

DEMOCRATIC AND POPULAR ALGERIAN REPUBLIC

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

MINISTRY OF HIGHER EDUCATION AND SCIENTIFIC RESEARCH

جامعة الشاذلي بن جديد - الطارف

CHADLI BENDJEDID EL TARTF UNIVERSITY

كلية علوم الطبيعة والحياة

FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES

قسم العلوم الفلاحية

Département des Sciences agronomiques



Mémoire de Fin d'Études

Présenté en vue de l'obtention d'un Diplôme de Master en

« **Spécialité : Systèmes de production agroécologique** »

Thème

**Évaluation des effets allélopathiques des mauvaises
herbes sur la germination des céréales.**

Présenté Par : **Diabi Ikram**

Soutenue publiquement le : 16/06/2026

Devant le jury composé de :

NOM et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Dr. HENNOUNI Nacéra	MCA	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Président
Dr. RIDA Soumeiya	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Directeur de mémoire
Dr. CHEKCHAKI Narimene	MCB	Université Chadli Bendjedid-El-Tarf	Examineur

Année universitaire : 2025/2026

Dédicace

Je dédie ce modeste travail à la mémoire de mon cher père, Ibrahim, que Dieu lui
Accorde Sa miséricorde et l'accueille dans Son vaste paradis. Son souvenir demeure à jamais gravé
dans mon cœur et continue d'éclairer mon chemin.

À ma très chère mère, Gharbi Zhaira , en témoignage de mon amour, de mon
Profond respect et de mon infinie gratitude pour tous les sacrifices qu'elle a
Consentis, pour son soutien indéfectible, sa patience et ses encouragements
Constants. Elle a toujours été ma source de force et d'inspiration.

À mon cher frère, Badre Eddine, pour son soutien, ses encouragements et sa
Présence précieuse tout au long de mon parcours.

À mes chères sœurs, pour leur affection, leur soutien permanent et leur présence
Réconfortante qui m'ont accompagnée dans les moments les plus importants de ma
Vie.

Enfin, je dédie ce travail à toute ma famille ainsi qu'à toutes les personnes qui m'ont
Soutenue, de près ou de loin, et qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire.

Avec toute ma reconnaissance et mon affection.

Ikram

Remerciements

Avant tout, je remercie Dieu le Tout-Puissant de m'avoir accordé la force, le courage et la patience nécessaires pour accomplir ce modeste travail.

Au terme de ce travail, je tiens à exprimer mes sincères remerciements ainsi que ma profonde gratitude à Mme RIDA Soumeiya pour son encadrement, son soutien et sa disponibilité permanente. Je lui témoigne mon respect et ma reconnaissance pour ses précieux conseils, ses orientations et son accompagnement tout au long de la réalisation de ce mémoire.

Mes remerciements s'adressent également à : Dr. HENNOUNI N., pour m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance de ce mémoire et Dr. CHEKCHAKI N., pour avoir accepté de faire partie du jury et de participer à l'évaluation de mon travail.

Je remercie également l'ensemble de l'équipe du laboratoire de Biologie végétale et de Biochimie pour leur disponibilité, leurs conseils avisés et leur précieuse aide durant mon stage pratique.

Enfin, j'adresse mes remerciements à tous les enseignants de l'Université Chadli Bendjedid, qui ont contribué à ma formation et m'ont accompagnée tout au long de mon parcours universitaire.

À toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail, j'adresse mes plus sincères remerciements.

Résumé :

La présente étude a été menée dans le but d'évaluer les effets allélopathiques du brome (*Bromus* sp.) et de la folle avoine (*Avena fatua* L.) sur la germination et la croissance initiale du blé et du maïs. Des extraits aqueux de ces deux adventices ont été préparés et appliqués à différentes concentrations (25 %, 50 %, 75 % et 100 %).

Les paramètres étudiés comprenaient le taux de germination, le pourcentage d'inhibition, ainsi que la longueur de la radicule et de la coléoptile. Les résultats obtenus ont montré que les extraits des deux espèces adventices exercent un effet inhibiteur sur les paramètres étudiés. Cette inhibition s'est accentuée avec l'augmentation de la concentration des extraits, les concentrations les plus élevées (75 % et 100 %) entraînant les effets les plus marqués. Une réduction significative du taux de germination ainsi que de la croissance des jeunes plantules a été observée, traduisant une réponse dépendante de la dose. Par ailleurs, l'analyse phytochimique des extraits a révélé une richesse en composés phénoliques et en flavonoïdes totaux, avec des teneurs plus élevées dans l'extrait de brome que dans celui de la folle avoine. Ces métabolites secondaires pourraient être responsables des effets phytotoxiques observés.

L'ensemble des résultats confirme le potentiel allélopathique du brome et de la folle avoine et met en évidence leur influence négative sur les performances germinatives et la croissance précoce du blé et du maïs. Ces travaux contribuent à une meilleure compréhension des interactions entre adventices et cultures et ouvrent des perspectives pour une gestion durable des mauvaises herbes dans les agroécosystèmes.

Mots-clés : Allélopathie, *Bromus* sp., *Avena fatua* L., blé, maïs, germination, croissance, métabolites secondaires.

Abstract

The present study was conducted to evaluate the allelopathic effects of brome (*Bromus* sp.) and wild oat (*Avena fatua* L.) on the germination and early growth of wheat and maize. Aqueous extracts of these two weed species were prepared and applied at different concentrations (25%, 50%, 75%, and 100%). The studied parameters included germination rate, inhibition percentage, and the lengths of the radicle and coleoptile. The results showed that extracts from both weed species exerted inhibitory effects on the studied parameters. This inhibition increased with increasing extract concentration, with the highest concentrations (75% and 100%) producing the most pronounced effects. A significant reduction in germination rate and seedling growth was observed, indicating a dose-dependent response. Furthermore, phytochemical analysis revealed that both extracts were rich in total phenolic compounds and total flavonoids, with higher contents recorded in *Bromus* sp. extracts compared to those of *Avena fatua* L. These secondary metabolites may be responsible for the phytotoxic effects observed.

Overall, the findings confirm the allelopathic potential of brome and wild oat and highlight their negative influence on the germination performance and early growth of wheat and maize. This study contributes to a better understanding of weed-crop interactions and provides insights for the development of sustainable weed management strategies in agroecosystems.

Keywords: Allelopathy, *Bromus* sp., *Avena fatua* L., wheat, maize, germination, growth, secondary metabolites.

المخلص:

جريت هذه الدراسة بهدف تقييم التأثيرات الأليلوباثية لحشيشتي البروم (*Bromus sp.*) والشوفان البري (*Avena fatua*) على إنبات ونمو البادرات لكل من القمح والذرة. وقد تم تحضير مستخلصات مائية لهذين النوعين من الأعشاب الضارة وتطبيقها بتركيزات مختلفة (25٪، 50٪، 75٪، و100٪). وشملت المعايير المدروسة نسبة الإنبات، ونسبة التثبيط، وطول الجذير وطول الغمد الفلقي.

أظهرت النتائج أن مستخلصات كلا النوعين من الأعشاب الضارة لها تأثيرات مثبطة على المعايير المدروسة، حيث ازدادت شدة التثبيط بزيادة تركيز المستخلصات، وكانت التأثيرات الأكثر وضوحاً عند التركيزين 75٪ و100٪. كما لوحظ انخفاض معنوي في نسبة الإنبات ونمو البادرات، مما يدل على وجود استجابة تعتمد على الجرعة.

من جهة أخرى، أظهر التحليل الكيميائي النباتي أن المستخلصين غنيان بالمركبات الفينولية الكلية والفلافونويدات الكلية، مع تسجيل مستويات أعلى في مستخلص البروم مقارنة بمستخلص الشوفان البري. ومن المحتمل أن تكون هذه المستقلبات الثانوية مسؤولة عن التأثيرات السمية النباتية الملحوظة.

تؤكد النتائج المتحصل عليها الإمكانات الأليلوباثية لكل من البروم والشوفان البري، وتبرز تأثيرهما السلبي على القدرة الإنباتية والنمو المبكر للقمح والذرة. كما تساهم هذه الدراسة في تحسين فهم التفاعلات بين الأعشاب الضارة والمحاصيل الزراعية، وتفتح آفاقاً لتطوير استراتيجيات مستدامة لإدارة الأعشاب الضارة داخل النظم الزراعية البيئية.

الكلمات المفتاحية: الأليلوباثية، *Bromus sp.*، *Avena fatua* L.، القمح، الذرة، الإنبات، النمو، المستقلبات الثانوية.

Sommaire

Table des matières

Dédicace.....	II
Remerciements.....	III
Résumé :	IV
Abstract	V
الملخص:	VI
Liste des abréviations	X
Liste des tableaux	XI
Liste des figures	XII
Introduction	1
Synthèse bibliographique.....	1
Chapitre 01 : Les mauvaises herbes.....	4
1. Définition	4
2. Mauvaises herbes étudiées	4
2.1. Brome :	4
2.1.1. Caractéristiques et biologie du brome :	5
2.2. Folle avoine.....	5
2.2.1. Caractéristiques et biologie de la folle avoine	6
Chapitre 02 : L'allélopathie	7
1. Généralités sur l'allélopathie	7
1.1 Historique.....	7
1.2. Définition de l'allélopathie	7
2. Métabolites des végétaux.....	7
2.1. Métabolites primaires.....	7
2.2. Métabolites secondaires	7
a. Voies d'émission des composés allélopathiques.....	8
1.3. Types des composés allélopathiques.....	8
1.3.1. Composés azotés	8
2.3.2. Les composés phénoliques.....	9
1.1.3 Les terpénoïdes	10
1. Blé.....	11
1.1 Histoire du blé.....	11
1.2 Classification botanique du blé	11
1.3 Structure du grain de blé	12
1.4 Exigences du blé.....	12

1.5	Importance économique du blé :	13
1.6	Principales maladies	13
1.6.1	L'oïdium	13
1.6.2.	La Rouille brune	14
2.	Maïs.....	14
2.1	Histoire du maïs	14
2.2	Classification botanique du maïs.....	15
2.3	Structure du grain de maïs	15
2.4	Description botanique du maïs	16
2.5.	Exigences du maïs.....	16
2.6.	Importance économique.....	17
2.7.	Principales maladies	17
	Matériels et méthodes.....	4
1.	Lieu de réalisation de l'expérimentation	22
2.	Matériel Végétal.....	22
2.1	Echantillonnage	22
3.	Première partie	23
3.1	Test du pouvoir germinatif.....	23
4.	Deuxième partie	23
4.1	Séchage du matériel végétal.....	23
4.2	Broyage du matériel végétal	25
4.3	Préparation des extraits aqueux.....	25
4.3.1	Méthode	25
4.4	Essai de germination	27
4.4.1	Méthode	27
5.	Troisième Partie : Étude phytochimique	30
5.1	Dosage des phénols totaux	30
5.1.1	Principe de la Méthode.....	30
5.1.2	Protocole Opératoire	30
5.2	Dosage des flavonoïdes totaux	32
5.2.1	Principe de la Méthode.....	32
5.2.2	Protocole Opératoire	32
6.	Analyses statistiques.....	34
	Résultats et discussion	22
1.	Dosage de composés phénoliques	36
1.1	Evaluation de la teneur en phénols totaux	36
1.2	Evaluation de la teneur en flavonoïdes	37
2.	Effets allélopathiques des extraits de folle avoine et de brome sur le blé dur (<i>Triticum durum</i>)	38

2.1	Cinétique de germination du blé dur sous l'effet des extraits de brome et de folle avoine	38
2.2	Effets du type d'extrait sur la germination et la croissance des semis.....	39
2.2.1	Taux de germination.....	39
2.2.2	Effet du type d'extrait sur la longueur des racines.....	39
2.2.3	Effet de l'extrait sur la longueur de la coléoptile	40
2.3	Effets de la concentration des extraits	41
2.3.1	Effet de la concentration de l'extrait sur le taux de germination.....	41
2.3.2	Effet de la concentration des extraits sur la longueur des racines	41
2.3.3	Effet de la concentration des extraits sur la longueur de la coléoptile.....	42
3.	Effets allélopathiques des extraits de folle avoine et de brome sur le maïs (Zea mays)	45
3.1	Cinétique de germination du maïs sous l'effet des extraits de brome et de folle avoine	45
3.2	Effet du type d'extrait.....	46
3.2.1	Effet du type d'extrait sur le taux de germination	46
3.2.2	Effet du type d'extrait sur la longueur des racines chez le maïs.	46
3.2.3	Effet de l'extrait sur la longueur du coléoptile du maïs	46
3.3	Effet de la concentration des extraits.....	46
3.3.1	Effet de la concentration des extraits sur le taux de germination chez le maïs.....	46
3.3.2	Effet sur la longueur des racines	47
3.3.3	Effet sur la longueur du coléoptile	47
	Conclusion	52
	Références bibliographiques.....	53

Liste des abréviations

MO	Matière organique
G	Gramme
%	Pourcentage
F.A	Folle avoine
ANOVA	Analyse de la variance
LSD	Least significant Difference

Liste des tableaux

Tableau 1: Classification du genre Triticum selon Cronquist (1981).....	11
Tableau 2: Classifications du maïs.....	15
Tableau 3: Les caractéristiques des espèces utilisées dans cette étude.....	22
Tableau 4: les étapes de préparation de la gamme étalon de l'acide gallique	30
Tableau 5 : les étapes de préparation de la gamme étalon de la Quercétine	32

Liste des figures

Figure 1: Bromus sp	5
Figure 2: folle avoine(Avena fatua L.)	5
Figure 3 : Facteur influençant la synthèse des composées allélopathiques et leur évolution dans les horizons superficiels du sol	8
Figure 4: Indole alkaloid	9
Figure 5: Structures chimiques de la 6-méthoxy-2(3H)-benzoxazolone (MBOA) et de la 6,7-diméthoxy-2(3H)-benzoxazolone (DMBOA).....	9
Figure 6: Structure des composés phénoliques (BUACHANAN, 2006).....	10
Figure 7: Structure du grain de blé(Surget et Barron)	12
Figure 8 : Cycle de développement du blé (www.UNCTAD.org).....	13
Figure 9 : L'oïdium du blé(Source : BASF, Maladies du blé).	14
Figure 10: Rouille brune de blé (Sources : BASF, Maladies du blé).....	14
Figure 11 : composition d'un grain de maïs.....	16
Figure 12: Les principales étapes du cycle de croissance du maïs	17
Figure 14:stockage des échantillons avant séchage	24
Figure 13 : Adventices utilisées dans l'étude : brome à deux étamine (à gauche) et folle avoine (à droite)	24
Figure 15: étuve utilisée pour le séchage des échantillons végétaux.....	24
Figure 16: Broyeur électrique	25
Figure 17: Poudre de brome	25
Figure 18: Préparation des solutions mères	26
Figure 19: Filtration des solutions	26
Figure 20 : Préparation des différentes concentration des extraits	27
Figure 21: Graines de blé et de maïs traitées par les différentes solutions.....	28
Figure 22: Schéma expérimental de l'évaluation des effets allélopathiques des extraits végétaux sur la germination du blé et du maïs.....	29
Figure 23: Préparation des solutions.....	31
Figure 24: Préparation des solutions pour le dosage des flavonoides	33
Figure 25: Préparation de la gamme étalon de la quercétine	33
Figure 38: Teneur en phénols totaux dans les extraits	36
Figure 39: Teneur en flavonoides totaux dans les extraits	37
Figure 26: Cinétique de germination moyenne du blé dur sous l'effet des différentes doses d'extraits aqueux de folle avoine et de brome.....	38
Figure 27: Effet du type d'extrait sur le taux de germination du blé	39
Figure 28: Effet du type d'extrait (F.A et brome) sur la longueur racinaire du blé	40
Figure 29: Effet de l'extrait sur la longueur de la coléoptile du blé	40
Figure 30: effet de la concentrations des extraits sur le taux de germination du blé	41
Figure 31: Effet de La concentration des extraits sur la longueur des racines du blé	42
Figure 32: Effet de la concentration des extraits sur la longueur de la coléoptile du blé.....	43
Figure 33:Cinétique de germination moyenne du maïs sous l'effet des différentes doses d'extraits aqueux de folle avoine et de brome.....	45
Figure 34: Effet du type d'extrait sur la longueur des racines du maïs.....	46
Figure 35: Effet de la concentration des extraits sur le taux de germination du maïs	47
Figure 36: Effet de la concentration des extraits sur la longueur des racines du maïs.....	47
Figure 37: Effet de la concentration des extraits sur la longueur de la coléoptile du maïs	48

Introduction

Les céréales sont l'un des éléments de base de l'alimentation mondiale et jouent un rôle crucial dans la sécurité alimentaire. Grâce à leur forte valeur nutritive et énergétique, elles constituent la principale source de calories pour une grande partie de la population mondiale. Le blé, le maïs et le riz figurent parmi les cultures les plus cultivées et les plus consommées dans le monde, jouant un rôle important dans l'alimentation humaine et contribuant au développement économique de nombreux pays (FAO, 2022 ; Shiferaw et al., 2013). Avec l'augmentation démographique et les mutations environnementales, la croissance de la production agricole est désormais indispensable pour satisfaire les exigences grandissantes de la population. Dans ce cadre, les cultures de céréales s'avèrent prédominantes du fait qu'elles répondent à un besoin énergétique essentiel pour l'humanité (FAO, 2022).

Le blé (*Triticum aestivum L.*) et le maïs (*Zea mays L.*) figurent parmi les céréales les plus cultivées à l'échelle mondiale, leur importance nutritionnelle et économique les plaçant en position centrale. Le blé constitue l'un des aliments de base pour la population mondiale, tandis que le maïs est fréquemment employé dans la nutrition humaine et animale, en plus d'être utilisé dans différentes branches de l'industrie agroalimentaire. Ainsi, ces deux cultures sont essentielles pour la sécurité alimentaire à l'échelle mondiale (Shiferaw et al., 2011).

Bien qu'ils soient d'une grande importance pour l'agriculture, le blé et le maïs font face à de nombreuses restrictions biotiques et abiotiques qui peuvent diminuer leur développement et leur productivité. Parmi les contraintes biotiques, les mauvaises herbes se classent parmi les plus redoutées. Elles rivalisent avec les cultures pour l'eau, les nutriments, la lumière et l'espace, ce qui peut entraîner parfois d'importantes diminutions de la productivité (Oerke, 2006 ; Chauhan, 2020).

Toutefois, l'impact des mauvaises herbes ne se confîne pas simplement à la compétition pour les ressources. Le développement des plantes avoisinantes peut également être influencé par des substances chimiques biologiquement actives, qui peuvent être produites et libérées dans l'environnement par certaines espèces indésirables. Ce phénomène est désigné par le terme d'allélopathie et représente l'un des mécanismes écologiques essentiels dans les relations entre les plantes (Rice, 1984 ; Scavo et al., 2019).

L'allélopathie découle de l'effet des métabolites secondaires émis par les feuilles, les racines, les graines ou les débris végétaux. Ces substances peuvent affecter divers mécanismes physiologiques comme la germination, la croissance, l'absorption nutritive ou la photosynthèse. D'après de nombreuses recherches, les effets allélopathiques peuvent être inhibiteurs ou

stimulants en fonction de la nature des molécules générées, de leur concentration et de la sensibilité de l'espèce qui reçoit (Inderjit & Duke, 2003 ; Scavo et al., 2019).

La germination est l'une des phases cruciales du développement végétal et est fréquemment la plus vulnérable aux substances allélopathiques. Un grand nombre d'études ont démontré que diverses variétés de mauvaises herbes peuvent inhiber considérablement la germination et la croissance des jeunes plants, du fait de la présence de composés phénoliques et d'autres métabolites biologiquement actifs (Qasem & Foy, 2001 ; Qasem, 2017).

Ces dernières années, l'allélopathie a suscité un intérêt croissant, notamment grâce à son potentiel pour développer des méthodes alternatives de contrôle des mauvaises herbes et réduire le recours aux herbicides chimiques. Une connaissance approfondie de ces interactions pourrait aider à établir des systèmes agricoles plus durables et qui tiennent compte de l'environnement (Khamare et al., 2022).

C'est dans cette perspective que s'inscrit le présent travail intitulé : « Évaluation des effets allélopathiques des mauvaises herbes sur la germination des céréales ».

L'objectif principal de cette étude est d'évaluer l'influence des extraits de Brome et de Folle avoine sur la germination et la croissance des semis du blé et du maïs afin de mieux comprendre les interactions allélopathiques entre ces adventices et les cultures céréalières et d'estimer leur potentiel inhibiteur.

Ce mémoire est structuré en quatre parties principales. La première partie correspond à la synthèse bibliographique et comprend trois chapitres : les mauvaises herbes, l'allélopathie et les céréales étudiées. La deuxième partie présente les matériels et méthodes adoptés pour la réalisation de l'expérimentation. La troisième partie est consacrée à la présentation des résultats obtenus ainsi qu'à leur discussion. Enfin, une conclusion générale résume les principaux résultats et ouvre des perspectives pour de futurs travaux

Synthèse bibliographique

Chapitre 01 : Les mauvaises herbes

1. Définition

Une mauvaise herbe se définit comme une plante herbacée ou, par extension, une plante ligneuse qui est considérée comme indésirable à l'endroit où elle pousse. On considère souvent le terme adventice comme synonyme, bien qu'il ait une connotation botanique différente : il fait référence à une plante qui est introduite par accident, sans que l'homme ne soit au courant (Bailly et al., 1980). L'idée de plante indésirable est la plus fréquemment employée dans le milieu agricole. Il désigne de manière négative un élément végétal indésirable, non semé ou non planté, et provenant de graine ou de reproduction végétative (Tissut et al., 2006). C'est une expression fréquemment utilisée pour désigner toute plante indésirable dans un milieu cultivé (Bailly, 1980). On utilise habituellement le terme « mauvaises herbes agricoles » pour désigner les plantes qui poussent sans invitation et qui entrent en compétition avec les cultures.

