

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 TARF UNIVERSITY

كلية علوم الطبيعة والحياة

FACULTY OF NATURE AND LIFE SCIENCES

قسم العلوم الفلاحية

Mémoire de Fin d'Études

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

« **Système de Production Agro-écologique** »

Thème

Évaluation des effets allélopathiques des extraits de blé.

Présenté Par : **EL GALAI Asma**

Soutenue publiquement le : 15 -12-2025

devant le jury composé de :

Nom et prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Pr. TELAILIA Salah	Professeur	UCBET	Président
Dr. HENNOUNI Nacera	MCA	UCBET	Examinatrice
Dr. RIDA Soumeiya	MCB	UCBET	Promotrice

The background of the page is decorated with several large, soft-focus pink flowers, likely cherry blossoms, with delicate petals and visible stamens. The flowers are arranged in a way that frames the central text area, with some in the top right and others in the bottom left and bottom right corners.

Remerciements

Avant tout, le grand merci s'adresse au bon Dieu le Tout-Puissant, de nous avoir accordé la force, le courage et la patience pour pouvoir accomplir ce modeste travail.

*Au terme de ce travail, nous tenons à exprimer notre plus sincère remerciement et notre profonde gratitude à **Mme Rida Soumeya** pour son soutien et sa disponibilité permanente.*

Nous exprimons ici notre gratitude et notre respect envers elle.

Nos remerciements vont particulièrement à :

- **Mme Henouni Nacera** , pour nous avoir fait l'honneur de présider notre jury.*
- **M. Tlaïlia salah** , d'avoir accepté de faire partie de notre jury et de participer à l'évaluation de notre travail.*

*Nous remercions également **l'ensemble des enseignants du laboratoire de Biologie Végétale** pour leur disponibilité et leurs précieux conseils et orientations qu'ils nous ont offerts pendant notre stage pratique.*

*Merci à **l'ensemble des professeurs de l'Université CHADLI Ben Djedid**, à nos côtés tout au long de notre cursus universitaire.*

Dédicace

*Je dédie ce travail avec tout mon amour et ma profonde gratitude à **ma chère mère**, pour son amour inconditionnel, sa patience infinie et son soutien constant qui m'ont accompagnée à chaque étape de mon parcours académique. Elle a été mon pilier, ma force et ma source d'inspiration pour atteindre mes objectifs.*

*À **mon cher père**, pour son dévouement, ses innombrables sacrifices et ses efforts inlassables qui m'ont permis d'arriver là où je suis aujourd'hui. Je lui adresse toute ma reconnaissance, mon respect et mon affection.*

*Je dédie également ce travail à **mes chers frères Hamid et Ali**, pour leurs encouragements permanents, leur présence réconfortante et leur soutien sans faille qui m'ont donné la force de surmonter toutes les difficultés.*

*À **ma chère sœur Marwa**, pour son soutien constant, ses précieux conseils et sa présence chaleureuse, toujours source de réconfort et d'énergie positive.*

*À **mes amies proches Rayan et Aya**, pour leur amitié sincère, leurs encouragements et leur soutien tout au long de la préparation de ce mémoire.*

*Enfin, je dédie ce modeste travail à **tous ceux qui m'ont soutenue**, de près ou de loin, et qui ont laissé une belle empreinte dans mon parcours vers la réussite.*

Résumé

Dans la présente étude, les effets des extraits aqueux de quatre variétés de blé dur (Vitron, Siméto, O. ibered et Amar 6) ont été évalués à l'aide de tests biologiques de germination et de croissance des semis. L'effet des extraits a été étudié sur les variétés de blé dur elles-mêmes, ainsi que sur l'orge (variété Fouar), afin d'examiner à la fois l'autotoxicité et l'hétérotoxicité du blé, et d'analyser la dynamique de son potentiel allélopathique. Les résultats obtenus ont montré une variabilité notable selon les extraits et les variétés testées. Tous les extraits ont fortement inhibé la germination et la croissance des plantules d'orge, indiquant une sensibilité marquée de cette espèce aux composés allélopathiques du blé dur. Chez les variétés de blé, des réponses différentielles ont été observées : l'extrait de O. ibered a favorisé la germination la plus rapide et la plus élevée (77 %), tandis que celui de Amar 6 a provoqué la plus forte inhibition, notamment sur l'orge (taux inférieur à 4 %). Par ailleurs, la variété Siméto a révélé un effet d'autotoxicité sur sa propre germination. Ces résultats confirment l'existence d'interactions allélopathiques intra- et interspécifiques variables selon le génotype, et soulignent l'importance de prendre en compte ce phénomène dans la gestion des cultures céréalières et la planification des rotations culturales.

Mots-clés : blé dur, allélopathie, autotoxicité, extraits aqueux.

Abstract

In the present study, the effects of aqueous extracts from four durum wheat varieties (Vitron, Siméto, O. ibered, and Amar 6) were evaluated using bioassays of seed germination and seedling growth. The effect of the extracts was investigated on the durum wheat varieties themselves, as well as on barley (variety Fouar), in order to examine both the autotoxicity and heterotoxicity of wheat and to analyze the dynamics of its allelopathic potential. The results obtained showed notable variability depending on the extracts and varieties tested. All extracts strongly inhibited the germination and growth of barley seedlings, indicating a marked sensitivity of this species to the allelopathic compounds of durum wheat. Among the wheat varieties, differential responses were observed: the extract of O. ibered promoted the fastest and highest germination (77%), while that of Amar 6 caused the strongest inhibition, particularly in barley (rate below 4%). Moreover, the Siméto variety revealed an autotoxic effect on its own germination. These results confirm the existence of intra- and interspecific allelopathic interactions that vary according to genotype, and highlight the importance of considering this phenomenon in cereal crop management and in the planning of crop rotations.

Keywords: durum wheat, allelopathy, autotoxicity, aqueous extracts

الملخص

في هذه الدراسة، تم تقييم تأثير المستخلصات المائية لأربع أصناف من القمح الصلب **Vitron**، **Siméto**، **O. ibered**، و **Amar 6**، باستخدام اختبارات حيوية لإنبات البذور ونمو البادرات. وتمت دراسة تأثير هذه المستخلصات على أصناف القمح الصلب نفسها، وكذلك على الشعير (الصنف **Fouar**)، بهدف فحص كلٍّ من السمية الذاتية (**Autotoxicity**) والسمية المتبادلة (**Heterotoxicity**) للقمح، وتحليل ديناميكية قدرته الأليلوباثية.

أظهرت النتائج المتحصل عليها تباينًا واضحًا حسب نوع المستخلص والصنف المختبر. فقد أدت جميع المستخلصات إلى تثبيط قوي لإنبات ونمو بادرات الشعير، مما يدل على حساسية كبيرة لهذه النبتة تجاه المركبات الأليلوباثية الصادرة عن القمح الصلب.

أما بالنسبة لأصناف القمح، فقد لوحظت استجابات مختلفة؛ إذ حفّز مستخلص **O. ibered** أعلى وأسرع نسبة إنبات (77%)، في حين سبّب مستخلص **Amar 6** أقوى تثبيط، خاصة على الشعير، حيث انخفضت نسبة الإنبات إلى أقل من 4%. كما أظهر الصنف **Siméto** تأثيرًا سميًا ذاتيًا على إنبات بذوره.

تؤكد هذه النتائج وجود تفاعلات أليلوباثية داخلية (بين أصناف القمح) وخارجية (بين القمح والشعير)، تختلف باختلاف التركيب الوراثي، وتبرز أهمية أخذ هذه الظاهرة بعين الاعتبار في إدارة محاصيل الحبوب وتخطيط الدورات الزراعية.

الكلمات المفتاحية: القمح الصلب، الأليلوباثية، السمية الذاتية، المستخلصات المائية.

Listes des figures

N°	Les figures	Page
Figure 01	plante du blé dur	03
Figure 02	Description morphologique de la plante de blé dur	9
Figure 03	les principales parties de la tige du blé	9
Figure 04	épillets du blé dur	10
Figure 05	Histologie du grain de blé	10
Figure 06	Le cycle de développement du blé	12
Figure 07	La rouille jaune <i>Puccinia striiformis</i> sur blé dur	14
Figure 08	La rouille brune <i>Puccinia recondita</i> f.sp. <i>tritici</i>	15
Figure 09	La rouille noire <i>Puccinia graminis</i> f.sp. <i>tritici</i>	15
Figure 10	Symptômes de Septoriose sur la feuille de blé	16
Figure 11	Processus théorique du phénomène d'allélopathie	17
Figure 12	Modes de libération des allélochimiques dans l'environnement.	19
Figure 13	Indole alkaloids	20
Figure 14	Pyrrolizidine alkaloid	20
Figure 15	Structures chimiques de la 6-méthoxy-2(3H)-benzoxazolone (MBOA) et de la 6,7-diméthoxy-2(3H)-benzoxazolone (DMBOA)	21
Figure 16	Structure des composés phénoliques	22
Figure 17	les variétés utilisées	26
Figure 18	Test de germination	28

Figure 19	germination du blé	29
Figure 20	<i>Préparation du substrat et plantation</i>	30
Figure 21	Développement des plantules de blé Le 19 mars 2025	30
Figure 22	Développement des plantules de blé Le 3 avril 2025	31
Figure 23	La récolte des plants de blé	31
Figure 24	Séchage du blé	32
Figure 25	Broyage du blé	32
Figure 26	Préparation des extraits aqueux	33
Figure 27	filtration des extrait	34
Figure 28	Préparation de l'Essai de Germination	35
Figure 29	Variation du taux de germination en fonction des variétés	39
Figure 30	Variation du taux de germination en fonction des extraits.	40
Figure 31	Cinétique de germination de quatre variétés de blé en présence de divers extraits aqueux et du témoin	42

Liste des tableaux

&	Le titre	page
Tableau 01	La classification botanique du blé dur	06
Tableau 02	La classification botanique du blé dur	06
Tableau 03	composition chimique du grain du blé	08
Tableau 04	les matériel utilisé	26
Tableau 05	Principales caractéristiques des différentes variétés de blé dur cultivées en Algérie et utilisées dans cette étude	27
Tableau 06	Effet de l'interaction extrait-variété sur la longueur de la germination	39
Tableau 07	Effet de l'interaction extrait-variété sur la longueur de la racine	43
Tableau 08	Effet de l'interaction extrait-variété sur la longueur du coléoptile	44

Liste des abréviations

T : Témoins

E1 : Extrait vitron

E2 : Extrait simeto

E3 : Extrait o.lberd

E4 : Extrait Amar 06

V1 : Variété vitron

V2 : Variété simeto

V3 : Variété O.lberd

V4 : Variété Amar 06

Vo : Variété orge

Sommaire

Remerciement

Dédicaces

Résumé

Abstract

Résumé en Arabe

Liste des abréviations

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction 1

Partie bibliographique

Chapitre 01 : Généralités sur le blé dur

1.1	Description du blé dur	3
1.2	Origine du blé dur	3
1.2.1	Origine géographique et histoire de diffusion du blé dur	4
1.2.2	Origine génétique et évolution chromosomique du blé dur	4
1.3	Importance de la culture du blé	5
1.3.1	Dans le monde	5
1.3.2	En Algérie	5
1.4	Classification botanique du blé dur	6
1.5	Les différents organes d'un plant de blé dur	7
1.5.1	L'appareil végétatif	7
1.5.1.1	<i>Le système aérien</i>	7
1.5.1.2	<i>Le système racinaire</i>	7
1.5.1.1.1	Le système de racines primaires ou séminales	7
1.5.1.1.2	Le système de racines secondaires ou de tallage (coronales)	7
1.5.2	Appareil reproducteur	7
1.5.2.1	L'épi	7
1.5.2.2	<i>Le grain</i>	8
1.6	Cycle de développement du blé	10
1.6.1	Période végétative	11
1.6.2	Période reproductrice	11
1.7	Exigences écologiques	13
1.8	Principales maladies du blé	13
1.8.1	Rouilles	14

1.8 .1.1 Rouille jaune	14
1.8.1.2 Rouille brune	14
1.8.1.3 Rouille noire	15
1.8.2 Septorioses	16
1.8.3 Oïdium	16

Chapitre 02 : Généralités sur l'allélopathie

2.1 Définition de l'allélopathie	17
2.2 Métabolites secondaires impliqués dans le phénomène allélopathique	18
2.3 Type de composés allélopathiques	19
2.3.1 Composés azotés	19
2.3.1.1 Les alcaloïdes	19
2.3.2 Les benzoxazinoïdes	20
2.3.3 Les composés phénoliques	21
2.3.4 Les terpénoïdes	22
2.4 Facteurs influençant la production et l'activité des allélochimiques	22
2.4.1 Facteurs abiotiques	22
2.4.2 Facteurs biotiques	23
2.5 Facteurs influençant l'activité des composés allélopathiques	24
2.6 Exemples d'allélopathie	24
2.6.1 Allélopathie chez les adventices	24
2.6.2 Allélopathie chez certaines graminées	25

Partie expérimentale

Matériel et méthode

1.1 Lieu de réalisation de l'expérimentation	26
1.2 Matériel végétal	26
3.2.1 Echantillonnage	26
1.3 Première partie	28
1.3.1 Test du pouvoir germinatif	28
1.3.1.1 Méthode	28
1.3.1.2 Germination	29
1.3.2 Mise en place de la culture	30
1.3.3 La récolte des plants de blé	31
1.3.4 Séchage du blé	31
1.3.5 Broyage	32
1.4 deuxième partie	33
1.4.1 Préparation des extraits aqueux	33

1.4.2	Préparation de l'Essai de Germination	35
1.4.3	Paramètres étudiés	36
1.4.4	Analyses statistiques	36
<i>Résultats et discussion</i>		
2.1	Effet de l'interaction extrait-variété sur le taux de germination	39
2.2	Variation du taux de germination en fonction de la variété	39
2.3	Variation de la germination en fonction des extraits	40
2.4	Cinétique de germination	40
2.5	Effet de l'interaction extrait-variété sur la longueur de la racine	43
2.6	Effet de l'interaction extrait-variété sur la longueur du coléoptile	44
2.7	Discussion générale	46
Conclusion et perspectives		48
Références bibliographiques		50
Annexes		

An orange scroll banner with a gradient from light orange to a slightly darker shade at the bottom. It has a thin orange border and decorative scroll-like folds at the top and bottom edges. The word "Introduction" is centered on the banner in a bold, black, italicized serif font.

Introduction

Les céréales occupent, à l'échelle mondiale, une place essentielle dans les systèmes agricoles, puisqu'elles représentent la principale source de nutrition pour l'homme et les animaux (Mouellef, 2010). Le terme « céréale » regroupe l'ensemble des plantes principalement cultivées pour leurs grains, telles que le blé, le riz, le maïs, orge, avoine, le seigle, le millet et le sorgho, appartenant à la famille des Graminées (Poaceae). Les céréales et leurs dérivés constituent l'une des bases importantes de l'agroalimentaire en Algérie, en raison des habitudes alimentaires de la population, notamment pour la semoule (pain, pâtes, couscous, galette...) et la farine (pain), avec une consommation moyenne annuelle d'environ 177 à 180kg par habitant (Kellou, 2008).

Parmi ces céréales, le blé se distingue en occupant la première place en termes de production mondiale, et la deuxième après le riz comme source d'alimentation pour les populations humaines, couvrant près de 15 % de leurs besoins énergétiques (Bajji, 1999 cité in Mouellef, 2010). Le blé dur (*Triticum durum* Desf.) figure parmi les céréales les plus cultivées au monde. Il constitue une ressource alimentaire essentielle, entrant dans la composition de nombreux produits de base. Les produits céréaliers fournissent 57 % des protéines consommées dans l'alimentation humaine, contre 23 % apportées par les tubercules et légumineuses et 20 % par les produits d'origine animale (Hamadache, 2013).

Historiquement, avant les années 1830, l'Algérie exportait son blé vers différents pays, tandis qu'aujourd'hui elle en importe une part importante et demeure tributaire du marché international (Anonyme a, 2006). En tant que grand importateur, elle achète annuellement plus de 5 % de la production céréalière mondiale. Cette dépendance peut se maintenir en raison de la limitation des rendements locaux et de l'augmentation de la demande liée à la croissance démographique.

Au-delà de son rôle alimentaire, le blé dur joue également un rôle économique et stratégique majeur. Il influence directement les revenus des agriculteurs, la stabilité du marché intérieur et les relations commerciales internationales. La qualité et le rendement du blé déterminent en grande partie la sécurité alimentaire nationale, et toute fluctuation de sa production peut avoir des répercussions sur les prix et l'économie. Dans certains contextes, le blé peut même être considéré comme un instrument stratégique dans les rapports de puissance entre États (Chavet, 1977).

