. Modes d'action des composés allélopathique

Rice (1984) a indiqué que les effets des substances allélopathique sur la germination ou sur la croissance des plantes cibles ne sont que les signes secondaires de modifications primaires. En fait, peu d'effets spécifiques sont attribuables à ces produits, qui ont aussi bien des actions inhibitrices que des actions stimulantes. Il est important de remarquer que les doses efficaces sont la plupart du temps très élevées et qu'on observe de fortes variations (inhibition ou stimulation) en fonction de la dose. Selon Ferguson et al. (2003), les substances allélopathique agissent sur:

La division cellulaire : la coumarine inhibe la mitose dans les racines d'oignon ;

La croissance et synthèse : les composés phénoliques ont une action sur la régulation des hormones de croissance ;

La photosynthèse et respiration : la scopolétine réduit la photosynthèse chez le tournesol et le tabac par fermeture des stomates ;

La perméabilité membranaire : les composés phénoliques accroissent le flux de potassium hors des tissus racinaires ;

L'absorption minérale : l'acide férulique inhibe l'absorption de potassium par les plantes (confusion avec les effets de la compétition) ;

Le cycle de l'azote : fixation de l'azote et nitrification.

Ainsi, **Rice (1984)** attire l'attention sur qu'un même composé peut avoir de multiples sites d'action. Par exemple, l'acide férulique agit aussi bien sur la respiration mitochondriale que sur la synthèse de la chlorophylle et l'activité des hormones de croissance (**Delabays, 2004**).

II.10. Facteurs influant l'activité des composés allélopathiques

D'après **Thomson (1985)**, les facteurs influant l'activité des composés allélochimiques sont:

Nature du sol : les composés allélopathiques ont une activité réduite lorsqu'ils sont fixés par les argiles ou par la matière organique, alors qu'ils sont totalement disponibles dans un sol très sableux. Un amendement calcaire aurait la propriété de lier ces composés et de les inactiver ;

Eau: un apport d'eau dilue les substances et diminue leur activité (rôle du drainage). **Sonis et Vasisthain Bourgoïn (1999)** ont indiqués que les effets sont moindres lorsque les éléments toxiques sont lessivés. Par exemple dans des régions connaissant des pluies abondantes. On peut en déduire que les effets allélopathique nuisent davantage la production herbacée dans les régions semi-arides que dans d'autres régions

Substance actives : durée de vie des substances (décomposition, migration) ou bien la synergie.

II.11. Application de l'allélopathie

En situation naturelle, il semble que l'allélopathie contribue à la répartition spatiale des espèces et à l'organisation des successions végétales. Les phénomènes allélopathique trouvent également de nombreuses applications dans le domaine de l'agriculture:

II.11.1 Concurrence des mauvaises herbes sur la culture :

Les propriétés allélopathique ont été mises en évidence pour plus de 90 espèces de mauvaises herbes ;

II.11.2. Lutte contre les mauvaises herbes :

On envisage la sélection de variétés ayant un pouvoir allélopathique. Par exemple pour le riz; des substances allélopathiques peuvent servir à l'élaboration d'herbicides, comme la Cyméthylène développé par Shell à partir de Cinéol (composé terpénique de l'eucalyptus) pour le désherbage des cultures de soja, d'arachide et de cotonnier;

II.11.3. Gestion des rotations culturales :

On observe des effets d'une culture sur la suivante, soit à cause de phénomènes d'auto toxicité (le sorgho ou le riz pluvial peut subir un effet dépressif s'il est implanté après un précédent de la même culture, avec de fortes variations variétales), soit à travers des successions nettoyantes (dans le cas de la culture de tournesol). Les associations de cultures peuvent être perturbées par des substances allélopathiques (par exemple, leur action sur la fixation de l'azote peut gêner l'établissement des légumineuses dans les prairies);

II.11.4. Itinéraires techniques :

La présence de résidus de récolte constitue, actuellement, un problème qui prend de l'importance avec le développement des techniques de travail minimum. L'enfouissement des résidus de récolte permet de diluer les composés allélopathiques libérés par leur décomposition et de limiter leurs effets sur la culture suivante. Les phénomènes d'allélopathie sont pris en compte dans la gestion des plantes de couverture (CIRAD, 2000).