Le terme « mauvaises herbes » pose donc un dilemme, car sauf si elles sont également toxiques, elles sont plus indésirables que réellement nuisibles en soi. C'est pour cette raison qu'on les désigne plutôt comme des adventices, un terme qui signifie « venir de l'extérieur » (Roger, 2013). Selon Hamadache (1995), une mauvaise herbe est définie comme une plante herbacée, qu'elle soit annuelle ou pérenne, qui est considérée comme indésirable dans l'environnement où elle se trouve. Selon Longchamp (1977), une plante est considérée comme une mauvaise herbe en fonction des désavantages qu'elle pose pour l'homme. Toutefois, les écologistes considèrent que les mauvaises herbes sont bénéfiques, puisqu'elles contribuent à stabiliser le sol et diminuent de ce fait l'érosion éolienne et hydrique.

Selon eux, chaque plante, peu importe où elle se développe, contribue à d'autres aspects bénéfiques. Selon la F.A.O (1988), certaines plantes adventices sont jugées significatives pour l'alimentation humaine, l'usage médical, le fourrage des animaux d'élevage, la contribution à l'humus, le nectar pour les abeilles et potentiellement des abris pour les insectes bénéfiques.

2. Mauvaises herbes étudiées

2.1. Brome :

Le Brome C'est une plante indésirable dans les cultures céréalières de la famille des graminées, présente en Algérie à travers trois espèces majeures : *Bromus rigidus*, *Bromus madritensis*, *Bromus rubens*.

Le brome est l'herbe la plus menaçante, sa croissance et sa dissémination dans les champs de céréales sont principalement attribuables au manque de rotations, l'absence de jachère cultivée, l'ensemencement clair, les travaux de surface du sol, le semis direct, l'usage de graines contaminées et l'emploi d'herbicides qui n'agissant pas sur le brome. La figure 1 présente le brome (*bromus sp.*).



Figure 1: *Bromus sp*

2.1.1. Caractéristiques et biologie du brome :

Le brome a la capacité de germer avant même que la culture du blé ne pousse. Sa caractéristique principale est une germination échelonnée allant de l'automne jusqu'au début du printemps. Il y a trois collectes par campagne. Le stock de semences de brome se regagne rapidement. Une plante de brome peut produire jusqu'à 500 graines. Le brome est une graminée qui a du mal à absorber les herbicides en raison de la pilosité présente sur la plante. Le brome est une espèce dominante. Son action allélopathique empêche toute autre espèce de s'établir. Ces traits rendent sa gestion complexe.

2.2. Folle avoine

Selon Holm et al. (1977), la folle avoine (*Avena fatua* L.) est une mauvaise herbe annuelle appartenant à la famille des Poaceae. Elle est largement répandue dans les cultures céréalières, notamment le blé et l'orge, où elle constitue l'une des adventices les plus nuisibles en raison de sa forte compétitivité. La figure illustre la folle avoine (*Avena fatua* L.).

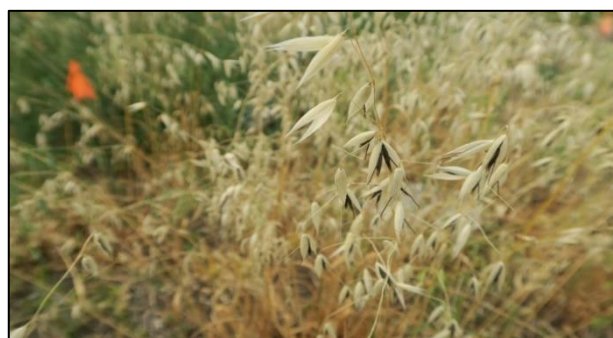


Figure 2: folle avoine(*Avena fatua* L.)

2.2.1. Caractéristiques et biologie de la folle avoine

La folle avoine possède une grande capacité d'adaptation aux conditions climatiques variées. Ses graines présentent souvent une dormance qui leur permet de survivre plusieurs années dans le sol. La germination est échelonnée, ce qui rend sa lutte difficile. Une seule plante peut produire plusieurs centaines de graines et entrer en forte compétition avec les cultures pour l'eau, la lumière et les éléments nutritifs. Certaines études ont également montré qu'elle peut exercer des effets allélopathiques susceptibles d'influencer la germination et la croissance des plantes voisines (Blackshaw et al., 1981 ; O'Donovan et al., 2000).

Chapitre 02 : L'allélopathie

1. Généralités sur l'allélopathie

1.1 Historique

L'allélopathie, un phénomène reconnu depuis plus de 2000 ans, fait référence à l'influence chimique d'une espèce végétale sur la germination, la croissance ou le développement d'autres espèces végétales (Rice, 1984). Molisch, (1937), a introduit le concept d'allélopathie pour la première fois. Ce concept est issu du terme grec « allélo », désignant les uns et les autres, et de « patheia », signifiant souffrance. Il souligne l'impact nuisible de l'un sur l'autre, soit l'entrave à la croissance d'une plante par une autre grâce à la production et la diffusion de composés chimiques toxiques.

Dans le contexte environnemental, on utilise souvent ce terme pour englober tant les effets de stimulation que d'inhibition d'une plante sur une autre (Heisey, 1997). Certains biologistes l'emploient dans un sens plus global, les entomologistes le mettent en œuvre dans le cadre des interactions entre plantes et insectes, tandis que les microbiologistes l'utilisent pour décrire les interactions entre plantes et microorganismes (Rice, 1984).

1.2. Définition de l'allélopathie

Selon la définition donnée par l'International Allelopathy Society (IAS) en 1996, l'allelopathie est « tout processus impliquant des métabolites secondaires produits par les plantes, micro-organismes, virus et champignons qui influencent la croissance et le développement des systèmes biologiques agricoles (à l'exception des animaux), y compris les effets positifs et négatifs » (Torres et al., 1996).

Le phénomène de l'allélopathie se définit comme « toute interaction directe ou indirecte, favorable ou défavorable, d'une plante (micro-organismes inclus) sur une autre grâce à des composés chimiques relâchés dans l'environnement » (Rice, 1984 ; Gallet et Pellissier, 2002). C'est la faculté de certaines plantes à empêcher ou retarder la germination ou l'expansion d'autres végétaux à proximité, par le biais de la libération de composés chimiques (Bais et al., 2006 ; Lesuffleur, 2007). Les composés allélopathiques influencent les processus essentiels de la plante tels que la photosynthèse, la synthèse protéique, la production de chlorophylle, les interactions plante-eau, la perméabilité des membranes, la division cellulaire, la germination et l'absorption des nutriments (Einhellig, 1986 cité par Yamane et al., 1992 ; Ferguson et al., 2003 ; Newman et Miller, 1977).

2. Métabolites des végétaux

Chez les plantes, deux types de voies métaboliques se déroulent, définissant ainsi deux catégories de métabolites, appelées primaires et secondaires :

2.1. Métabolites primaires

Les métabolites primaires, produits de manière naturelle par l'organisme pour favoriser sa croissance et sa reproduction, sont présents chez tous les êtres vivants. Ils reflètent l'uniformité inhérente à la vie sur Terre. Les produits issus des métabolismes primaires, essentiellement des saccharides, sont vitaux pour la survie de la plante et résultent du processus de photosynthèse (Ben chacha, 2008).

2.2. Métabolites secondaires

La majorité des molécules identifiées comme agents allélopathiques appartiennent aux métabolites secondaires des plantes. Elles sont généralement présentes en très faibles quantités, ne dépassant pas 1 % du poids sec, et leur production varie considérablement selon le stade physiologique et le degré de développement de la plante (Akula et Ravishankar, 2011).

Ces composés jouent un rôle important dans la protection des plantes contre les dangers, contribuent à compétition entre les plantes, qu'elle soit interspécifique ou intraspécifique, et participent également à diverses interactions végétales, y compris les phénomènes d'attraction via les substances allélochimiques (Croteau et al., 2000).

La diversité du métabolisme végétal est à l'origine de dizaines de milliers de composés, pouvant être regroupés en trois grandes catégories : les composés phénoliques, les terpènes et les alcaloïdes. Ces composés dérivent principalement du métabolisme primaire à travers des molécules clés telles que l'acide shikimique, l'acétyl-CoA et l'acide mévalonique, mettant ainsi en évidence le lien étroit entre les principales fonctions physiologiques des plantes, comme la photosynthèse et la respiration, et la production de métabolites secondaires pouvant avoir un rôle allélochimiquement potentiel (Chiapusio et al., 2008).

a. Voies d'émission des composés allélopathiques

Les composés allélopathiques sont libérés dans l'environnement par diverses voies :

- 1- Les eaux d'égouttement traversant le feuillage et les eaux d'écoulement le long des troncs et les tiges des plantes.
- 2- L'émission de composés volatils à partir des parties vertes de la plante
- 3- La décomposition des résidus végétaux libérant des composés allélopathiques dans le sol.
- 4- Les exsudats racinaires libérés dans le sol.

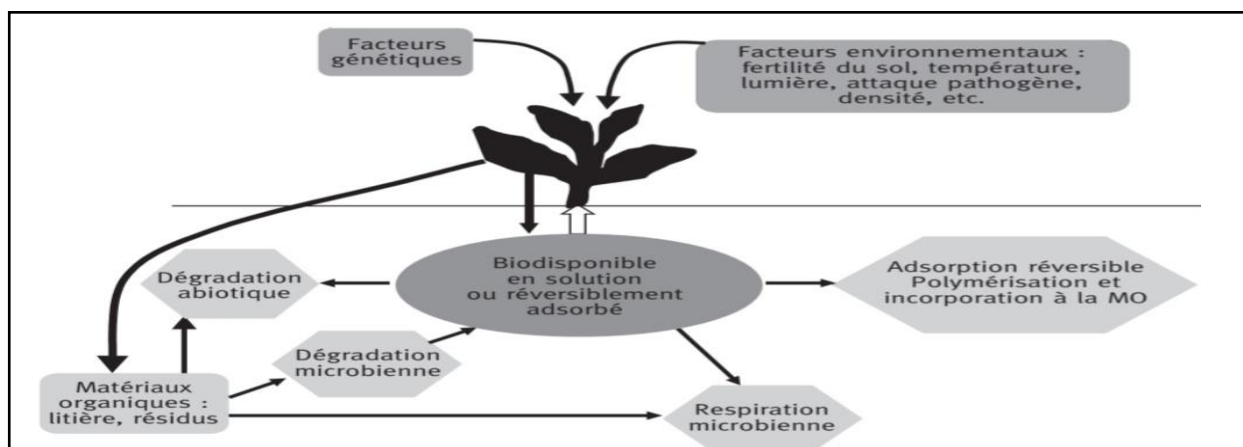


Figure 3 : Facteur influençant la synthèse des composées allélopathiques et leur évolution dans les horizons superficiels du sol

1.3. Types des composés allélopathiques

1.3.1. Composés azotés

1.3.1.1 Les alcaloïdes

Les alcaloïdes sont des composés hétérocycliques azotés et basiques, dérivent des acides aminés (tyrosine, tryptophane, ornithine, arginine, et lysine) (Yinyang et al., 2014). Ils représentent un groupe de métabolites très diversifié avec 12000 molécules (Croteau et al., 2000). La plupart d'entre eux dérivent d'acides aminés, bien qu'ils puissent également être produits à partir de terpénoïdes ou de voies de polycétide (Macías et

al., 2003). Selon leur origine biosynthétique, ils se classent en plusieurs catégories : par exemple, les alcaloïdes indoliques dérivés du tryptophane, les alcaloïdes pyrrolizidiniques issus de l'ornithine ou de l'arginine, ainsi que les alcaloïdes quinolizidiniques provenant de la lysine (Latif et al., 2017). Leur synthèse se déroule dans le cytoplasme, les vésicules ou les chloroplastes, tandis que leur stockage s'effectue souvent dans les vacuoles, en raison de leur bonne solubilité dans l'eau (Macías et al., 2019).

L'activité de ces composés se produit à des concentrations relativement élevées ($> 0,1\%$), comparativement aux composés phénoliques, qui sont déjà toxiques à des concentrations de 10 à 200 ppm (Yoneyama et Natsume, 2010). Les alcaloïdes freinent la croissance des plantes en agissant directement sur l'ADN. Ils entraînent également des modifications au niveau de l'activité enzymatique, du métabolisme des protéines et de la stabilité des membranes cytoplasmiques, entre autres effets (Latif et al., 2017).

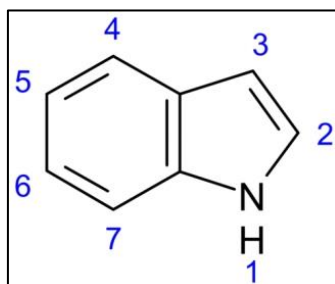


Figure 4: Indole alkaloid

1.3.1.2. Les benzoxazinoïdes

Ils représentent un groupe majeur de composés à fort potentiel allélopathique, largement présents dans les grandes cultures telles que le seigle, le blé, le maïs et le riz (Hussain et al., 2022). Les benzoxazinones sont stockées dans les vacuoles sous forme de glucosides. Lors de leur libération, elles sont hydrolysées par les β -glucosidases, ce qui accroît leur activité biologique. Leurs dérivés tels que le DIBOA et le DIMBOA sont toxiques, tandis que les produits de dégradation (MBOA et BOA) sont moins actifs. Néanmoins, l'ensemble de ces composés contribue à l'inhibition de la croissance des adventices (Gawronska & Golisz, 2006).

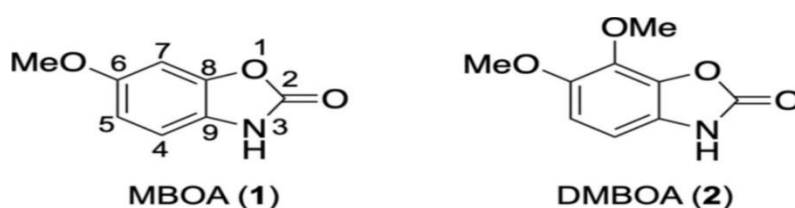


Figure 5: Structures chimiques de la 6-méthoxy-2(3H)-benzoxazolone (MBOA) et de la 6,7-diméthoxy-2(3H)-benzoxazolone (DMBOA).

2.3.2. Les composés phénoliques

Les composés phénoliques, appelés aussi polyphénols, constituent une vaste famille de substances chimiques très variées. Ils vont des acides phénoliques les plus simples jusqu'aux polymères complexes (Hopkins, 2003). On connaît aujourd'hui environ 8000 molécules de ce type, caractéristiques des plantes vasculaires, et qui représentent près de 40 % du carbone organique présent dans la biosphère (Croteau et al., 2000).

Ces composés remplissent plusieurs fonctions essentielles chez les plantes : ils participent à la défense contre les agents pathogènes (par exemple les lignanes), jouent un rôle de dissuasion contre les herbivores, attirent les pollinisateurs, et constituent une source importante d'antioxydants puissants. Ils interviennent aussi dans la coloration, les arômes et les parfums des plantes (comme les flavonoïdes), ainsi que dans leur structure, à travers des composants tels que la lignine, élément majeur du bois (Croteau et al., 2000 ; Merouene et al., 2014 ; Modnicki et al., 2019).

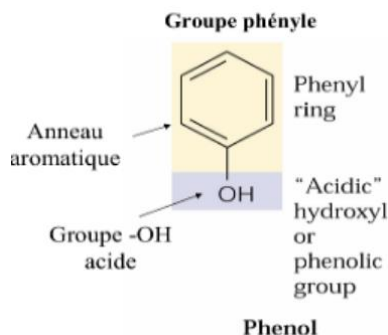


Figure 6: Structure des composés phénoliques (BUACHANAN, 2006).

1.1.3 Les terpénoïdes

Les terpénoïdes représentent le groupe le plus abondant et le plus diversifié de métabolites secondaires chez les plantes, avec plus de 23 000 structures identifiées (Cheng et al., 2007). Ils sont produits à partir de la polymérisation d'unités de cinq atomes de carbone appelées isoprènes. Ces composés comprennent une grande variété de substances : arômes volatils, parfums, phytoalexines, hormones végétales (comme les gibbérellines), molécules à activité pharmacologique, stérols membranaires, certaines toxines, ainsi que les caroténoïdes (Croteau et al., 2000). Parmi eux, les monoterpènes et les diterpènes, qui constituent les principaux composants des huiles essentielles, jouent un rôle important : ils peuvent agir comme agents allélopathiques, attirer ou repousser certains organismes dans les interactions plante-plante ou plante-pathogène/herbivore (Grabmann, 2005).

Chapitre 3 : Les céréales étudiées

1. Blé

1.1 Histoire du blé

D'après les archéologues, la première culture du blé aurait eu lieu au Levant entre la fin du Paléolithique et le commencement du Néolithique, donc entre 8900 et 7000 avant Jésus-Christ. Maurice Beaumont (1967) identifie déjà trois grandes catégories de blé à cette époque : le blé diploïde (également appelé engrain ou petit épeautre), le blé tétraploïde (qui comprend l'amidonnier, le blé dur, le blé poulard, le blé de Pologne et le blé de Perse) ainsi que le blé hexaploïde (qui inclut l'épeautre, le blé tendre, le blé hérisson et le blé compact).

Par la suite, la culture du blé a été diffusée de la zone du Levant vers l'Europe, où l'agriculture a connu un développement considérable. (Alain Bonjean, 2001).

1.2 Classification botanique du blé

Le terme « Blé » est utilisé de manière générique pour référer à plusieurs céréales qui appartiennent au genre *Triticum*. Il s'agit de plantes annuelles appartenant à la famille des Poacées ou graminées, que l'on cultive dans un grand nombre de pays. Le terme « blé » fait également référence au « grain » (caryopse) produit par ces végétaux.

Le blé dur (*Triticum turgidum ssp. Durum*) est une plante monocotylédone appartenant à la famille des Poacées appartenant à la tribu des Triticeae et au genre *Triticum*. Du point de vue de la production commerciale, cette espèce représente le deuxième plus important membre du genre *Triticum* en termes de culture et d'alimentation humaine. À la suite du blé tendre (*Triticum aestivum L.*). Le blé est une plante graminée annuelle qui atteint une certaine hauteur moyenne et avec un bord de feuilles qui est aplati. L'épi terminal de l'inflorescence est constitué de Fleurs idéales (Bozzini, 1998). La culture du blé pour la consommation humaine remonte à de très nombreuses années. Il se démarque des autres graminées grâce aux caractéristiques physico-chimiques de son gluten, qui favorisent la production de produits céréaliers alvéolés après les étapes de fermentation et de cuisson (ADRIAN, 1995). La classification du genre *Triticum* est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1: Classification du genre *Triticum* selon Cronquist (1981)

Règne	<i>Plantae</i>
Sous-règne	Tracheobionta
Division	<i>Magnoliophyta</i>

Classe	<i>Liliopsida</i>
Sous-classe	<i>Commelinidae</i>
Ordre	<i>Cyperales</i>
Famille	<i>Poaceae</i>
Genre	<i>Triticum</i>

1.3 Structure du grain de blé

On obtient le blé à la suite du processus de battage, et sa forme est ovoïde. Elle peut être de couleur rouge ou blanche, et mesure généralement entre 0,48 et 0,95 cm. La masse des grains de blé fluctue en fonction de leur variété et de leur stade de maturité, mais elle tourne habituellement autour de 35 mg. Les grains de blé se distinguent par leur enveloppe extérieure nommée brousse et leur caryopse. Il se compose de trois sections distinctes (Armand B, 1992).

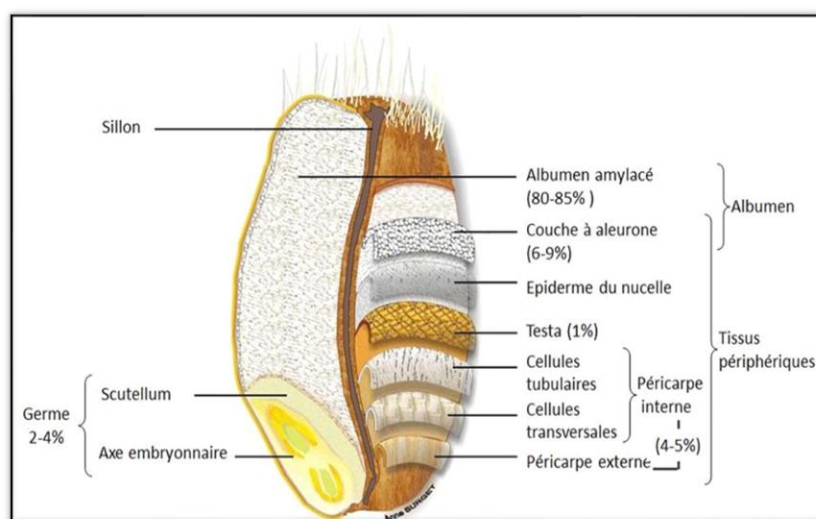


Figure 7: Structure du grain de blé(Surget et Barron)

1.4 Exigences du blé

Température : Un élément crucial dans la physiologie du blé. La germination cesse à 0° C, alors que la température idéale pour une croissance se situe entre 15 et 25° C. Selon les variétés, les exigences thermiques varient entre 18 et 24° C. La vitesse de croissance est influencée par la température et, en conjonction avec la durée du jour, elle détermine la capacité à produire des épis (ZANE, 1993 ; BALAID, 1986).