Malgré son importance, la productivité du blé dur reste soumise à l'influence de divers facteurs environnementaux et biologiques. Parmi ces facteurs, l'allélopathie se distingue comme un élément déterminant. Il s'agit d'un phénomène chimico-biologique par lequel une plante libère des composés chimiques susceptibles d'inhiber ou de stimuler la croissance d'autres plantes (Rice, 1984). La compréhension des effets allélopathiques apparaît ainsi indispensable pour élaborer des stratégies agricoles durables et améliorer la productivité.

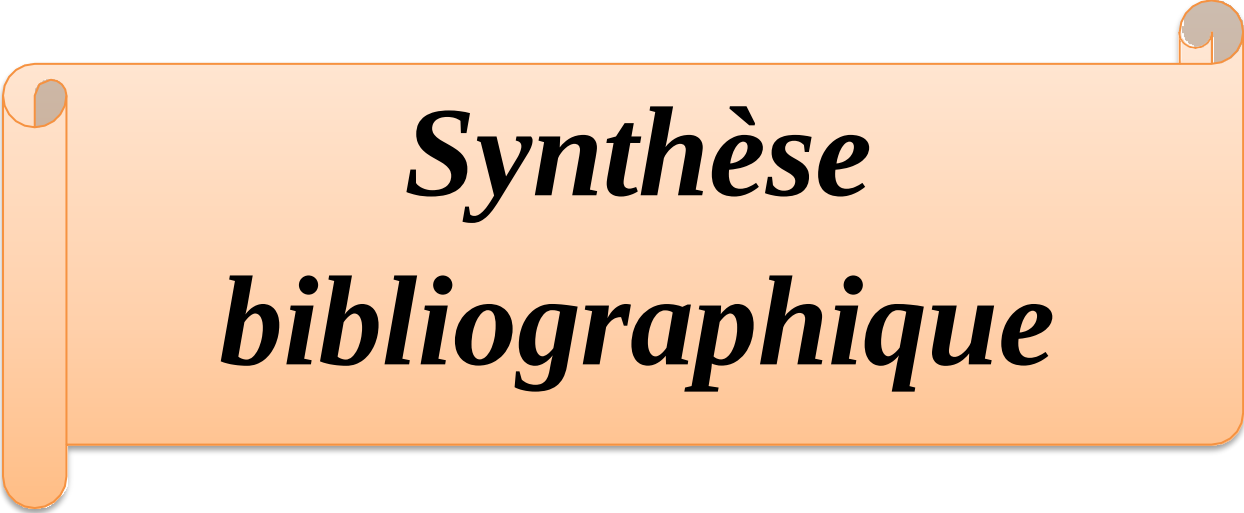
Ce travail a pour objectif d'étudier les effets allélopathiques du blé dur (*Triticum durum* Desf.). Pour ce faire, nous avons adopté le plan suivant :

Chapitre 1 : Généralités sur le blé dur.

Chapitre 2 : Généralités sur l'allélopathie.

Chapitre 3 : Présentation et discussion des résultats obtenus.

Enfin, ce mémoire se conclut par une conclusion générale.

An orange scroll banner with a dark orange border and a subtle gradient. The banner is unrolled in the center, with the ends of the scroll visible on the left and right sides.

Synthèse bibliographique

Chapitre 01 : Généralités sur le blé dur

1.1 Description du blé dur

À l'heure actuelle, les céréales, et plus particulièrement le blé, occupent une place de premier plan sur les plans social, économique et politique dans la majorité des pays du monde . Cette culture est considérée comme la troisième espèce la plus importante au niveau mondial et demeure la plus consommée par l'homme (Nedjah, 2015).

Le blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum*) est une monocotylédone de la famille des Graminées (Ouared, 2016), C'est une plante annuelle dont le cycle de vie s'étend de la germination à la maturité, marqué par diverses transformations morphologiques et physiologiques.

Selon Aknouche et al. (2017), chez le blé, l'épi présente généralement de longues barbes (figure 01). Chaque épillet comprend 2 à 5 fleurs, les glumes sont dépourvues d'arêtes, et le grain nu est translucide et très dur. La plante de blé complet est constituée des principales parties suivantes : racines, tiges, feuilles et apex.

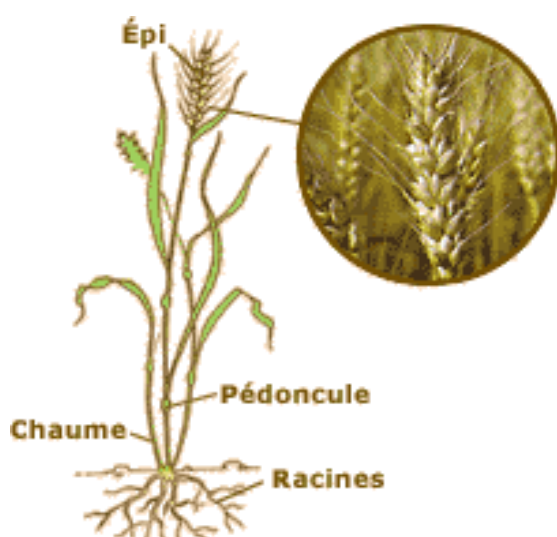


Figure 01 : plante du blé dur (<http://joho.p.free.fr/EC/ENERGIE/Ressources/FROID%20-%20Histoire%20du%20froid/www.esigge.ch/primaire/2-objets/sites/ble/ble.htm>)

1.2 Origine du blé dur

Le blé est une monocotylédone et appartient au genre *Triticum* de la famille des Gramineae. C'est une céréale dont le grain est un fruit sec et indéhiscence, appelé caryopse, constitué d'une graine et de téguments (Feillet, 2000). Le genre *Triticum* s'intègre dans la tribu des Triticées au sein de la famille des Poacées, au groupe des angiospermes monocotylédones (Bolot et al., 2008).

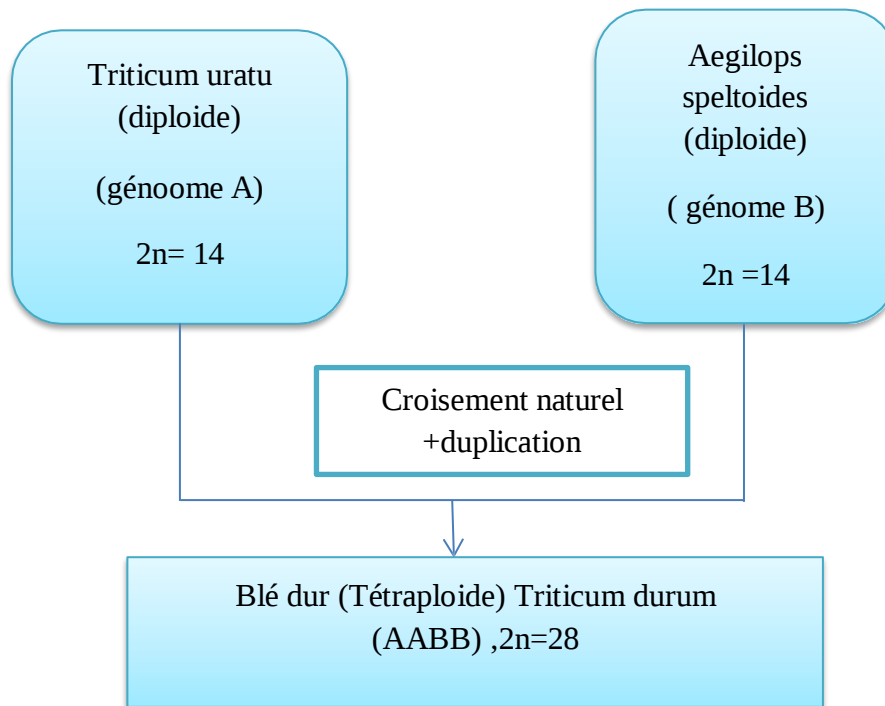
1.2.1 Origine géographique et histoire de diffusion du blé dur

Le blé dur (*Triticum turgidum* subsp. *durum*) descend directement de l'amidonnier (*Triticum turgidum* subsp. *dicoccum*), domestiqué il y a environ 12 000 ans dans la région du Croissant fertile au Moyen-Orient, qui correspond aujourd'hui à : l'Égypte, la Jordanie, le Liban, la Palestine, l'ouest de la Syrie, le sud de la Turquie, l'Iran, l'Irak et Chypre (Salamini et al., 2002; Meeh et al., 2018) . De cette région, sa culture s'est diffusée vers le reste du monde, atteignant le bassin méditerranéen il y a environ 8 000 ans. (Royo et al., 2017).

Au cours du processus de domestication, l'amidonnier a donné naissance à plusieurs sous-espèces tétraploïdes, dont la plus importante fut le blé dur, devenu la matière première privilégiée pour la préparation de plats traditionnels méditerranéens, ainsi que pour la fabrication de différents types de pains, notamment dans le sud de l'Italie, au Liban, en Jordanie, en Égypte et en Syrie (Meeh et al., 2018; Aboubacar et al., 2006).

1.2.2 Origine génétique et évolution chromosomique du blé dur

Le blé dur (*Triticum turgidum* ssp. *durum* Desf.) est une espèce allotétraploïde ($2n = 28$, AABB). Il est issu d'un processus d'hybridation suivi d'un doublement chromosomique entre *Triticum urartu* (génome AA) et une espèce apparentée à *Aegilops speltoides* (génome BB) (Huang et al., 2002). La domestication du blé diploïde s'est produite dans le nord du Croissant fertile, au Proche-Orient, tandis que celle du blé tétraploïde a eu lieu plus au sud, dans le bassin du Jourdain. Ensuite, le blé tétraploïde s'est diversifié dans des centres secondaires, notamment sur les plateaux éthiopiens, le bassin méditerranéen et la Transcaucasie (Levy et Feldman, 2002).



1.3 Importance de la culture du blé

1.3.1 Dans le monde

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).

Avec une production de 8,08 millions de tonnes par an, moyenne de la période 1994-2007, l'Union européenne est le plus grand producteur de blé dur. Le Canada arrive au deuxième rang avec 4,6 millions de tonnes par an, suivi de la Turquie et des États-Unis, avec 1,99 et 2,67 millions de tonnes respectivement (Saraoui, 2011). Le grain de blé dur a une grande valeur nutritionnelle, suite à sa richesse en protéine et la présence du gluten (Troccoli et al., 2000), il est utilisé pour la préparation des pâtes alimentaires, du couscous, du frik et des galettes (Nachit et al., 2005) et sa paille est utilisée comme litière (Abbas et Abdelguerfi, 2005) et comme aliment pour les animaux (Bahlouli et al., 2005).

1.3.2 En Algérie

Le blé est la céréale la plus importante en Algérie, il constitue l'aliment de base de la population et fournit un apport équivalent à 1505,5 Kcal/personne/jour, 45,533 g de protéine /personne/j et 5,43 g de lipide/personne/J (Djermoun, 2009). Selon l'observatoire national des filières agricoles et agroalimentaires

ONFAA (2015), la surface emblavée par cette culture en 2015 était d'environ 1,5 millions d'hectares, ce qui représente 55 % de l'ensemble des terres cultivées par les trois céréales les plus importantes dans le pays (blé dur et tendre et orge), mais les rendements atteints restent parmi les plus faibles dans le monde et tournent autour de 15 à 19 q/ha pendant la période de 2010-2015 . Ces rendements ne couvrent que 20 à 25% des besoins de l'Algérie en blé dur.

1.4 Classification botanique du blé dur

Selon les classifications de CRONQUIST (1981) et de l'APG (2016), le blé dur est une plante monocotylédone, dont la classification est présentée dans le tableau 1.

	Classificaton de l'APG (2016)	Classifications de CRONQUIST (1981)
Règne	Plante	Plante
Sous-Règne		Tracheobionta
Division	Magnoliophyta	Magnoliophyta
Classe	Liliopsida	Liliopsida
Sous-classe		Commelinidae
Ordre	Poales	Cyperales
Famille	Poaceae	Poaceae
Sous-famille	Pooideae	Pooideae
Tribu		Triticeae
Genre	Triticum	Triticum L , 1753
Espèce	Triticum durum Desf	

Selon la classification taxonomique du système d'information taxonomique intégré (ITIS : Integrated Taxonomic Information System), la hiérarchie taxonomique du blé dur est la suivante.

Tableau 02 . La classification botanique du blé dur (ITIS, 2025) :

Règne	Plante
Super division	Embryophyta
Classe	Magnoliophyta
Ordre	Poales

Famille	Poaceae
Genre	Triticum L
Espèce	Triticum Desf

1.5 Les différents organes d'un plant de blé dur

1.5.1 L'appareil végétatif

1.5.1.1 Le système aérien :

-La tige et les feuilles

La tige se développe à partir d'un des bourgeons situés sur le plateau de tallage et devient bien distincte à partir du début de la montaison. Sa hauteur varie selon les variétés et la vigueur de la plante.

Les feuilles naissent aux nœuds répartis le long de la tige creuse. Ce sont des feuilles gainantes à nervures parallèles, suffisamment résistantes pour supporter l'emploi de certains produits chimiques destinés au désherbage, qui n'affectent que les plantes adventices sans nuire au jeune blé (Gauthier, 1991).

1.5.1.1 Le système racinaire

Les racines du blé sont fasciculées et pour la plupart superficielles, mais certaines peuvent pénétrer profondément dans un sol bien ameubli. Très ramifiées, elles explorent efficacement la zone où elles se développent (Gauthier, 1991).

Le blé développe, au cours de sa croissance, deux systèmes racinaires successifs :

1.5.1.2.1 Le système de racines primaires ou séminales

Actif dès la levée jusqu'au début du tallage, ce système se compose d'une racine principale et de deux paires de racines latérales, soit un total de 5 racines. Il peut parfois se développer une sixième racine à partir de l'épiblaste (Moule, 1971).

1.5.1.2.2 Le système de racines secondaires ou de tallage (coronales)

Ce système apparaît au moment où la plante produit ses talles et remplace progressivement le système primaire. Il est de type fasciculé, et son importance ainsi que sa profondeur varient selon l'espèce et la variété (Moule, 1971).

1.5.2 Appareil reproducteur

1.5.2.1 L'épi

L'axe principal de l'épi, ou rachis, porte alternativement sur ses côtés des épillets, dont le nombre varie selon l'épi ; plus leur nombre est élevé, plus le rendement est important.

Chaque épillet comprend plusieurs fleurs disposées autour d'un axe secondaire très court, et est entièrement entouré de deux enveloppes appelées glumes.

Chaque fleur se compose d'un ovaire surmonté de deux styles et de trois étamines, ces organes étant protégés par deux petites écailles appelées glumelles, qui ne se révèlent à l'extérieur qu'après la fécondation. Cette particularité permet de conserver la pureté variétale d'une génération à l'autre (Gauthier, 1991).

1.5.2.2 Le grain

Le caryopse est constitué de trois régions principales :

L'albumen (amidon) : Il comprend l'albumen amylicé, dont les cellules contiennent des granules d'amidon dispersés dans une matrice protéique, avec des parois cellulaires peu visibles. Il inclut également la couche à aleurone, qui représente 80-85 % du grain.

Les enveloppes de la graine et du fruit : Composées de six tissus différents : l'épiderme du nucelle, le tégument séminal ou testa, les cellules tubulaires, les cellules croisées, le mésocarpe et l'épicarpe, représentant 13-17 % du volume du grain.

Le germe : Représente environ 3 % du grain et est constitué d'un embryon comprenant le coléoptile, la gemmule, la radicule, le coléorhize et la coiffe, ainsi que le scutellum.(Feuillet, 2000).

Le grain est principalement constitué de :

Amidon : environ 70 %

Protéines : entre 5 et 15 % selon les variétés et les conditions de culture.

Pentosanes : 8-10 %

Les autres constituants, en proportion moindre, comprennent les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines. (Feuillet, 2000).

Tableau 03: composition chimique du grain du blé (Feuillet,2000).