Chapitre III :
La moutarde des champs

Chapitre III : La moutarde des champs :

III.1. Description de la moutarde des champs

La moutarde des champs est une plante annuelle, velue-hérissée, sa hauteur est de 30 à 60cm. Elle possède de nombreuses tiges, rameuses. La plante se divise en plusieurs tiges vers le haut. (FUNK et al. 2007).

Les feuilles sont dentées, mesurent de 5 à 10 cm, terminées par une pointe. Les feuilles inférieures sont très découpées soit à double rangée de lobes et avec un gros lobe terminal.

La floraison s'échelonne d'avril à octobre. Elle fleurit tard dans l'année dès la fin des gelées. Les fleurs sont jaunes vives, à 4 pétales et 4 étamines.

Le fruit est sous forme de petites graines rouge-brun rondes portées dans une gousse pointue de 3 à 4 cm. Elles ont un très grand pouvoir germinatif et peuvent germer après retournement d'un terrain 50 ans plus tard (FUNK et al. 2007). (Photo n° 09)

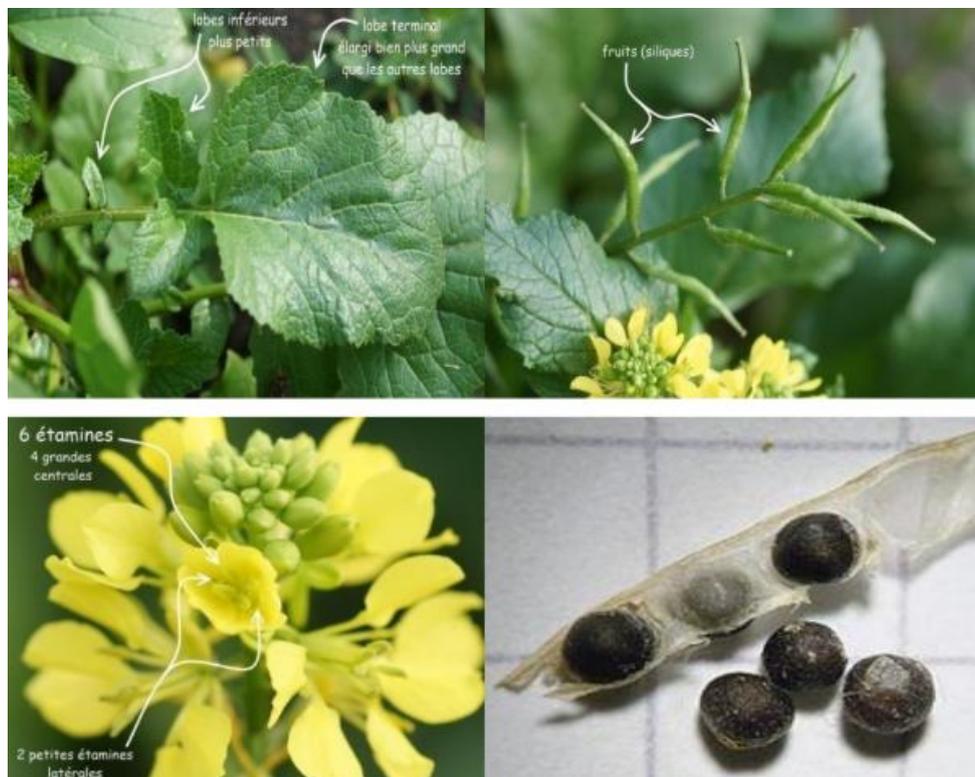


Figure 14 : Morphologie de la moutarde des champs *Sinapis arvensis* FUNK et al.(2007)

III.2. Classification

Règne : *Plantae*

Sous-Règne : *Viridaplantae*

Classe : *Equisetopsida*

Cladus : *Tracheophyta*

Cladus : *Spermatophyta*

Sous-Classe : *Magnoliidae*

Super-Ordre : *Rosanae*

Ordre : *Brassicales*

Famille : *Brassicaceae*

Genre : *Sinapis*

Espèce : *Sinapis arvensis* L

III.3. Ecologie

La moutarde des champs est typique des sols neutres à calcaires. Elle pousse peu en sol acide. Elle préfère les sols argileux à limoneux mais peut aussi se retrouver en sol léger ou en terre noire. Elle est moins compétitive que les céréales quand le sol est sec. Elle est sensible au gel et demande beaucoup de lumière (BOND et al. 2006).

