



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

République Algérienne Démocratique et Populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة الشهيد حمزة لخضر الوادي

Université Echahid Hamma Lakdhar EL-OUED

كلية العلوم الطبيعية والحياة

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

قسم البيولوجيا الخلوية والجزيئية

Département de Biologie Cellulaire et Moléculaire

Mémoire de fin d'étude

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

Spécialité : Biochimie appliquée

THÈME

Évaluation de l'activité antifongique de l'extrait de *Salsola richteri* contre des isolats fongiques contaminant les grains de blé

Présenté Par :

M^{elle} : Benzaoui Rihane

M^{elle} : Benabdelkader Hanine

Devant le jury composé de :

Président : Dr. Bouras Biya

Examineur : Dr .Laib ibtissam

Promoteur : Pr. LAICHE Ammar Touhami

Université d'El Oued.

Université d'El Oued

Université d'El Oued

Année universitaire : 2025/2026

Remerciement

Avant tout, nous rendons grâce à Allah, le Tout-Puissant, de nous avoir guidés tout au long de nos années d'études, de nous avoir accordé la volonté, la patience et le courage nécessaires, et d'avoir éclairé notre chemin vers le savoir et la connaissance. C'est grâce à Lui que nous avons pu mener à bien ce modeste travail de recherche.

Nous adressons nos sincères remerciements à notre encadreur, **Pr LAICHE Ammar Touhami**, pour avoir accepté de diriger ce travail. Nous lui exprimons notre profonde reconnaissance pour sa disponibilité, son accompagnement constant, ses précieux conseils, sa patience ainsi que ses encouragements tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Qu'il trouve ici l'expression de notre profond respect et de notre entière gratitude.

Nous exprimons également notre vive reconnaissance aux membres du jury pour l'honneur qu'ils nous font en acceptant d'évaluer notre travail, ainsi que pour le temps qu'ils y ont consacré. Nos remerciements s'adressent aussi à toutes les personnes qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail.

Nous tenons particulièrement à remercier l'ensemble des membres du laboratoire de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université d'El-Oued pour leur aide, leur collaboration et leur disponibilité. Nous adressons également nos sincères remerciements à tous les enseignants et au personnel de l'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El-Oued pour la qualité de la formation reçue et le soutien apporté tout au long de notre parcours universitaire.

Enfin, nous exprimons notre profonde gratitude à nos parents pour leur soutien indéfectible, leurs encouragements et leurs sacrifices, sans lesquels rien n'aurait été possible. Nos remerciements vont également à nos familles et à nos amis pour leur soutien moral, leur présence et leurs encouragements tout au long de ce parcours.



Dédicace

À ceux qui ont été mon soutien avant le début
et ma force à chaque étape,
à ma chère mère et à mon cher père,

je vous remercie pour vos sacrifices inestimables, votre présence constante à mes côtés,
votre patience, votre amour et votre confiance en moi dans les moments les
plus difficiles comme dans les plus faciles.

Cette réussite est le fruit de vos efforts avant d'être le résultat de mon travail.

À mes chers frères et sœurs

✦ Mohamed ✦ Kawthar ✦ Ishraq ✦ Haitham ✦

merci pour votre soutien, vos encouragements et vos paroles bienveillantes
qui ont toujours été une source de motivation et de persévérance.

À ma belle-sœur ✦ Majda ✦

merci pour ta gentillesse, ton soutien sincère et ta présence réconfortante.

À mes beaux frères

✦ Mouloud ✦ Charaf ✦

je vous remercie pour vos encouragements, votre respect et votre appui moral.