Nature des composition	Teneur (% ms)
Protéines	10
Amidon	67
Pentosanes	8
Cellulose	2
Sucre libres	2
Lipides	2
Matières minérales	1,5

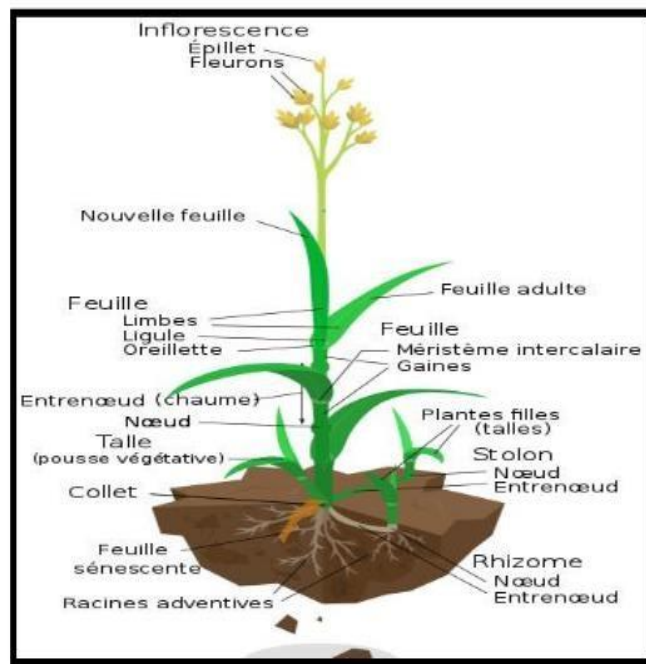


Figure 02: Description morphologique de la plante de blé dur. (<https://fr.wikipedia.org/wiki/Poaceae>)

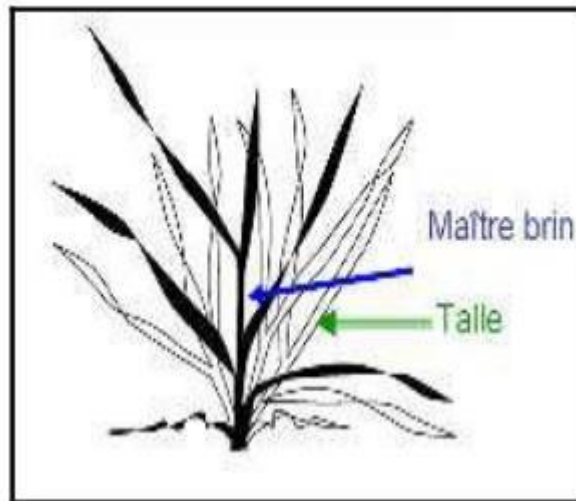


Figure 0 3: les principales parties de la tige du blé (Boulal et al.,2007).



Blé dur

Figure 04 : épillets du blé dur (Marc, 2013)

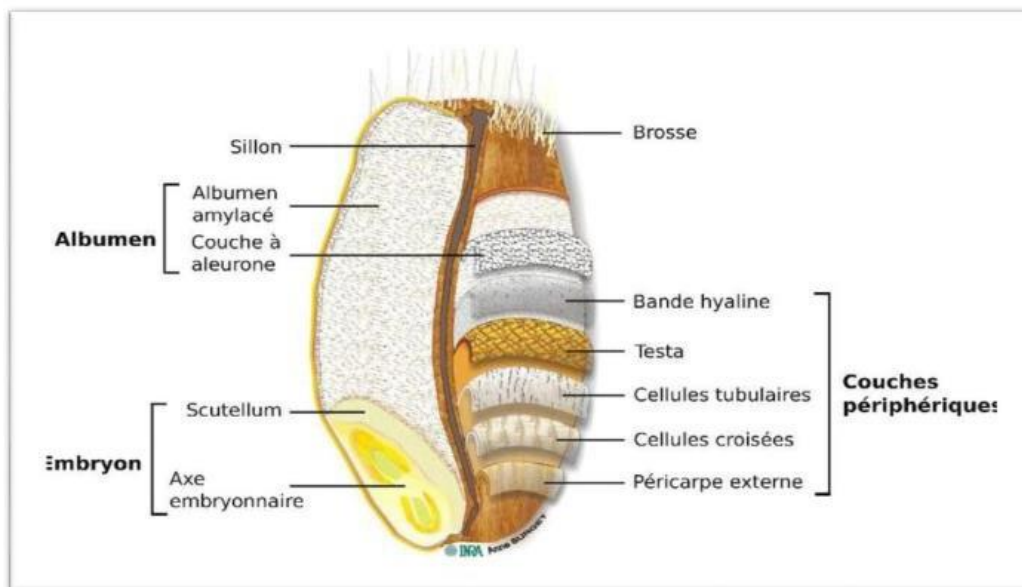


Figure 05: Histologie du grain de blé (Surget et Barron, 2005)

1.6 Cycle de développement du blé

Dans ce cycle annuel, une série d'étapes séparées par des stades repères, permettent de diviser le cycle évolutif du blé en deux grandes périodes :

- Une période végétative.
- Une période reproductrice

1.6.1 Période végétative

Elle s'étend de la germination à l'ébauche de l'épi. On y trouve deux stades :

Phase Germination – Levée

La germination est le processus par lequel la graine passe de l'état de dormance à un état de vie active. Le grain de blé absorbe au moins 30 % de son poids en eau durant cette phase. Le coléoptile joue un rôle protecteur et mécanique pour aider la plantule à percer le sol. Lors de l'émergence des premières feuilles, la photosynthèse commence, tandis que les réserves du grain continuent à nourrir la plante. On considère que la levée est atteinte lorsque environ 50 % des plantes sont sorties de terre (Chabi et al., 1992).

Phase Levée – Tallage

Le tallage commence avec l'apparition de l'extrémité de la première feuille de la talle latérale primaire. Cette phase se distingue par trois éléments principaux : La formation du plateau de tallage, L'émission des talles, L'apparition de nouvelles racines. L'importance du tallage varie selon la variété de blé, la densité de semis, la pression des adventices et la disponibilité en azote (Chikhi, 1992). Le tallage marque la fin de la période végétative et le début de la phase reproductive, qui est régulée par la photopériode et la vernalisation, permettant l'élongation des entre-nœuds (Gate, 1995).

1.6.2 Période reproductrice

Elle comprend la formation et la croissance de l'épi ; elle se caractérise par :

Phase : Montaison – Gonflement

Cette phase commence lorsque l'épi atteint environ 1 cm de longueur et correspond à la fin du tallage herbacé. À ce stade, la tige principale et les talles les plus âgées commencent à s'allonger grâce à l'élongation des nœuds situés sous l'épi, qui étaient auparavant remplis de cellules nutritives.

Ensuite, les nœuds 1 et 2 apparaissent sur la tige :

Nœud 1 : situé près de la base de la plante.

Nœud 2 : situé au-dessus du nœud 1, vers le milieu de la tige.

Ces deux nœuds deviennent visibles et facilement reconnaissables.

Pendant cette phase de croissance active, les besoins en éléments nutritifs, notamment en azote, augmentent pour soutenir l'allongement de la tige et le développement des nouvelles parties de la plante (Belaid, 1996; Merizek, 1992).

Phase d'épiaison – fécondation

Durant cette période, la formation des organes floraux se termine et la fécondation se réalise. Le nombre de fleurs fécondées pendant cette phase critique est influencé par la disponibilité en azote et par l'évapotranspiration (Clement et Prats, 1970). C'est également le moment où la graine atteint sa croissance maximale, ayant produit environ les trois quarts de sa matière sèche totale, cette croissance dépendant fortement de la nutrition minérale et de la transpiration, qui déterminent le nombre final de grains par épi.

Grossissement du grain

Cette phase correspond à la croissance de l'ovaire et se caractérise par une intense activité photosynthétique. À la fin de cette période, 40 à 50 % des réserves se sont accumulées dans le grain, qui, ayant atteint sa taille définitive, reste mou et de couleur verte. Cette étape est appelée stade du grain laiteux (Chabi et al., 1992).

Maturation du grain

La maturation du grain représente la dernière phase du cycle végétatif. Selon Belaid (1996), cette phase correspond à l'accumulation de l'amidon dans les grains. Par la suite, les grains perdent progressivement leur humidité : à 45 % d'humidité, ils sont au stade pâteux ; à 20 % d'humidité, au stade rayable à l'ongle ; et à 15–16 % d'humidité, au stade cassant, c'est-à-dire mûrs et prêts pour la récolte.

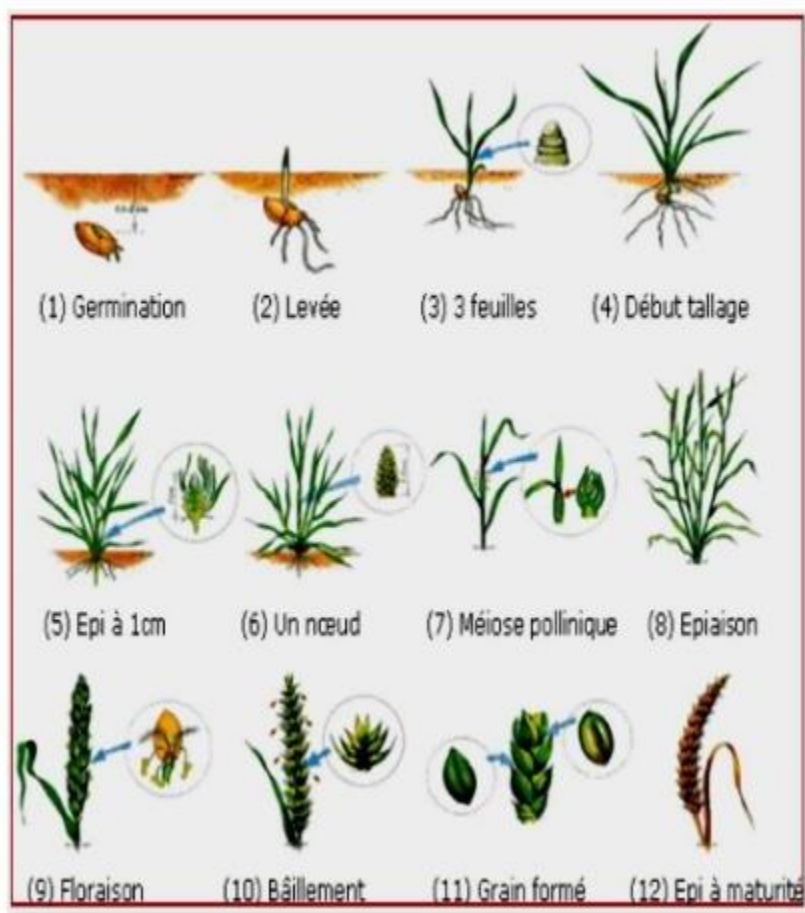


Figure 06 : Le cycle de développement du blé (Soltner, 2005).

1.7 Exigences écologiques

- **Température**

Le déroulement des différents stades de développement du blé est conditionné par la somme des températures journalières auxquelles la plante est exposée (Hamadache, 2013). Par ailleurs, la germination des céréales nécessite une température supérieure à 0 °C (Soltner, 1999).

- **Eau**

L'eau constitue un élément fondamental dans la vie des plantes cultivées. En plus de son rôle dans la photosynthèse, le transport et l'accumulation des éléments nutritifs, la division cellulaire et la régulation thermique, elle intervient de manière essentielle dans la croissance et le développement végétal (Slama et al., 2005). Tout au long du cycle végétatif, la consommation totale en eau du blé, pour un rendement supérieur à 60 qx/ha, varie entre 450 et 600 mm. La sensibilité au stress hydrique peut concerner l'ensemble du cycle de la plante, depuis le semis jusqu'à la maturité, avec une tolérance relativement plus élevée durant la phase végétative que lors de la phase reproductrice. À partir de la fin de la montaison, la plante commence à manifester une forte sensibilité aux conditions climatiques rigoureuses (Chadouli et Djane-hamed, 2015).

- **Eclairement**

L'éclairement constitue un facteur déterminant dans la croissance du blé. En effet, la réalisation du stade de début montaison nécessite une durée spécifique du jour (photopériodisme). De plus, l'intensité lumineuse ainsi que l'aération influencent directement l'efficacité de la photosynthèse, dont dépend le rendement (Soltner, 1999).

- **Sol**

Le blé préfère les sols profonds de type limoneux, argilo-calcaires ou encore argilo-siliceux, à condition qu'ils soient sains, bien drainés en hiver et dotés d'une bonne capacité d'absorption (Maachi, 2005). Le blé est sensible au calcaire et à la salinité. Un pH compris entre 6,5 et 7,5 est considéré comme optimal, car il favorise l'assimilation de l'azote, tandis qu'un pH trop bas réduit cette assimilation, ce qui entrave la croissance, en particulier celle des racines (Bendif, 2017).

1.8 Principales maladies du blé

Les maladies des céréales sont classées en fonction de la nature des symptômes qu'elles provoquent et des organes végétatifs qu'elles affectent (Aouali et Douici-Khalfi, 2009). Elles se répartissent principalement en trois catégories :

- Les maladies qui touchent le feuillage et provoquent des symptômes localisés.
- Les maladies responsables des pourritures racinaires.
- Les maladies qui affectent les épis et y provoquent divers symptômes

1.8.1 Rouilles

La rouille est l'une des maladies les plus destructrices du blé. Dans certaines régions, les épidémies peuvent provoquer des pertes pouvant atteindre 25 % (Daguenet, 1990 ; Sayoud et al., 1999). Les maladies de rouille figurent parmi les affections les plus graves et les mieux connues des céréales. Toutes les parties aériennes des plantes, des plantules aux plantes adultes, sont susceptibles d'être infectées. Les différents types de rouille peuvent être distingués selon les caractéristiques des uredospores, leur couleur et les espèces hôtes affectées (Zillinsky, 1983).

1.8.1.1 Rouille jaune

Définition

de la rouille jaune La rouille jaune du blé est causée par le champignon *Puccinia striiformis* f.sp. *Tritici* (Amrani, 2013). Cette maladie peut engendrer des pertes significatives dans les cultures de blé. Son développement est fortement influencé par les conditions climatiques, se manifestant particulièrement au printemps lorsque le climat est frais, nuageux et venteux (Moreau, 2011).



Figure 07 : La rouille jaune *Puccinia striiformis* sur blé dur (<https://phyteis.fr/maladie/rouille-jaune-2/>)

1.8.1.2 Rouille brune

Définition

L'agent responsable de cette maladie est *Puccinia recondita* f.sp. *tritici*. Elle se manifeste généralement pendant et après la floraison (avril–mai) (Amrani, 2013) et se développe dans une plage de températures comprise entre 10° et 30°.



Figure 08 : La rouille brune *Puccinia recondita* f.sp. tritici (<https://www.agro.basf.co.ma/fr/Services/Pest-Guide/Maladies-fongiques/Maladie-de-la-feuille/Rouille-brune/>)

1.8.1.3 Rouille noire

La rouille noire : l'agent causal est *Puccinia graminis* f.sp. tritici, caractérisée par des pustules plus longues que celles de la rouille brune, de couleur rouge brique à brun foncé. *Puccinia graminis* f.sp. tritici se développe sur les feuilles, les tiges et les épis (Aouali et Douici-Khalfi, 2009 ; Ezzahiri, 2001).

Selon Belaid (1996), la rouille noire est favorisée par l'humidité et la chaleur. Les variétés Mahons, Hedba3 et Bidi 17 sont sensibles à cette maladie, tandis que les blés à paille courte tels que Strampelli Inia, Siete-Cerros et Saba sont résistants. L'hôte alternatif est *Berberis vulgaris* (Aouali et Douici-Khalfi, 2009).



Figure 09 : La rouille noire *Puccinia graminis* f.sp. tritici (<https://plantix.net/fr/library/plant-diseases/100060/wheat-stem-rust/>)

1.8.2 Septorioses

Il s'agit d'une maladie foliaire d'origine cryptogamique, présente dans toutes les régions productrices de blé. Elle contribue à la destruction d'environ 2 % de la production mondiale de blé (Weise, 1987) et entraîne chaque année la perte de millions de tonnes de grains ainsi que des milliards de dollars (Eyal et al., 1987).



Figure 10 : Symptômes de Septoriose sur la feuille de blé (<https://www.agrifind.fr/alertes/ble/ble-septoriose/>)

1.8.3 Oïdium

Le blé reste sujet à l' Oïdium tout au long de sa culture, surtout les variétés sensibles, et est présent dans les pays du Maghreb. Sa gravité varie selon les conditions environnementales, augmentant en cas d'humidité élevée et de températures douces (Sayoud et al., 1999 ; Masson, 2012 ; Merouche, 2015).

Chapitre 02 : Généralités sur l'allélopathie

2.1 Définition de l'allélopathie

L'allélopathie (allelopathy), telle que définie par Rice (1984), est : «Tout effet direct ou indirect, positif ou négatif, d'une plante sur une autre à travers la production de composés chimiques libérés dans l'environnement».