Lumière : Elle est essentielle pour la photosynthèse. Pour assurer un tallage optimal, une illumination adéquate est essentielle (BALAID, 1986).

Sol : Le blé dur favorise les sols profonds (limoneux, argilo-calcaires ou argilo-siliceux) qui possèdent une excellente faculté d'absorption. Il est affecté par la salinité ; un pH de 6,5 à 7,5 est optimal pour

promouvoir l'absorption et la croissance des racines (MAACHI, 2005). Eau : On estime que les nécessités en eau sont d'environ 800 mm, avec une demande qui augmente dans les régions sèches. Selon SOLTNER (1988) et LOUE (1982), la période cruciale va de 20 jours avant l'épiaison à 35 jours après la floraison.

Fertilisation : Indispensable pour le rendement (3Kg d'azote par quintal). De la montaison à la floraison, stade où le nombre d'épis est déterminé, les besoins en nutriments deviennent de plus en plus pressants (VIAUX, 1980 ; GRIGNAC, 1984).

1.5 Importance économique du blé :

Le blé fait partie des trois céréales les plus cultivées dans le monde avec le riz et le maïs. Il constitue la céréale la plus importante du point de vue de la superficie consacrée à sa production (Debiton, 2010). La production totale des blés en 2016 est estimée à environ 724 millions de tonnes et les pays leaders de production sont l'union Européenne, la Chine, l'Inde, la Russie, les USA et le Canada (FAO, 2016). Le blé dur occupe 8 à 10% du total des terres réservées aux blés (dur et tendre), et il occupe une place exceptionnelle dans la région méditerranéenne qui produit environ 75% de la production mondiale totale de cette espèce (Alsaleh et al., 2016). En Algérie, le blé représente une culture stratégique pour la sécurité alimentaire nationale. Le pays produit principalement du blé dur, notamment dans les régions des Hautes Plaines. Cependant, la production nationale reste insuffisante pour couvrir la demande locale, ce qui conduit à l'importation de quantités importantes de céréales.

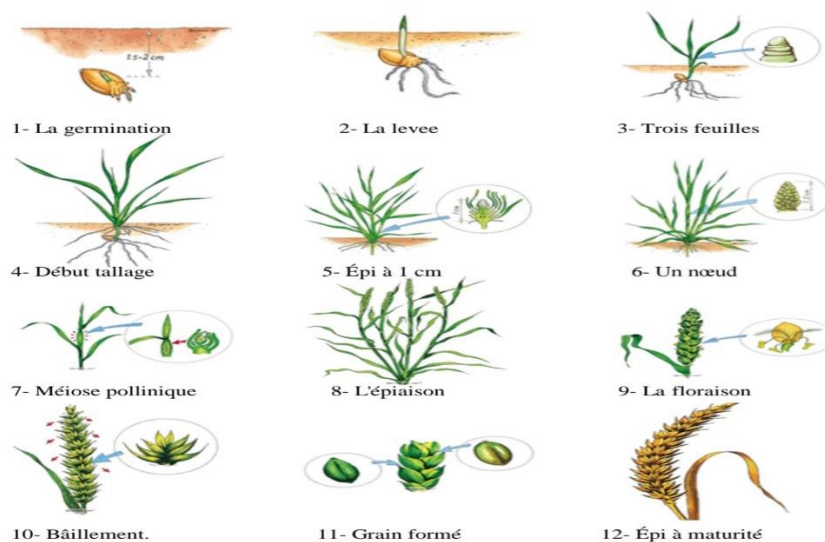


Figure 8 : Cycle de développement du blé (www.UNCTAD.org).

1.6 Principales maladies

1.6.1 L'oïdium

L'oïdium (*Blumeria graminis* f. sp. *Tritici*) est une maladie fongique du blé caractérisée par l'apparition d'un feutrage blanc poudreux sur les feuilles, les tiges et parfois les épis. Cette maladie

réduit la photosynthèse et peut entraîner une diminution du rendement et de la qualité de la production (Agrios, 2005 ; Eyal et al., 1987).



Figure 9 : L'oidium du blé(Source : BASF, Maladies du blé).

1.6.2. La Rouille brune

Puccinia triticina est un champignon pathogène responsable de la rouille brune du blé. Cette maladie affecte principalement les feuilles et peut entraîner une réduction du rendement et de la qualité de la production (Agrios, 2005).



Figure 10: Rouille brune de blé (Sources : BASF, Maladies du blé).

2. Maïs

2.1 Histoire du maïs

Le maïs (*Zea mays L.*) est une plante herbacée annuelle tropicale qui fait partie de la famille des Poaceae et de la sous-famille des Panicoideae (De-Candole, 1883). C'est Linné qui a donné son nom scientifique en 1753 (Anonyme 1, 1993). Le maïs, qui a été domestiqué au Mexique, plus précisément dans la région tropicale d'Amérique, est le résultat de la transformation de la téosinte, une plante indigène originaire de la vallée du Rio Balsas au Mexique (Matsuoka et al., 2002 ; Farnham et al., 2003). Avant l'arrivée de Christophe Colomb, ce dernier était un élément fondamental de l'alimentation des Amérindiens (Anonyme 1, 1993). Les peuples de l'Amérique centrale, tels que les Incas, les Mayas et les Aztèques, ont fait du maïs leur nourriture principale et ont été déterminants dans son processus de domestication (Kimou, 2019). Introduit en Europe au XVI^e siècle par le Portugal, la France et l'Italie (Rouanet, 1984) à la suite de la découverte de l'Amérique en 1492 (Kimou, 2019), le maïs s'est propagé à travers le globe. En Afrique, les Turcs et les Syriens ont introduit cet élément en Égypte vers 1540,

puis les Portugais l'ont amené dans la région du Golfe de Guinée aux alentours de 1550 (Michael et David, 2008). Ils ont notamment contribué à son arrivée au Cameroun (Ekobo, 2006). À l'échelle mondiale, le maïs est la céréale la plus cultivée, dépassant le riz et le blé en production avec près de 1202 millions de tonnes produites en 2022 (CIC, 2022). C'est une culture essentielle dans plusieurs pays, surtout en Europe de l'Ouest, aux États-Unis et en Chine, où on utilise des graines hybrides et génétiquement modifiées (Kimou, 2019). Selon la FAO (1993), les programmes de sélection génétique du XXe siècle ont conduit à l'obtention de variétés modernes très productives.

2.2 Classification botanique du maïs

La classification systématique du maïs selon (Cronquist, 1981) est la suivante :

Tableau 2: Classifications du maïs

Règne	Plantae
Sous-règne	Tracheobiontal
Division	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida
Sous-classe	Commelinidae
Ordre	Cyperales
Famille	Poaceae
Genre	<i>Zea</i>
Espèce	<i>Zea mays</i>

2.3 Structure du grain de maïs

Le maïs est une culture essentielle pour la nutrition humaine et animale, grâce à sa forte teneur en nutriments indispensables. Le grain de maïs se compose de trois éléments distincts. On distingue essentiellement le péricarpe qui représente approximativement 5% du poids total du grain, l'embryon ou germe qui se situe à une position subcentrale et constitue environ 11% de la masse totale (Corke, 2004 ; Malumba, 2008), et l'albumen qui forme la plus grande partie pondérale du grain avec près de 84% de son poids total (Malumba, 2008). En termes de nutrition, le maïs est une source cruciale de glucides, qui constituent la principale fourniture d'énergie. On trouve également des proportions variables de sucres simples comme le glucose, le saccharose et le fructose.

Aussi présents en proportions allant de 1 à 3% (Niamketchi, 2017). Le maïs renferme aussi une quantité modérée de protéines, oscillant entre 8 et 11%. Néanmoins, on considère ces protéines de moindre qualité en raison de leur carence en acides aminés essentiels comme la lysine et le tryptophane (Ezoua et al., 2017). La présence des lipides est relativement faible, oscillant entre 3 et 5%, et leur concentration est essentiellement localisée dans le germe (FAO, 1993). On trouve aussi une quantité

notable de fibres alimentaires, avec un taux approximatif de 6% (Ezoua et al., 2017 ; Niamketchi, 2017). Pour finir, le taux de cendres correspond approximativement à 1,65% du grain (Deffan et al., 2015). La composition chimique du maïs confère à cette céréale une grande importance en tant qu'aliment pour les êtres humains et les animaux.

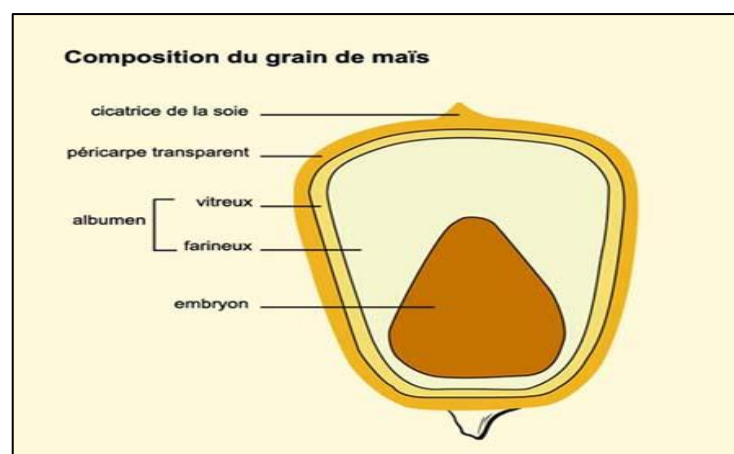


Figure 11 : composition d'un grain de maïs

2.4 Description botanique du maïs

Il s'agit d'une plante herbacée annuelle monoïque avec une forte capacité de croissance (1 à 3m de hauteur), généralement dotée d'un seul tronc. Les graines de cette plante sont transportées par une inflorescence (l'épi) entourée de spathes, ce qui freine leur dispersion. C'est une particularité qui le différencie des autres types de céréales (GOVERNMENT, 2008). Le système racinaire présente une structure fasciculée et adventive, tandis que la tige se dresse, est ronde (3 à 6 cm de diamètre) et contient une moelle sucrée. Elle est constituée de nœuds et d'inter-nœuds, courts à la base et étendus au sommet (FARE, 2004). Les feuilles sont disposées de manière alternée et opposée. Les fleurs, regroupées en épillets sur les inflorescences mâles situées sur la panicule ramifiée terminale, ainsi que les fleurs femelles, rassemblées sur un ou plusieurs épis insérés à l'aisselle des feuilles. Cet assemblage permet au maïs d'être auto-fertile (HUBERT, 1978). Les épis se manifestent dans la région axillaire des feuilles du milieu. On peut généralement observer la formation de 4 à 5 épis, dont un seul arrive généralement au stade final. La longueur de cette dernière est comprise entre 10 et 30 cm, elle est entourée de 5 à 20 spathes (FARE, 2004).

2.5. Exigences du maïs

La culture du maïs exige un environnement chaud et humide, nécessitant une pluviométrie minimale de 600 mm par cycle et des températures quotidiennes variant de 20 à 35°C (Akanvou et al., 2012 ; N'da et al., 2022). Par ailleurs, le maïs réagit à la photopériode et sa floraison est retardée lorsque les heures de jour excèdent 12,5 heures. C'est pourquoi il est considéré comme une plante de

jour court (FAO, 2017). Pour que le maïs s'épanouisse, il a besoin de conditions particulières. Selon Akanza et al. (2018), du point de vue pédologique, le maïs se développe mieux dans des sols ayant un pH situé entre 5 et 7, présentant une texture sablo-limoneuse ou argilo-limoneuse, offrant un bon drainage et renfermant une quantité importante de matière organique. Toutefois, même dans des conditions de sol non idéales, il est possible de cultiver du maïs avec succès à condition de répondre régulièrement aux besoins en eau et en nutriments essentiels (IPAR/USAID, 2017).

2.6. Importance économique

Le maïs figure parmi les graminées les plus répandues à l'échelle mondiale. Selon ZONKENG et al. (2011), il est considéré comme la denrée alimentaire la plus essentielle en Amérique du Sud, aux Caraïbes et en Afrique. En Algérie, le maïs représente une culture stratégique principalement destinée à l'alimentation animale, notamment dans les filières avicole et bovine. Malgré une production locale limitée, la demande nationale reste élevée, ce qui entraîne un recours important aux importations afin de satisfaire les besoins du marché intérieur (MADR, 2020 ; FAO, 2021).

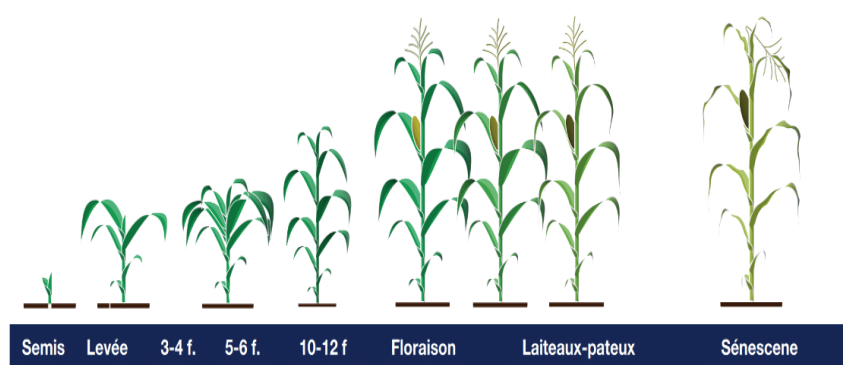


Figure 12: Les principales étapes du cycle de croissance du maïs

2.7. Principales maladies

❖ Charbon commun du maïs (*Ustilago maydis*) :

Le charbon commun est une maladie fongique caractérisée par la formation de galles sur les feuilles, les tiges et les épis. Ces galles renferment une masse de spores noirâtres qui assurent la propagation du champignon (Martínez-Espinoza et al., 2002).

❖ Helminthosporiose du maïs (*Exserohilum turcicum*) :

Cette maladie se manifeste par l'apparition de lésions allongées brun grisâtre sur les feuilles, entraînant une réduction de la surface photosynthétique et une diminution du rendement (Bankole et al., 2023).

❖ Fusariose du maïs (*Fusarium verticillioides*) :

La fusariose affecte les tiges et les épis du maïs, provoquant des pourritures et pouvant entraîner une accumulation de mycotoxines nuisibles à la santé humaine et animale (Lanubile et al., 2014).

Matériels et méthodes

1. Lieu de réalisation de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée au sein de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV) de l'université Chadli Bendjedid d'El Tarf. Les essais de germination et le suivi de la croissance des semis ont été effectués au laboratoire de biologie végétale, tandis que les analyses phytochimiques ont été réalisées au laboratoire de biochimie.

Le matériel expérimental détaillé est présenté en annexe (annexe A).

2. Matériel Végétal

2.1 Echantillonnage

Les parties aériennes de la folle avoine (*Avena fatua* L.) et du brome (*Bromus diandrus* Roth). Ont été récoltées le 11 avril 2026 dans la région d'El Tarf.

L'évaluation de l'activité allélopathique a été réalisée sur des graines de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et de maïs (*Zea mays* L.) préalablement sélectionnées.

Tableau 3: Les caractéristiques des espèces utilisées dans cette étude

Espèces végétales	Nom scientifique	Principales caractéristiques
Blé : variété BOUSSELLEM	<i>Triticum durum</i>	Céréale annuelle appartenant à la famille des Poacées, largement cultivée pour l'alimentation humaine .Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2004
Maïs : variété commerciale	<i>Zea mays</i> L.	Espèce céréalière cultivée pour ses graines riches en amidon. Présente une croissance rapide et une bonne capacité germinative dans des conditions favorables(FAO ,2021)
Folle avoine	<i>Avena fatua</i> L.	Mauvaise herbe annuelle très répandue dans les cultures céréalières. Connue pour son fort pouvoir compétitif et ses effets allélopathiques sur plusieurs cultures (Holm et al., 1977).
Brome	<i>Bromus</i> sp.	Adventice appartenant à la famille des Poacées, fréquente dans les champs de céréales. Peut réduire la croissance des cultures par compétition et

3. Première partie

3.1 Test du pouvoir germinatif

Afin de garantir la qualité des graines avant l'expérimentation, un test du pouvoir germinatif a été réalisé. Ce test permet d'évaluer le pourcentage de graines capables de germer dans des conditions favorables et de vérifier leur viabilité avant leur utilisation dans l'essai expérimental.

Pour cela, des boîtes de Petri ont été utilisées, chacune contenant un papier filtre sur lequel dix (10) graines ont été déposées. Un volume de 10 ml d'eau distillée a ensuite été ajouté dans chaque boîte à l'aide d'une pipette afin d'humidifier le papier filtre. Les boîtes ont été soigneusement fermées puis placées dans l'obscurité à température ambiante pour assurer des conditions optimales de germination. Les graines de maïs ont été observées pendant 5 jours, tandis que les graines de blé ont été suivies pendant 10 jours afin d'enregistrer le début de la germination et de suivre le développement des plantules. Cette différence de durée s'explique par les différences de vitesse de germination entre les espèces étudiées ; le maïs présente généralement une germination plus rapide, alors que le blé nécessite une période d'observation plus longue pour évaluer correctement son pouvoir germinatif.

4. Deuxième partie

4.1 Séchage du matériel végétal

Après la récolte des parties aériennes du brome et de la folle avoine, les échantillons ont été soigneusement nettoyés afin d'éliminer les impuretés et les particules indésirables.

Les feuilles et les tiges des espèces étudiées ont été placées dans une étuve à une température de 45 °C pendant 72 heures afin d'éliminer l'humidité et d'assurer une bonne conservation des composés bioactifs. Cette étape permet également de faciliter le broyage du matériel végétal et d'éviter l'altération des composés responsables de l'activité allélopathique.



Figure 14 : Adventices utilisées dans l'étude : brome à deux étamine (à gauche) et folle avoine (à droite)



Figure 13: stockage des échantillons avant séchage



Figure 15: étuve utilisée pour le séchage des échantillons

4.2 Broyage du matériel végétal

Après le séchage complet des échantillons végétaux, un broyage a été réalisé afin d'obtenir une poudre végétale homogène utilisée pour la préparation des extraits aqueux. Les feuilles et les tiges séchées du brome et de la folle avoine ont été broyées à l'aide d'un broyeur électrique jusqu'à l'obtention d'une poudre fine. Les poudres obtenues ont ensuite été conservées dans des sachets propres et secs, à l'abri de l'humidité et de la lumière jusqu'à leur utilisation expérimentale.

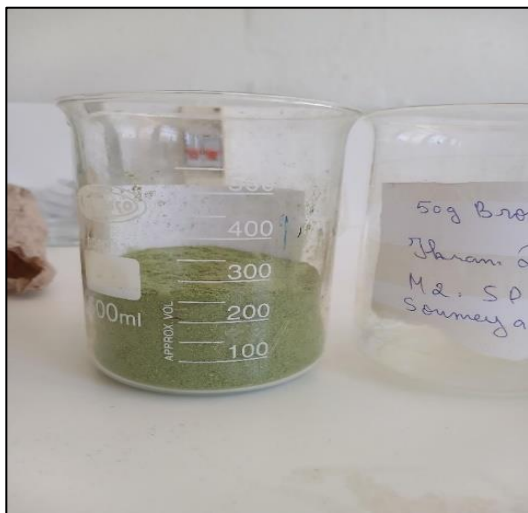


Figure 17: Poudre de brome



Figure 16: Broyeur électrique

4.3 Préparation des extraits aqueux

Les extraits aqueux ont été préparés à partir des poudres végétales obtenues après broyage afin d'évaluer l'effet allélopathique du brome et de la folle avoine sur la germination du blé et du maïs selon le protocole de Ben-Hammouda et al.,(1995).

4.3.1 Méthode

Une quantité de 50 g de poudre végétale a été mélangée avec 500 ml d'eau distillée afin de préparer l'extrait mère. Le mélange a été homogénéisé puis laissé en macération pendant 48 heures à température ambiante, sans agitation. Après macération, les mélanges ont été filtrés à l'aide d'un papier filtre afin d'obtenir les extraits aqueux. À partir de l'extrait mère, différentes concentrations ont été préparées : 0 % (témoin), 25 %, 50 %, 75 % et 100%.