À ✦ Hanin. ✦

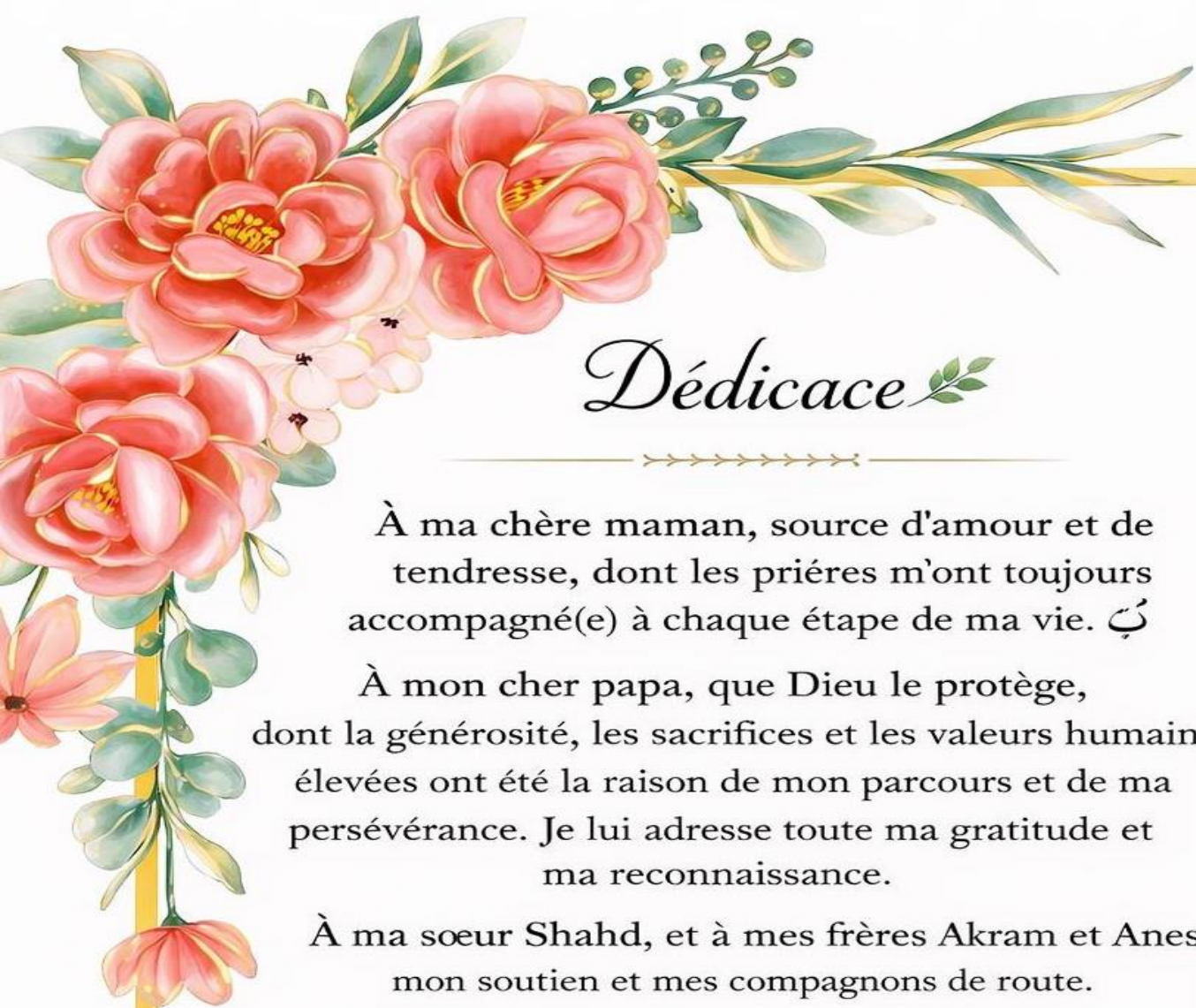
ma partenaire dans la réalisation de ce mémoire,
qui je partage avec ma l'effort et la fatigue avant la joie,
merci pour l'esprit de coopération, la patience et le soutien constant tout
au long de ce parcours académique.

Travailler à tes côtés a été une expérience précieuse et un souvenir précieux.

À vous tous, je dédie ce modeste travail,
en témoignage de ma profonde gratitude,
de mon respect et de mon affection.

Rihane





Dédicace

À ma chère maman, source d'amour et de tendresse, dont les prières m'ont toujours accompagné(e) à chaque étape de ma vie. 🌸

À mon cher papa, que Dieu le protège, dont la générosité, les sacrifices et les valeurs humaines élevées ont été la raison de mon parcours et de ma persévérance. Je lui adresse toute ma gratitude et ma reconnaissance.