Allélopathie, ce terme a été utilisé pour la première fois par **Molisch en 1937**. Il est dérivé du grec : « allelo » signifiant *l'autre* et « patheia » signifiant *la souffrance*, c'est-à-dire la capacité d'une plante à inhiber la croissance d'une autre par la production et la libération de substances chimiques toxiques dans l'environnement (Heisey, 1997).

L'allélopathie désigne les interactions biologiques réciproques entre espèces végétales, incluant également leur relation avec les micro-organismes (Molisch, 1937). Ce terme est généralement employé pour englober à la fois les effets de stimulation et les effets d'inhibition qu'une plante peut exercer sur une autre (Rice, 1984).

En 1996, la société internationale d'allélopathie (The International Allelopathy Society, IAS) définit l'allelopathie comme suit : « Tout processus impliquant des métabolites secondaires produits par les plantes, micro-organismes, virus et champignons qui ont une incidence sur la croissance et le développement de l'agriculture et les systèmes biologiques (à l'exclusion des animaux), y compris les effets positifs et négatifs » (Torres et al., 1996).

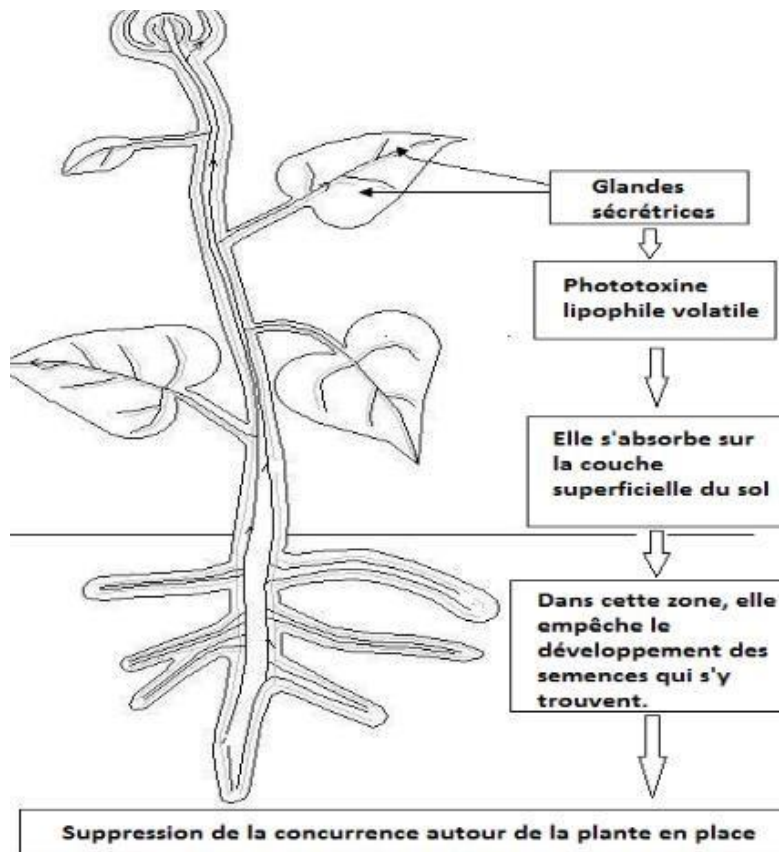


Figure 11 : Processus théorique du phénomène d'allélopathie (TISSUT et al., 2006).

2.2 Métabolites secondaires impliqués dans le phénomène allélopathique

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 la 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).

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 : les allélochimiques des feuilles de noyer noir, *Juglans nigra* L., lavées par la pluie, peuvent ainsi par exemple inhiber la croissance de la végétation sous l'arbre (Bode, 1958).
- 2- L'émission de composés volatils à partir des parties vertes de la plante
- 3- La décomposition des résidus végétaux, comme le seigle utilisé en paillage, contribue à l'ombrage, au maintien de l'humidité du sol et à l'inhibition des mauvaises herbes grâce à la libération de composés phytotoxiques (Barnes and Putnam, 1986).
- 4- Les exsudats racinaires : les exsudats racinaires du sorgho contiennent du sorgoleone qui inhibe la croissance de différentes plantes (Einhelligand, 1992).

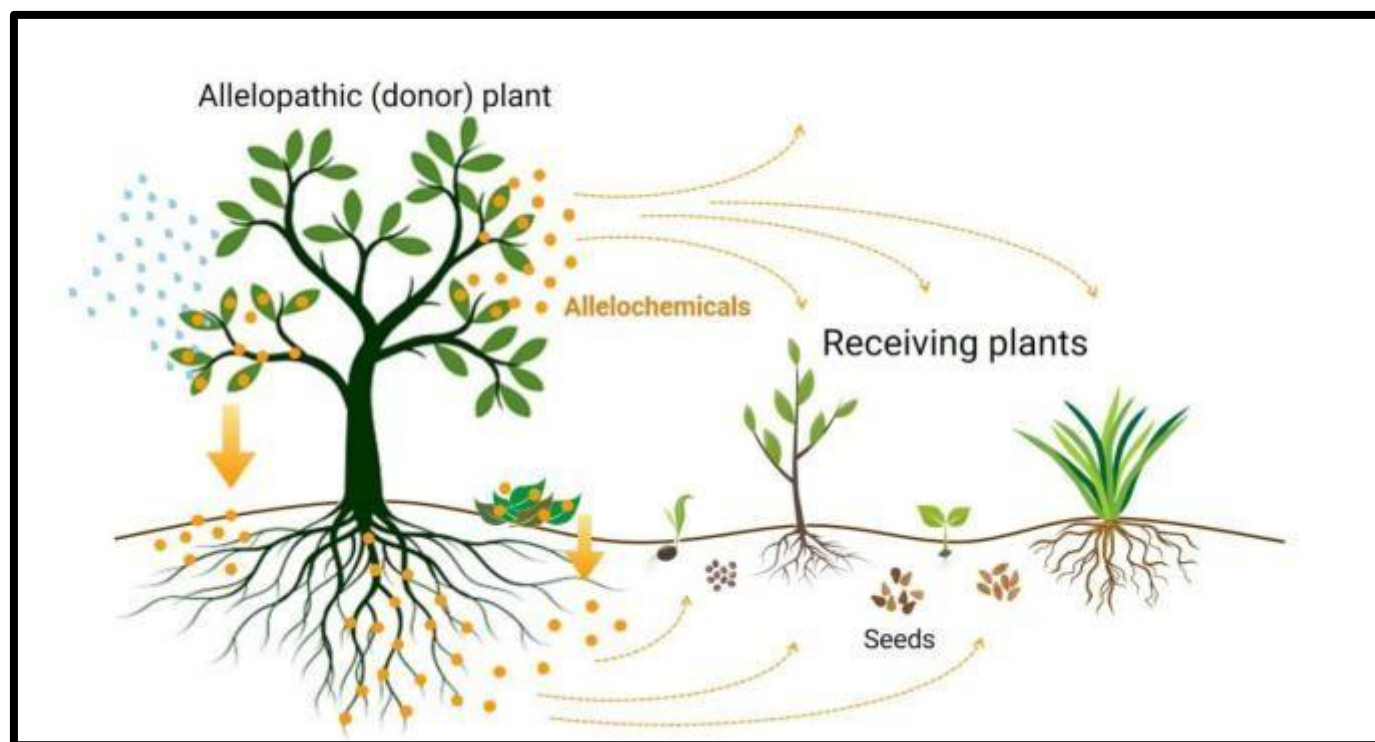


Figure 12 : Modes de libération des allélochimiques dans l'environnement.(
<https://fr.cropprotection.net/info/plants-fighting-other-plants-what-is-allelopa-60010612.html>)

2.3 Type de composés allélopathiques

2.3.1 Composés azotés

2.3.1.1 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).

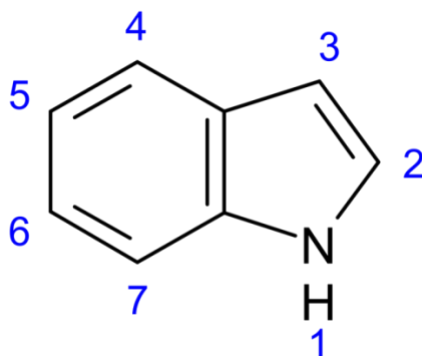


Figure 13 : Indole alkaloids (https://en.wikipedia.org/wiki/Indole_alkaloid)

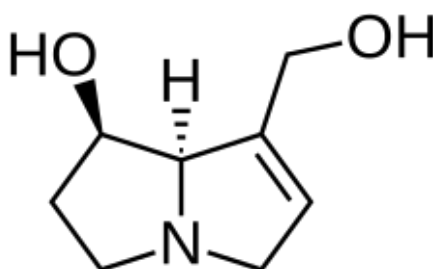


Figure 14 : Pyrrolizidine alkaloid (https://en.wikipedia.org/wiki/Pyrrolizidine_alkaloid)

2.3.2 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).

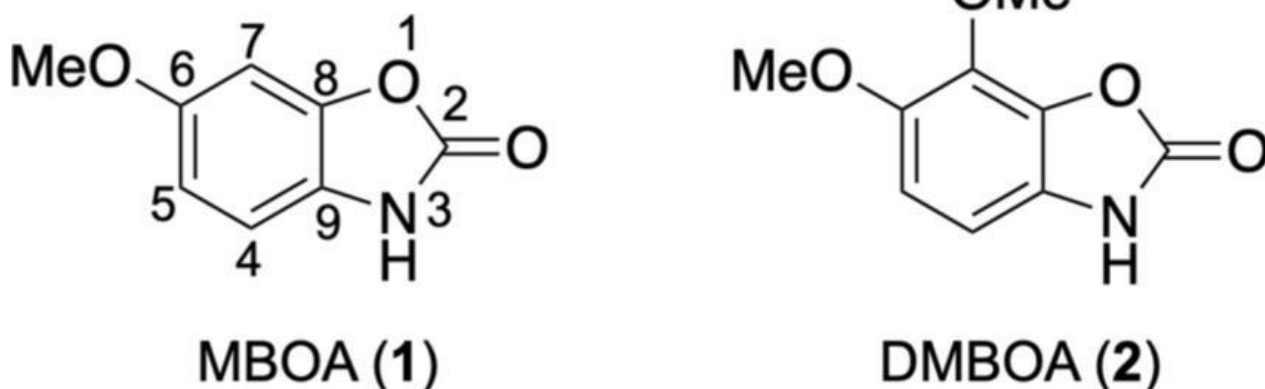


Figure 15 : Structures chimiques de la 6-méthoxy-2(3H)-benzoxazolone (MBOA) et de la 6,7-diméthoxy-2(3H)-benzoxazolone (DMBOA (https://www.researchgate.net/figure/Chemical-structures-of-6-methoxy-23H-benzoxazolone-MBOA-1-and_fig2_370261773)

2.3.3 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).

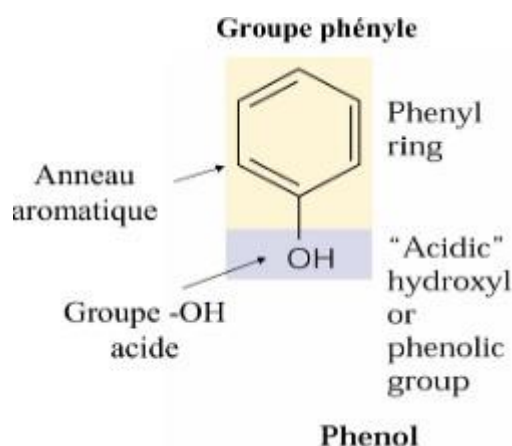


Figure 16 : Structure des composés phénoliques (BUACHANAN, 2006).

2.3.4 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, stéroïdes 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).

2.4 Facteurs influençant la production et l'activité des allélochimiques

Les facteurs abiotiques (température, lumière et sol) et biotiques (cycle biologique, compétition, agents pathogènes, organismes nuisibles) peuvent influencer la production d'allélochimiques par les plantes (Rivoal et al., 2011).

2.4.1 Facteurs abiotiques

- **Facteurs du sol**

L'allélopathie est un phénomène étroitement lié aux conditions environnementales des plantes (Blanco, 2007). Les recherches montrent que les plantes cultivées dans des sols pauvres en éléments nutritifs produisent généralement plus de composés allélochimiques que celles qui poussent dans des milieux riches. Par exemple, des individus de **tournesol (*Helianthus annuus* L.)** cultivés en condition de carence nutritive se sont révélés plus efficaces pour inhiber la germination de l'***Amaranthus retroflexus* L.** que ceux cultivés dans un sol riche (Hall et al., 1982).

Les propriétés physico-chimiques du sol jouent un rôle déterminant dans la persistance et l'efficacité des composés allélochimiques. L'un des processus majeurs est l'équilibre adsorption–désorption, dépendant de facteurs tels que le pH, la teneur en matière organique, l'humidité et la texture du sol (Inderjit et al., 2000 ; Kobayashi, 2004).

L'apport de nutriments dans un sol pauvre peut parfois réduire l'effet allélopathique (Kalburtji et al., 2001). Le pH influence fortement la biodiversité microbienne et les réactions chimiques du sol ; ainsi, l'activité allélopathique varie selon ses niveaux, et la phytotoxicité des composés augmente nettement lorsque le pH diminue (Norouzi et al., 2015).

Par ailleurs, les plantes sources cultivées en sols secs présentent une activité allélopathique plus marquée que celles cultivées en sols bien irrigués (Pedrol et al., 2006). Enfin, la présence d'herbicides, de pesticides et de métaux lourds dans le sol affecte considérablement la production des composés allélochimiques (Lehman et al., 1994 ; Reigosa et al., 1999).

- **Facteurs climatiques**

Les stress abiotiques influencent fortement les propriétés allélopathiques. La lumière, selon sa longueur d'onde, son intensité et la photopériode, modifie l'activité des plantes sources (Koeppe et al., 1970 ; Melkania, 1992 ; Reigosa et al., 1999 ; Mallik, 2002).

De plus, les stress hydriques et thermiques favorisent une production accrue de composés allélochimiques et peuvent intensifier leurs effets phytotoxiques (Einhellig & Eckrich, 1984). Les températures élevées, en particulier, accentuent l'activité allélopathique soit en rendant les molécules plus toxiques sous stress thermique, soit en augmentant la sensibilité des plantes cibles (Einhellig, 1996 ; Chaves et al., 2002 ; Wang et al., 2011).

- **Facteur « feux de forêts »**

Les incendies de forêt fréquents stimulent la production d'allélochimiques par les plantes sources, soit en raison des modifications physiques induites par le feu, soit comme une stratégie visant à limiter la prolifération des plantes combustibles voisines (Williamson et al., 1992). Toutefois, le feu constitue également un facteur important de réduction des concentrations d'allélochimiques dans le sol forestier, par la combustion de l'humus et de la litière riches en ces composés (Lovett, 1986 ; Mallik, 2003).

2.4.2 Facteurs biotiques

La production d'allélochimiques est déterminée génétiquement, ce qui explique les différences significatives de teneur observées entre les génotypes végétaux. Elle varie également selon le stade de développement et l'organe concerné de la plante (Fernandez et al., 2009).

La sensibilité des plantes cibles dépend de la source des composés allélochimiques et du stade de croissance. Par exemple, l'espèce végétale qui se développe à proximité d'*Acacia dealbata* (espèce envahissante en Europe) est particulièrement affectée par les composés produits au moment de la floraison.

La tolérance ou la sensibilité des plantes aux allélochimiques est étroitement liée à leurs caractéristiques physiologiques et biochimiques (Kobayashi, 2004).

Par ailleurs, des différences de réponse ont été observées en fonction de l'espèce, des variations génétiques intraspécifiques, des organes végétaux et des stades de croissance (Rietveld et al., 1983 ; Cheng & Miller, 1995 ; Miller, 1996 ; Wu et al., 2015 ; Inderjit et al., 2011). À titre d'exemple, Jose et Gillespie (1998) ont montré que la juglone, reconnue pour ses propriétés allélopathiques, inhibe davantage la croissance de *Glycine max* L. Merr. que celle de *Zea mays* L. De même, Yamamoto (1995) a observé que la coumarine freine la croissance de *Zoysia japonica* Steud. tout en stimulant celle de *Anthoxanthum odoratum* L.

Ainsi, la réponse des espèces végétales aux allélochimiques peut varier considérablement et demeure souvent spécifique à l'espèce considérée (Inderjit et al., 2011).