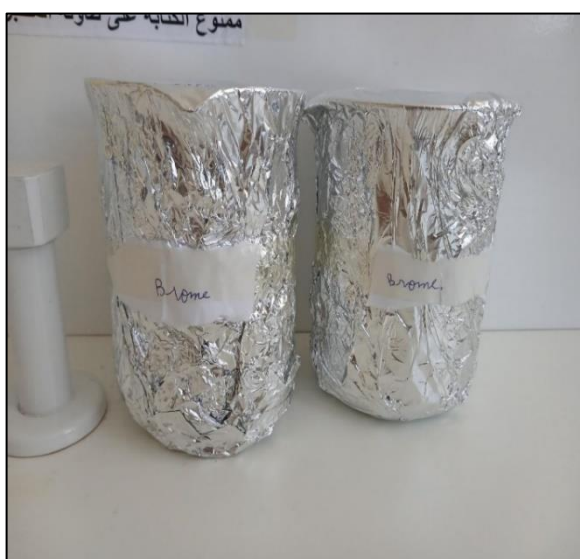


Figure 18: Préparation des solutions mères



Figure 19: Filtration des solutions

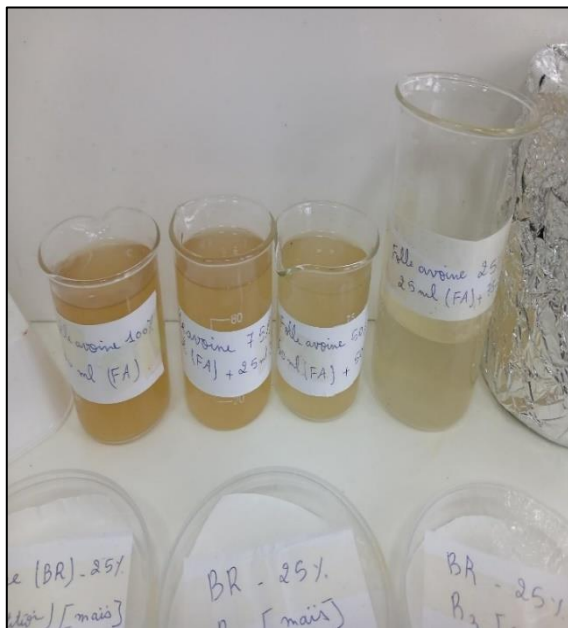


Figure 20 : Préparation des différentes concentration des extraits

4.4 Essai de germination

L'essai de germination a été réalisé dans le but d'évaluer les effets allélopathiques des extraits aqueux de la folle avoine (*Avena fatua* L.) et du brome (*Bromus diandrus* Roth) sur la germination et la croissance des semis de blé dur (*Triticum durum* Desf.) et de maïs (*Zea mays* L.).

L'étude a porté sur l'effet de deux facteurs expérimentaux : le type d'extrait aqueux (folle avoine et brome) et la concentration de l'extrait (0 %, 25 %, 50 %, 75 % et 100 %). Les différents traitements ont été appliqués aux graines des deux espèces céréalières afin d'évaluer leur influence sur les paramètres de germination ainsi que sur la croissance des jeunes plantules.

4.4.1 Méthode

L'évaluation de la germination et de la croissance des semis a été réalisée dans des boîtes de Pétri tapissées de papier filtre. Chaque boîte contenait dix graines de l'espèce étudiée (blé dur ou maïs). Les différentes concentrations des extraits aqueux de folle avoine (*Avena fatua* L.) et de brome (*Bromus diandrus*), à savoir 25 %, 50 %, 75 % et 100 %, ont été appliquées à raison de 10 mL par boîte de Pétri. Un traitement témoin, recevant uniquement de l'eau distillée (concentration de l'extrait à 0%), a également été mis en place. Chaque traitement a été réalisé en trois répétitions pour chacune des espèces étudiées.

Après l'application des traitements, les boîtes de Pétri ont été hermétiquement scellées à l'aide d'un papier film afin de limiter les pertes d'humidité, puis incubées à l'obscurité à une température de 24 ± 2 °C. Les observations et les mesures des paramètres de germination et de croissance ont été effectuées après 5 jours d'incubation pour le maïs (*Zea mays* L.) et après 10 jours pour le blé dur (*Triticum durum* Desf.).

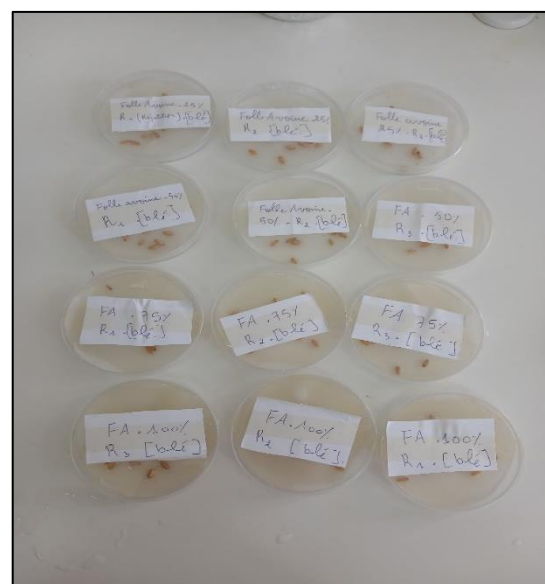
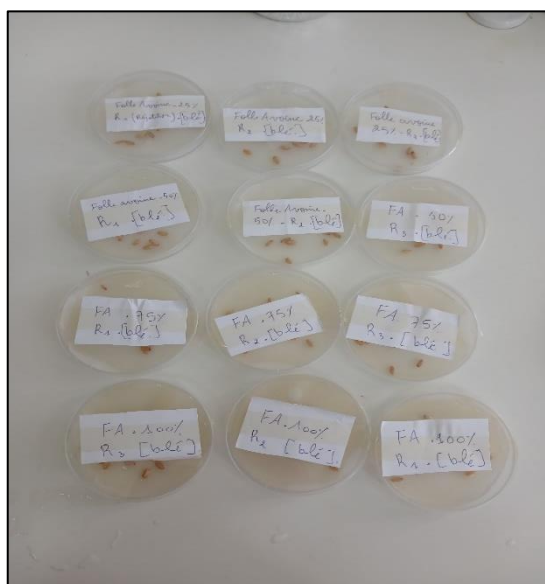
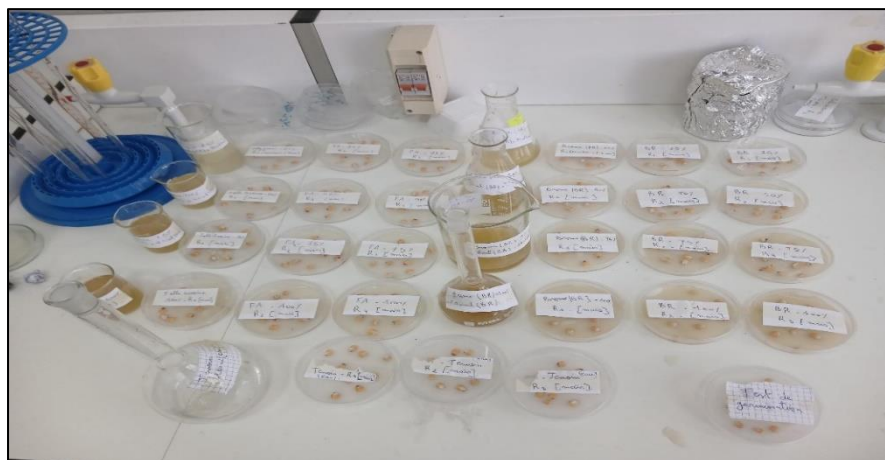


Figure 21: Graines de blé et de maïs traitées par les différentes solutions

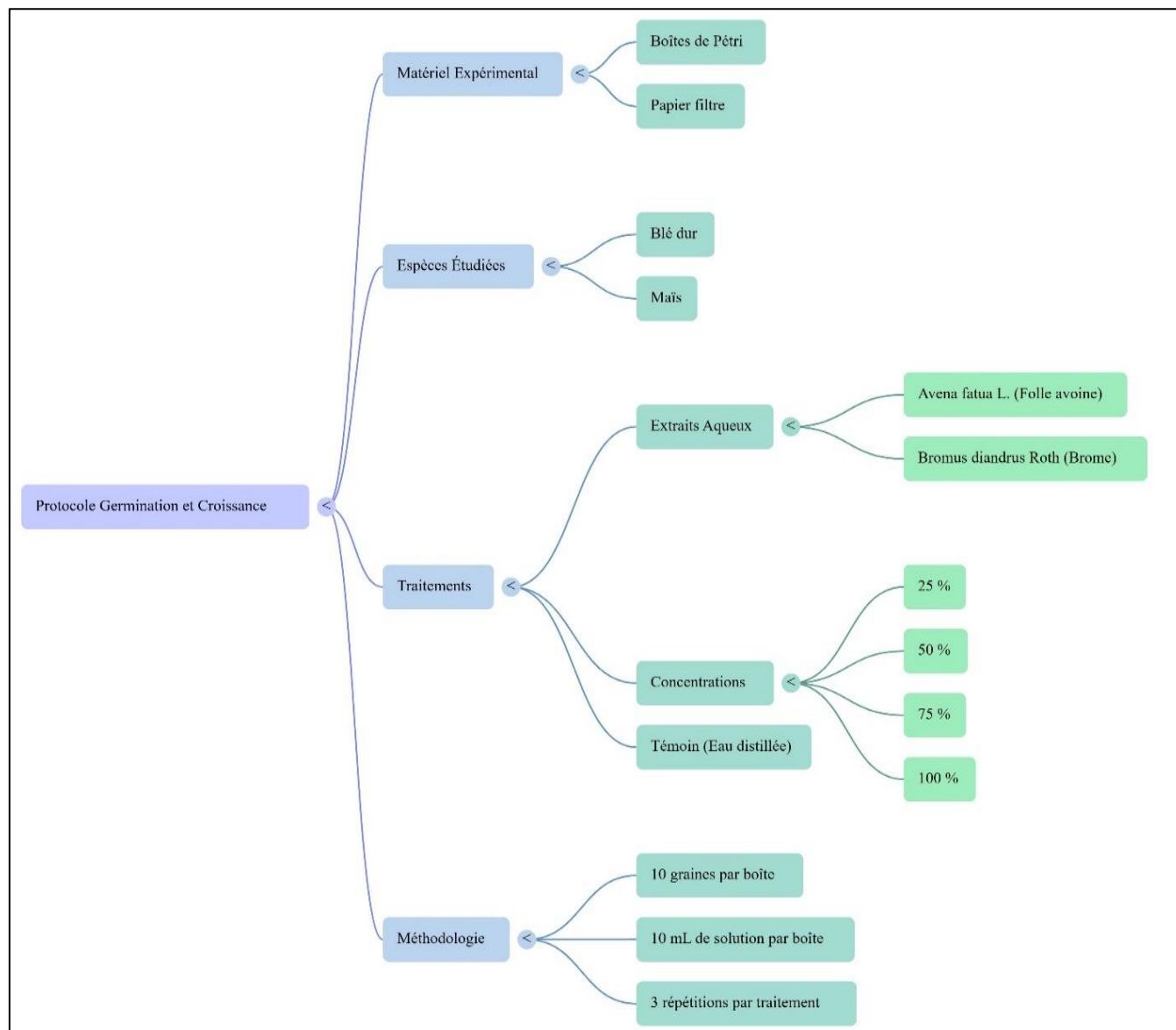


Figure 22: Schéma expérimental de l'évaluation des effets allélopathiques des extraits végétaux sur la germination du blé et du maïs

1.4.3 Paramètres étudiés

Afin d'évaluer l'effet allélopathique des extraits aqueux du brome et de la folle avoine, plusieurs paramètres ont été étudiés : Taux de germination, calculé comme suit : $(\text{nombre de graines germées} / \text{nombre total de graines}) \times 100$

- Cinétique de germination des graines (mesure journalière du nombre de graines germées).
- Longueur moyenne du coléoptile (cm).
- Longueur moyenne de la radicule (cm).
- Teneur en phénols totaux dans les extraits aqueux (en équivalent d'acide gallique).
- Teneur en flavonoïdes dans les extraits aqueux (en équivalent de quercétine).

5. Troisième Partie : Étude phytochimique

5.1 Dosage des phénols totaux

5.1.1 Principe de la Méthode

En présence d'un environnement basique (autour de pH 10), les phénols perdent un Proton, formant ainsi un anion phénolate. Cet anion est ensuite capable de réduire le RFC (qui contient du tungstène et du molybdène). Cette réduction aboutit à la formation d'un complexe bleu spécifique, probablement de formule (PMoW₁₁O₄₀). Pour quantifier les résultats, l'acide gallique est utilisé comme standard. Une courbe d'étalonnage est construite à partir de concentrations connues d'acide gallique, ce qui permet ensuite de déterminer la teneur en phénols totaux dans les échantillons inconnus. Les résultats sont exprimés en "équivalents acide gallique".

5.1.2 Protocole Opératoire

D'après la méthode décrite par WOLFE et al. (2003), pour réaliser le dosage des phénols totaux, on commence par prélever 0,5 mL d'une solution mère (à 1 mg/mL, préparée dans un mélange méthanol/eau 50:50). Cette prise d'essai est ensuite mélangée avec 5 mL de réactif de Folin-Ciocalteu et 4 mL de carbonate de sodium (1M). Après avoir agité le mélange, on le laisse incuber pendant 15 minutes à l'obscurité et à température ambiante. Enfin, l'absorbance de la solution est mesurée à 765 nm. Cette même procédure est appliquée pour construire la gamme étalon avec différentes concentrations d'acide gallique (0, 50, 100, 150, 200, 250 et 300 µg/mL), ce qui permet de quantifier les teneurs en phénols totaux des extraits en mg d'équivalent acide gallique par gramme d'extrait (mg EAG/g Extrait) à l'aide de la courbe d'étalonnage qui doit présenter un coefficient de régression proche de 1 ($R^2 = 0.9937$).

Tableau 4: les étapes de préparation de la gamme étalon de l'acide gallique

AG (µg/ml)	0	50	100	150	200	250	300
V _i (µl)	0	25	50	75	100	125	150
V _{MeOH} (µl)	500	475	450	425	400	375	350
FC (ml)	5						
Na ₂ CO ₃ (ml)	4						

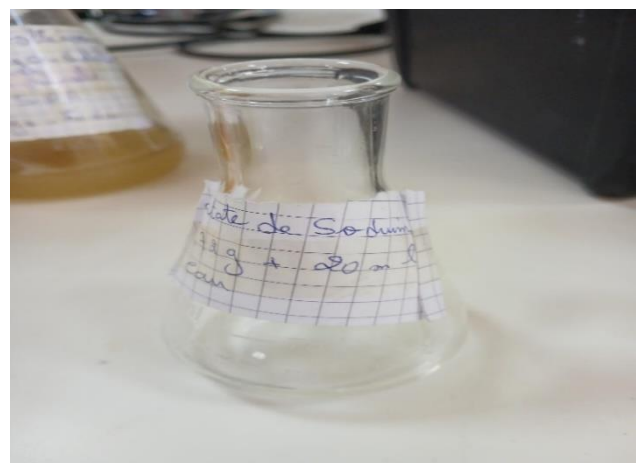
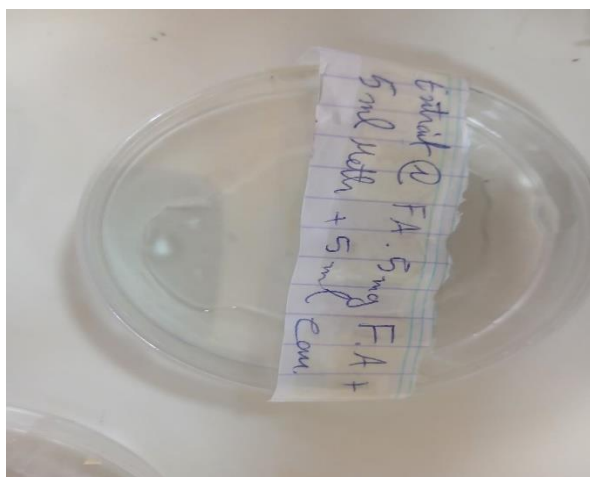
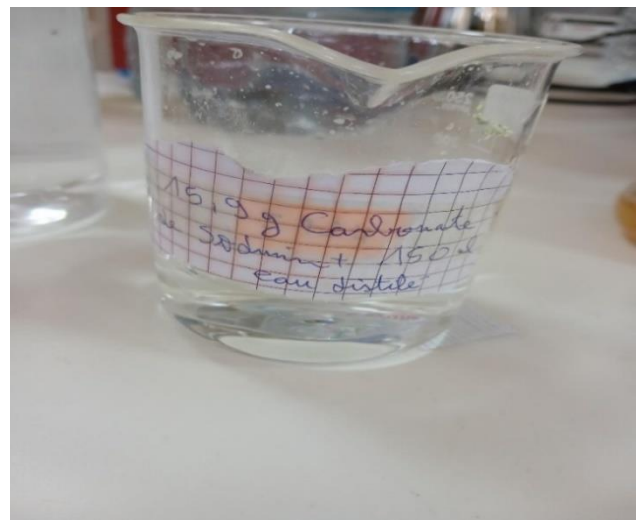
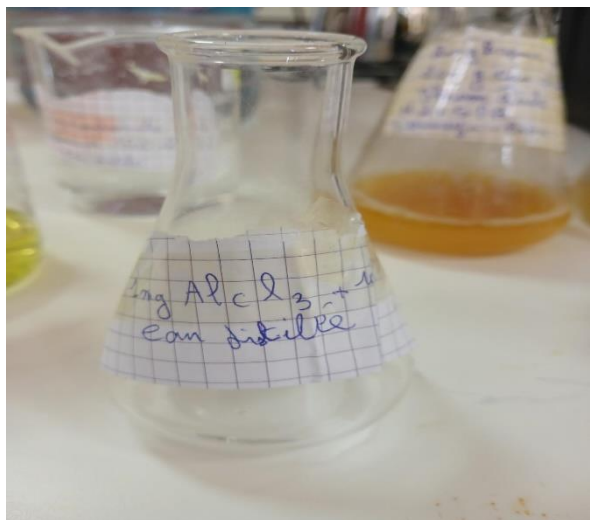
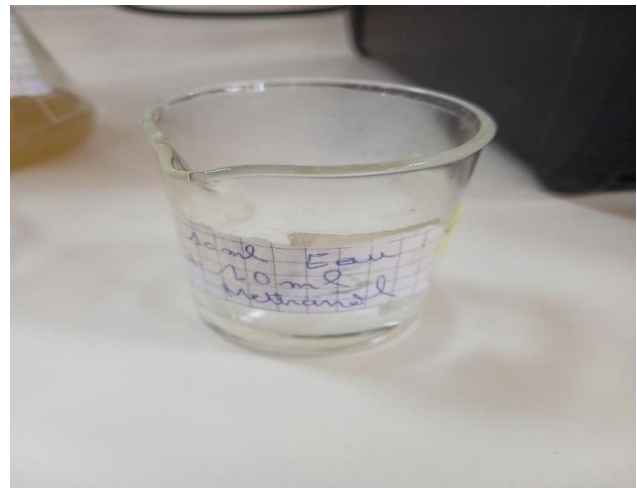
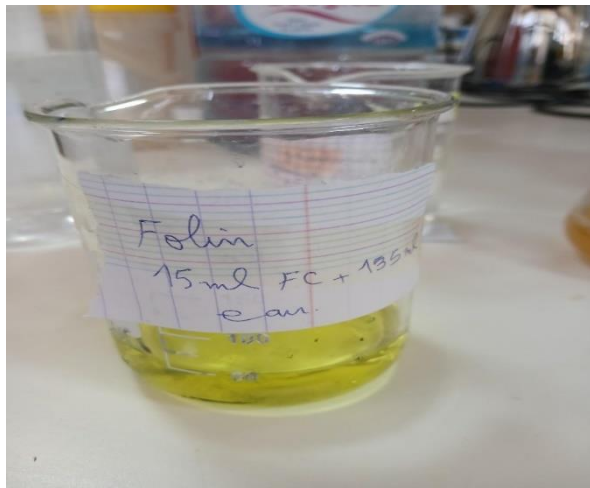


Figure 23: Préparation des solutions

5.2 Dosage des flavonoïdes totaux

5.2.1 Principe de la Méthode

Le dosage des flavonoïdes totaux repose sur une méthode colorimétrique utilisant le Trichlorure d'aluminium (AlCl_3). Ce réactif est connu pour former des complexes acides stables Avec le groupe carbonyle ($\text{C}=\text{O}$) en position C-4 et/ou les groupes hydroxyle en C-3 ou C-5 des Flavones et des flavanols. De plus, AlCl_3 peut également former des complexes acides labiles Avec les groupes orthodihydroxyles qui pourraient être présents sur les noyaux A et/ou B des Flavonoïdes. La quercétine, un flavonoïde de la classe des flavonols, est le composé standard utilisé Pour établir la courbe d'étalonnage dans cette méthode.

5.2.2 Protocole Opératoire

La détermination des flavonoïdes totaux est effectuée selon une méthode adaptée de Zhisen et al. (1999); 0,5 ml d'une solution d'extrait (aqueux/huileux) de concentration 1 Mg/ml, on ajoute successivement : 1,5 ml de méthanol ; 0,1 ml de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ à 10% ; 0,1 ML d'acétate de sodium (1M) ; 2,8 ml d'eau ultra-pure. Le mélange est ensuite agité vigoureusement et laissé à reposer pendant 30 minutes à l'obscurité. À la fin de la réaction, l'absorbance de la solution est mesurée à 430 nm. Une courbe d'étalonnage de la quercétine est établie en suivant la même procédure et Dans les mêmes conditions, en utilisant différentes concentrations (0, 20, 40, 60, 80, 100 et 120 $\mu\text{g/ml}$).