III.4. Nuisibilité et utilité

La moutarde des champs est considérée comme mauvaise herbe et représente surtout un problème pour les céréales de printemps où elle peut causer des pertes de rendement importantes qui varient en fonction du moment de son apparition et de sa densité. Elle peut aussi nuire à d'autres cultures. La diminution de rendement est particulièrement importante dans les légumineuses comme les haricots et les pois si la moutarde lève une semaine avant la culture. En plus, la moutarde des champs est l'hôte de plusieurs insectes (ex.: l'altise, la mouche du chou, et la punaise, les lépidoptères) et maladies (ex.: hernie des crucifères) qui affectent les crucifères cultivées. Cette plante est une source importante de pollen pour les abeilles, c'est une plante mellifère. C'est aussi une source de nectar pour certains parasites de la fausse-teigne des crucifères. Les graines de la moutarde sont riches en une huile qui peut avoir des applications industrielles mais

qui n'est pas comestible en raison de sa haute teneur en glucosinolates (**Daniel Cloutier, 2007**).

III.5. Vertus médicinales de la moutarde des champs

La moutarde est couramment utilisée en phytothérapie pour sa richesse en vitamine C. Elle est donc particulièrement indiquée dans le cadre de cures tonifiantes et dépuratives. La moutarde est également utilisée depuis des générations pour traiter le scorbut, causé par un déficit en vitamine C. elle est particulièrement indiquée dans les troubles digestifs, atonie de l'estomac et des intestins, douleurs menstruelles. En Chine, la moutarde est couramment utilisée dans le traitement de certains abcès (**JÖRG GRUNWALD ET CHRISTOF JANCKE, 2004**).

MATERIELS ET METHODES

IV.1. Objectif de travail

L'objectif de notre travail est d'étudier l'évaluation de l'effet allélopathique des extraits aqueux de la moutarde des champs (*Sinapis arvensis*) sur la germination et la croissance de l'avoine qui est d'une culture d'intérêt fourragère.

IV.2. Matériel végétale utilisé

IV.2.1. Plante adventice

L'espèce envahissante choisie pour préparer les différents extraits aqueux utilisés comme solution d'irrigation est la moutarde des champs (*Sinapis arvensis*). La récolte de cette espèce a été réalisée au niveau de la station expérimentale de département de Biotechnologies de l'université de Blida1 le 7 Janvier 2020. (Figure 15)



Figure 15 : Aspect générale de la moutard des champs (*Sinapis arvensis*)
(Source personnelle, 2020).

Une séparation des deux organes foliaires et racinaires a été réalisée pour évaluer leur effet allélopathique sur la germination des graines d'avoine. De plus, ces organes choisies sont complètement verts et ne présentent aucune anomalie ou un signe d'une attaque par les ravageurs. Enfin, un dessèchement de ces organes sélectionnés a été faite

dans une chambre aérée sur papier pendant 45 jours dans l'ombre et à l'abri de la lumière pour éviter l'oxydation de ces organes par la lumière. (Figure 16)