2.5 Facteurs influençant l'activité des composés allélopathiques

Selon THOMSON (1985), les principaux facteurs qui influencent l'activité des composés allélochimiques sont :

- **Type de sol** : L'efficacité des composés allélopathiques diminue lorsqu'ils sont adsorbés par les argiles ou la matière organique, tandis qu'ils restent totalement disponibles dans les sols très sableux. L'amendement calcaire peut également lier ces composés et réduire leur activité.
- **Eau** : L'apport en eau dilue les substances et diminue leur activité (rôle du drainage). Selon SONI et VASISTHA (1999), les effets sont moindres lorsque les substances toxiques sont lessivées, comme dans les régions à fortes précipitations. Ainsi, les effets allélopathiques nuisent davantage à la production herbacée dans les régions semi-arides que dans d'autres régions.
- **Substances actives** : La durée de vie des composés (décomposition, migration) ou la synergie entre plusieurs composés influence leur activité.

2.6 Exemples d'allélopathie

2.6.1 Allélopathie chez les adventices :

Les plantes sauvages ou cultivées possédant des traits allélopathiques peuvent produire des composés chimiques qui inhibent la croissance des autres plantes. Ces traits peuvent être transférés aux cultures via des croisements traditionnels ou la modification génétique, entraînant la production et la libération de composés allélochimiques dans le sol. Une plante allélopathique peut aussi être cultivée à côté d'une variété insensible pour la protéger des mauvaises herbes. Environ 6 700 espèces, sur près de 300 000 plantes à fleurs, sont considérées comme des adventices dans le monde (HOQUE et al., 2003).

2.6.2 Allélopathie chez certaines graminées :

KIM (2004) a indiqué que l'utilisation des résidus de cultures telles que l'orge, le blé et le seigle permet de tirer parti de leur potentiel allélopathique :

- Les résidus de seigle ont considérablement réduit la biomasse des mauvaises herbes.
- L'orge, utilisée comme culture d'étouffement, peut réussir à éliminer les mauvaises herbes car elle empêche la germination des graines et la croissance des espèces indésirables à côté de la culture cultivée.
- Le blé semble également offrir un potentiel allélopathique intéressant en réprimant la germination de nombreuses graines d'adventices et la croissance des jeunes plantes de mauvaises herbes.

An orange scroll banner with a dark orange border and a gradient fill. It has a vertical strip on the left side and a small circular tab on the right side.

Partie expérimentale

Matériels et méthodes

1.1 Lieu de réalisation de l'expérimentation

L'expérimentation a été réalisée au niveau du laboratoire de biologie végétale de la faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Chadli Bendjedid d'El Tarf.

Dans cette expérimentation, nous avons utilisé les matériel présenté dans le tableau 04 :

Les verreries	Les appareils	Les produits
Eprouvette graduée	Balance de précision	Eau distillée
Boit de pétrie	Broyeurs	
Papier filtre et papier alimentaire	Etuve	
pissette		
bécher		
Pipette 10 ml		

1.2 Matériel végétal

1.2.1 Echantillonnage

Dans le cadre de cette étude, cinq variétés de céréales ont été soigneusement sélectionnées et obtenues auprès de la Coopérative des Céréales et des Légumineuses Sèches (CCLS) de la wilaya d'El Tarf : quatre variétés améliorées de blé dur — Vitron, Simeto, Ammar 06 et Oued El Berd — ainsi qu'une variété locale d'orge, connue sous le nom de Fouar.



Figure 17 : les variétés utilisées

Principales caractéristiques des différentes variétés de blé dur cultivées en Algérie et utilisées dans cette étude (Boufenar-Zaghouane et Zaghouane, 2006).Tableau 05

Variétés	Origine	Principales caractéristiques
Simeto	Italie	Caractéristiques variétales : Semi-précoce de type hiver à tallage fort avec un rendement en grain optimal de 50qx/ha et de poids de mille grain moyen. -Tolérante au froid et sensible à la sécheresse. - Tolérante à la verse. Caractéristiques technologiques : Assez résistante à la moucheture et de qualité très bonne
Ammar 06	Algérie	Caractéristiques variétales : - Précocité de type hiver à tallage fort avec un rendement en grain optimal de 50qx/ha et un poids de mille grain élevé, -Résistante au mitadinage. Caractéristiques technologiques : - La qualité de la semoule est bonne
Vitron	Espagne	Caractéristiques variétales : -Semi-précoce de type hiver à tallage moyen avec un rendement en grain optimal de 60qx/ha et de poids de mille grain élevé - Résistante au froid et sensible à la sécheresse - Tolérante à la verse Caractéristiques technologique : -Assez résistante à la moucheture et au mitadinage
Oude el-bered	Algérie	Caractéristiques variétales : - Précocité de type hiver à tallage fort avec un rendement en grain optimal : 52,83 qx/ha et de poids de mille grain élevé, -Tolérante au froid et à la sécheresse, -Résistante à la verse. Caractéristiques technologiques : - La qualité de la semoule est bonne
Orge (Fouar)	Algérie	Caractéristiques variétales : -Précoce de type hiver avec un tallage fort. - Rendement en grain optimal : $\approx 52,8$ qx/ha. -Poids de mille grains élevé. -Tolérante au froid et à la sécheresse. -Résistante à la verse. Caractéristiques technologiques :

		- Bonne qualité de la semoule.
--	--	--------------------------------

1.3 Première partie

1.3.1 Test du pouvoir germinatif

Afin de garantir la qualité des semences avant la plantation, un test du pouvoir germinatif a été réalisé. Ce test évalue le pourcentage de graines capables de germer dans des conditions optimales. L'objectif est de vérifier leur viabilité et de s'assurer qu'elles sont aptes à être utilisées dans le cadre de l'expérience

1.3.1.1 Méthode

Avant de procéder à l'expérimentation, nous avons réalisé un test du pouvoir germinatif sur les quatre variétés de blé dur et la variété d'orge utilisées, afin de vérifier la viabilité des graines et leur aptitude à être utilisées dans le cadre de l'expérience. Nous avons utilisé cinq boîtes de Petri, chacune contenant un papier filtre sur lequel nous avons disposé 10 graines, à raison d'une variété par boîte. Ensuite, nous avons ajouté à chaque boîte un volume précis de 10 ml d'eau distillée à l'aide d'une pipette.

Les boîtes ont été soigneusement fermées et scellées avec du papier film afin de maintenir l'humidité, puis placées dans l'obscurité pour assurer des conditions optimales de germination. Nous avons observé les graines après cinq jours, puis de nouveau après sept jours, afin d'enregistrer le début de la germination et de suivre avec précision la croissance des plantules.



Figure 18 : Test de germination

1.3.1.2 Germination



Figure 19 : germination du blé

1.3.2 Mise en place de la culture

Le 13 mars 2025, au laboratoire de biologie végétale de Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie (SNV) huit (8) pots ont été préparés contenant un substrat riche en matière organique.

Après préparation du substrat, les graines des variétés de blé ont été semées.



Figure20 : Préparation du substrat et plantation



Figure 21: Développement des plantules de blé



Figure 22: Développement des plantules de blé Le 3 avril 2025

1.3.3 La récolte des plants de blé

Nous avons récolté manuellement les plantes de blé au stade trois feuilles, en veillant à séparer chaque variété afin d'éviter toute confusion et de préserver l'identité variétale pour les analyses ultérieures. Ensuite, nous les avons soigneusement lavées à l'eau distillée. .



Figure 23: La récolte des plants de blé

1.3.4 Séchage du blé

La partie aérienne et racinaire du blé a été séchée dans une étuve à température constante pendant 72 heures, afin d'assurer une déshydratation complète tout en préservant la qualité des échantillons. Cette méthode a été choisie pour éviter la dégradation ou l'oxydation des composés bioactifs pendant le processus de séchage



Figure 24 : Séchage du blé

1.3.5 Broyage

Les différentes parties du blé (tiges, feuilles, racines) ont été broyées à l'aide d'un broyeur électrique. Les échantillons obtenus ont ensuite été conservés dans des sacs en papier en les maintenant dans un endroit sec et à l'abri de la lumière afin de préserver leur qualité.



Figure 25: Broyage du blé

Après broyage, les poids de la partie inférieure (racines) et de la partie aérienne (tiges et feuilles) de chaque espèce ont été déterminés à l'aide d'une balance de précision. Cette méthode garantit des mesures exactes.

1.4 Deuxième partie

1.4.1 Préparation des extraits aqueux

L'extraction a été réalisée selon la procédure d'extraction aqueuse décrite par Ben-Hammouda et al., (1995)

La macération se fait comme suite :

Variété Oued lberd : 2 g Dans un bécher, 20 mL d'eau distillée sont ajoutés à 2g de l'échantillon pulvérisé, puis le mélange est homogénéisé.

Variété Simeto : 2,6 g Dans un bécher, 26 mL d'eau distillée sont ajoutés à 2,6 g de l'échantillon pulvérisé, puis le mélange est homogénéisé.

Variété vitron : Dans un bécher, 30 mL d'eau distillée sont ajoutés à 3 g de l'échantillon pulvérisé, puis le mélange est homogénéisé.

Variété Ammar 06 : Dans un bécher, 14 mL d'eau distillée sont ajoutés à 1,4g de l'échantillon pulvérisé, puis le mélange est homogénéisé.

- Nous avons noté sur chaque bécher le nom de variété, les échantillons ont été conservés dans un endroit sombre pendant deux jours pour libérer les composés allélochimiques



Figure26 : Préparation des extraits aqueux

Après deux jours, nous avons retiré les béciers et ajouté de l'eau distillée à chacun d'eux jusqu'à obtenir un volume total de 150 ml. Par exemple, pour l'échantillon de la variété Vitron, nous avons ajouté 120 ml d'eau distillée afin d'obtenir un volume final de 150 ml.

- Filtration du contenu des béciers en utilisant du papier filtre.



Figure27 : filtration des extrait

1. 4.2 Préparation de l'Essai de Germination

Nous avons utilisé soixante-quinze (75) boîtes de Petri, dont quinze (15) ont servi de témoins, tandis que les soixante (60) restantes ont été utilisées pour tester quatre extraits végétaux.

Pour chaque extrait, quinze (15) boîtes de Petri ont été utilisées et réparties entre les quatre variétés de blé dur testées : Vitron, Simeto, Oued El Berd et Ammar 06, ainsi que la variété d'orge Fouar. Chaque variété a été représentée par trois (3) boîtes de Petri. Dans chaque boîte, nous avons déposé dix (10) graines sur du papier filtre, puis nous les avons imbibées avec cinq (5) mL de l'extrait végétal préparé. Les boîtes de Petri ont ensuite été placées dans l'obscurité totale pendant dix (10) jours.

Durant cette période, nous avons compté quotidiennement le nombre de graines germées afin de suivre l'évolution de la germination.

Nous avons également réalisé une expérience témoin pour chaque variété étudiée, en utilisant trois (3) boîtes de Petri par variété, soit un total de quinze (15) boîtes témoins. Nous avons disposé les graines sur du papier filtre et les avons imbibées avec cinq (5) mL d'eau distillée par boîte, à la place des extraits végétaux.



Figure28 : Préparation de l'Essai de Germination

1.4.3 Paramètres étudiés

Nous avons retenu trois paramètres pour étudier l'effet allélopathique, à savoir selon Dali, A., Touiri, M., Abbad, M., & Snoussi, S. A. (2023).

- Taux de germination, calculé comme suit : nombre de graines germées /nombre total de graines
- La cinétique de germination des graines (mesure un jour sur deux du nombre de graines germées).
- La longueur moyenne du coléoptile (cm).
- La longueur moyenne de la radicule (cm)

1.4.4 Analyses statistiques

L'expérimentation a suivi une randomisation totale.

Une analyse de la variance (ANOVA) à deux facteurs a été effectuée pour voir l'effet de l'extrait et de la variété sur les paramètres mesurés.

L'analyse de la variance était effectuée avec le logiciel R version 4.2.2.

Les graphes sont réalisés avec Microsoft office Excel.

Résultats et discussion

2.1 Effet de l'interaction extrait-variété sur le taux de germination

L'analyse de la variance a révélé un effet hautement significatif des extraits sur la variable étudiée ($F(4,50) = 19.72$, $p < 0.001$), ainsi qu'un effet hautement significatif de la variété ($F(4,50) = 15.07$, $p < 0.001$). En revanche, l'interaction *extrait* $\times$ *variété* n'était pas significative ($F(16,50) = 1.54$, $p = 0.125$), indiquant que l'effet des extraits est globalement similaire quelle que soit la variété. Ces résultats suggèrent que les extraits et les variétés influencent indépendamment la variable mesurée, sans interaction notable entre les deux facteurs. (Tableau 06).

Source de variation	ddl	SC	CM	F	Pr (>F)	Degré de signification
Extrait	4	254,48	63,62	19,717	8.57e-10	***
Variété	4	194,48	48,62	15,068	3.79e-08	***
Extrait $\times$ Variété	16	79,25	4,95	1,535	0.125	
Résiduels	50	161,33	3,23			

2.2 Variation du taux de germination en fonction de la variété

La figure illustre la moyenne de germination des différentes variétés testées. On observe que **Amar6** présente le taux de germination le plus élevé (≈ 6.8), suivie de **Vitron** (≈ 6.6) et **O.lbered** (≈ 6.4). **Simeto** affiche une germination légèrement inférieure (≈ 5.9), tandis que l'**Orge** se distingue nettement par un taux beaucoup plus faible (≈ 2.5).

La comparaison des moyennes à l'aide du test LSD a révélé 2 groupes homogènes.

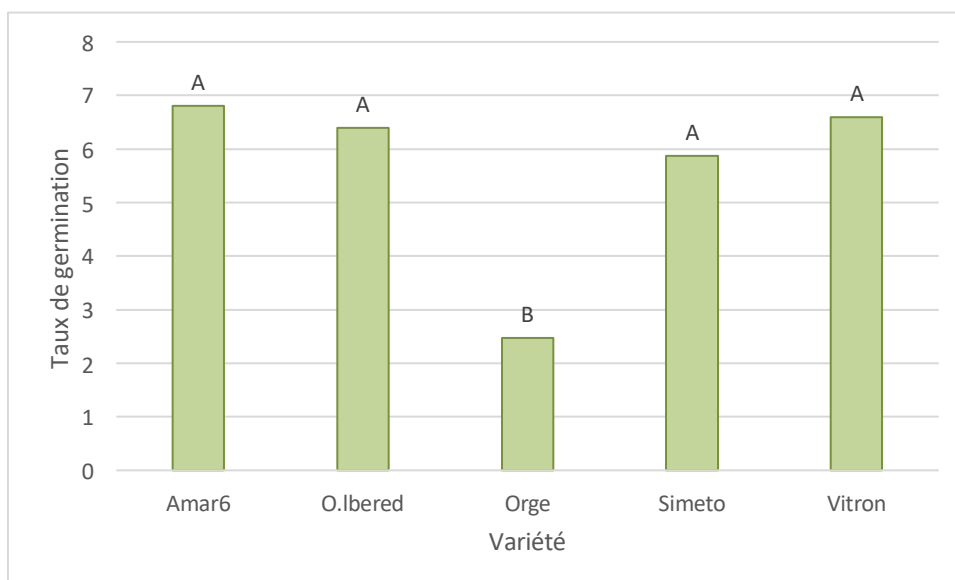


Figure29 : Variation du taux de germination en fonction des variétés

2.3 Variation de la germination en fonction des extraits

La figure illustre la moyenne de germination en fonction des extraits, où on remarque une forte variation de la germination selon les extraits. Le témoins T présente la germination la plus élevée, significativement supérieure aux autres. Amar6, O.lbered et Simeto se situent dans un groupe intermédiaire, sans différences marquées entre eux. En revanche, Vitron se distingue par la germination la plus faible.

La comparaison des moyennes à l'aide du test LSD a révélé deux groupes homogènes.