Tableau 5 : les étapes de préparation de la gamme étalon de la Quercétine

Quercétine($\mu\text{g/ml}$)	0	20	40	80	100	120
$V_i(\mu\text{l})$	0	10	20	40	50	60
$V_{\text{MeOH}}(\mu\text{l})$	500	490	480	460	450	440
Méthanol (ml)	1,5					
AlCl_3 (ml)	0,1					
CH_3COONa (ml)	0,1					
Eau ultra pure (ml)	2,8					

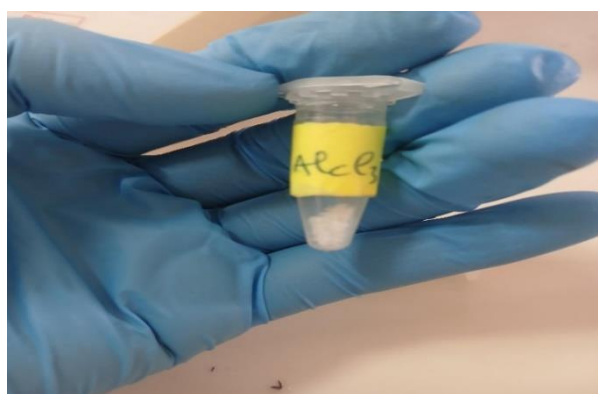
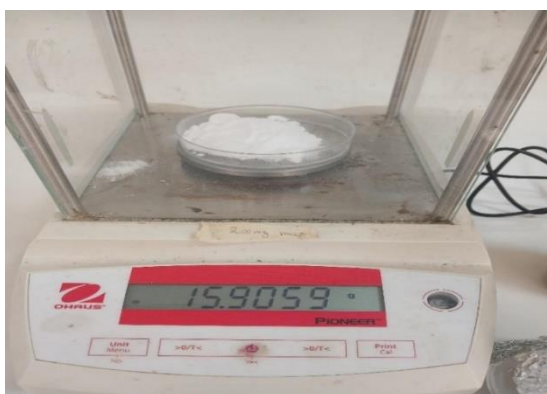
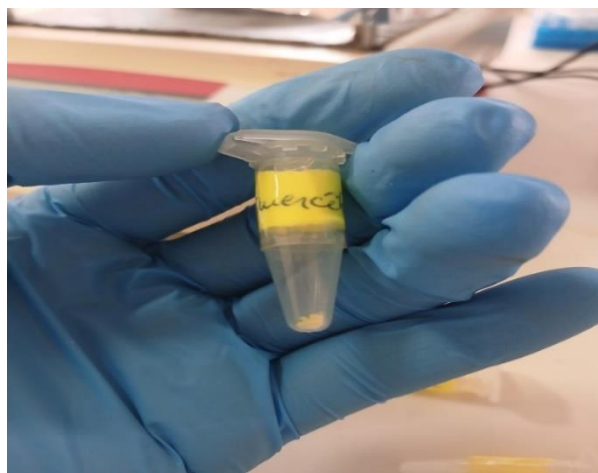
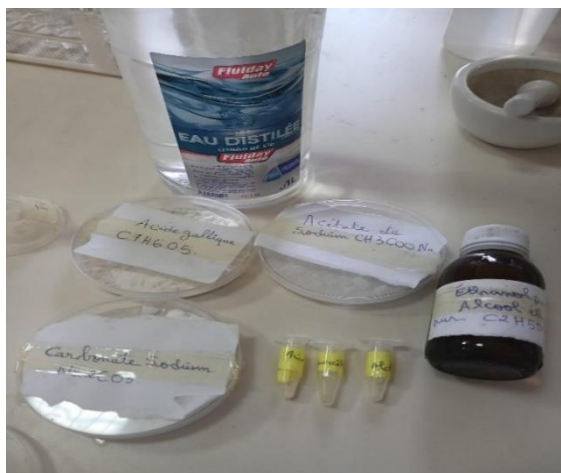


Figure 24: Préparation des solutions pour le dosage des flavonoïdes

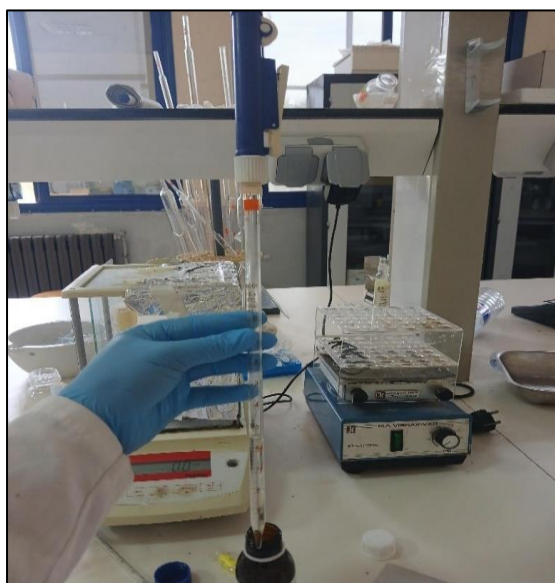


Figure 25: Préparation de la gamme étalon de la quercétine

6. Analyses statistiques

Une analyse de la variance (ANOVA) a été réalisée à l'aide du logiciel STATGRAPHICS (version 5.1). Cette analyse est complétée par une comparaison des moyennes à l'aide du test LSD au seuil de 5 % par le même logiciel.

Les graphiques et tableaux ont été réalisés à l'aide du logiciel Microsoft Excel.

Résultats et discussion

Dans cette étude, Les effets des extraits aqueux de brome et de la folle avoine ont été évalués en utilisant des tests biologiques de germination et de croissance des semis. Selon Kimber et al. (1973) et Rice et al. (1984), des bioessais de germination, de croissance de la radicule et de croissance de la coléoptile sont utilisés pour tester le potentiel allélopathique d'une espèce cultivée. Les extraits aqueux ont été appliqués aux graines de blé dur et de maïs afin d'évaluer leur phytotoxicité potentielle.

Les résultats obtenus dans cette étude révèlent une différence dans la réponse aux différents extraits utilisés.

1. Dosage de composés phénoliques

1.1 Evaluation de la teneur en phénols totaux

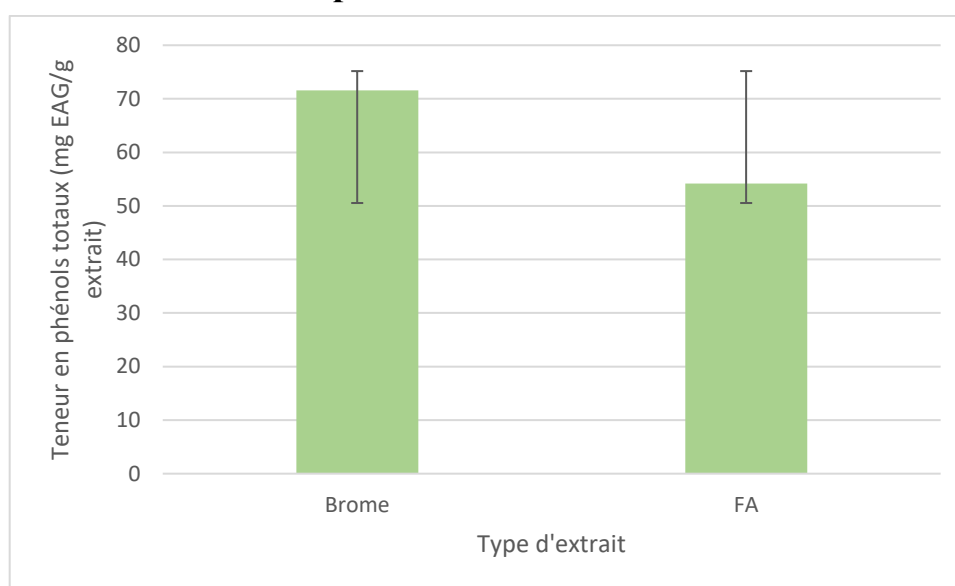


Figure 26: Teneur en phénols totaux dans les extraits

La figure montre que l'extrait de Brome possède la plus forte teneur en composés phénoliques totaux, avec une valeur moyenne d'environ 71 mg EAG/g d'extrait, contre 54 mg EAG/g d'extrait pour l'extrait FA. Cette différence indique une plus grande richesse en composés phénoliques chez le Brome.

1.2 Evaluation de la teneur en flavonoïdes

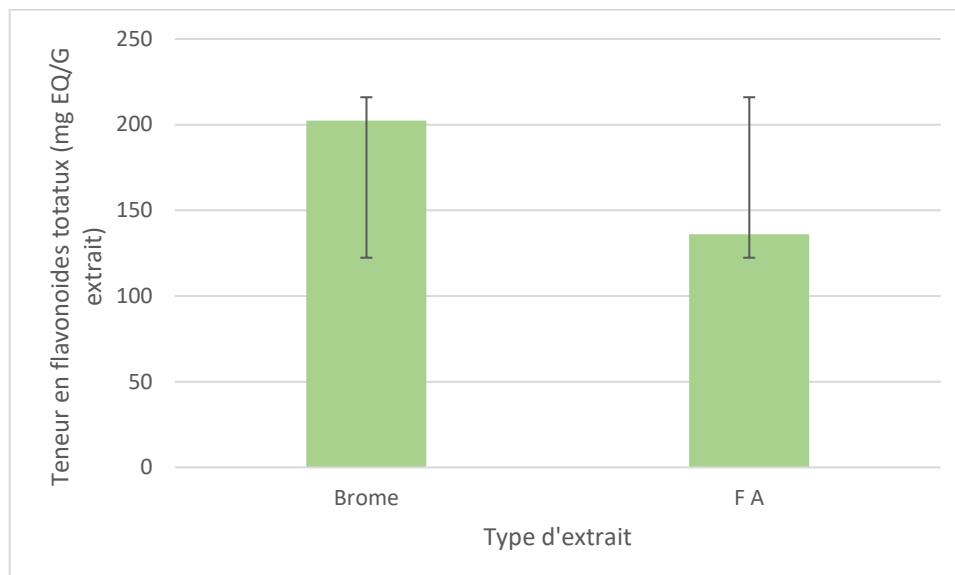


Figure 27: Teneur en flavonoïdes totaux dans les extraits

La figure montre que la teneur en flavonoïdes totaux varie selon le type d'extrait. L'extrait de Brome présente la plus forte concentration, avec une valeur moyenne d'environ 200 mg EQ/g d'extrait, tandis que l'extrait FA affiche une teneur plus faible, avoisinant 135 mg EQ/g d'extrait. Ces résultats suggèrent une plus grande richesse en flavonoïdes dans l'extrait de Brome.

D'après l'étude de Li et al. (2022), l'augmentation des teneurs en composés phénoliques, notamment les polyphénols et les flavonoïdes, est directement corrélée à une capacité accrue d'inhibition de l'enzyme α -amylase, cette enzyme est indispensable pour l'hydrolyse des macromolécules d'amidon pour fournir l'énergie et la base matérielle nécessaires à la germination (Cho et Lim, 2016), ce qui justifie l'effet inhibiteur remarqué de la concentration des extraits sur la germination du blé et du maïs. Ces données quantitatives appuient l'idée que l'inhibition de la germination observée dans les tests de germination est directement liée à la richesse chimique des extraits.

Les résultats obtenus pour les composés phénoliques et les flavonoïdes suggèrent que la composition chimique des extraits pourrait être à l'origine des effets biologiques observés. Afin de mieux comprendre cette relation, les effets allélopathiques des extraits sur la germination et la croissance des semis ont été évalués. Les extraits présentent des différences dans leur composition phytochimique, notamment en composés phénoliques et en flavonoïdes. L'extrait de brome a présenté des teneurs plus élevées que l'extrait de folle avoine, ce qui suggère une richesse plus importante en métabolites secondaires susceptibles d'exercer une activité allélopathique. Toutefois, la richesse en composés phénoliques n'entraîne pas nécessairement une inhibition plus importante, car l'effet biologique dépend également de la nature des molécules présentes, de leur concentration, de leur interaction ainsi que de la sensibilité de l'espèce réceptrice. Selon Li et al. (2022), les polyphénols et les flavonoïdes peuvent intervenir dans l'inhibition de plusieurs mécanismes liés à la germination et à la croissance des plantules.

Ainsi, l'analyse des effets allélopathiques sur le blé et le maïs permet de mieux comprendre la relation entre la composition chimique des extraits et leurs effets biologiques observés.

2. Effets allélopathiques des extraits de folle avoine et de brome sur le blé dur (*Triticum durum*)

2.1 Cinétique de germination du blé dur sous l'effet des extraits de brome et de folle avoine

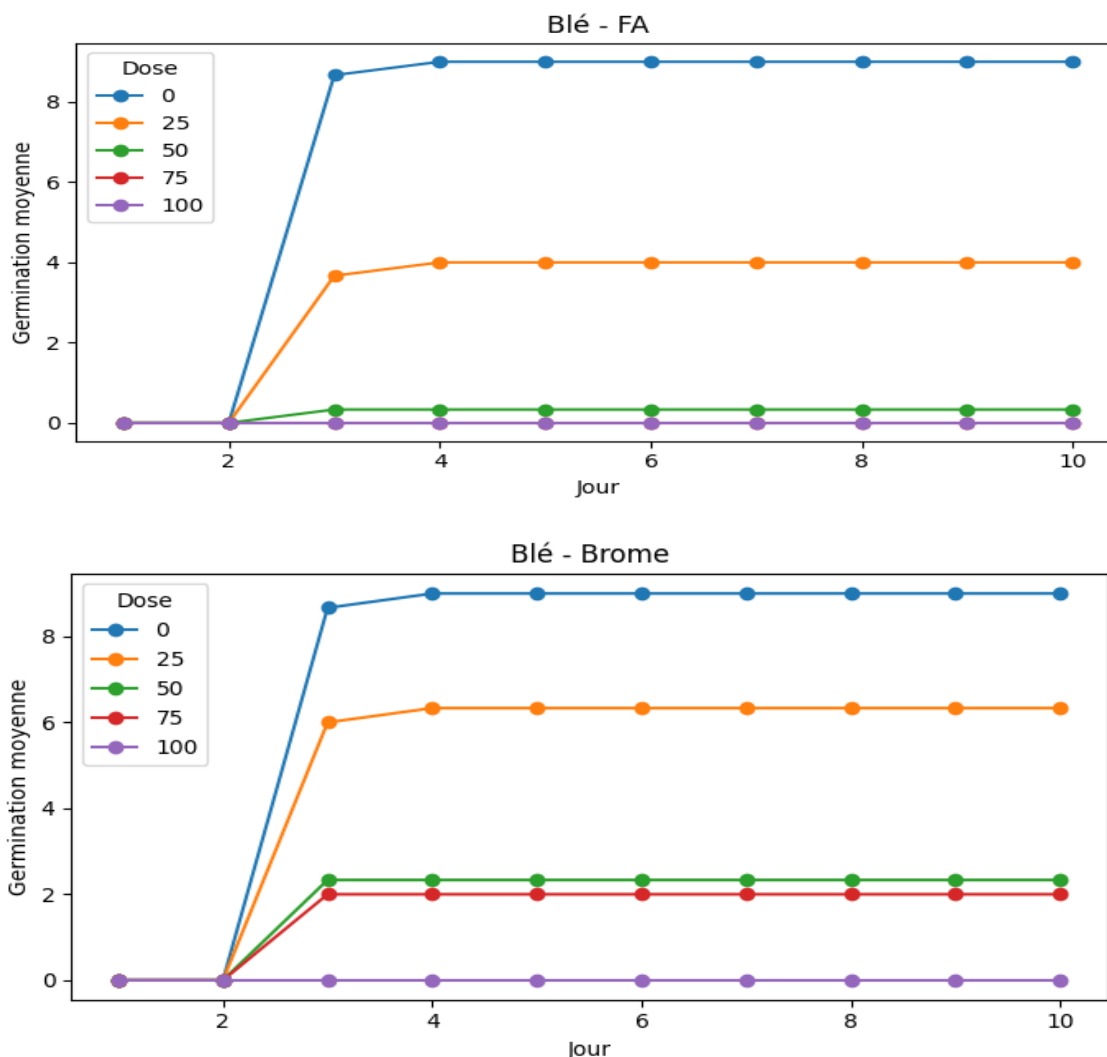


Figure 28: Cinétique de germination moyenne du blé dur sous l'effet des différentes doses d'extraits aqueux de folle avoine et de brome

❖ Blé-Folle avoine

La cinétique de germination du blé dur sous l'effet des extraits de folle avoine montre que la germination débute à partir du troisième jour. Le témoin (0 %) présente le taux de germination le plus élevé, atteignant près de 9 grains germés à la fin de l'essai. La dose de 25 % réduit nettement la germination, tandis que les doses de 50 %, 75 % et 100 % inhibent presque totalement le processus germinatif. La stabilisation des courbes après le quatrième jour indique l'absence de nouvelles germinations.

❖ Blé-brome

La cinétique de germination du blé sous l'effet des extraits de brome montre que la germination débute à partir du troisième jour. Le témoin (0 %) présente le taux de germination le plus élevé, atteignant près de 9 graines germées à la fin de l'essai. La dose de 25 % réduit nettement la germination, tandis que les doses de 50 %, 75 % et 100 % inhibent presque totalement le processus germinatif. La stabilisation des courbes après le quatrième jour indique l'absence de nouvelles germinations.

2.2 Effets du type d'extrait sur la germination et la croissance des semis

2.2.1 Taux de germination

L'analyse de la variance ANOVA a révélé un effet non significatif du type d'extrait sur le taux de germination du blé ($P=0,349$).

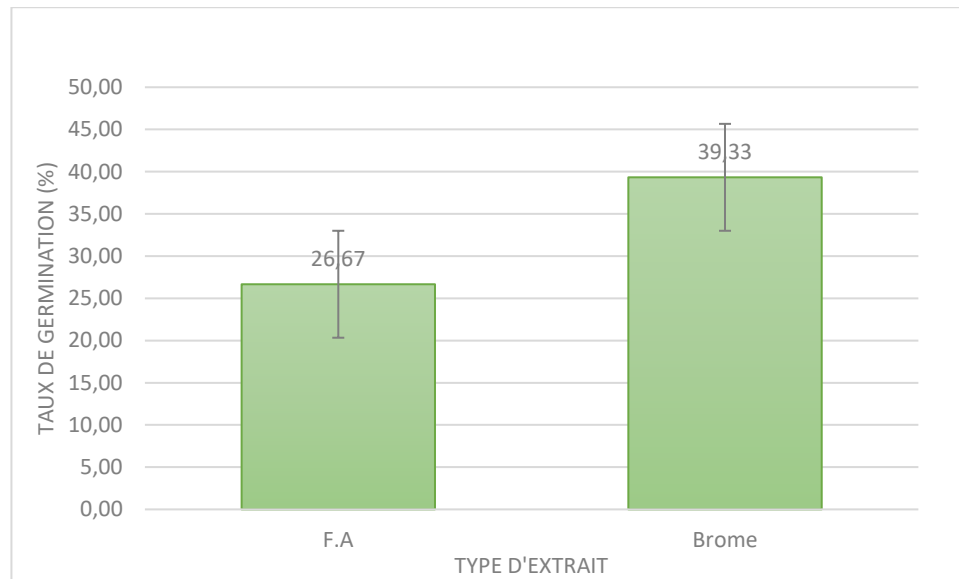


Figure 29: Effet du type d'extrait sur le taux de germination du blé

L'extrait de Folle avoine (F.A) a enregistré un taux moyen de germination de 26,67 %, tandis que l'extrait de Brome a présenté un taux de germination de 39,33 %. Malgré cette différence numérique, l'analyse statistique n'a révélé aucune différence significative entre les deux traitements ($P > 0,05$).

2.2.2 Effet du type d'extrait sur la longueur des racines

L'analyse de la variance ANOVA n'a révélé aucun effet significatif du type d'extrait sur la longueur des racines du blé, ($p=0,135>0,05$). Le test de comparaison multiple LSD a montré l'existence d'un seul groupe homogène, indiquant l'absence de différence statistiquement significative entre les extraits de folle avoine (F.A) et de brome.

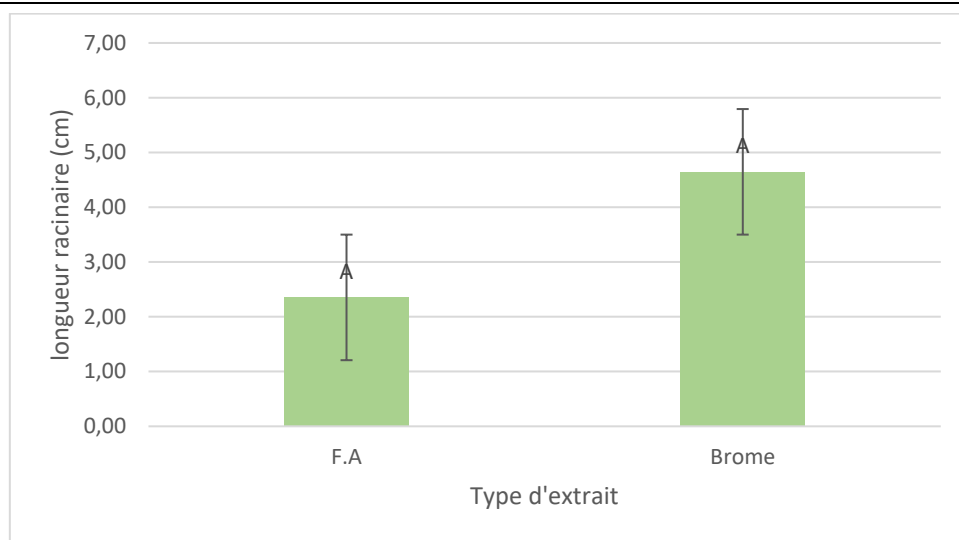


Figure 30: Effet du type d'extrait (F.A et brome) sur la longueur racinaire du blé

Les résultats obtenus montrent que le type d'extrait n'a pas eu d'effet significatif sur la longueur racinaire du blé ($P = 0,135 > 0,05$). Bien que la longueur moyenne des racines ait été plus élevée sous l'effet de l'extrait de Brome (4,65 cm) que sous celui de F.A (2,35 cm). Cette différence n'a pas été statistiquement confirmée.