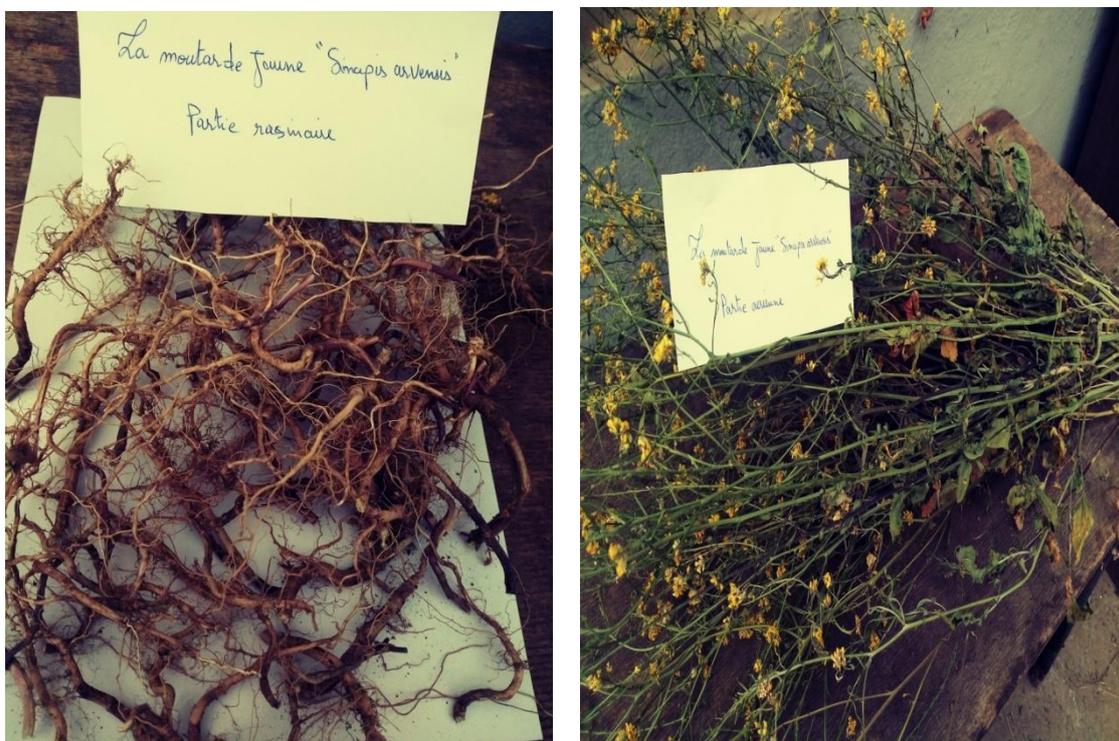


Figure 16: Séparation et séchage des différents organes de *Sinapis arvensis*.

(Source personnelle, 2020)

Nous avons éliminé aussi les feuilles qui portent des signes d'attaques par les ravageurs ou les microorganismes.

Nous avons aussi placé des sachets qui portent les deux organes de *Sinapis arvensis* dans l'étuve à 25°C pendant 48 heures pour accélérer le séchage, en plus faciliter le broyage.

IV.3. Le broyage

Nous avons utilisé un broyeur électrique pour la partie foliaire et racinaire de *Sinapis arvensis*. (Figure 17) (Figure 18).

Le broyat de différentes organes constitue le matériel végétal final que nous avons utilisé pour la préparation des solutions. Il a été enfin stocké dans des boîtes. (Figure 19)



Figure 17 : La matière sèche de partie aérienne de la moutarde des champs
(*Sinapis arvensis*) (Source personnelle, 2020).



Figure 18 : Un broyeur électrique utilisé pour broyer les échantillons.
(Source personnelle, 2020)



Figure 19: La matière végétale de la moutarde des champs obtenue à partir de broyage.
(Source personnelle, 2020)

IV.3. Préparation de différents traitements

75g de poudre de deux partie foliaire et racinaire a été trempé dans 250 g d'eau distillé pour préparé la solution mère aqueuse qui va être par la suite diluée pour obtenir les autres traitements. (Figure 20).



Figure 20 : Une balance électronique. (Source personnelle, 2020)

IV.3.1. Agitation

Nous déposons un barreau magnétique cylindrique dans le bécher et nous le couvrons hermétiquement afin d'éviter l'évaporation. L'agitation est réalisée immédiatement sur un agitateur magnétique. La durée de l'agitation est de 2 heures et la vitesse d'agitation est de 120 tr/min. (Figure 21).



Figure 21 : Aspect générale de l'agitation de la solution. (Source personnelle, 2020)

IV.3.2. Décantation et Filtration

Après 2 heures d'agitation, nous avons laissé le mélange se décanté pendant 16 heures. Nous avons filtré les mélanges à travers 2 couches de papier filtre déposées dans un entonnoir en verre pyrex. C'est le surnageant seulement qui est versé dans l'entonnoir, le précipité est éliminé. La filtration était lente, pour cela nous l'avons laissé pendant 1 heures jusqu'au passage totale du surnageant dans une fiole Erlenmeyer (1000 ml). Après cette filtration nous avons obtenu une solution limpide (liquide de composition homogène et sans particule en suspension). Les solutions sont conservées au réfrigérateur (+4° C) dans des bouteilles bien fermées et étiquetées, nous avons noté sur chaque bouteille le nom de l'espèce, la concentration et la date de préparation. En général, nous avons préparé les solutions deux à trois jours avant les tests de germination afin d'éviter une éventuelle contamination.