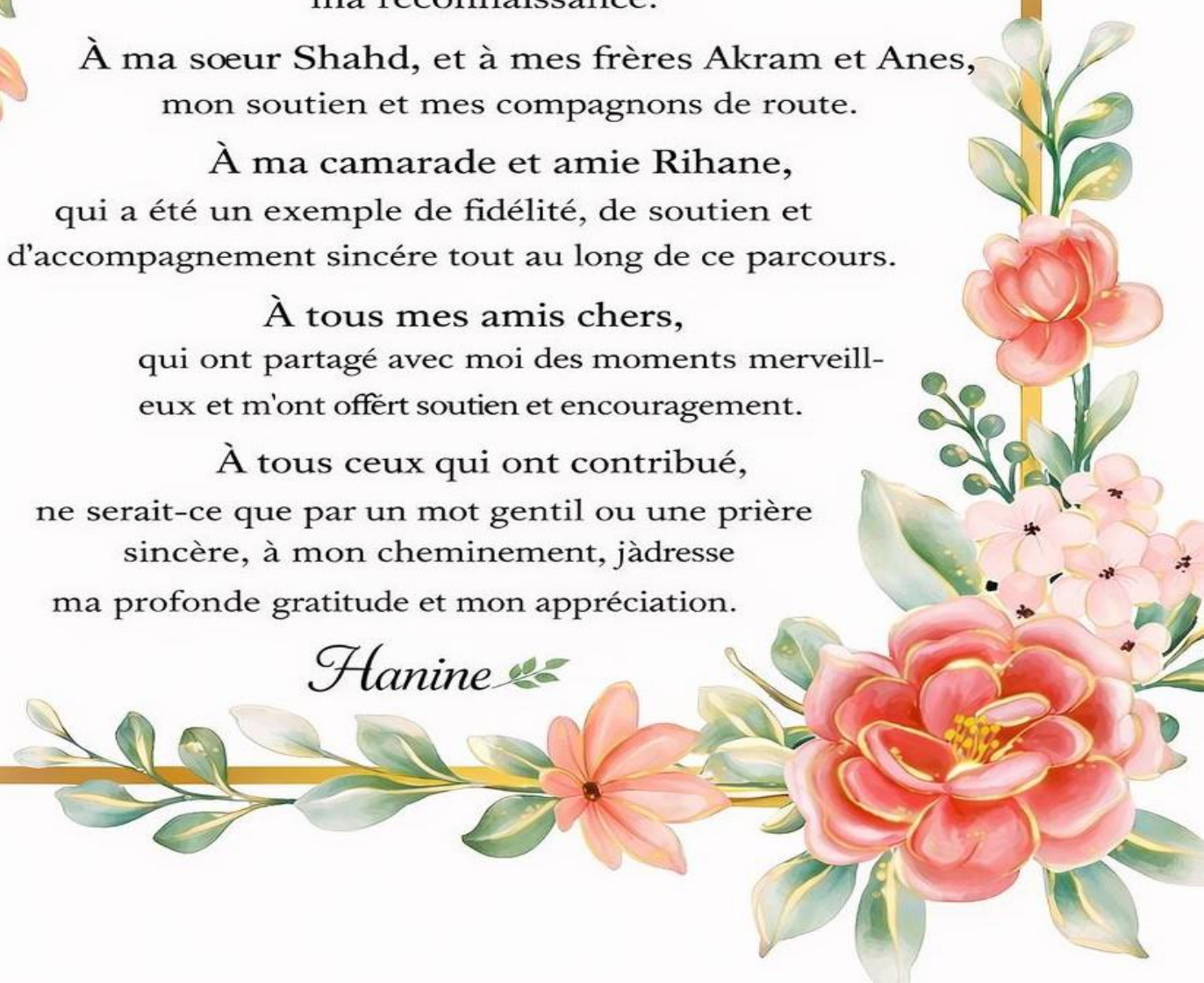
À ma sœur Shahd, et à mes frères Akram et Anes, mon soutien et mes compagnons de route.

À ma camarade et amie Rihane, qui a été un exemple de fidélité, de soutien et d'accompagnement sincère tout au long de ce parcours.

À tous mes amis chers, qui ont partagé avec moi des moments merveilleux et m'ont offert soutien et encouragement.

À tous ceux qui ont contribué, ne serait-ce que par un mot gentil ou une prière sincère, à mon cheminement, j'adresse ma profonde gratitude et mon appréciation.

Hanine



Résumé

Résumé

Cette étude vise à évaluer l'activité antifongique d'extraits végétaux locaux contre des isolats fongiques contaminant les grains de blé. Elle repose sur la préparation d'un extrait naturel à partir de *Salsola richteri* et sur le prélèvement d'échantillons de blé, tous deux collectés dans la région d'El Oued.