2.2.3 Effet de l'extrait sur la longueur de la coléoptile

L'analyse de la variance (ANOVA) n'a révélé aucun effet significatif du type d'extrait sur la longueur de la coléoptile du blé ($p = 0,1198 > 0,05$). Le test LSD a montré que les deux extraits appartiennent au même groupe homogène (A).

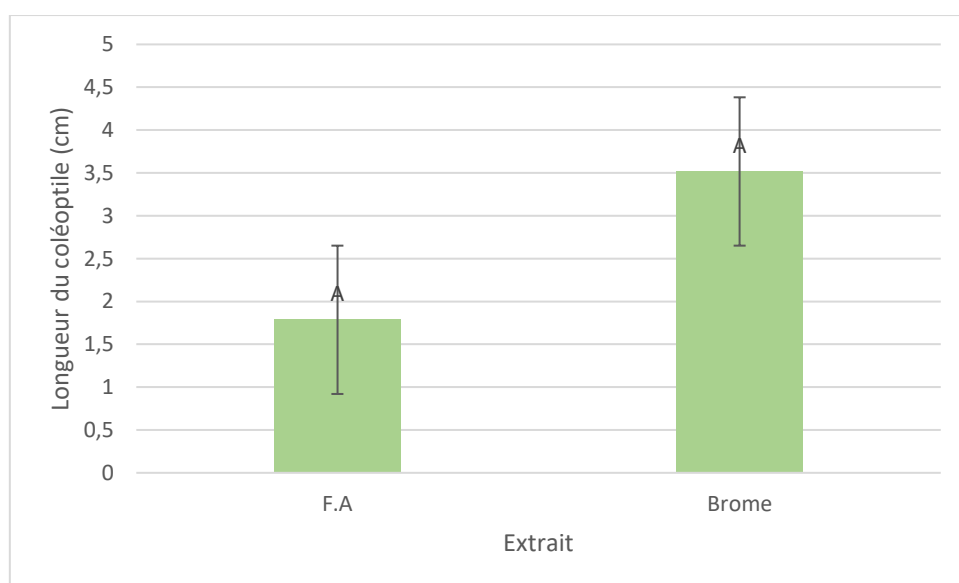


Figure 31: Effet de l'extrait sur la longueur de la coléoptile du blé

Les résultats obtenus montrent que la longueur de la coléoptile du blé n'a pas été significativement influencée par le type d'extrait utilisé ($p > 0,05$). Bien que l'extrait de brome ait présenté une longueur

moyenne du coléoptile plus élevée (3,52 cm) que celle observée avec l'extrait de folle avoine (1,79 cm), cette différence n'a pas été statistiquement confirmée.

2.3 Effets de la concentration des extraits

2.3.1 Effet de la concentration de l'extrait sur le taux de germination

L'analyse de la variance ANOVA a révélé un effet très hautement significatif de la concentration des extraits sur le taux de germination du blé, $p=0,000$.

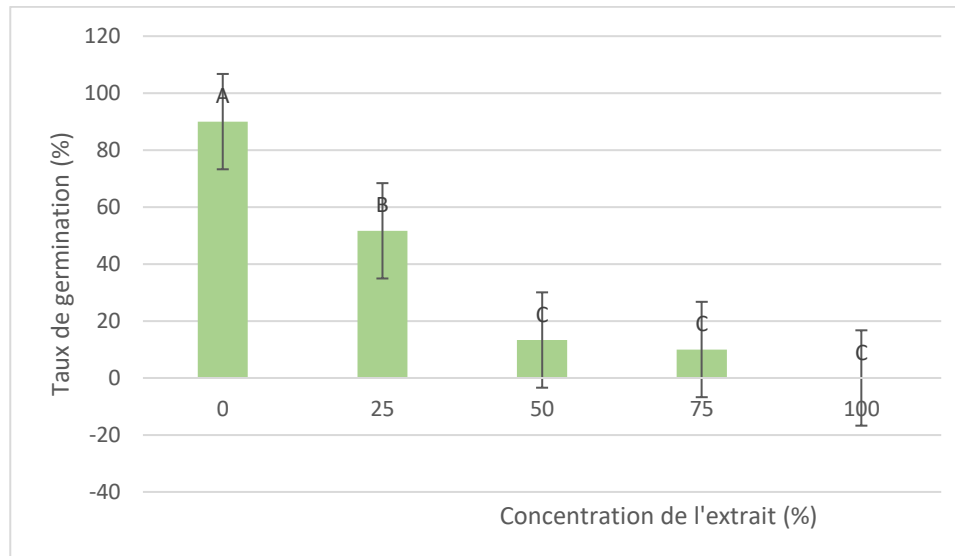


Figure 32: effet de la concentrations des extraits sur le taux de germination du blé

La figure montre que le taux de germination du blé diminue progressivement avec l'augmentation de la concentration de l'extrait. Le taux de germination le plus élevé a été enregistré chez le témoin (0 %) avec une moyenne de 90 %, suivi de la concentration des extraits 25 % avec 51,67 %. Les doses 50 % et 75 % ont présenté respectivement des taux de germination de 13,33 % et 10 %, tandis qu'aucune germination n'a été observée à la concentration des extraits 100 %. La concentration des extraits Le test de comparaison multiple LSD a permis de distinguer trois groupes homogènes : le témoin (A), la concentration des extraits 25 % (B) et les doses 50 %, 75 % et 100 % (C).

2.3.2 Effet de la concentration des extraits sur la longueur des racines

L'analyse de la variance ANOVA a révélé un effet très hautement significatif de la concentration des extraits sur la longueur des racines du blé, ($p=0,000<0,05$). Le test de comparaison multiple LSD a permis de distinguer 3 groupes homogènes (A, B et C), indiquant que la concentration des extraits influence significativement la longueur des racines du blé.

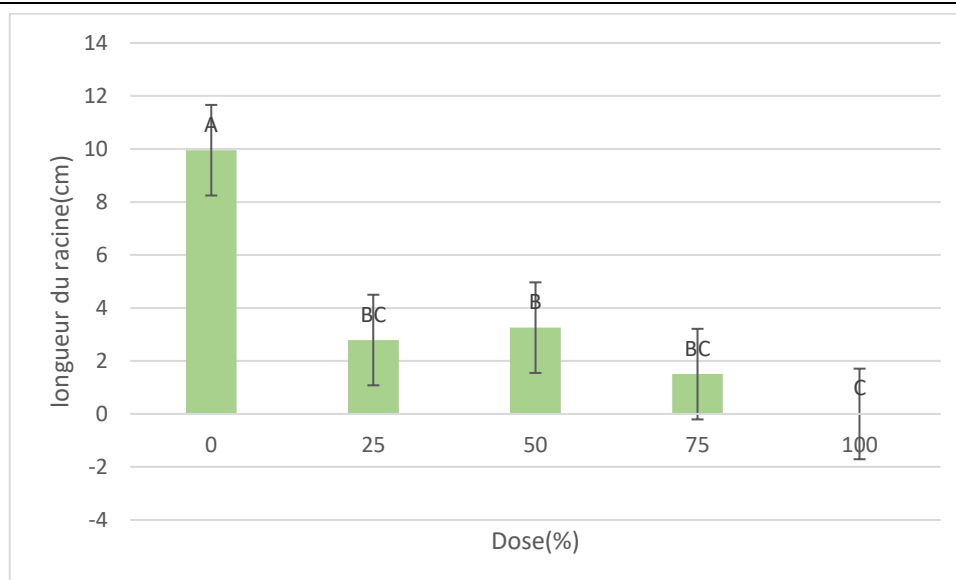


Figure 33: Effet de La concentration des extraits sur la longueur des racines du blé

La longueur racinaire la plus élevée a été observée chez le témoin (0 %) avec une moyenne de 9,95 cm (groupe A). Cette longueur a diminué progressivement avec l'augmentation de la concentration des extraits de l'extrait. Les doses de 25 % et 75 % appartiennent au groupe BC, tandis que la concentration des extraits de 50 % appartient au groupe B. La concentration des extraits de 100 % a totalement inhibé la croissance racinaire avec une longueur moyenne nulle (0 cm), appartenant au groupe C.

2.3.3 Effet de la concentration des extraits sur la longueur de la coléoptile

L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé un effet hautement significatif de la concentration des extraits sur la longueur de la coléoptile du blé ($p = 0,0001 < 0,05$). Le test LSD a permis de distinguer 3 groupes homogènes (A, B, et C). La longueur maximale de la coléoptile a été observée chez le témoin (0 %) avec une moyenne de 6,84 cm (groupe A). Cette longueur a diminué progressivement avec l'augmentation de la concentration de l'extrait pour atteindre 0 cm à la concentration des extraits de 100 % (groupe C).

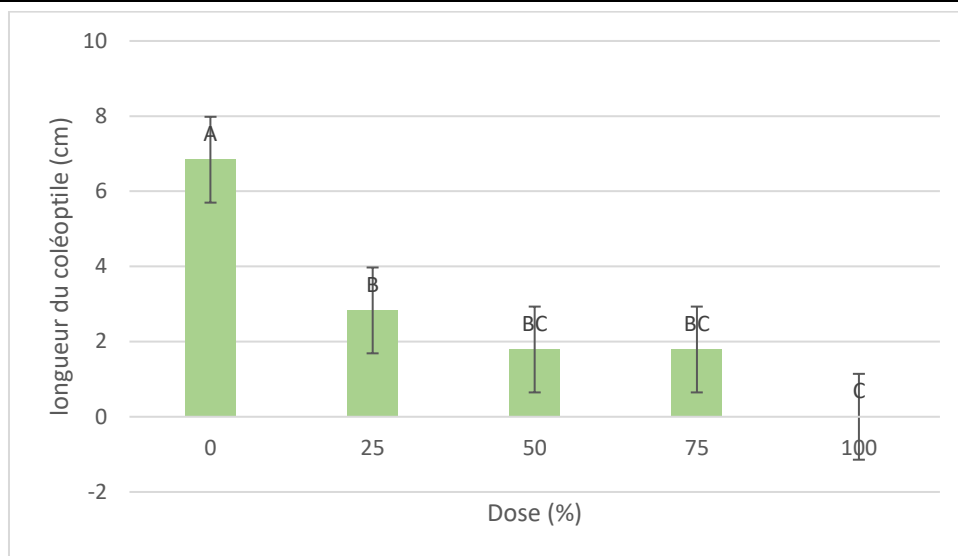


Figure 34: Effet de la concentration des extraits sur la longueur de la coléoptile du blé

➤ Discussion du blé:

Les résultats obtenus montrent que les extraits aqueux de folle avoine et de brome exercent un effet allélopathique inhibiteur sur la germination et la croissance initiale du blé dur. La cinétique de germination observée indique que la présence des extraits réduit progressivement la capacité germinative des graines et limite le développement précoce des plantules. L'intensité de cet effet augmente avec l'élévation de la concentration des extraits, mettant en évidence une réponse inhibitrice dépendante de la dose appliquée. L'analyse du type d'extrait montre que les différences observées entre la folle avoine et le brome ne sont pas statistiquement significatives pour les paramètres étudiés. Ces résultats suggèrent que les deux mauvaises herbes présentent un potentiel allélopathique globalement comparable dans les conditions expérimentales de l'étude. Cette absence de différence significative pourrait s'expliquer par une composition chimique relativement similaire des extraits ou par des concentrations en composés allélopathiques insuffisantes pour provoquer des réponses biologiques différenciées chez le blé. L'expression des effets allélopathiques dépend de plusieurs facteurs, notamment la nature chimique des substances bioactives, leur concentration ainsi que la sensibilité de l'espèce réceptrice (Rice, 1984). De plus, les réponses des plantes aux composés allélopathiques sont influencées par plusieurs facteurs biologiques et environnementaux pouvant limiter l'expression statistique des différences observées entre traitements (Inderjit et Duke, 2003). L'augmentation de la concentration des extraits a également entraîné une inhibition progressive de la croissance des jeunes plantules. Cette relation dose-réponse est caractéristique des phénomènes allélopathiques et traduit une accumulation plus importante des composés allélopathiques dans le milieu. Ces substances peuvent perturber plusieurs processus physiologiques essentiels impliqués dans la croissance végétale, notamment la division cellulaire, l'élongation des cellules ainsi que l'absorption de l'eau et des nutriments.

Par ailleurs, plusieurs études ont montré que certaines mauvaises herbes appartenant aux graminées, notamment la Folle avoine (*Avena fatua*) et certaines espèces de Brome (*Bromus* spp.), possèdent des composés phénoliques capables d'exercer un effet inhibiteur sur les cultures céréalières. Iannucci et al. (2013) ont confirmé que la présence de composés phénoliques dans la rhizosphère de la folle avoine interfère directement avec la croissance des plantes environnantes. Les résultats obtenus concordent également avec ceux de Weston et Duke (2003), qui ont montré que les composés allélopathiques libérés par les plantes peuvent inhiber la germination et la croissance des espèces réceptrices et que l'intensité de cette inhibition varie selon la concentration des allélocomposés. Ces observations sont aussi en accord avec les travaux de Dali et al. (2023), qui ont rapporté qu'une augmentation des concentrations d'extraits végétaux entraîne une réduction progressive de la croissance des plantules. De même, Ben-Hammouda et al. (2001) ont montré que les extraits végétaux possédant une activité allélopathique réduisent significativement le développement des jeunes plantules, tandis que Wu et al. (2001) ont souligné que les extraits aqueux de résidus végétaux peuvent inhiber fortement la germination et la croissance en raison de la présence de composés phénoliques et d'autres allélochimiques phytotoxiques.

Enfin, les résultats obtenus confirment que la sensibilité aux substances allélopathiques varie selon l'organe végétal considéré. Ben-Hammouda et al. (2001) ont rapporté que les effets allélopathiques diffèrent selon les organes étudiés, tandis que Wu et al. (2001) ont montré que le système racinaire est généralement plus sensible aux composés allélopathiques que les parties aériennes. Ainsi, les extraits étudiés présentent un potentiel allélopathique capable de limiter le développement précoce du blé, particulièrement lorsque leur concentration augmente.

3. Effets allélopathiques des extraits de folle avoine et de brome sur le maïs (*Zea mays*)

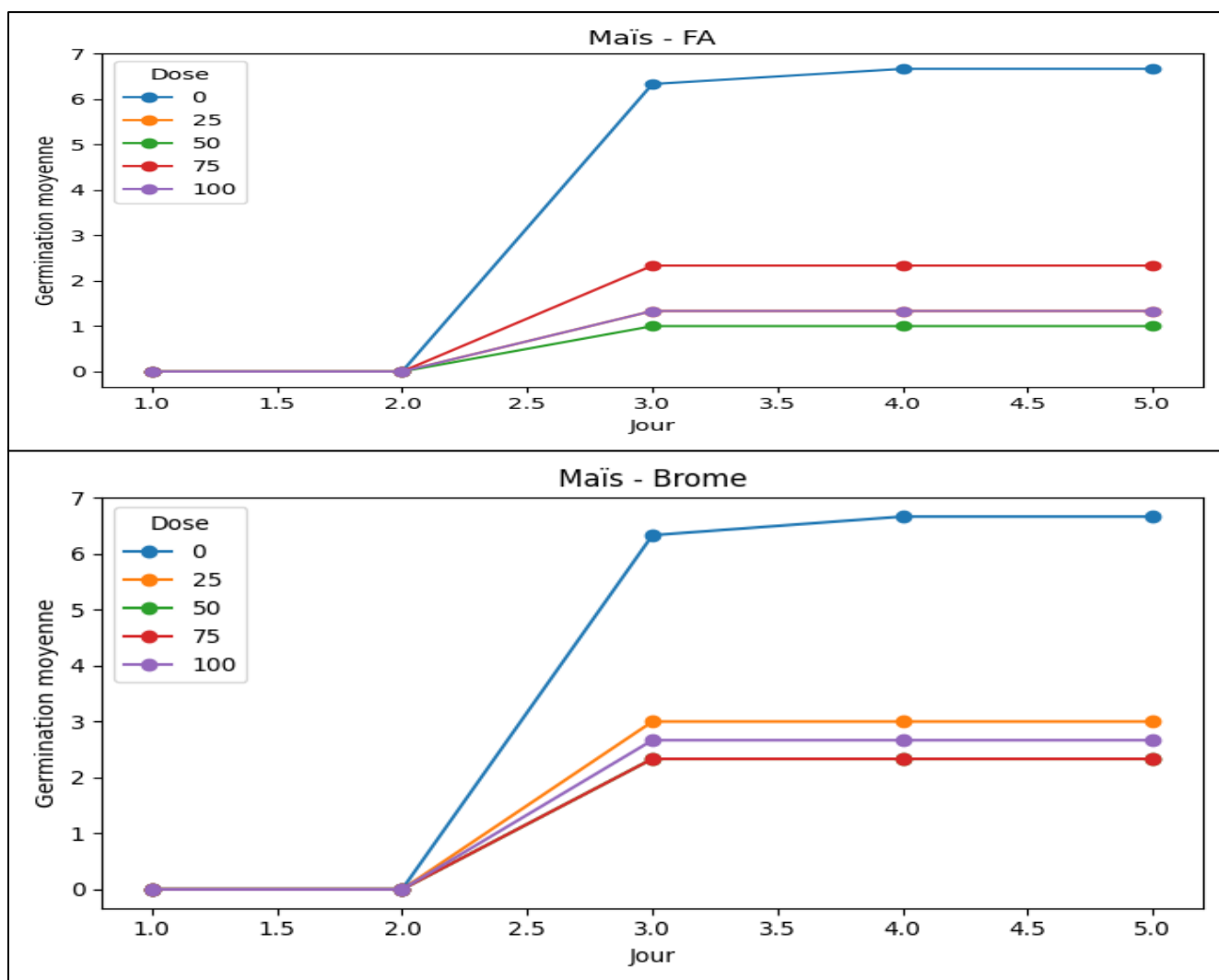


Figure 35: Cinétique de germination moyenne du maïs sous l'effet des différentes doses d'extraits aqueux de folle avoine et de brome

❖ Maïs-Folle avoine

La cinétique de germination du maïs traité par les extraits de folle avoine montre que la germination débute à partir du troisième jour pour tous les traitements. Le témoin (0 %) présente le taux de germination le plus élevé, atteignant environ 6,4 graines germées à la fin de l'essai. En revanche, l'application des extraits entraîne une diminution marquée de la germination. Les doses de 50 % et 100 % sont les plus inhibitrices, avec des valeurs finales inférieures à 1,5 graine germée.

❖ Maïs -brome

La cinétique de germination du maïs sous l'effet des extraits de brome révèle également un démarrage de la germination au troisième jour. Le témoin enregistre la germination la plus élevée avec environ 6,5 graines germées à la fin de l'expérience. Les traitements contenant les extraits réduisent le nombre de graines germées, mais l'effet inhibiteur est moins marqué que celui observé avec la folle avoine. Les valeurs finales varient entre 2,3 et 3 graines germées selon la dose appliquée.

3.2 Effet du type d'extrait

3.2.1 Effet du type d'extrait sur le taux de germination

L'analyse de la variance (ANOVA) a montré que le type d'extrait n'a pas eu d'effet significatif sur le taux de germination du maïs ($p = 0,3191 > 0,05$). Le test LSD a classé les deux extraits dans le même groupe statistique (A), indiquant l'absence de différence significative entre l'extrait de Brome et celui de Folle avoine quant à leur effet sur la germination du maïs.

3.2.2 Effet du type d'extrait sur la longueur des racines chez le maïs.

L'analyse de la variance a révélé un effet significatif du type d'extrait sur la longueur de la racicule du maïs ($P = 0,051 \approx 0,05$). La longueur moyenne de la racicule a été de 1,62 cm avec l'extrait de brome contre 3,19 cm avec l'extrait de folle avoine. L'extrait de brome a donc entraîné la plus faible longueur racinaire.

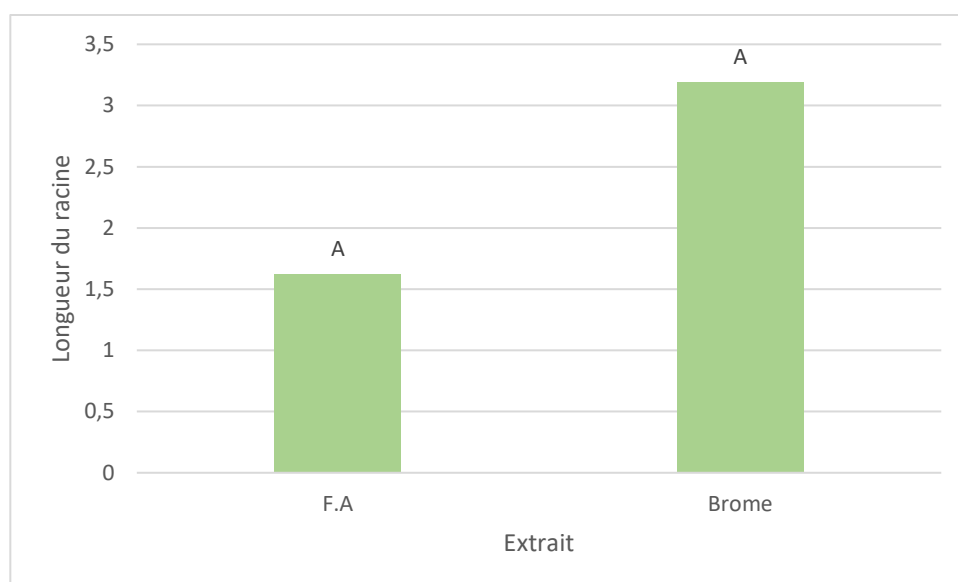


Figure 36: Effet du type d'extrait sur la longueur des racines du maïs

3.2.3 Effet de l'extrait sur la longueur du coléoptile du maïs

L'analyse de la variance n'a révélé aucun effet significatif du type d'extrait sur la longueur de la coléoptile du maïs ($P = 0,7625$). Les différences observées entre les moyennes des traitements ne sont pas statistiquement significatives au seuil de 5 %. Observation : La longueur de la coléoptile du maïs ne présente pas de variation significative en fonction du type d'extrait utilisé, indiquant une réponse similaire de la coléoptile aux extraits étudiés.