Celle-ci peut entraîner une altération des caractéristiques physicochimiques des solutions.

IV.3.3. Mise en germination

Tous les tests de germination sont réalisés dans des boîtes de Pétri. Nous avons utilisé des boîtes stériles en verre de 80 mm de diamètre et d'une hauteur de 15 mm et des boîtes de Pétri stériles en plastique de 80 mm de diamètre et d'une hauteur de 13 mm. Le même type de boîtes est utilisé pour chaque solution. Des disques en papier filtre standard d'un diamètre égal à celui des boîtes sont placés dans les boîtes de Pétri. Chaque boîte est numérotée avec un marqueur permanent. Elles sont ensuite recouvertes.

La suite, une désinfection des graines d'avoine par l'eau de javel (925 ml) 5 min puis rincée 3 fois avec l'eau distillée pour éliminer toute trace de cette solution néfaste pour la germination des graines d'avoine. (Figure 22)

Nous avons utilisé vingt boîtes de Pétri pour tester l'effet de chaque partie sur la germination des graines de l'avoine. Quatre boîtes (4 répétitions) sont utilisées pour la solution et les quatre autres sont utilisées pour l'eau distillée. Ces dernières représentent le témoin (T_0). A l'aide d'une seringue dans chaque boîte de Pétri nous avons introduire :

T_0 (Témoin) : 100% d'eau distillée

T_1 : 25% de la solution mère + 75% d'eau distillée

T_2 : 50% de la solution mère + 50% d'eau distillée

T_3 : 75% de la solution mère + 25% d'eau distillée

T_4 : 100% de la solution mère.

Dans chaque boîte de Pétri nous avons déposé 10 graines d'avoine. Les boîtes sont recouvertes immédiatement. Nous avons choisie des graines saines (sans anomalies) et qui ont presque la même taille. (Figure 23).



Figure 22 : Désinfection des graines d'avoine par l'eau de javel.
(Source personnelle, 2020)



Figure 23 : Mise en germination des graines d'avoine dans les boites de Pétri.
(Source personnelle, 2020)

IV.3.4. Paramètres mesurés

IV.3.4.1. Détermination des pourcentages de germination (PG%)

Après 8 jours d'incubation, l'expérience est arrêtée et le pourcentage de germination dans chaque boîte est déterminé. Nous avons considéré comme graine germée celle que le germe a traversé le tégument et atteindre 1 mm de longueur. Ce paramètre a été calculé selon la formule : $PG\% = \frac{NGG \times 100}{NTG}$ dont : NGG : Nombre des graines germées, NTG : Nombre total des graines mis a la germination (Figure 24)