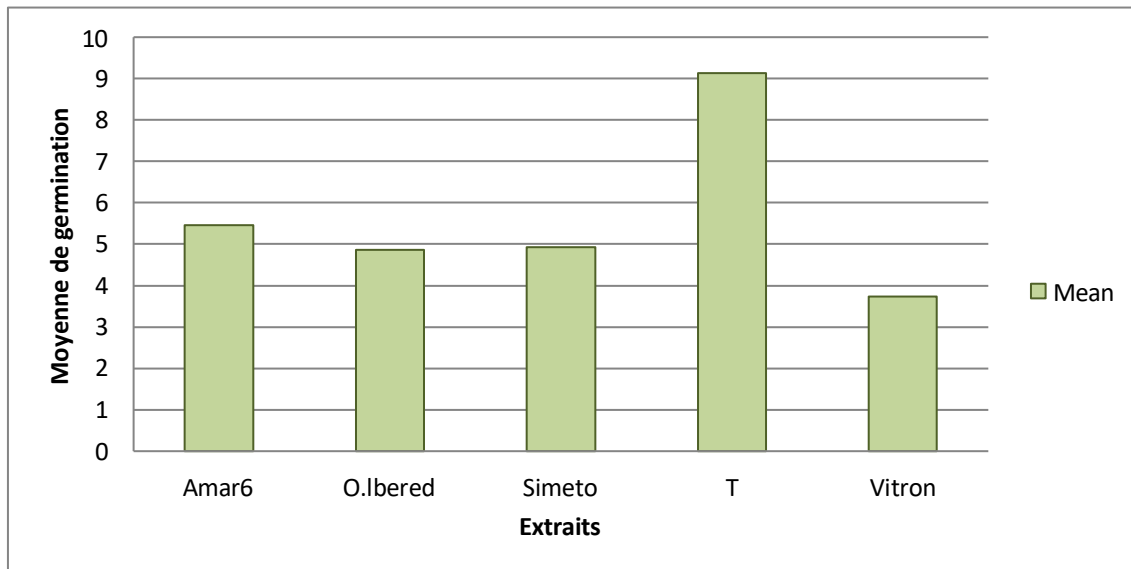


Figure 30: Variation du taux de germination en fonction des extraits.

2.4 Cinétique de germination

Afin de déterminer l'influence des extraits aqueux sur la germination, le suivi de la cinétique de germination a été réalisé pendant dix jours. Ce suivi a permis de comparer la vitesse et le pourcentage de germination des graines des quatre variétés soumises à différents extraits (Vitron, Siméto, O. Ibered, Amar 6) ainsi qu'au témoin. Les résultats sont présentés à la figure ci-dessous.

Globalement, le témoin montre une germination rapide et quasi complète pour l'ensemble des variétés, avec des taux dépassant 90 % dès le sixième jour. En revanche, la présence des extraits aqueux a entraîné une diminution du taux de germination, dont l'intensité varie selon la combinaison variété/extrait.

L'extrait de *Vitron* a fortement inhibé la germination de l'orge, dont le taux n'a pas dépassé 10 %. En revanche, les variétés de blé ont mieux toléré l'extrait : Vitron et Amar 6 ont présenté les taux de germination les plus élevés (environ 50 %), suivies de Siméto (environ 45 %) et O. Ibered (environ 40 %).

L'extrait de *Siméto* a peu influencé la germination des variétés de blé, dont les taux atteignent 60 à 70 %. Amar 6 présente la meilleure germination (~70 %), suivie de Vitron, Siméto et O. Ibered. L'orge, en revanche, reste faiblement germée (~10 %).

Sous l'effet de l'extrait de *O. ibered*, La variété Vitron a présenté la germination la plus élevée et la plus rapide (77 %), suivie de Amar 6, *O. ibered* et Siméto. En revanche, l'orge demeure la moins performante, avec un taux de germination très faible d'environ 10 %.

Sous l'effet de l'extrait de Amar 6, la germination des graines d'orge a été fortement inhibée, avec un taux ne dépassant pas 4 %. En revanche, la vitesse de germination la plus rapide et le taux le plus élevé ont été enregistrés chez la variété *O. ibered*, suivie respectivement de Vitron, Amar 6 et Siméto.

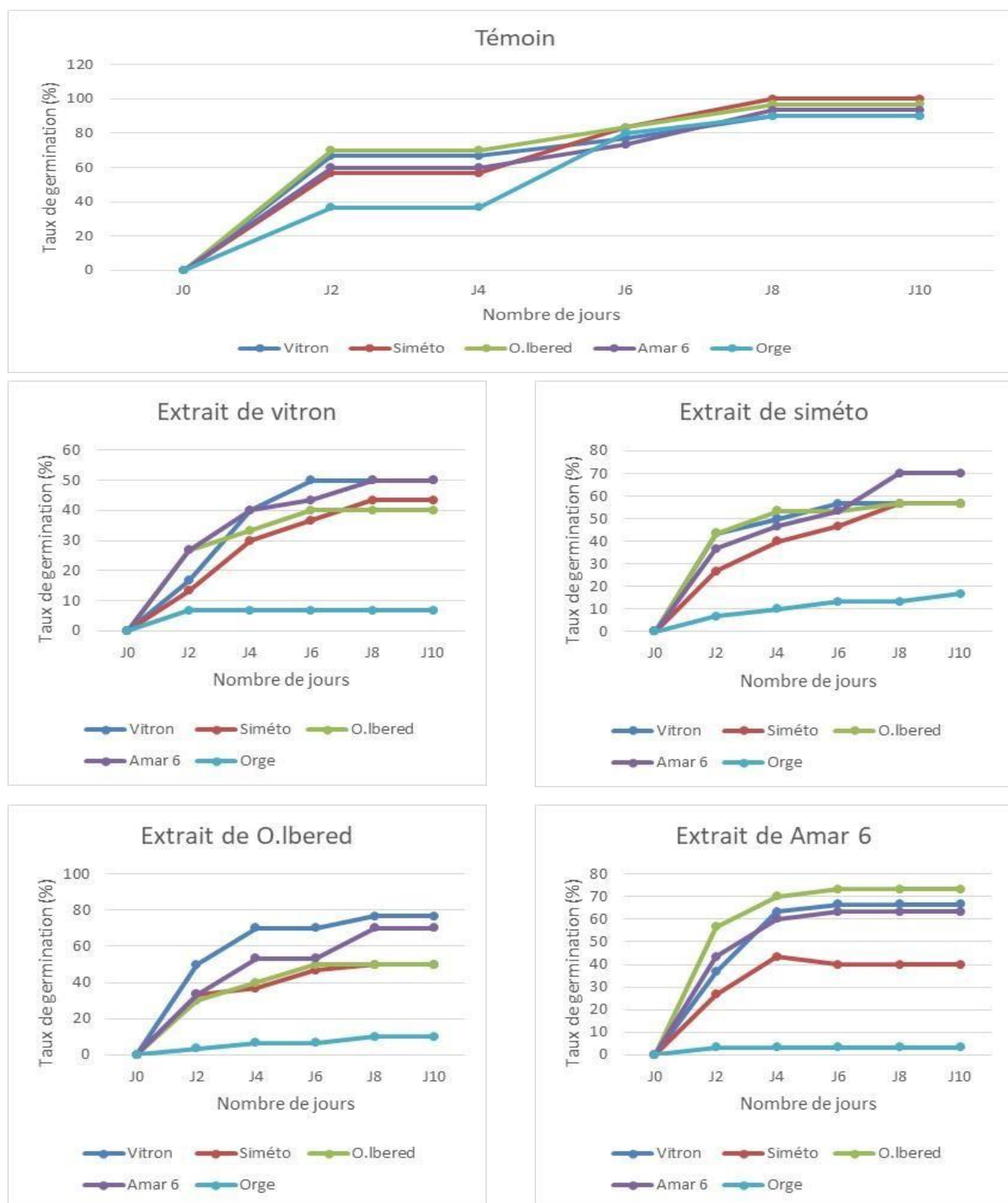


Figure31: Cinétique de germination de quatre variétés de blé en présence de divers extraits aqueux et du témoin

2.5 Effet de l'interaction extrait-variété sur la longueur de la racine

L'analyse de la variance (ANOVA) montre que l'interaction entre l'extrait et la variété est significative ($F_{16,725} = 2.741$, $p = 0.000281$), indiquant que l'effet des extraits sur la longueur de la racine dépend de la variété et inversement. Les effets principaux des extraits et des variétés sont également significatifs, mais leur interprétation doit tenir compte de cette interaction. (Tableau07).

Source de variation	Df	Somme des carrés (SS)	Carré moyen (MS)	F value	Pr(>F)	Signification
Extrait	4	9849	2462.3	49.526	< 2e-16	***
Variété	4	2814	703.6	14.152	3.98e-11	***
Extrait × Variété	16	2180	136.3	2.741	0.000281	***
Résiduels	725	36044	49.7			

Afin de comparer les effets des différentes combinaisons d'extraits végétaux sur la longueur des racines, un test de Tukey HSD a été réalisé. Les résultats ont révélé l'existence de différences significatives entre plusieurs couples de traitements, indiquant des interactions allélopathiques variables selon les variétés concernées.

Concernant la longueur des racines, les principales différences significatives observées sont les suivantes :

- La combinaison Amar6 : Orge – Amar6 : Amar6 ($p = 0.0056$) montre que l'extrait de la variété *Amar6* exerce un effet inhibiteur sur la croissance racinaire de l'orge, comparativement à son effet sur sa propre variété.
- De même, la combinaison T : Orge – Amar6 : Orge ($p = 0.0000$) confirme l'effet inhibiteur marqué de l'extrait d'*Amar6* sur l'orge.
- La combinaison O. lbered : Orge – O. lbered : Amar6 ($p = 0.0027$) indique que l'extrait de la variété *O. lbered* inhibe la croissance racinaire de l'orge, tandis que la variété *Amar6* y est moins sensible.
- Pour la combinaison Vitron : O. lbered – Amar6 : O. lbered ($p = 0.0003$), les racines d'*O. lbered* apparaissent plus développées avec l'extrait d'*Amar6* qu'avec celui de *Vitron*.
- La comparaison Amar6 : Orge – Amar6 : O. lbered ($p = 0.00001$) révèle que l'extrait d'*Amar6* réduit significativement la longueur des racines de l'orge par rapport à celles d'*O. lbered*.
- La combinaison Vitron : O. lbered – T : O. lbered ($p = 0.0000$) met en évidence un effet inhibiteur de l'extrait de *Vitron* sur la croissance racinaire de *O. lbered*.
- Pour O. lbered : Vitron – Vitron : O. lbered ($p = 0.0272$), la variété *O. lbered* se montre plus sensible à l'extrait de *Vitron* que l'inverse, suggérant une directionnalité dans l'interaction allélopathique : l'effet inhibiteur de *Vitron* sur *O. lbered* est plus marqué que celui de *O. lbered* sur *Vitron*.
- La combinaison Amar6 : Simeto – Amar6 : Orge ($p = 0.0000$) indique que l'extrait d'*Amar6* stimule significativement le développement racinaire de *Simeto* comparativement à celui de l'orge.

- Pour *O. lbered* : Vitron – *O. lbered* : Orge ($p = 0.0103$), l'extrait d'*O. lbered* favorise significativement le développement racinaire de *Vitron* par rapport à celui de l'orge.
- La combinaison Vitron : Orge – T : Orge ($p = 0.0000$) montre un effet inhibiteur de *Vitron* sur l'orge.
- Pour la combinaison Simeto : Simeto – Amar6 : Simeto ($p = 0.0218$), les racines de *Simeto* traitées par son propre extrait sont significativement plus courtes que celles traitées avec l'extrait d'*Amar6*, indiquant une autotoxicité de la variété *Simeto*.
- De même, la combinaison T : Simeto – Simeto : Simeto ($p = 0.00003$) confirme cet effet autoinhibiteur marqué.
- La combinaison T : Simeto – *O. lbered* : Simeto ($p = 0.0007$) montre que l'extrait d'*O. lbered* inhibe fortement la croissance racinaire de *Simeto*.
- Pour la combinaison Vitron : Simeto – T : Simeto ($p = 0.0000$), les racines de *Simeto* exposées à l'extrait de *Vitron* sont également significativement plus courtes que celles du témoin, confirmant un effet inhibiteur marqué.
- Enfin, la combinaison T : Orge – *O. lbered* : Orge ($p = 0.0000$) et T : Orge – Simeto : Orge ($p = 0.0000014$) indiquent des effets inhibiteurs prononcés de *O. lbered* et de *Simeto* sur l'orge.

Dans l'ensemble, tous les extraits testés ont exercé un effet inhibiteur sur la croissance racinaire de l'orge, tandis que le témoin a présenté un effet stimulateur sur l'ensemble des variétés étudiées.

2.6 Effet de l'interaction extrait-variété sur la longueur du coléoptile

L'analyse de la variance (ANOVA) montre que l'interaction entre l'extrait et la variété est significative ($F_{16,725} = 2.741$, $p = 0.000281$), indiquant que l'effet des extraits sur la longueur du coléoptile dépend de la variété et inversement. Les effets principaux des extraits et des variétés sont également significatifs, mais leur interprétation doit tenir compte de cette interaction. (Tableau 08).

Source de variation	Df	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F valeur	Pr(>F)	Degré de signification
Extrait	4	365	91,2	20,75	3.31e-16	***
Variété	4	190	47,42	10,79	1.68e-08	***
Extrait:Variété	16	294	18,35	4,175	8.96e-08	***
Résiduel	724	3182	4,4			

Afin d'évaluer les différences entre les diverses combinaisons d'extraits et de variétés, un test de Tukey HSD a été réalisé. Les résultats ont mis en évidence la présence de différences significatives entre plusieurs couples de traitements pour le paramètre mesuré : la longueur du coléoptile.

De manière générale, l'ensemble des extraits testés a réduit significativement la longueur des coléoptiles de l'orge par rapport à ceux des variétés d'origine, soulignant un effet inhibiteur allélopathique dirigé principalement vers l'orge.

Les principales différences significatives observées sont les suivantes :

- La combinaison Amar6 : Orge – Amar6 : Amar6 ($p = 0.0059$) montre que les coléoptiles d'orge traités avec l'extrait d'Amar6 sont significativement plus courts que ceux de la variété Amar6 traitée par son propre extrait. Cela indique un effet inhibiteur plus marqué sur l'orge, révélant une allélopathie dirigée.
- La combinaison Simeto : Simeto – Simeto : Amar6 ($p = 0.0037$) montre que les coléoptiles de Simeto sont plus courts lorsqu'ils sont exposés à leur propre extrait, suggérant un phénomène d'autotoxicité (autoinhibition) de cette variété.
- Pour la combinaison Vitron : Amar6 – T : Amar6 ($p = 0.0126$), l'extrait de Vitron provoque une réduction significative de la longueur des coléoptiles d'Amar6, indiquant une interaction allélopathique inter-variété.
- La combinaison Amar6 : Orge – Amar6 : O. lbered ($p = 0.00019$) révèle que l'extrait d'Amar6 inhibe plus fortement la croissance du coléoptile de l'orge que celle d'O. lbered.
- De même, la combinaison Simeto : Orge – Simeto : O. lbered ($p = 0.0428$) montre que l'extrait de Simeto réduit davantage la longueur du coléoptile de l'orge que celle d'O. lbered.
- La combinaison Vitron : O. lbered – T : O. lbered ($p = 0.0133$) indique que l'extrait de Vitron exerce un effet inhibiteur significatif sur la variété O. lbered, comparativement au témoin.
- Pour la combinaison T : Orge – Amar6 : Orge ($p = 0.0000$), les coléoptiles d'orge traités avec l'extrait d'Amar6 sont nettement plus courts que ceux du témoin, confirmant l'effet inhibiteur marqué de cette variété sur l'orge.
- La combinaison Amar6 : Vitron – Amar6 : Orge ($p = 0.0237$) montre que l'extrait d'Amar6 inhibe plus fortement l'orge que la variété Vitron, dont les coléoptiles sont significativement plus longs.
- Pour T : Orge – O. lbered : Orge ($p = 0.0000$), l'extrait de O. lbered exerce un effet inhibiteur très prononcé sur la longueur du coléoptile de l'orge.
- La combinaison O. lbered : Vitron – O. lbered : Orge ($p = 0.0167$) met également en évidence un effet inhibiteur plus fort de O. lbered sur l'orge que sur Vitron.
- De même, la combinaison T : Orge – Simeto : Orge ($p = 0.0000$) montre que les coléoptiles d'orge sont significativement plus courts lorsqu'ils sont traités par l'extrait de Simeto que dans le témoin, ce qui confirme un effet allélopathique marqué de Simeto sur l'orge.
- La combinaison Vitron : Orge – T : Orge ($p = 0.0000$) indique également un effet inhibiteur significatif de l'extrait de Vitron sur l'orge.
- Enfin, T : Vitron – Simeto : Vitron ($p = 0.0446$) montre que l'extrait de Simeto provoque une réduction notable de la longueur du coléoptile de Vitron, traduisant une interaction allélopathique inter-variété.