3.3 Effet de la concentration des extraits

3.3.1 Effet de la concentration des extraits sur le taux de germination chez le maïs

L'analyse de la variance (ANOVA) a révélé un effet très hautement significatif de la concentration des extraits sur le taux de germination du maïs ($p = 0,0000 < 0,05$). Le test LSD a permis de distinguer 2 groupes statistiques (A ; B). Le témoin (0 %) a présenté le taux de germination le plus élevé avec une

moyenne de 66,67 % (groupe A). En revanche, les doses 25 %, 50 %, 75 % et 100 % ont enregistré des taux de germination plus faibles, compris entre 16,67 % et 23,33 % (groupe B).

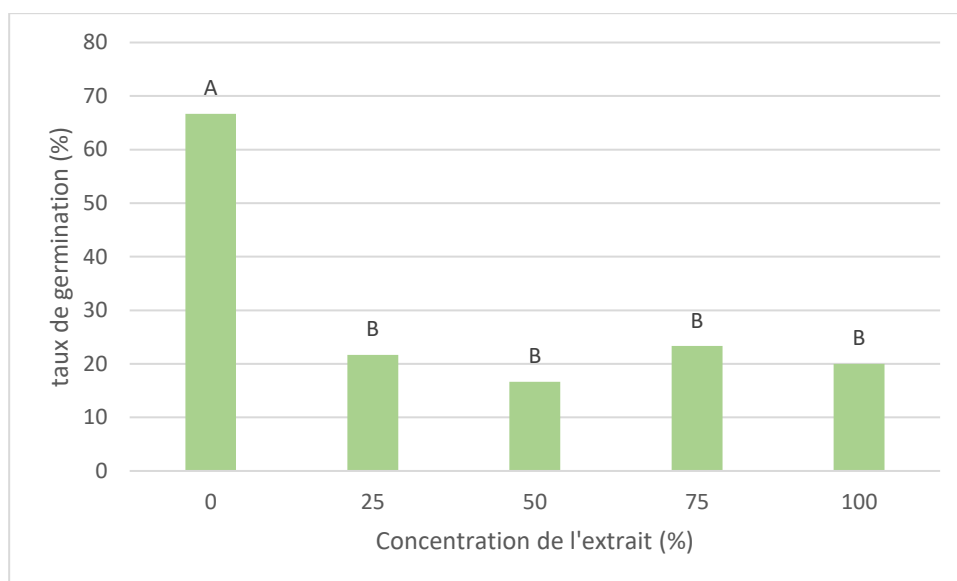


Figure 37: Effet de la concentration des extraits sur le taux de germination du maïs

3.3.2 Effet sur la longueur des racines

L'analyse de la variance a révélé un effet significatif de la concentration des extraits sur la longueur de la radicule du maïs ($P = 0,0302$). La longueur moyenne de la radicule a diminué progressivement avec l'augmentation de la concentration de l'extrait. La valeur maximale a été observée chez le témoin (4,12 cm), tandis que la valeur minimale a été enregistrée à la concentration de 100 % (0,30 cm).

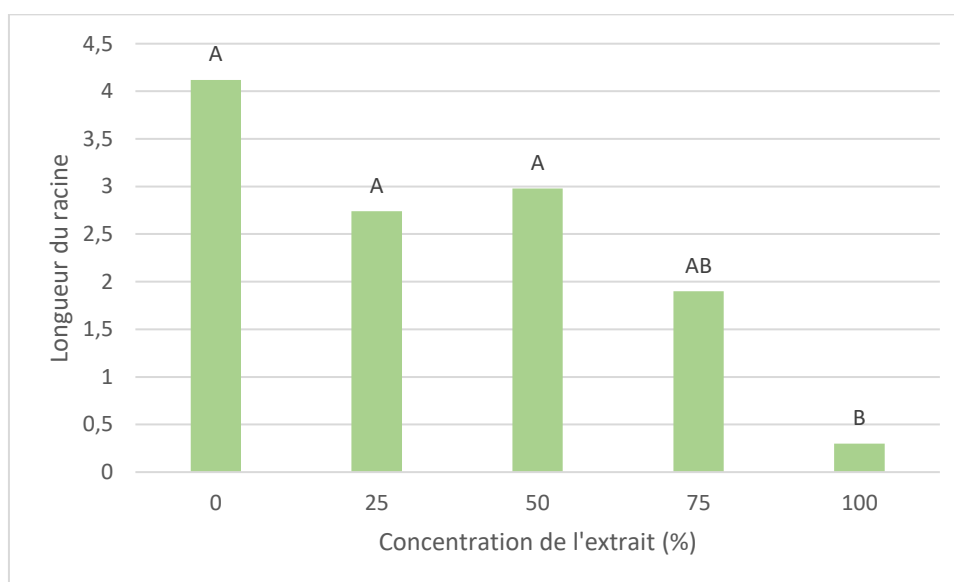


Figure 38: Effet de la concentration des extraits sur la longueur des racines du maïs

3.3.3 Effet sur la longueur du coléoptile

L'analyse de la variance a révélé un effet significatif de la concentration des extraits sur la longueur de la coléoptile du maïs ($P = 0,0276$). Les résultats indiquent que la croissance de la coléoptile varie significativement en fonction de la concentration de l'extrait appliqué.

Le graphique montre une diminution progressive de la longueur de la coléoptile du maïs avec l'augmentation de la concentration des extraits de l'extrait. La croissance maximale a été observée chez le témoin (0 %), tandis que la concentration des extraits de 100 % a entraîné la plus forte inhibition.

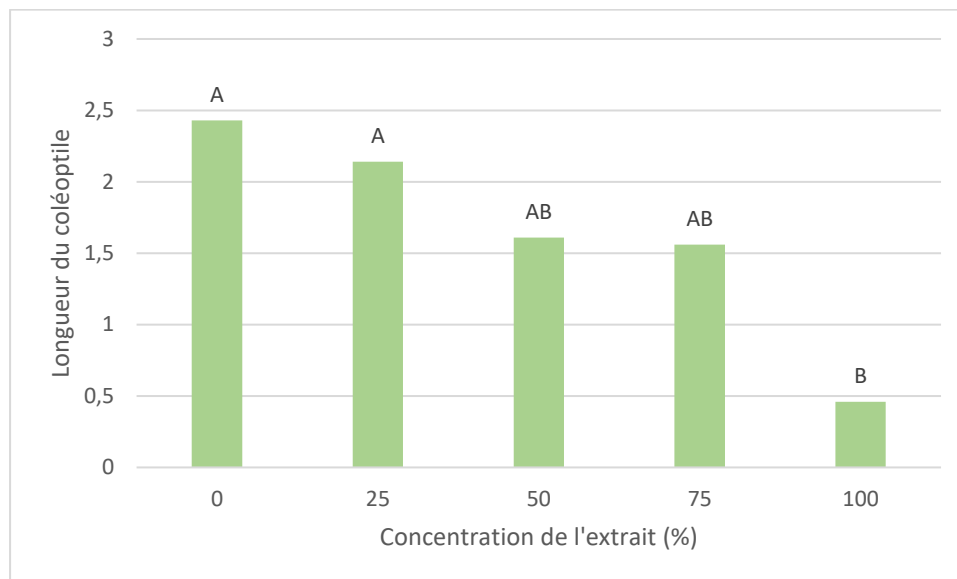


Figure 39: Effet de la concentration des extraits sur la longueur de la coléoptile du maïs

➤ Discussion du maïs :

Les résultats obtenus montrent que les extraits aqueux de folle avoine et de brome exercent un effet allélopathique inhibiteur sur la germination et la croissance initiale du maïs. La cinétique de germination observée indique que la présence des extraits réduit progressivement la capacité germinative des graines et limite le développement précoce des plantules. L'intensité de cet effet augmente avec l'élévation de la concentration des extraits, traduisant un effet inhibiteur dépendant de la dose appliquée. Sur le plan physiologique, cette inhibition confirme la phytotoxicité des molécules allélochimiques (métabolites secondaires) libérées par la folle avoine et le brome. Ces substances peuvent pénétrer dans les semences et perturber les processus biochimiques impliqués dans la germination, notamment en inhibant l'activité des enzymes hydrolytiques nécessaires à la mobilisation des réserves et au développement embryonnaire. L'analyse de l'effet du type d'extrait a montré que les différences observées entre les extraits de brome et de folle avoine ne sont pas statistiquement significatives concernant le taux de germination ainsi que la croissance de la coléoptile. Cette absence de différence significative suggère que les deux extraits possèdent un potentiel allélopathique globalement comparable dans les conditions expérimentales de cette étude. Selon Rice (1984), les effets allélopathiques varient selon l'organe végétal considéré, tandis qu'Einhellig (1995) a souligné que la sensibilité des plantules dépend du mode d'absorption des composés allélopathiques ainsi que de leur concentration dans le milieu. Concernant le développement racinaire, les résultats obtenus indiquent que la longueur de la racicule a été plus affectée que celle du coléoptile, ce qui traduit une

sensibilité particulière du système racinaire aux substances allélopathiques. Ces résultats sont en accord avec ceux de Ben-Hammouda et al. (2001), qui ont montré que la croissance de la racicule est généralement plus affectée que celle des parties aériennes par les extraits végétaux. Ils concordent également avec les observations de Dali et al. (2023), qui ont rapporté une réduction progressive de la croissance racinaire sous l'effet des extraits de mauvaises herbes. Par ailleurs, Wu et al. (2001) ont indiqué que les composés allélopathiques présents dans les résidus et extraits végétaux peuvent inhiber significativement la germination et la croissance racinaire des espèces réceptrices. Batish et al. (2007) ont également rapporté que les racines constituent généralement les organes les plus sensibles aux substances allélopathiques en raison de leur contact direct avec le milieu contenant les composés libérés. De même, Qasem et Foy (2001) ont montré que les effets allélopathiques apparaissent souvent d'abord sous forme d'une réduction de la croissance racinaire avant d'affecter les parties aériennes. La diminution progressive de la germination et de la croissance observée avec l'augmentation de la concentration des extraits met en évidence une relation dose-réponse caractéristique des phénomènes allélopathiques. Cette inhibition pourrait être liée à la présence de composés capables d'interférer avec plusieurs mécanismes physiologiques essentiels, notamment la division cellulaire, l'élongation cellulaire ainsi que l'absorption de l'eau et des éléments minéraux. Ces résultats concordent avec ceux de Reigosa et al. (1999), qui ont montré que l'activité allélopathique des extraits végétaux dépend fortement de leur concentration, les effets inhibiteurs devenant plus marqués lorsque la dose augmente. Ils rejoignent également les conclusions de Li et al. (2010), selon lesquelles des concentrations élevées d'extraits végétaux entraînent une réduction de la germination et de la croissance précoce des plantules. Jabran et al. (2015) ont également rapporté que les métabolites secondaires produits par certaines adventices peuvent perturber les processus physiologiques impliqués dans la germination et limiter le développement initial des cultures. Les résultats obtenus sont également en accord avec Cheng et Cheng (2015), qui ont indiqué que les métabolites secondaires libérés par certaines espèces végétales peuvent réduire la croissance des racines en perturbant l'absorption de l'eau et des éléments nutritifs. Inderjit et Duke (2003) ont également souligné que les composés allélopathiques peuvent affecter les processus physiologiques impliqués dans la croissance et le développement des plantules. De même, Weston et Duke (2003) ont mis en évidence le rôle des métabolites secondaires végétaux dans la réduction de la croissance des plantes réceptrices, tandis que Duke et Dayan (2006) ont montré que l'intensité des effets allélopathiques augmente généralement avec la concentration des composés libérés dans le milieu. Enfin, Farooq et al. (2011) ont indiqué que plusieurs extraits végétaux riches en composés phénoliques réduisent significativement la croissance des plantules. Ainsi, les résultats de cette étude confirment que les extraits de folle avoine et de brome possèdent un potentiel allélopathique capable de limiter la germination et le développement précoce du maïs, avec une sensibilité plus marquée du système racinaire et une intensification de l'effet inhibiteur lorsque la concentration des extraits augmente.

Conclusion

La présente étude a permis de confirmer le potentiel allélopathique du brome (*Bromus* sp.) et de la folle avoine (*Avena fatua* L.) vis-à-vis du blé et du maïs. Les résultats ont montré que les extraits aqueux de ces deux adventices entraînent une diminution du taux de germination ainsi qu'une inhibition de la croissance des jeunes plantules, avec des effets plus prononcés aux concentrations élevées, mettant ainsi en évidence une réponse dose-dépendante.

Par ailleurs, l'analyse phytochimique réalisée sur les extraits a révélé une teneur importante en composés phénoliques (phénols totaux et flavonoïdes). La richesse de ces extraits en métabolites secondaires pourrait expliquer, les effets inhibiteurs observés sur les paramètres étudiés. En effet, ces composés sont connus pour leur implication dans les phénomènes allélopathiques et leur capacité à perturber les processus de germination et de croissance des plantes réceptrices.

Ainsi, les résultats obtenus soulignent que le brome et la folle avoine ne constituent pas seulement des adventices compétitrices, mais qu'ils peuvent également exercer une action phytotoxique susceptible d'affecter les performances germinatives et le développement précoce des cultures céréalières.

Des travaux futurs pourraient approfondir l'identification des composés allélopathiques responsables des effets observés, évaluer leur mode d'action physiologique et tester leur efficacité sur d'autres cultures céréalières dans des conditions proches du champ afin d'envisager leur utilisation dans des stratégies durables de gestion des adventices. Il serait également intéressant d'étendre cette étude à d'autres espèces cultivées afin de vérifier la généralisation des effets observés. En outre, des expérimentations réalisées dans des conditions proches du champ permettraient de confirmer l'efficacité réelle de ces extraits et d'explorer leur potentiel comme alternative durable dans les stratégies de gestion écologique des adventices.

Références bibliographiques

- AKANZA, P., DIARRASSOUBA, M., & YORO, G. (2018). Influence de la fertilité des sols sur le rendement du maïs (*Zea mays* L.) en zone forestière de la Côte d'Ivoire. *Revue Ivoirienne des Sciences et Technologies*, 31, pp. 243-256.
- AKULA, R. & RAVISHANKAR, G.A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. *Plant Signaling and Behavior*, 6(11): 1720–1731.
- AL-TAUFIK, A. K., & GARBRAH, K. R. (2022). Le commerce international du blé. *Mémoire de master*, Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou, Algérie.
- BAILLY, R. (1980). *Guide pratique de défense des cultures*. Le Carroussel et ACTA, Paris, 420 p.
- 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. *Annu Rev Plant Biol*, 57, 233-266.
- BALAIID, M. (1986). *Les exigences globales en température du blé*.
- BALAIID, M. (1987). *Les besoins en potassium des céréales*.
- Barnes, J. P., & Putnam, A. R. (1986). Evidence for Allelopathy by Residues and Aqueous Extracts of Rye (*Secale cereale*). *Weed Science*, 34(3), 384–390.
- BASF. (s.d.). *Maladies du blé*. Consulté le 29 mars 2026, sur : https://www.agro.basf.fr/fr/cultures/ble/maladies_du_ble/
- BEAUMONT, M. (1967). *Le Blé : morphologie, physiologie, génétique, culture*. J.B. Baillière et fils.
- 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*. pp. 5-23.
- BENCHINA, M., & BENDJEDDOU, S. (2015). Etude de la tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf) aux stress abiotiques. *Mémoire de Master*, Université Bordj Bou Arréridj, Algérie, 112 p.
- BERTIN, C., YANG, X. & WESTON, L.A. (2003). The role of root exudates and allelochemicals in the rhizosphere. *Plant soil*, 256:67-83.
- Bode, D. H. R. (1958). Beiträge zur Kenntnis allelopathischer Erscheinungen bei einigen Juglandaceen. *Planta*, 51(4), 440–480.
- BONJEAN, A. P., & ANGUS, W. J. (2001). *The world wheat book: A history of wheat breeding*. Lavoisier Publishing.
- BOUCHNAN. (s.d.). *Métabolisme secondaire*.
- BOUDREAU, A., & MÉNARD, G. (1992). *Le blé : Éléments fondamentaux et Transformation*. Les Presses de l'Université Laval, Sainte-Foy, p. 65-67.
- BOULLARD, B. (1997). *Dictionnaire de Botanique*. Edition Ellipses, Paris, p 18.
- BOUTON, F. (2005). *Mise en évidence du potentiel allélopathiques de la graminée Festuca Panuculata dans les prairies subalpine*. Rapport de stage de master 1, Univ. Joseph Fourier.

BOZZINI, A. (1988). Origin, distribution and production of durum wheat in the world. In Fabriani G. & Lintas C. (éd). *Durum: Chemistry and Technology*. AACC (Minnesota). États-Unis : 1-16 p.

Chiapusio, G., Gallet, C., Dobremez, J. F., & Pellissier, F. (2008). Les composées allélopathiques: des molécules phytochimiques pour demain? (Bio-pesticides d'origine végétales). Ed. Tec & Doc.

CHIAPUSIO, G., GALLET, C., DOBREMEZ, J.F. & PELLISSIER, F. (2008). Les composés allélopathiques : des molécules phytochimiques pour demain ? *Bio-pesticides d'origine végétale*. Ed. Tec & Doc, pp. 51–64.

CIC. (2022). *Conseil International des Céréales*. Production mondiale de maïs. www.igc.int. Consulté le 20 Février 2022.

CORKE, H. (2004). Grain production and consumption. *Encyclopedia of Grain Science*, Elsevier, Oxford, pp. 273-287.

Croteau, R., Kutchan, T. M., & Lewis, N. G. (2000). Natural Products (Secondary Metabolites). In *Biochemistry and Molecular Biology of Plants* (chapter 24, pp. 1250-1318). American Society of Plant Physiologists.

DE CANDOLE, A. (1883). *Origine des plantes cultivées*. (Eds) G. Baillière et Cie, 377 p.

DEFFAN, T. Z. B., EZOUA, P., AKANVOU, L., AKANVOU, R., & NEMLIN, J. G. (2015). Évaluation des caractéristiques physiques et de la composition chimique de dix variétés de maïs (*Zea mays* L.) produites en Côte d'Ivoire. *Int. J. Biol. Chem. Sci.*, 9(4), pp. 1754-1763.

DOUIB, A. (2013). Contribution à l'étude de quelques marqueurs physiologiques de tolérance au déficit hydrique chez le blé dur. *Mémoire de Magister*, Université d'Annaba, Algérie.

Einhellig, F. A., & Souza, I. F. (1992). Phytotoxicity of sorgoleone found in grain.

EKOBO, C. E. (2006). *Biodiversité et gestion durable des ressources génétiques du maïs au Cameroun*. 12 p.

ENCARTA. (2006). *Encyclopédie Microsoft Encarta*. Microsoft Corporation. [DVD-ROM].

EZOUA, P., DEFFAN, T. Z. B., AKANVOU, L., AKANVOU, R., & NEMLIN, J. G. (2017). Variabilité des caractéristiques physiques et de la composition chimique de quelques variétés de maïs (*Zea mays* L.) produites en Côte d'Ivoire. *Afrique Science*, 13(1), pp. 110-121.

FAO. (1988). *La lutte raisonnée contre les mauvaises herbes*. Manuel de l'instructeur, n°12, 158 p.

FAO. (1993). *Maize in human nutrition*. FAO Food and Nutrition Series, n° 25. Rome, 174 p.

FAO. (2017). *Le maïs : Guide de production pour les petits exploitants*. Rome.

FARE. (2004). *Expérimentation agronomique et culture du maïs dans la région d'Ambohidratino*. Mémoire Ing. Agro., Université d'Antananarivo, Madagascar, 91 p.

FARNHAM, D. E., BENSON, G. O., & PEARCE, R. B. (2003). Corn perspective and culture. In : White P. J., Johnson L. A., *Corn: chemistry and technology*, Edition 2. AACC, Minnesota, USA, pp 1-33.

FERGUSON, J.J. & RATHINASABATHI. (2003). *Allelopathy: how plants suppress other plants*. Cours d'université de Floride : 3.

GALLET, C. & PELLISSIER, F. (2002). Interactions allélopathiques en milieu forestier. *Revue forestière française*, LIV (6), pp. 567-576.

GATE, P., & BOUSQUET, N. (2008). La photosynthèse du blé : Une source d'énergie vitale. *Perspectives Agricoles*, n° 350, pp. 28-29.

GRIGNAC, P. (1984). *Les besoins en azote lors du gonflement et de la floraison*.