Les analyses phytochimiques réalisées sur la partie aérienne de la plante, après obtention de l'extrait hydroéthanolique, ont révélé un rendement de 8,99 %. Elles ont également mis en évidence la présence de plusieurs composés phytochimiques actifs, notamment des alcaloïdes, des saponines et des terpénoïdes. Le dosage quantitatif des composés phénoliques a montré des teneurs importantes en polyphénols, flavonoïdes et tanins, avec des valeurs respectives de $150,73 \pm 2,13$ µg équivalent acide gallique/mg de matière sèche, $34,98 \pm 0,47$ µg équivalent quercétine/mg de matière sèche et $18,66 \pm 2,96$ µg équivalent catéchine/mg de matière sèche.

L'activité antioxydante a été évaluée au moyen des méthodes DPPH et FRAP. Les résultats montrent que l'extrait de la partie aérienne de *Salsola richteri* présente une activité antioxydante considérable, avec une valeur d'IC₅₀ de $0,274 \pm 0,025$ mg/mL pour le test DPPH, tandis que la valeur d'IC₅₀ du test FRAP est de $200,25 \pm 4,16$ mg/g. Cette activité semble être positivement corrélée à la richesse de l'extrait en composés phénoliques et en flavonoïdes.

L'activité antifongique a été testée sur neuf souches fongiques contaminant les grains de blé. Les résultats ont montré une bonne efficacité, particulièrement contre *Aspergillus sp.* et *Alternaria sp.*, avec des pourcentages d'inhibition respectifs de 74,29 % et 79,52 %. La comparaison des résultats obtenus avec ceux rapportés dans des études antérieures suggère que *Salsola richteri* constitue une source naturelle prometteuse dotée de propriétés antifongiques et antioxydantes, pouvant représenter une alternative potentielle aux fongicides chimiques utilisés dans la protection du blé.

Mots-clés : *Salsola richteri* ; activité antifongique ; activité antioxydante ; blé ; extrait hydroéthanolique.

Abstract

This study aims to evaluate the antifungal activity of local plant extracts against fungal isolates contaminating wheat grains. It was based on the preparation of a natural extract from *Salsola richteri* and the collection of wheat samples, both obtained from the El Oued region.

Phytochemical analyses carried out on the aerial part of the plant, after preparation of the hydroethanolic extract, revealed a yield of 8.99%. The results also indicated the presence of several active phytochemical compounds, including alkaloids, saponins, and terpenoids. Quantitative determination of phenolic compounds showed considerable levels of polyphenols, flavonoids, and tannins, with respective values of 150.73 ± 2.13 μg gallic acid equivalent/mg dry matter, 34.98 ± 0.47 μg quercetin equivalent/mg dry matter, and 18.66 ± 2.96 μg catechin equivalent/mg dry matter.

Antioxidant activity was evaluated using the DPPH and FRAP methods. The results showed that the aerial-part extract of *Salsola richteri* exhibited considerable antioxidant activity, with an IC₅₀ value of 0.274 ± 0.025 mg/mL for the DPPH assay and an IC₅₀ value of 200.25 ± 4.16 mg/g for the FRAP assay. This activity appears to be positively correlated with the high content of phenolic compounds and flavonoids.

Regarding antifungal activity, the extract was tested against nine fungal strains contaminating wheat grains. The results showed good effectiveness, particularly against *Aspergillus sp.* and *Alternaria sp.*, with inhibition rates of 74.29% and 79.52%, respectively. Comparison of the obtained results with previous studies suggests that *Salsola richteri* is a promising natural source with antifungal and antioxidant properties, making it a potential alternative to chemical fungicides used for wheat protection.

Keywords: *Salsola richteri*; antifungal activity; antioxidant activity; wheat; hydroethanolic extract.

الملخص

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم النشاط المضاد للفطريات للمستخلصات النباتية المحلية ضد العزلات الفطرية الملثة لحبوب القمح، وذلك من خلال تحضير مستخلص طبيعي من نبات *Salsola richteri* وجمع عينات من القمح، حيث تم الحصول على كلتا المادتين من منطقة الوادي.