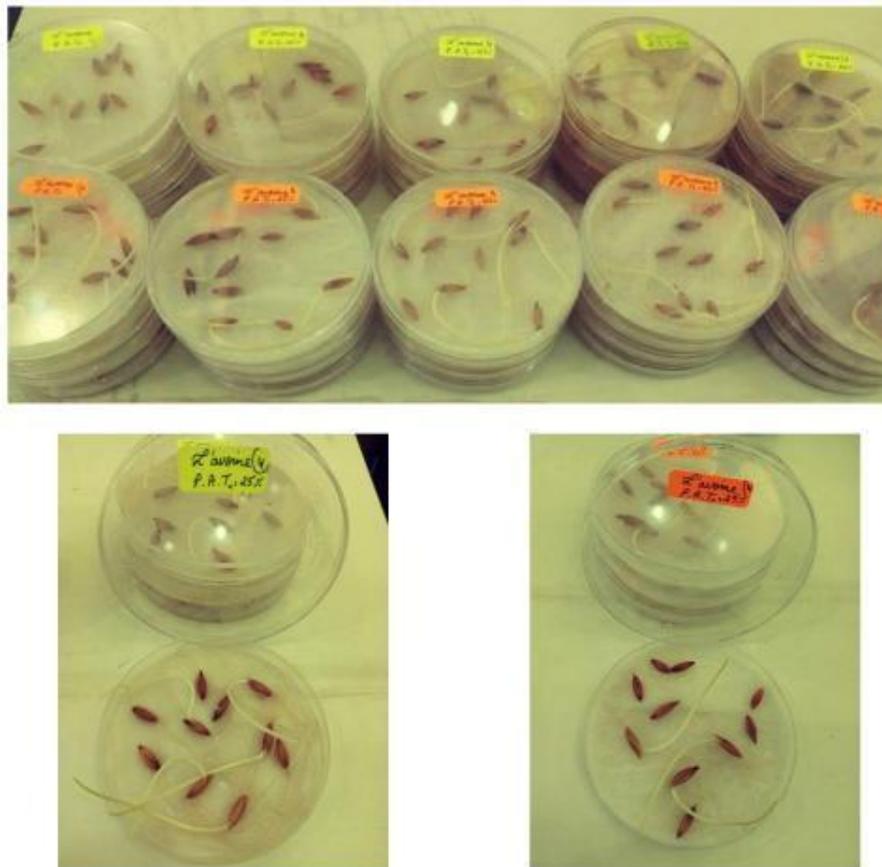


Figure 24 : Les graines germées Après 8 jours d'incubation. (Source personnelle, 2020)

IV.3.4.2. Mesures des longueurs et des poids des racines et des parties aériennes

Après avoir déterminé le nombre des graines qui ont germées dans chaque boîte. (Figure 25).

Nous avons mesuré les longueurs et les poids de la partie racinaire (LR) (PPR) et la partie aérienne (LPA) (PPA). (Figure 26).



Figure 25: Mesure de la longueur de la partie foliaire et racinaire de la culture d'avoine.

(Source personnelle, 2020)

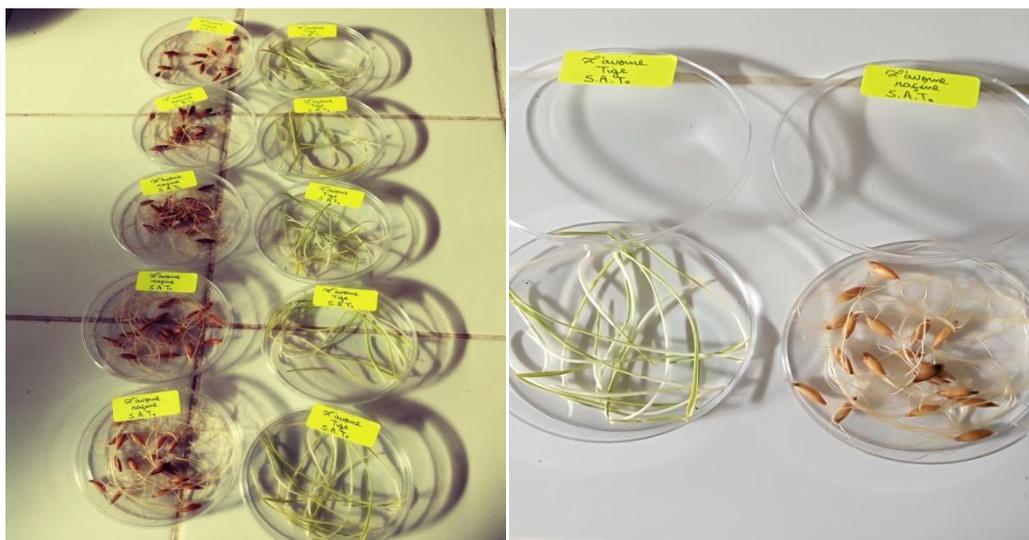


Figure 26 : Détermination du nombre des graines germées. (Source personnelle, 2020)

IV.4. Analyse statistique des données

Les résultats obtenus sont soumis à un test d'analyse de la variance à un deux critères qui sont l'organe utilisée pour extraction (foliaire ou racinaire) ainsi la dose de l'extrait. Chaque traitement a été répété quatre fois.

CONCLUSION

Conclusion

Dans ce travail, nous avons fait une étude préliminaire sur l'évaluation de l'effet allélopathique de la moutarde des champs (*Sinapis arvensis*) sur la germination et la croissance d'avoine (*Avena sativa*), à partir des extraits aqueux foliaires et racinaires de cette plante spontanée. Les extraits utilisés sont appliqués à différentes concentrations soit 25%, 50%, 75%, 100% en condition contrôlée.

L'allélopathie est considérée comme une technique prometteuse pour la lutte biologique. C'est un ensemble d'interactions biochimiques directes ou indirectes, positives ou négatives d'une plante sur une autre. Ces mauvaises herbes peuvent avoir des effets positifs ou négatifs sur la germination des graines de l'avoine.