GUY, R. (1984). *Le maïs, le technicien de l'agriculture tropicale*. Edition Maison neuve et Larose. Paris, France. 142 p.

HAMADACHE, A. (1995). *Les mauvaises herbes des grandes cultures : biologie, écologie, moyens de lutte*. ITGC, 40 p.

HEISEY, R. M. (1997). Allelopathy and the biological control of weeds. In: *Techniques in Free Radical Research*. Vol I, p 12.

HOPKINS, W.G. (2003). *Physiologie végétale*. De Boeck, Bruxelles, Belgique, 495 p.

HUBERT, P. (1978). *Recueil de fiches techniques d'Agriculture spéciale*. BDPA, Madagascar.

HUSSAIN, S., et al. (2007). Allelopathic potential of senescing leaves of *Azadirachta indica* A. Juss. *Applied Ecology and Environmental Research*. 5 (1): 153-162.

HYPPA. (2000). *Cyperus rotundus* L. : Fiche technique. INRA-Dijon. Consulté le 7 avril 2026, sur http://www2.dijon.inrae.fr/hyppa/hyppa-f/cypro_fh.htm.

INDERJIT, & CALLAWAY, R. M. (2003). Experimental design for the study of allelopathy. *Plant and Soil*, 256: 1-11.

INDERJIT, & DAKSHINI, K. M. M. (1999). *Principles and Practices in Plant Ecology: Allelochemical Interactions*. CRC Press, FL.

IPAR / USAID. (2017). *Guide de bonnes pratiques agricoles pour la culture du maïs*. Sénégal.

JARCHOW, M.E. & BRADLEY, J.C. (2009). Allelopathy as a mechanism for the invasion of *Centaurea stoebe*. *Plant Ecology*, 124 : 113-124.

KIMOU, S. H. (2019). *Performances agromorphologiques du maïs et du niébé*. Thèse de doctorat, Université Nangui Abrogoua, Côte d'Ivoire, 189 p.

KRIEF, S. (2003). *Métabolites secondaires des plantes et comportement animal*. Thèse Doc., Muséum National d'Histoire Naturelle, Paris, 346 p.

L'ETANG, M. (2012). *Effet de différents paramètres de l'environnement sur le déterminisme biochimique d'exsudats racinaires de *Crotalaria* spp.* Thèse Doc., Univ. des Antilles, 165 p.

LE BOURGEOIS, T. & MERLIER, H. (1995). *Adventrop – Les adventices d'Afrique Soudano-Sahélienne*. Éditions CIRAD-CA, Montpellier, France, 640 p.

LEBEQUE, S. (2019). *Etude des interactions de molécules phytotoxiques avec des modèles membranaires*. Thèse Doc., Univ. de Liège, 175 p.

LESUFFLEUR, F. (2007). *Rhizodéposition à court terme de l'azote et exsudation racinaire par le trèfle blanc*. pp. 17-37.

LOCKERMAN, R. H., & PUTNAM, A. R. (1981). Mechanisms for differential interference among cucumber (*Cucumis sativus* L.). *Botanical Gazette*, 142: 427-430.

LONGCHAMP, J.P. (1977). Seuil de nuisibilité des mauvaises herbes. *Revue Phytoma*, 288 : 7-11.

LONGCHAMP, M. (2012). *Etude biogéochimique du transfert du sélénium : conséquences sur la physiologie du Zea mays*. Thèse de doctorat, Univ. Paris VI.

LOUE, A. (1982). *Le potassium et les céréales*.

MAACHI, L. (2005). *Etude de comportement d'une céréale sous centre pivot à Ouargla*. Thèse d'Ingénieur, ITAS Ouargla, 91 p.

MACHEIX, J. J., et al. (2005). *Les polyphénols des végétaux : Cinquante ans de recherches*. Presses Polytechniques Romandes.

MALUMBA, P. (2008). *Influence des conditions de séchage sur la qualité de l'amidon de maïs*. Thèse de doctorat, Faculté de Gembloux, Belgique, 192 p.

MASLE, J., & MEUNARD, J. M. (1980). *L'élaboration du nombre d'épi chez le blé d'hiver*.

MATSUOKA, Y., et al. (2002). A single domestication for maize shown by multilocus microsatellite genotyping. *PNAS*, 99: 6080-6084.

MEYER, S., REEB, C. & BASDEUIX, R. (2004). *Botanique : biologie et physiologie végétales*. pp. 335-337.

MICHAEL, B. V., & DAVID, C. (2008). *Production et conditionnement du maïs (Zea mays L)*. Guide pratique IITA, 19 p.

MOLISCH, H. (1937). *Der Einfluss einer Pflanze auf die andere – Allelopathie*. Fischer, Jena.

MOSHAWIH, S., et al. (2022). General Health Benefits and Pharmacological Activities of *Triticum aestivum* L. *Molecules*, 27(6), 1948.

MOVELLAN, J., et al. (2012). *Synthèse d'analogues halogénés de la m-tyrosine*. 42^e congrès du Groupe Français des Pesticides.

N'DA, H. A., et al. (2022). Réponse du maïs (*Zea mays* L.) au stress hydrique à différents stades de développement. *IJJAS*, 35(1), pp. 45-56.

NEWMAN, E. I. & MILLER, M. H. (1977). Allelopathy among some British grassland species. *Journal of Ecology*, 65: 399-411.

NIAMKETCHI, L. G. (2017). *Étude de la qualité nutritionnelle et technologique du maïs*. Thèse de doctorat, Univ. Nangui Abrogoua, 158 p.

OUATTAR, S. & AMEZIANE, T. E. (1989). *Les céréales au Maroc : de la recherche à l'amélioration technique*. Éditions Toubkal.

PAGE, L. & GRUME, M. (2014). *Allélopathie végétale*. Agroneo, Sciences agricoles.

PROFERT. (s.d.). *Le Brome : Une adventice redoutable des céréales en Algérie*.

REGNAULT-ROGER, C., PHILOGENE, B. & VINCENT, C. (2008). *Bio pesticides d'origine végétale*. Ed. Tec & Doc, Paris : 51-60p.

ROGER, L. (2013). *Les mauvaises herbes agricoles*. Edition Berger, Canada, 367 p.

SCAVO, A., & MAUROMICALE, G. (2021). Integrated weed management: The role of allelopathy. *Agronomy*, 11(3), 405.

SOLTNER, D. (2003). *Les bases de la production végétale*. Ed. Sciences et Techniques Agricoles.

TISSUT, M., DELVAL, P., MAMMAROT, J., RAVANEL, P. (2006). *Plantes, herbicides et désherbage*. ACTA, Paris, 635 p.

TORRES, A., et al. (1996). International Allelopathy Society: Constitution and Bylaws. *Allelopathy Journal*, 3 (2): 293-300.

TRIOLET, M., et al. (2016). *Agriculture sans herbicides : principes et méthodes*. Agroécologie, Dijon, France.

TUKEY, H. B. (1970). The leaching of substances from plants. *Annu Rev Plant Physiol*, 21:305-58.

VIAUX, P. (1980). *L'importance de l'azote pour le développement du blé*.

WARDLE, A. D., et al. (1998). An ecosystem level Perspective of allelopathy. *Biological Review*, 79: 305-319.

WEIDENHAMER, J. D., et al. (1989). Density-dependent phytotoxicity: resource competition and allelopathic interference. *Journal of Applied Ecology*, 26: 613-624.

YAMANE, A. D., et al. (1992). Allelopathy of yellow fieldcress (*Rorippa sylvestris*). *Journal of Applied Ecology*, 18(5): 683-691.

ZANE. (1993). *Facteurs conditionnant la physiologie du blé*.

ZONKENG, C., et al. (2011). Inhibition de la croissance et du rendement du maïs (*Zea mays* L.) en sols très acides au Cameroun. *TROPICULTURA*, 29, 2, 95 p.

ADRIAN, J., POTUS, J., & POIFFAIT, A. (1995). *L'analyse nutritionnelle des aliments*. Éditions Lavoisier, Tec & Doc, Paris, 300 p.

AKANVOU, L., AKANVOU, R., KOUAKOU, C. K., & DJÈ Y. (2012). Évaluation de la diversité agromorphologique de quelques variétés locales de maïs (*Zea mays* L.) collectées au sud et à l'ouest de la Côte d'Ivoire. *Journal of Applied Biosciences*, 50, pp. 3474-3484.

Batish, D. R., Lavanya, K., Singh, H. P., & Kohli, R. K. (2007). Root-mediated allelopathic interference of *Ageratum conyzoides* on agronomic crops. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193(2), 97–104.

- Batish, D. R., Lavanya, K., Singh, H. P., Kohli, R. K., & Srivastava, S. (2007). Batish, D. R., Lavanya, K., Singh, H. P., Kohli, R. K., & Srivastava, S. (2007). Root-mediated allelopathic interference of *Parthenium hysterophorus* towards agronomic crops. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 193(1), 37–44.
- Beckie, H.J., Francis, A., & Hall, L.M. (2012). The biology of Canadian weeds. 27. *Avena fatua* L. (updated review). *Canadian Journal of Plant Science*, 92(7), 1329-1357.
- Ben-Hammouda, M., Ghorbal, H., Kremer, R. J., & Oueslati, O. (2001). Allelopathic effects of barley extracts on germination and seedling growth of bread and durum wheats. *Agronomie*, 21, 65–71.
- Ben-Hammouda, M., Kremer, R. J., Minor, H. C., & Sarwar, M. (1995). A bioassay of allelopathic potential of sorghum residues on wheat. *Journal of Chemical Ecology*, 21(6), 775-786.
- Boufenar-Zaghouane, F., & Zaghouane, O. (2004). Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). Institut Technique des Grandes Cultures (ITGC) / ICARDA.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., & Chern, J. C. (2002). Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10(3), 178-182.
- Chauhan, B.S. (2020). Grand challenges in weed management. *Frontiers in Agronomy*, 1, 3.
- Cheng, F., & Cheng, Z. (2015). Research progress on the use of plant allelopathy in agriculture and the physiological and ecological mechanisms of allelopathy. *Frontiers in Plant Science*, 6, 1020.
- Chon, S. U., Kim, Y. M., & Lee, J. C. (2003). Herbicidal potential and quantification of suspected allelochemicals from four grass crop extracts. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 189(2), 145–150.
- Dali, A., Touiri, M., Abbad, M., & Snoussi, S. A. (2023). Évaluation de l'effet allélopathique du radis sauvage (*Raphanus raphanistrum*) sur la germination du blé dur (*Triticum durum*) en condition contrôlée. *Revue Agrobiologia*, 13(1), 3508–3513.
- Duke, S. O., & Dayan, F. E. (2006). Allelochemicals as natural herbicides. In: *Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications*.
- Einhellig, F. A. (1995). Mechanism of action of allelochemicals in allelopathy. In Inderjit, K. M. M. Dakshini, & F. A. Einhellig (Eds.), *Allelopathy: Organisms, Processes, and Applications* (pp. 96–116). American Chemical Society.
- FAO. (2021). *World Food and Agriculture – Statistical Yearbook 2021*. Rome, FAO.
- FAO. (2022). *The State of Food and Agriculture 2022*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
- Farooq, M., Jabran, K., Cheema, Z. A., Wahid, A., & Siddique, K. H. M. (2011). The role of allelopathy in agricultural pest management. *Pest Management Science*, 67(5), 493–506.
- Holm, L. G., Plucknett, D. L., Pancho, J. V., & Herberger, J. P. (1977). *The World's Worst Weeds: Distribution and Biology*. East-West Center, University Press of Hawaii, Honolulu, 609 pp.
- Holm, L., Plucknett, D.L., Pancho, J.V., & Herberger, J.P. (1991). *The World's Worst Weeds: Distribution and Biology*. Krieger Publishing Company.
- Iannucci, A., Fragasso, M., Platani, C., & Papa, R. (2013). Plant growth and phenolic compounds in the rhizosphere soil of wild oat (*Avena fatua* L.). *Frontiers in Plant Science*, 4, 509.
- Inderjit, & Duke, S. O. (2003). Ecophysiological aspects of allelopathy. *Planta*, 217, 529–539.

Jabran, K., Mahajan, G., Sardana, V., & Chauhan, B. S. (2015). Allelopathy for weed control in agricultural systems. *Crop Protection*, 72, 57–65.

Khamare, Y., Chen, J., & Marble, S. C. (2022). Allelopathy and its application as a weed management tool: A review. *Frontiers in Plant Science*, 13, 1034649.

Li, R., Wang, Q., Zhao, G., Peng, H., Zhang, D., & Li, Z. (2022). Effects of germination time on phenolics, antioxidant capacity, in vitro phenolic bioaccessibility and starch digestibility in sorghum. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 5175-5185. <https://doi.org/10.1111/ijfs.15827>

Li, Z. H., Wang, Q., Ruan, X., Pan, C. D., & Jiang, D. A. (2010). Phenolics and plant allelopathy. *Molecules*, 15(12), 8933–8952.

Narwal, S.S. (2004). *Allelopathy in Crop Production*. Scientific Publishers, Jodhpur, India.

O'Donovan, J.T., Sharma, M.P., Harker, K.N., Maurice, D.C., Blackshaw, R.E., & McAndrews, D.W. (2000). Wild oat (*Avena fatua*) interference in barley and wheat. *Weed Science*, 48(4), 498-503.

Oerke, E. C. (2006). Crop losses to pests. *Journal of Agricultural Science*, 144, 31–43.

Qasem, J. R. (2017). A survey on the phytotoxicity of common weeds, wild grown species and medicinal plants on wheat. *Allelopathy Journal*, 42(2), 179–194.

Qasem, J. R., & Foy, C. L. (2001). Weed allelopathy, its ecological impacts and future prospects. *Journal of Crop Production*, 4(2), 43–119.

Reigosa, M. J., Sánchez-Moreiras, A., & González, L. (1999). Ecophysiological approach in allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(5), 577–608.

Rice, E. L. (1984). *Allelopathy* (2nd ed.). Orlando, Florida, USA: Academic Press. 422 p.

Scavo, A., Abbate, C., & Mauromicale, G. (2019). Plant allelochemicals: Agronomic, nutritional and ecological relevance in the soil system. *Plant and Soil*, 442, 23–48.

Scavo, A., Restuccia, A., Mauromicale, G. (2019). Allelopathy: General principles and basic aspects for agroecosystem control. *Sustainability*, 11(24), 7341.

Sharpe, S. M., Tidemann, B. D., & Geddes, C. M. (2024). Wild Oat (*Avena fatua*): Crop Mimicry and Herbicide Resistance. *Plant Health Cases*. CABI Digital Library.

Shiferaw B., Prasanna B.M., Hellin J., Bänziger M. (2013). Crops that feed the world 6: Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*, 5: 307–327.

Shiferaw, B., Prasanna, B. M., Hellin, J., & Bänziger, M. (2011). Past successes and future challenges to the role played by maize in global food security. *Food Security*, 3, 307–327.

Singh, H. P., Batish, D. R., & Kohli, R. K. (2009). Autotoxicity: Concept, organisms and ecological significance. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 18(6), 757–772.

Weston, L. A., & Duke, S. O. (2003). Weed and crop allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 22(3–4), 367–389.

Wolfe, K., Wu, X., & Liu, R. H. (2003). Antioxidant activity of apple peels. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(3), 609-614.

Wu, H., Pratley, J., Lemerle, D., & Haig, T. (2001). Allelopathy in wheat (*Triticum aestivum*). *Annals of Applied Biology*, 139, 1–9.

Annexes

Annex A : Matériel expérimental

Les verreries	Les appareils
Eprouvette graduée	Balances de précision
Boite de pétri	Broyeur
Papier filtre	Etuve
Pissette	Agitateur magnétique
Bécher	Spectrophotomètre
Pipette 20 ml	PH-mètre

ANOVA Table for Germination by Extrait

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1203.33	1	1203.33	0.91	0.3496
Within groups	37226.7	28	1329.52		
Total (Corr.)	38430.0	29			

Multiple Range Tests for Germination by Extrait

Method: 95.0 percent LSD (plus petite difference significative)

Extrait	Count	Mean	Homogeneous Groups
FA	15	26.6667	X
Brome	15	39.3333	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
Brome - FA		12.6667	27.2731

ANOVA Table for Germination by Dose

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	33613.3	4	8403.33	43.62	0.0000
Within groups	4816.67	25	192.667		
Total (Corr.)	38430.0	29			

Multiple Range Tests for Germination by Dose

Method: 95.0 percent LSD L'analyse du test LSD à 95 pourcent, a révélé 3 groupes homogènes .

Dose	Count	Mean	Homogeneous Groups
100	6	0.0	X
75	6	10.0	X
50	6	13.3333	X
25	6	51.6667	X
0	6	90.0	X

ANOVA Table for Longueur Racine by Extrait

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	39.4453	1	39.4453	2.37	0.1350
Within groups	466.247	28	16.6517		
Total (Corr.)	505.692	29			

Multiple Range Tests for Longueur Racine by Extrait

Method: 95.0 percent LSD

Extrait	Count	Mean	Homogeneous Groups
FA	15	2.354	X
Brome	15	4.64733	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
Brome - FA		2.29333	3.05222

ANOVA Table for Longueur Racine by Dose

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	350.673	4	87.6682	14.14	0.0000
Within groups	155.019	25	6.20077		
Total (Corr.)	505.692	29			

Dose	Count	Mean	Homogeneous Groups
100	6	0.0	X
75	6	1.50333	X
25	6	2.79	X
50	6	3.25667	X
0	6	9.95333	X

ANOVA Table for Longeure Coleoptile by Extrait

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	22.4814	1	22.4814	2.57	0.1198
Within groups	244.467	28	8.73097		
Total (Corr.)	266.949	29			

Multiple Range Tests for Longeure Coleoptile by Extrait

Method: 95.0 percent LSD

Extrait	Count	Mean	Homogeneous Groups
FA	15	1.786	X
Brome	15	3.51733	X

Contrast	Sig.	Difference	+/- Limits
Brome - FA		1.73133	2.21013

ANOVA Table for Longeure Coleoptile by Dose

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Between groups	156.476	4	39.119	8.85	0.0001
Within groups	110.473	25	4.4189		
Total (Corr.)	266.949	29			

Multiple Range Tests for Longeure Coleoptile by Dose

Method: 95.0 percent LSD

<i>Dose</i>	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
100	6	0.0	X
50	6	1.79333	XX
75	6	1.79333	XX
25	6	2.83167	X
0	6	6.84	X

ANOVA Table for Germination by Extrait

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Between groups	563.333	1	563.333	1.03	0.3191
Within groups	15333.3	28	547.619		
Total (Corr.)	15896.7	29			

ANOVA Table for Germination by Dose

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Between groups	10413.3	4	2603.33	11.87	0.0000
Within groups	5483.33	25	219.333		
Total (Corr.)	15896.7	29			

Multiple Range Tests for Germination by Dose

Method: 95.0 percent LSD

<i>Dose</i>	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
50	6	16.6667	X
100	6	20.0	X
25	6	21.6667	X
75	6	23.3333	X
0	6	66.6667	X

ANOVA Table for Longeur Racine by Extrait

<i>Source</i>	<i>Sum of Squares</i>	<i>Df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F-Ratio</i>	<i>P-Value</i>
Between groups	18.4867	1	18.4867	4.16	0.0511
Within groups	124.577	28	4.44918		
Total (Corr.)	143.064	29			

Multiple Range Tests for Longeur Racine by Extrait

Method: 95.0 percent LSD

<i>Extrait</i>	<i>Count</i>	<i>Mean</i>	<i>Homogeneous Groups</i>
FA	15	1.62133	X
Brome	15	3.19133	X

<i>Contrast</i>	<i>Sig.</i>	<i>Difference</i>	<i>+/- Limits</i>
Brome - FA		1.57	1.57771

ANOVA Table for Longueur Racine by Dose

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	48.3338	4	12.0835	3.19	0.0302
Within groups	94.73	25	3.7892		
Total (Corr.)	143.064	29			

Multiple Range Tests for Longueur Racine by Dose

Method: 95.0 percent LSD

Dose	Count	Mean	Homogeneous Groups
100	6	0.301667	X
75	6	1.895	XX
25	6	2.73833	X
50	6	2.98	X
0	6	4.11667	X

ANOVA Table for Longueur Coleoptile by Extrait

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.132003	1	0.132003	0.09	0.7625
Within groups	39.6764	28	1.41701		
Total (Corr.)	39.8084	29			

ANOVA Table for Longueur Coleoptile by Dose

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	13.6651	4	3.41627	3.27	0.0276
Within groups	26.1433	25	1.04573		
Total (Corr.)	39.8084	29			

Multiple Range Tests for Longueur Coleoptile by Dose

Method: 95.0 percent LSD

Dose	Count	Mean	Homogeneous Groups
100	6	0.458333	X
75	6	1.55833	XX
50	6	1.60667	XX
25	6	2.13667	X
0	6	2.43167	X

ANOVA Table for Germination by Culture

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	166.667	1	166.667	0.18	0.6747
Within groups	54326.7	58	936.667		
Total (Corr.)	54493.3	59			

ANOVA Table for Longueur Racine by Culture

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	17.9635	1	17.9635	1.61	0.2101
Within groups	648.756	58	11.1854		
Total (Corr.)	666.72	59			

ANOVA Table for Longueure Coleoptile by Culture

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	15.4027	1	15.4027	2.91	0.0933
Within groups	306.757	58	5.28891		
Total (Corr.)	322.16	59			