أظهرت التحاليل الكيميائية النباتية، المنجزة على الجزء الهوائي للنبات بعد تحضير المستخلص الهيدروإيثانولي، مردوداً قدره 8.99%. كما كشفت النتائج عن غنى المستخلص بعدة مركبات كيميائية نباتية فعالة، تمثلت في القلويدات والصابونينات والتربينويدات. وبنيان التقدير الكمي للمركبات الفينولية احتواء المستخلص على نسب معتبرة من البوليفينولات والفلافونويدات والتانينات، حيث بلغت قيمها على التوالي: 150.73 $\pm$ 2.13 ميكروغرام مكافئ حمض الغاليك/ملغ مادة جافة، و 34.98 $\pm$ 0.47 ميكروغرام مكافئ الكيرسيتين/ملغ مادة جافة، و 18.66 $\pm$ 2.96 ميكروغرام مكافئ الكاتيشين/ملغ مادة جافة.

كما تم تقييم النشاط المضاد للأكسدة باستعمال طريقتي DPPH وFRAP، وأظهرت النتائج أن مستخلص الجزء الهوائي لنبات *Salsola richteri* يمتلك نشاطاً مضاداً للأكسدة معتبراً، حيث سجلت قيمة IC50 لاختبار DPPH مقدارها 0.274 $\pm$ 0.025 ملغ/مل، في حين بلغت قيمة EC50 لاختبار FRAP مقدارها 200.25 $\pm$ 4.16 ملغ/غرام. ويرتبط هذا النشاط إيجابياً بالمحتوى المرتفع من المركبات الفينولية والفلافونويدات.

أما النشاط المضاد للفطريات، فقد تم اختباره على تسع سلالات فطرية ملثة لحبوب القمح. وأظهرت النتائج فعالية جيدة، خاصة ضد سلالاتي *Aspergillus sp.* و *Alternaria sp.*، حيث بلغت نسبتا التثبيط 74.29% و 79.52% على التوالي. ومن خلال مقارنة النتائج المتحصل عليها بالدراسات السابقة، يتبين أن نبات *Salsola richteri* يمثل مصدراً طبيعياً واعداً يمتلك خصائص مضادة للفطريات ومضادة للأكسدة، مما يجعله بديلاً محتملاً للمبيدات الفطرية الكيميائية المستخدمة في حماية القمح.

الكلمات المفتاحية: *Salsola richteri* النشاط المضاد للفطريات؛ النشاط المضاد للأكسدة؛ القمح؛ المستخلص الهيدروإيثانولي.

Liste des abréviations

% : Pourcentage.

± : Écarte type.

μl : Microlitre

AG : Acide gallique.

C° : Degré celsius.

CT : Catéchine.

DPPH : 2,2-diphényl- picrylhydrazyle.

FAO : Food and Agriculture Organization.

g : Gramme.

IC50 : Concentration inhibitrice à 50%.

L : Litre.

mg : Miligramme.

min : Minute.

ml : Millilitre.

mm : Millimètre.

n° : Numéro

PH : Postentiel hydrogène.

R : Rendement.

S : Seconde.

T° : Température.

λ : Longueur d'onde.

h : Heures

cm : centimètre

UV-Visible : Ultra-violet visible.

nm : nanomètre

Liste des figures

Figures	Titres	Pages
Figure 01	Structure du grain de blé	7
Figure 02	Evolution des 20 principaux producteurs de blé (en tonnes)	9
Figure 03	Évolution de la production de blé en Algérie (2010-2024)	10
Figure 04	Cycle de développement du blé	12
Figure 05	Différentes maladies du blé. En Haut, de gauche à droite : Rouille jaune, Septoriose des feuilles, Oïdium. En bas, de gauche à droite : Fusariose de l'épi, Charbon nu, Pourriture du collet.	13
Figure 06	Localisation des champignons au niveau d'un grain de blé	19
Figure 07	Distribution du genre <i>Salsola</i> dans différentes régions du monde	26
Figure 08	Plante <i>salsola richetri</i>	27
Figure 09	Présentation de la plante <i>Salsola richetri</i> dans la région EL-Oued	33
Figure 10	Protocole de préparation d'extrait hydroalcoolique de <i>salsola richetri</i> par macération.	35
Figure 11	Etapes de désinfection des grains de blé dur.	42
Figure 12	Techniques d'isolement des souches fongiques à partir des grains de blé dur par la méthode directe sur SAB.	43
Figure 13	Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux	50
Figure 14	Courbe d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonoïdes totaux	51
Figure 15	Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des tanins condensés	52
Figure 16	Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour le test DPPH	54
Figure 17	Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait hydroéthanolique de <i>Salsola richetri</i>	55
Figure 18	Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour le test FRAP	56
Figure 19	Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 1 (<i>Alternaria sp.</i>).	63
Figure 20	Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 2 (<i>Stemphylium sp.</i>).	64
Figure 21	Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 3 (<i>Bipolaris sp.</i>).	65
Figure 22	Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 4 (<i>Penicillium sp.</i>).	65
Figure 23	Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 5 (<i>Drechslera sp.</i>).	66
Figure 24	Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 6 (<i>Alternaria sp.</i>).	67