2.7 Discussion générale

Le blé dur est une céréale stratégique, et sa production est sujette à plusieurs facteurs. L'allélopathie des céréales à petits grains a été peu étudiée, il a été constaté que l'extrait aqueux des résidus de blé possède un effet allélopathique sur un certain nombre d'adventices et réduit de manière constante leur émergence et leur croissance. En conditions de laboratoire, les extraits aqueux de paille de blé se révèlent allélopathiques vis-à-vis d'un large spectre d'espèces adventices (Rambakudzibga, 1991 ; wu et al, 2001).

Dans cette étude, Les effets des extraits aqueux de 4 variétés de blé dur : Vitron, Simeto, Oued lbered et Amar 6 ont été évalués en utilisant des tests biologiques de germination et de croissance des semis. Selon Kimber et al. (1973) et Rise et al. (1984), des bioessais de germination, de croissance de la radicule et de croissance du coléoptile sont utilisés pour tester le potentiel allélopathique d'une espèce cultivée. Vu que le potentiel allélopathique peut se manifester sous forme d'autotoxicité, comme dans le cas de la luzerne (*Medicago sativa* L.) (Hedge, 1990), ou d'hétérotoxicité, comme dans le cas de la fétuque élevée (*Festuca arundinacea* L.) (Peters et al., 1968), les extraits aqueux des variétés de blé dur dans notre étude ont été appliqués sur les variétés elles même pour évaluer l'autotoxicité ainsi que sur d'autres et sur l'orge afin d'évaluer la phytotoxicité en général.

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

Les variétés utilisées répondent différemment aux différents extraits, différents taux de germination ont été obtenu, où tous les extraits ont fortement inhibé la germination de l'orge. Ces résultats concordent avec ceux rapportés par Wu et al. (2001), qui ont indiqué que la réponse aux allélocomposés varie d'une variété à une autre, certaines étant plus sensibles tandis que d'autres se montrent plus tolérantes au même extrait. Cela met en évidence l'importance de prendre en considération l'interaction entre la variété et l'extrait lors de l'étude de l'allélopathie chez le blé dur.

Les résultats obtenus pour la longueur des racines et la longueur des coléoptiles révèlent une tendance générale similaire où l'ensemble des extraits testés a exercé un effet inhibiteur significatif sur la croissance des plantules de l'orge. Cette inhibition marque la sensibilité de l'orge aux composés allélopathiques libérés par les autres variétés de blé dur utilisées. Dans une étude menée par Ben-Hammouda *et al.* (2001), les tests biologiques de croissance de plantules ont montré que le blé dur et le blé tendre réagissent différemment au potentiel allélopathique de l'orge, le blé tendre se révélant plus sensible. Pour les deux espèces, la croissance de la radicule a été davantage inhibée par les extraits aqueux d'orge que celle du coléoptile. Selon Ben-Hammouda *et al.* (2001), il serait donc pertinent de considérer l'orge comme une céréale à potentiel allélopathique vis-à-vis du blé dur et du blé tendre lorsqu'elle est utilisée comme précédent cultural.

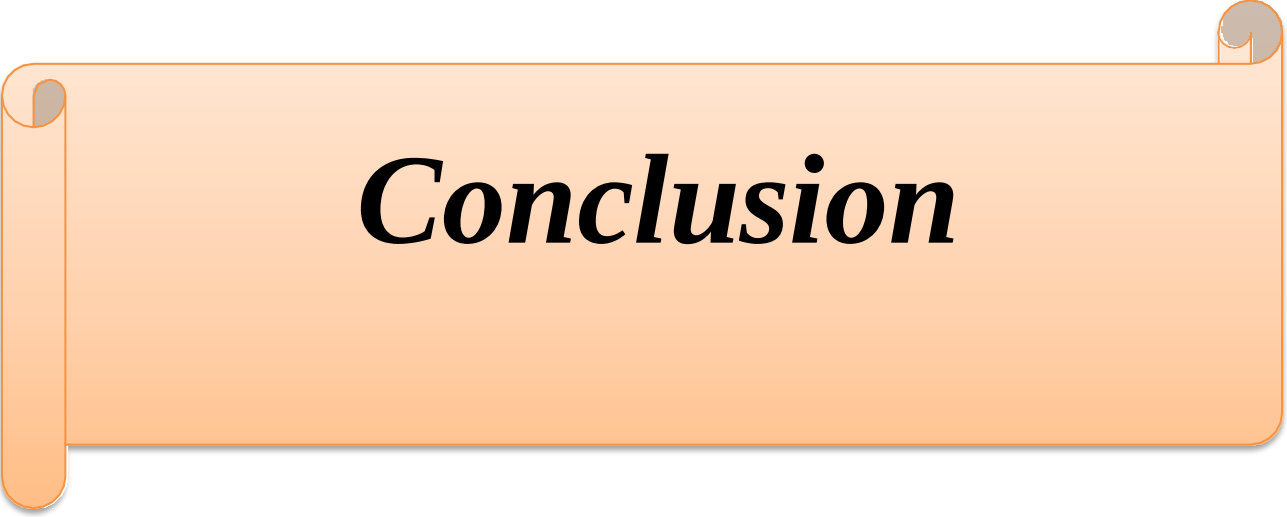
L'effet inhibiteur global observé, aussi bien sur la partie souterraine (racines) que sur la partie aérienne (coléoptile), suggère une action systémique des composés allélopathiques. Ces substances, souvent issues du métabolisme secondaire (acides phénoliques, flavonoïdes, alcaloïdes, terpénoïdes, etc.), peuvent perturber plusieurs processus physiologiques essentiels tels que la division cellulaire, l'élongation des tissus ou l'activité enzymatique (Einhellig, 1995 ; Chou, 2006). D'après Giambanelli et al. (2013), certains génotypes de blé ont été signalés comme ayant des niveaux élevés de métabolites bioactifs secondaires, notamment des acides phénoliques (AP), des flavonoïdes et des phytostérols.

Par ailleurs, les résultats mettent en évidence une directionnalité des interactions allélopathiques entre les variétés testées, notamment entre O.lbered et Vitron, indiquant une allélopathie asymétrique. Cette asymétrie pourrait s'expliquer par des différences dans la nature et la concentration des composés allélopathiques produits par chaque variété. Selon Blum (2011), la variabilité génétique dans la production de métabolites secondaires joue un rôle déterminant dans l'intensité et la direction des interactions allélopathiques entre espèces ou variétés.

D'après les résultats obtenus dans notre étude, la variété Siméto s'est montrée autotoxique, ceci a été mis en évidence par la réduction significative de la croissance de ses propres racines et coléoptiles sous l'effet de son propre extrait. D'après la littérature, plusieurs espèces cultivées sont autotoxiques, comme le blé, le riz et l'orge (Singh et al., 1999 ; Wu et al., 2001). Cette autotoxicité peut limiter la croissance des semis dans les systèmes de monoculture.

Enfin, le témoin (T) a systématiquement induit une stimulation de la croissance par rapport aux traitements à base d'extraits. Ce résultat confirme que l'inhibition observée ne découle pas des conditions expérimentales, mais bien de l'action des composés allélopathiques présents dans les extraits testés.

Ces résultats confirment la pertinence de l'utilisation de bioessais sur semis comme méthode d'évaluation de la tolérance ou de la sensibilité d'une espèce cultivée au potentiel allélopathique d'une autre.

An orange scroll banner with a gradient from light orange to a slightly darker shade at the bottom. It has a thin orange border and decorative scroll-like folds at the top and bottom edges. The word "Conclusion" is centered on the banner in a bold, black, italicized serif font.

Conclusion

En conclusion, cette étude met en évidence le rôle allélopathique des extraits aqueux de différentes variétés de blé dur sur la germination et la croissance des plantules. Les résultats montrent une variabilité notable de la réponse selon les variétés, traduisant une interaction complexe entre le génotype donneur et le génotype récepteur. Tous les extraits testés ont exercé un effet inhibiteur marqué sur l'orge, confirmant sa forte sensibilité aux composés allélopathiques. Certaines variétés, comme Siméto, ont présenté une autotoxicité, illustrant la possibilité d'effets négatifs au sein même d'une espèce. L'ensemble de ces observations souligne l'importance du potentiel allélopathique dans les interactions intra- et interspécifiques des céréales, et suggère que la prise en compte de ce phénomène pourrait contribuer à une meilleure gestion des systèmes céréaliers, notamment dans les rotations culturales et la lutte contre les adventices.

Afin d'approfondir la compréhension du phénomène allélopathique chez le blé dur, plusieurs perspectives de recherche peuvent être envisagées :

- Identifier les composés allélopathiques responsables des effets observés.
- Conduire des essais sur terrain en plein champs afin de vérifier les effets en conditions réelles.
- Analyser la variabilité génétique du potentiel allélopathique entre variétés.

Références bibliographiques

Références bibliographique

- 1- Abbas K., Abdelguerfi. 2005. Perspectives d'avenir de la jachère pâturée dans les zones céréalières semi-arides. Fourrages, n°184 : 533-546.
- 2- Aboubacar A, Yazici N, Hamaker BR. Extent of decortication and quality of "our, couscous and porridge made from different sorghum cultivars. Int J Food Sci Technol. 2006;41:698–703.
- 3- Aknouche D, Laib R. (2017). Amélioration de la production du blé dur : cas de la zone sud de Constantine [En ligne]. Thèse de Master. Algérie : Université des Frères Mentouri Constantine, 2017, p95.
- 4- Akula, R. and Ravishankar, G.A. (2011). Influence of abiotic stress signals on secondary metabolites in plants. Plant Signaling and Behavior; 6 (11):1720-1731
- 5- Alsaleh A., Shehzad baloch F., nachit M., Özkan H., 2016. Phenotypic and genotypic intra diversity among anatolian durum wheat "kunduru" landraces. Biochemical systematics and ecology, n° 65 : 9-16.
- 6- Amrani B., (2013). Maladie : Méthode et échelle de notation des maladies et accidents divers. Bulletin des grandes cultures. ITGC. 02. p5.
- 7- Anonyme. 2006. Les marchés mondiaux du blé. USDA. http://www.agpb.com/fr/dossier/eco/marchesmondiaux_2006.pdf. (25.03.2013).
- 8- Aouali S. et Douici-Khalifi A., 2009. Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes, développement et moyens de lutte ; ITGC, EL Harrach, Alger. P 56
- 9 -Bahlouli F., Bouzerzour H., Benmahammed A., et Hassous K. L., 2005. Selection of high yielding of durum wheat (*Triticum durum* Desf.) under semi arid conditions. Journal of Agronomy, 4 (4) : pp.360-365.
- 10 -Bajji M. Étude des mécanismes de résistance au stress hydrique chez le blé dur : caractérisation de cultivars différant par leurs niveaux de résistance à la sécheresse et de variants somaclonaux sélectionnés in vitro. Thèse de doctorat, faculté des sciences, université catholique de Louvain, 1999.
- 11- Balota, M., Payne, W. A., Evett, S. R., & Peters, T. R. (2008). Morphological and physiological traits associated with canopy temperature depression in three closely related wheat lines. Crop Science, 48(5), 1897-1910.
- 12- Barnes, J.P. and Putnam, A.R. (1986). Evidence for Allelopathy by Residues and Aqueous Extracts of Rye (*Secale cereale*). Weed Science 34: 384–390.
- 13- BELAID D. 1996. Aspects de la céréaliculture algérienne. INES. D'Agronomie. Batna. 187p
- 14- Belaid D., 1996. Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Office des publications universitaires, Ben-Aknoun (Alger), 206 p. 11.
- 16- Belaid D., 1996. Aspects de la céréaliculture Algérienne. Ed. Office des publications universitaires, Ben-Aknoun (Alger), 206 p
- 17- Bendif N., 2017. L'itinéraire technique du blé ? Cours de formation programme P.R.C.P. Document interne ITGC

- 18- Ben-Hammouda, M., Ghorbal, H., Kremer, R.J., and Oueslati, O. 2001. Allelopathic effects of barley extracts on germination and seedlings growth of bread and durum wheat. *Agronomie* 21: 65-7
- 19- Bode, D.H.R. (1958). Beiträge zur Kenntnis allelopathischer Erscheinungen bei einigen Juglandaceen. *Planta* 51: 440–480.
- 20- Boufnar-Zaghouane F., Zaghouane O., 2006. Guide des principales variétés de céréales à paille en Algérie (blé dur, blé tendre, orge et avoine). ITGC, ICARDA., Alger : 154 p
- 21- Boulal H., Zaghouane O., EL Mourid M. et Rezgui S., 2007 - Guide pratique de la conduite des céréales d'automne (blés et orge) dans le Maghreb (Algérie, Maroc, Tunisie). Ed. TIGC, INRA, ICARDA, Algérie, 176 p.
- 22- BUCHANAN C., 2000. Métabolites secondaires. 24 p
- 23- CHABI H., DEROUICHE M., KAFI M. et KHILASSI E. 1992. Estimation du taux d'utilisation du potentiel de production des terres à blé dur dans le Nord de la wilaya de sétif. Thèse. Ing. INA. El Harrach. 317p.
- 24- Chadouli, A., Djane-hamed, M., 2015. L'irrigation d'appoint du blé. *Revu ITGC* : 14p.
- 25- Chaves, M.M., Pereira,J.S., Maroco, J. ,Rodrigues, M.L., Ricardo, C.P.P., Osório, M.L., Carvalho , I. (2002). How plants cope with water stress in the field? Photosynthesis and growth. *Annals of botany* 89: 907–916.
- 26- Chavet J. –P., 1977. Le blé dans le monde: Evolution récente de la consommation, de la commercialisation et de la production. *Annales de Géographie*, 86e Année, No. 478 (Novembre-Décembre 1977). JSTOR : Pp 687.
- 27- Cheng ,A.X., Lou,Y.G., Mao ,Y.B., Lu, S., Wan, L.J. and Chen, X.A . (2007). Plant terpenoids: biosynthesis and ecological functions. *Journal of Integrative Plant Biology*; 49 (2): 179–186.
- 28- Cheng, H.H. (1995). Characterization of the mechanisms of allelopathy: modeling and experimental approaches.UNIVERSITY OF M.
- 29- Chiapusio, G., Gallet , C., Dobremez , J.F., et Pellissier , F . (2008). Les composées allélopathiques: des molécules phytochimiques pour demain? (Bio-pesticides d'origine végétales). Ed. Tec Doc, 51-64p.
- 30- CHIKHI A. C. 1992. Situation de la céréaliculture et perspectives de l'irrigation de complément du blé au niveau de la Mitidja. Thèse Ing. INA. El Harrach. 317p
- 31- CLEMENT G. et PRATS J. 1970. Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. 351 p.
- 32- Clement-Grandcourt et Part., 1970 - Les céréales. Collection d'enseignement agricole. 2ème Ed. 351-360 p.
- 33- Croteau ,R., Kutchan ,T.M. and Lewis ,N.G. (2000). Natural Products (SecondaryMetabolites). *American Society of Plant Physiologists*; chapter 24: 1250 1318.

- 34- Daguenet G ; 1990. Les dégâts de certaines maladies Cultivar. 266: 50-52. [57]. Daily, J. M., 1976. The Carbon balance of diseased plants, changes in respiration, photosynthesis and translocation. *Encyclopedia of Plant Physiol.*, 4: 450-479 .
- 35- Debiton C., 2010. Identification des critères du grain de blé (*Triticum aestivum* L.) favorables à la production de bioéthanol par l'étude d'un ensemble de cultivars et par l'analyse protéomique de lignées isogéniques waxy. Thèse de doc., université blaise pascal - Clérmont- Ferrand II. 250 p.
- 36- Djermoun A., 2009. La production céréalière en Algérie : les principales caractéristiques. *Nature et technologies*, n° 01 :45-53.
- 37- Einhellig, F.A. (1996). Interactions involving allelopathy in cropping systems. *Agronomy Journal* 88: 886–893
- 38- Einhellig, F.A. and P.C., Eckrich. (1984). Interactions of temperature and ferulic acid stress on grain sorghum and soybeans. *Journal of Chemical Ecology* 10: 161–170.
- 39- Einhellig, F.A. and Souza ,I.F. (1992). Phytotoxicity of sorgoleone found in grain
- 40- Eyal Z., Scharen AL., Perscott JM. and Van Ginel M., 1987. The septoria diseases of wheat: Concepts and methods of diseases management. CIMMYT, Mexico. 52p
- 41- Ezzahiri B., 2001. Les maladies du blé Identification, facteurs de développement et méthodes de lutte. Transfert de technologie en Agriculture. Bulletin mensuel d'informations et de liaison du PNTTA 77, 4p.
- 42- FAO, 2016. Biannual report on global food markets. 129 p.
- 43- Feillet, 2000. Le grain de blé technique et documentation ITCF. Paris 429.
- 44- Feillet, P. (2000). Le grain de blé : composition et utilisation. Editions Quae
- 45- Feillet, P. (2000). Le grain de blé. In Librairie Quae : des livres au coeur des sciences (INRAE). Librairie Quae : des livres au coeur des sciences.
- 46- Fernandez, C., Monnier, Y., Ormeño, E., Baldy, V., Greff, S., Pasqualini, V., Mévy,. J.P. and Bousquet-Mélou, A. (2009). Variations in Allelochemical Composition of Leachates of Different Organs and Maturity Stages of *Pinus halepensis*. *Journal of Chemical Ecology* 35: 970–979.
- 47- GATE P. 1995. Ecophysiologie du blé : de la plante à la culture. Ed Lavoisier. 429p.
- 48- Gauthier J., 1991. Notions d'agricultures. Rue Michel-Haidy, 575p.
- 49- Gawrońska, H., & Golisz, A. (2006). Allelopathy and biotic stresses. In M. J. Reigosa, N. Pedrol, & L. González (Eds.), *Allelopathy: A Physiological Process with Ecological Implications* (pp. 211–227). Springer.
- 50- Giambanelli, E. *et al.* A comparative study of bioactive compounds in primitive wheat populations from Italy, Turkey, Georgia, Bulgaria and Armenia. *Journal of the science of food and agriculture* 93, 3490–3501, doi:[10.1002/jsfa.6326](https://doi.org/10.1002/jsfa.6326) (2013).
- 51- Grabmann, J. (2005). Terpenoids as Plant Antioxidants. *Vitamins and Hormones*; (72): 505-535.