La notion d'allélopathie, un phénomène que l'on peut définir comme l'influence d'une plante sur une autre au moyen de la libération d'un composé chimique dans l'environnement.

Enfin ; La partie expérimentale n'a pas été concrétisée sur le terrain en raison des circonstances exceptionnelles causées par le coronavirus, pour cela en se basant sur les études qui ont été effectuées par d'autres équipes de recherche qui sont réalisées dans le même axe montrent que l'utilisation des extraits aqueux des plantes adventices, ont un effet phytotoxique sur les caractères physio-morphologiques des graines d'avoine. Il serait souhaitable de poursuivre cette étude dans le but de confirmer nos résultats afin d'offrir d'autres moyens pour améliorer la production et protéger les grandes cultures.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

1. **Ali MEZIANI ,2014** : catalogue culture, céréales, profert, p09 PRAT S., 1971 : Les céréales 2ème édition, J.B Baillière et fils, Paris.
2. Allelopathic Plants: a Review. NERI Technical Report No. 315. National Environmental Research Institute, Silkeborg, Denmark.
3. **ANONYME., 1981**. Larousse agricole, 17, rue du Montparnasse, 75298 paris cedex 06.
4. **BARRALIS, G. 1976**. Méthodes d'étude des groupements adventices des cultures annuelles: application à la cote d'or. 5 èmè colloque internationale sur l'écologie des mauvaises herbes Dijon I.
5. **BELAID D., 1987** : Etude de la fertilisation azotée et phosphatée (Hedba3) en conditions de déficit hydrique, Mémoire de magistère. I.N.A.
6. **BEN CHACHA.A., 2008**. Etude de l'effet allélochimique de l'extrait aqueux de quelques plantes médicinales et aromatiques sur la germination des grains des mauvaises herbes.
7. **BERRY, P., KELLOFF, C. & Alexander, S. N. 2007**: Checklist of the Plants of the Guiana Shield (Venezuela: Amazonas, Bolivar, Delta Amacuro; Guyana, Surinam, French
8. **BERTIN C., YANG X et WESTON L.A., 2003**. The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. Plant soil.
9. **BOND, W., G. Davies et R. Turner. 2006**: The biology and non-chemical control of Charlock (*Sinapis arvensis* L.).
10. **BOUCHNAN. 2006**. Métabolisme secondaire.
11. **BOUFENAR-ZAGHOUANE,F., Zaghouane, O. (2006)**. Guide des principales variétés.
12. **BOULAL HAKIM, ZOGHOUANE Omar, el Mourid Mohammed, Rezgui Salah ,2007** : guide
13. **BOUTON F., 2005**. Mise en évidence du potentiel allélopathiques de la graminée

14. céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine) ITGC D'Alger, 1ere Ed.
15. **CHADDA D., 2008.** Influence des matières organiques (feuilles, châtons et racines) du noyer (*Juglansregia L.*) sur le comportement de jeunes plants de pommier (*Malus*)
16. **CHADDA D., 2008.**Influence des matières organiques (feuilles, châtons et racines)
17. **CLEMENT GRANDCOURT et prat, 1970.** Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed.
18. **CLEMENT-GRANDCOURT et prats., 1971.** Les céréales. Bailliére et co. Paris France.
19. **DANIEL CLOUTIER Ph., 2007-** Institut de malherbologie et Anne Weill, Ph. D., agr. Club agro-environnemental Bio-Action
20. de la vivant-biodiversité écologie environnement, Univ. Joseph Fourier de biologie.
21. de la vivant-biodiversité écologie environnement, Univ. Joseph Fourier de biologie.
22. **DELABAYS.N et MERMILLOD.G ., 2004.** Phénomène d'allélopathie premières observations au champ, Revue Suisse Agric.n°34.
23. **DELABAYS.N., 2005.** L'allélopathie et son utilisation en agriculture biologique. Journées techniques fruits et légumes et viticulture biologique.
24. **DEVUN J., LEGARTO J., 2011.** Impacts des aléas climatiques en élevages bovin et ovin allaitants et demande de couverture assurantielle. Fourrages.
25. **Diehl.r., 1975.** Agriculture générale. Ed. Bailliére (paris).
26. **DJERMOUN A., 2009.** La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. Revue Nature et Technologie. N° (01).
27. *domesticaBorkh*) dans la région de R'haouat (Hidoussa) (Belezma). Thèse magister.Univ Batna.
28. du noyer (*Juglansregia L.*) sur le comportement de jeunes plants de pommier (*Malus*)
29. **FERGUSON J.J and RATHINASABATHI. 2003.** Allelopathy: how plants suppress other plants. Cours D'université de Floride.
30. *FestucaPanuculatadans* les prairies subalpine. Rapport de stage de master 01 sciences