Figure 25	Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 7 (<i>Aspergillus sp.</i>).	68
Figure 26	Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 8 (<i>Aspergillus sp.</i>).	68
Figure 27	Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 9 (<i>Alternaria sp.</i>).	69
Figure 28	Distribution des souches fongiques selon leur réponse aux traitements C1, C2 et C3 dans le plan factoriel de l'ACP (PC1 = 54,60 % ; PC2 = 37,27 %).	74
Figure 29	Biplot de l'ACP illustrant la relation entre les souches fongiques et les traitements C1, C2 et C3 sur la base des taux d'inhibition au dernier jour.	75

Liste des Tableaux

Tableaux	Titres	Pages
Tableau 01	Position systématique du blé dur	7
Tableau 02	Composition chimique du grain de blé	8
Tableau 03	Différences entre un blé tendre et un blé dur	10
Tableau 04	classification de <i>salsola richteri</i>	27
Tableau 05	Caractéristiques de l'extrait hydroéthanolique préparé à partir de la partie aérienne de <i>Salsola richteri</i>	47
Tableau 06	Rendement de l'extraction hydroéthanolique de <i>Salsola richteri</i>	48
Tableau 07	Résultats des tests phytochimiques réalisés sur l'extrait hydroéthanolique de <i>Salsola richteri</i>	49
Tableau 08	Teneur en polyphénols totaux dans l'extrait de <i>Salsola richteri</i>	51
Tableau 09	Teneur en flavonoïdes totaux dans l'extrait de <i>Salsola richteri</i>	52
Tableau 10	Teneur en tanins condensés dans l'extrait de <i>Salsola richteri</i>	53
Tableau 11	Valeurs d'IC50 de l'extrait de <i>Salsola richteri</i> et de l'acide ascorbique dans le test DPPH	55
Tableau 12	Valeurs d'A0,5 de l'extrait hydroéthanolique et de l'acide ascorbique mesurées par le test FRAP	56
Tableau 13	Caractères macroscopiques des souches isolées des grains de blé dur	57
Tableau 14	Caractères microscopiques des souches isolées des grains de blé dur	61
Tableau 15	Synthèse des meilleurs traitements selon la croissance mycélienne et le taux d'inhibition.	70
Tableau 16	Critères d'interprétation statistique et biologique des résultats de l'ANOVA, du test de Tukey et des taux d'inhibition antifongique.	73
Tableau 17	Pourcentage de variance expliqué par les deux premières composantes principales de l'ACP appliquée aux taux d'inhibition des traitements C1, C2 et C3.	74
Tableau 18	Scores des souches fongiques sur les axes PC1 et PC2 issus de l'ACP des taux d'inhibition de l'activité antifongique.	75

Sommaire

Titres	Pages
Remerciement	
Dédicace	
Résumé	
Abstract	
ملخص	
Liste des abréviations	
Liste des Figures	
Liste des tableaux	
Sommaire	
Introduction générale	
PREMIÈRE PARTIE SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre I : Généralités sur le blé	
1. Historique	6
2. Définition de blé	6
3. Position systématique	7
4. Morphologie de grain de blé	7
5. Composition chimique du grain de blé	8
5.1. Dans le monde	8
5.2. En Algérie	9
6. Différences entre un blé tendre et un blé dur	10
7. Cycle de développement du blé	11
7.1. La période végétative	11

7.2. La phase reproductrice	11
8. Principales maladies fongiques	13
8.1 Fusariose du plateau de tallage (<i>Fusarium</i> sp)	13
8.2. Oïdium (<i>Erysiphe graminis</i>)	14
8.3. Septoriose (La tache septorienne et Septoria des glumes)	14
8.4. Rouille jaune (<i>Puccinia striiformis</i>)	14
9. Traitement des maladies fongiques	15
9.1 Méthodes de lutte culturales	15
9.2 Méthode de lutte chimique	16
Chapitre II : Les champignons	
1. Généralités sur les champignons	18
1.1 Définitions	18
2. Caractéristiques générales des champignons	19
3. Morphologie et structure cellulaire	20
4. Classification des champignons	20
5. Types de champignons	21
5.1. Champignons bénéfiques	21
5.2. Champignons pathogènes	21
6. Conditions physico-chimiques de croissance	22
6.1. Température	22