- 52- Hall, A.B., Blum, U. and Fites ,R.C. (1982). Stress modification of allelopathy of *Helianthus annuus* L. debris on seed germination. *American Journal of Botany* 776–783.
- 53- Hamadache A.-M., 2013.Eléments de phytotechnie générale-Grandes cultures-Tome 1: le blé.
- 54- Heisey, Rod M. "Allelopathy and the secret life of *Ailanthus altissima*." *Arnoldia* 57, no. 3 (1997): 28-36.
- 55- Hopkins, G. W. (2003). *Physiologie végétale*. Ed. De boek, Bruxelles, Belgique. 495P
- 56- HOQUE R., ROMEL A., UDDIN M-B., HOUSSAIN M-K., 2003. Allelopathic effects of different concentration of water extracts of *Eupatorium odoratum* leaf on germination and growth behavior of six agricultural crops. *Journal of biological sciences* 3 (8). Institute of forestry and – environmental sciences. Univ.Chittagong.Bangladesh.pp.741-750
- 57- Huang, J., Rozelle, S., Pray, C. & Wang, Q., 2002. *Plant Biotechnology in China*. Sci., 25, pp: 676.
- 58- Hussain, M. I., Reigosa, M. J., & Elmore, J. S. (2022). Benzoxazinoids in wheat allelopathy – From discovery to application for sustainable weed management. *Environmental and Experimental Botany*, 203, 105046
- 59- Inderjit, Asakawa, C. and Dakshini ,K. (2000). Allelopathic potential of *Verbesina encelioides* root leachate in soil. *Canadian Journal of Botany* 77: 1419–1424.
- 60- Inderjit, Wardle, D.A., Karban, R. and Callaway R.M. (2011). The ecosystem and evolutionary contexts of allelopathy. *Trends in Ecology & Evolution* 26: 655–662.
- 61- ITIS. (2025). *Triticum durum* Desf. Integrated Taxonomic Information System. Retrieved August 29, 2025, from <https://itis.gov/>
- 62- Jose, S. and GILLESPIE ,A.R. (1998). Allelopathy in black walnut (*Juglans nigra* L.) alley cropping. II. Effects of juglone on hydroponically grown corn (*Zea mays* L.) and soybean (*Glycine max* L. Merr.) growth and physiology. *Plant and Soil* 203: 199– 206.
- 63- Kalburtji, K.L., Mosjidis , J.A. and Mamolos , A.P. (2001). Allelopathic plants.2. *Lespedeza cuneata*. *Allelopathy Journal* 8: 41–49.
- 64- Kellou R., 2008. Analyse du marché algérien du blé dur et les opportunités d’exportation pour les céréaliers français dans le cadre du pôle de compétitivité Quali-Méditerranée : Le cas des coopératives Sud Céréales, Groupe coopératif Occitan et Audecoop. Mémoire de Master de Science N° 93 : L’Institut Agronomique Méditerranéen de Montpellier, France : 160 p.
- 65- KIM K-U., 2004. Integrated management of paddy weeds in Korea, with an emphasis on allelopathy. *Journal of biological sciences* 9 54-. pp.8-22
- 66- Kobayashi, K. (2004). Factors affecting phytotoxic activity of allelochemicals in soil. *Weed Biology and Management* 4: 1–7
- 67- Koeppel, D.E., L.M., Rohrbach, E.L., Rice. and Wender ,S.H. (1970). The effect of Xradiation on the concentration of scopolin and caffeoylquinic acids in tobacco. *Radiation Botany* 10: 261–265.

- 68- Latif, S., Chiapusio, G., & Weston, L. A. (2017). Allelopathy and the role of allelochemicals in plant defence. *Advances in Botanical Research*, 82, 19–54.
- 69- Lehman, M.E., BLUM, U. and GERIG, T.M. (1994). Simultaneous effects of ferulic and p-coumaric acids on cucumber leaf expansion in split-root experiments. *Journal of Chemical Ecology* 20: 1773–1782.
- 70- Levy, A.A. & Feldman, M., 2002. The Impact of Polyploidy on Grass Genome Evolution. *Plant physiology*, 130: 1587-1593.
- 71- Lovett, J.V. (1986). Allelopathy: the Australian experience. 75–99.
- 72- MAACHI L., 2005 : Etude de comportement d'une céréale à grains sous centre pivot dans la région de Ouargla : Evaluation de l'efficacité de l'irrigation et de la fertilisation azotée, Thèse., Ing, agro, Sah. ITAS, Ouargla, 91p.
- 73- Macías, F. A., Galindo, J. C. G., & Molinillo, J. M. G. (2003). *Allelopathy: Chemistry and Mode of Action of Allelochemicals*. CRC Press.
- 74- Macías, F. A., Mejías, F. J., & Molinillo, J. M. (2019). Recent advances in allelopathy for weed control: from knowledge to applications. *Pest management science*, 75(9), 2413-2436.
- 75- Mallik, A.U. (2002). On the question of paradigm in the science of allelopathy. 289– 297. Mallik, A.U. (2003). Conifer Regeneration Problems in Boreal and Temperate Forests with Ericaceous Understory: Role of Disturbance, Seedbed Limitation, and Keystone Species Change. *Critical Reviews in Plant Sciences* 22: 341–366.
- 76- Marc J., 2013. Orge, avoine, blé, seigle, comment les reconnaître Disponible surpetanielle.org/public/Ble_orge_avoine_seigle_octobre_2013.pdf (consulté le 07/01/2018)
- 77- Masson E., (2012): Diagnostic des accidents du blé tendre. ARVALIS-Institut du végétal. 36-40.
- 78- Meeh M, Conte P, Fadda C, Giunta F, Piga A, Hassoun G, Motzo R. From ancient to old and modern durum wheat varieties: interaction among cultivar traits, management and technological quality. *J Sci Food Agric*. 2018;99:2059–67
- 79- Melkania, N.P. (1992). Allelopathy in forest and agroecosystems in the Himalayan region. In S. J. H. Rizvi, and V. Rizvi [eds.], *Allelopathy*, 371–388. Springer Netherlands
- 80- MERIZEK S. 1992. Evolution de la biomasse et des composantes du rendement d'une culture de blé conduite en sec et en irrigué. Thèse Ing. INA El Harrach. P.10.
- 81- Merouane ,A., Noui ,A., Medjahed ,H., Benhadj- Ali ,K.N. et SAADI A. (2014). Activité antioxydante des composés phénoliques d'huile d'olive extraite par méthode traditionnelle. *International Journal of Biological and Chemical Sciences* 8(4): 1865-1870.
- 82- Merouche A., 2015 – Besoins en eau et maîtrise de l'irrigation d'appoint du blé dur dans la vallée du Chéouli. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Supérieure Agronomique. 85 p
- 83- Miller, D.A. (1996). Allelopathy in Forage Crop Systems. *Agronomy Journal* 88: 854.

- 84- Modnicki ,D., Lamparski ,R., Balcerek ,M. and Zaluski ,D . (2019). The effect of the produce of phenolic compounds in some Brassicaceae plants on *Dolycoris baccarum* AND *Carpocoris fuscispinus* feeding and developpement (Pentatomidae, Hemiptera). *Acta Sci. Pol. Agricultura*; 18(1): 29-37.
- 85- Molisch, H. (1937). *Der Einfluss einer Pflanze auf die andere: Allelopathie*. Jena: Gustav Fischer.
- 86- Moreau J.M., (2011): Lutte contre les maladies. Livre Blanc « Céréales » ULg Gembloux Agro-Bio Tech et CRA-W
- 87- Mouellef A., 2010. Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique, Mémoire de Magistère, Option :Biotéchnologie végétale ,Déprt.Biologie.Univ.MENTOURI,Constantine. pp8-9.
- 88- Moule C., 1971 - Phytotechnie spéciale II céréales. Ed. La maison rustique –Paris, 94 p
- 89 - Nachit, M., Baum M., Impiglia A., Ketata H., 1995. Studies on some grain quality traits in durum wheat grown in mediterranean environments. *CIHEAM, options méditerranéennes : série A*, n° 22 : 181-187.
- 90-Nedjah I, (2015). Changements physiologiques chez des plantes (Blé dur *Triticum durum* Desf.) exposées à une pollution par un métal lourd (plomb). Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar – Annaba.98p
- 91-Norouzi, Y., Mohammadi, G.R. and Nosratti ,I . (2015). Soil Factors Affecting the Allelopathic Activities of Some Plant Species.
- 92-Ouared R. Etude de la variabilité de doses d'apports d'azote aux stades : tallage et début floraison sur deux variétés de blé dur (Boussalem, Simeto) dans les conditions agro pédologiques de la région de Tiaret. [En ligne]. Mémoire de Master. Algérie : Université Abdelhamid Ben Badis Mostaganem, 2016, p 63.
- 93-Pedrol, N., L. Gonzalez. and Reigosa , M.J. (2006). Allelopathy and abiotic stress. In M. J. Reigosa, N. Pedrol, and L. González [eds.], *Allelopathy*, 171–209. Springer Netherlands
- 94- Rambakudzibga A M. 1991. Allelopathic effects of aqueouswheat (*Triticum aestivum* L.) straw extracts on the germinationof eight arable weeds commonly found in Zimbabwe.
- 95- Reigosa, M.J., SÁNCHEZ-MOREIRAS, A. and GONZÁLEZ, L. (1999). Ecophysiological Approach in Allelopathy. *Critical Reviews in Plant Sciences* 18: 577– 608.
- 96- RICE E., 1984. *Allelopathy. Physiological ecology*. Academic Press Inc.413p.
- 97- Rice, E. L. (1984). *Allelopathy*. 2nd Edintion, Academic Press, New York. 422 p
- 98- Rietveld, W.J., Schlesinger, R.C. and Kessler , K.J. (1983). Allelopathic effects of black walnut on european black alder coplanted as a nurse species. *Journal of Chemical Ecology* 9: 1119–1133.
- 99- Rivoal, A., C. Fernandez, S. Greff, N. Montes, and VILA , B. (2011). Does competition stress decrease allelopathic potential? *Biochemical systematics and ecology* 39: 401– 407.
- 100- Royo C, Soriano JM, Alvaro F. Wheat: a crop in the bottom of the Mediterranean diet pyra-mid. In: Fuerest-Bjelis B, editor. *Mediterranean identities - environment, society, culture*. London: Intechopen; 2017. p. 381–99.

- 101- Salamini F, Ozkan H, Brandolini A, Schafer-Pregl R. Genetics and geography of wild cereal domestication in the near East. *Nat Rev Genet.* 2002;3:429–41.
- 102- Saraoui T., 2011. Etude de la variabilité morphologique des populations f2 de blé dur *Triticum durum* Desf): utilisation d'un indice de sélection. Mémoire de magister, département agronomie, fac. sci. univ. Hadj Lakhdar, Batna. 75pp.
- 103- Sayoud R., Ezzahiri B. et Bouznad Z., (1999). Les maladies des céréales et des légumineuses alimentaires au Maghreb, Guide Pratique. Projet Maghrébin sur la Surveillance des Maladies et le Développement de Germoplasme Résistant des céréales et des Légumineuses Alimentaires. PNUD RAB/91/007 Maroc-Algérie –Tunisie.Trames Ed, Algérie. 64p.
- 104- Slama A , Ben Salem M ,Zid E, 2005 . Les céréales enTunisie : production, effet de lasécheresse et mécanismes de résistance. *Science et changements planétaires/Sécheresse*, 16(3) :225-229
- 105- Soltner D., 1999. Les grandes productions végétales, 19 éditions, sciences et techniques agricoles : 464p.
- 106- Soltner D., 2005 - Les grandes productions végétales, 20ème édition, collection des sciences et techniques agricoles. 245p.
- 107- Soni, P., & Vasistha, H. B. (1999). Effets allélopathiques des plantes sur la croissance des cultures agricoles. *Revue d'Écologie et de Biologie Végétales*, 42(2), 123–135
- 108- Surget A., et Barron C. 2005. Histologie du grain de blé, industrie des céréales 145:4-7 p.
- 109- Thompson, A.C. (1985). *The Chemistry of Allelopathy: Biochemical Interactions Among Plants*. ACS Symposium Series, 268. American Chemical Society, Washington, DC
- 110- TISSUT M. DELVAL P. et RAVANEL P., 2006. Plantes, herbicides et désherbage. Association de coordination technique agricole, 635 P.
- 111- Torres, A., Oliva, R. M., castellano, D. and cross, P. (1996). Proceedings of First World Congress on Allelopathy. A Science of the Future. SAI, University of Cadiz, Cadiz, Spain. p. 278.
- 112- Troccoli A., Borelli G.M., De Vita P., Fares C., Di Fonzo N., 2000. Durum wheat quality : a multidisciplinary concept. *J. cereal sci.* N°32 : 99-113.
- 113- Wang, R., Rehman, S.U., Liang, X ., SonG, Y ., Su,Y. ,Baerson, S.R. and Zeng, R . (2012). Effects of simulated acid rain on the allelopathic potential of invasive weed *Wedelia trilobata*. *Allelopathy Journal* 30: 23–32.
- 114- Wang, R.L., Zeng, R.S. , Peng, S.L. , Chen, B.M. , Liang, X.T. and X.W. Xin . (2011). Elevated temperature may accelerate invasive expansion of the liana plant *Ipomoea cairica*. *Weed Research* 51: 574–580.
- 115- Wiese M .V., 1987 - Compendium of wheat diseases; APS PRESS , the Americanphytopathological society. Second Edition USA. 112 p.
- 116- Williamson, G.B., Richardson, D.R. and Fischer, N.H. (1992). Allelopathic mechanism in fire-prone communities. In S. J. H. Rizvi, and V. Rizvi [eds.], *Allelopathy*, 59–75. Springer Netherlands

- 117- Wu, A.P., Li, Z.L., He, F.F., Wang, Y.H. and Dong, M. (2015). Screening Allelochemical Resistant Species of the Alien Invasive *Mikania micrantha* for Restoration in South China. PLOS ONE 10: e0132967
- 118- Wu, H., Pratley, J., Lemerle, D., & Haig, T. (2001). Allelopathy in wheat (*Triticum aestivum*). Annals of applied biology, 139(1), 1-9
- 119- Yamamoto, Y. (1995). Allelopathic effects of coumarin and related compounds on the growth of some grass species. Weed Research, 35(6), 495–499
- 120- Yinyang, J., Mpondo, E., Tchata, M., Ndjib, R.C., Mvogo-Ottou, P.B. et Dibong S.D. (2014). Les plantes à alcaloïdes utilisées par les populations de la ville de Douala (Cameroun). Journal of Applied Biosciences; (78): 6600-6619
- 121- Yoneyama, K., & Natsume, M. (2010). Allelochemicals for plant–plant and plant–microbe interactions. In Comprehensive Natural Products II: Chemistry and Biology (Vol. 4, pp. 539–...). Elsevier
- 122- Zillinsky F.J., (1983) : Les maladies des céréales à paille : Guide d'identification. Eds. CIMMYT, Mexico. 141p