31. **FILLET., 2000.** La graine de blé composition et utilisation ; INRA paris p46, 82 Hachette Livre.
32. **FORET R., 2004.** Dico de bio.Boeck, Bruxelles.
33. **FUNK et al. (2007) [Statut pour la Guyane française] Funk, V., Hollowell, T.,**
34. Guiana). Contributions from the United States National Herbarium.
35. **HOPKINS .WG, 2003.** Physiologie végétale.Boeck et Larcier, Bruxelles.
36. **HUSSAIN, S., S. U. Siddiqui, S. Khalid, A. Jamal, A. Qayyum and Z. Ahmad. 2007.** Allelopathic Potential of Senna (*Cassia Angustifolia* vahl.) on Germination and Seedling
37. **HUSSON O., Charpentier H., Michellon R., Razanamparany C., Moussa N., Enjalric F., Naudin K., Drammanaa R. et Seguy L., 2012 :** Avoines *Avena sativa* et *Avena strigosa*. Fiches techniques plantes de couverture : Graminées annuelles. Manuel pratique du semis direct à Madagascar. Ed : GSDM/CIRAD.
38. **JUDD W.S., CAMPBELL CH.S., KELLOGG E.A et STEVENS P., 2002.** Botanique systématique une perspective phylogénétique.
39. **KRUSE, M., M. STRANDBERG and B. STRANDBERG. 2000.** Ecological Effects of
40. **MARTIN prevel p., 1984 :** L'analyse végétal dans le contrôle de l'alimentation des plantes tempérées et tropicales pp 653-667.
41. **MEKLIICHE A., 1983 :** Contribution à l'établissement de la fertilisation azotée du blé d'hiver dans le haut Chélif. Mémoire de magistère. I.N.A. Alger.
42. **MEYRER S ., REEB C et BASDEUIX R., 2004.** botanique biologie et physiologie végétales.
43. **OLOFSDOTTER, M., L. B. Jensen and B. Curtois. 2002.** Improving crop competitive ability using allelopathy –an example from rice. Plant Breeding.
44. pesticides d'origine végétale .Ed.TEC&DOC, Paris.
45. **POUSSET J., 2003.** Agriculture sans herbicides (Principes et méthodes).Ed1.agridécisions groupe France é impacts environnementaux: gestion et traitements. Presses de l'école nationale des Ponts et chaussées, France.

46. pratique du conduit des céréales d'automne (blés, orge et l'avoine) dans le Maghreb(Algérie, Maroc, Tunisie).
47. **REGNAULT-ROGER C., PHILOGENE B. JR et VINCENT CH., 2008.** Bio
48. **RICE E L., 1984.** Allelopathy, Ed 02, Academic Press.
49. **Sánchez-Moreiras, A. M., O. A. Weiss and M. J. Reigosa-Roger. 2004.** Allelopathic evidence in the Poaceae. The Botanical Review .
50. **SIMON et al., 1989.** Produire des céréales à paille. Tec Doc. France.
51. **SIRODOT.G-E., 2016.** L'avoine, description, classification, Etude du grain des variétés Françaises et Etrangères, culture.
52. **SOLTNER ., 1988 :** Les grandes productions végétales. Les collections sciences et techniques agricoles, Ed. 16ème éditions.
53. **SOLTNER.D, 1990.** Phytotechnie spécial, les grandes productions végétales. Céréales, plantes sarclées, prairies ; Sciences et Technique
54. **SOLTNER.D, 2005.** Les grandes productions végétales. 20eme Edition. Collection science et techniques agricoles.
55. **TUKEY H. B., 1970.** The leaching of substances from plants.annu rev plant physiologic, 21:305-58.
56. **Vilan., 1997.,** La production végétale. Ed Lavoisier. Vol 1. Paris.