6.2. pH	22
6.3. Activité de l'eau	22
6.4. Lumière	22
7. Mycotoxines	23
7.1. Nature des mycotoxines	23
7.2. Production et caractéristiques des mycotoxines	23
7.3. Facteurs biologiques influençant la production des mycotoxines	24
Chapitre III: Salsola richteri	
1. Généralités sur le genre Salsola	26
2. Distribution et répartition géographique	26
3. Définition de <i>Salsola richteri</i>	27
4. Classification de la plante	27
5. composition chimique	27
6. Description botanique	28
7. Importance de <i>Salsola richteri</i>	29
7.1. Importance écologique	29
7.2. Importance économique	29
7.3. Utilisations médicinales	29
8. Les problèmes qui menacent la plante	30
DEUXIÈME PARTIE: PARTIE EXPÉRIMENTALE	
Chapitre I: Matériel et méthodes	
1. Matériels	33
1.1. Matériel végétal	33
2. Méthodes	33

2.1. Séchage et broyage de la plante	33
2.2. Extraction (Méthode de macération)	34
2.2.1. Principe	34
2.2.2. Mode d'opération	34
2.2.3. Rendement d'extraction	34
2.3. Tests photochimiques	36
2.4. Analyse quantitative	38
2.4. 1. Dosage de polyphénols totaux	38
2.4 .2. Dosage des flavonoïdes	39
2.4.3. Dosage des tanins condensés	39
2.5. Activités biologiques	40
2.5. 1. Activités antioxydant (test DPPH)	40
2.5. 2. Activité antioxydants (test FRAP)	41
2.6. Étude mycologique des grains de blé dur	41
2.6. 1. Échantillonnage	41
2.6. 2. Milieux de culture	41
2.6. 3. Désinfection superficielle des grains de blé	42
2.6. 4. Isolement des champignons par la méthode d'isolement direct	43
2.6. 5. Purification des isolats	43
2.6. 6. Identification des souches fongiques	44
a. Identification macroscopique	44
b. Identification microscopique	44
2.6 7. L'évaluation de l'activité antifongique des extraits de <i>Salsola richetii</i>	45
Chapitre II : Résultats et discussion	
1. Résultats et discussion	47
1.1. Description de l'extrait brut	47
1.2. Rendement d'extraction	48
1.3. Tests photochimiques	49
1.4. Analyse quantitative	50
1.4. 1. Dosage de polyphénols totaux	50
1.4.2. Dosage des flavonoïdes	51

1.4. 3. Dosage des tanins condensés	52
1.5. Activités biologiques	54
1.5. 1. Activité antioxydant (test DPPH)	54
1.5. 2. Activité antioxydant (test FRAP)	56
1.6. Identification des souches fongiques isolées	57
1.6. 1. Identification macroscopique	57
1.6. 2. Identification microscopique	59
1.7. Détermination de l'activité antifongique	63
1.7. 1. Comparaison entre les souches selon leur sensibilité aux traitements antifongiques	69
1.8. Analyse Statistiques des résultats	72
1.8.1. ANOVA et Tukey HSD	72
1.8.2. L'Analyse en Composantes Principales (ACP)	73
Conclusion et perspective	78
Références	81

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Introduction

Le blé (*Triticum aestivum* L.) est considéré comme l'une des cultures les plus stratégiques au monde. Il contribue de manière importante à l'alimentation humaine, en fournissant une part notable des calories et des protéines consommées à l'échelle mondiale. Sa grande plasticité écologique permet sa culture dans des conditions climatiques variées, ce qui en fait une composante essentielle de la sécurité alimentaire, notamment dans les pays en développement. L'Algérie figure parmi les pays où la population dépend largement de la consommation des céréales et de leurs dérivés. Cependant, l'augmentation de la demande, liée à la croissance démographique, impose une protection rigoureuse des cultures contre les facteurs de dégradation, en particulier les risques biotiques (Schierau *et al.*, 2013).

Malgré son importance agronomique et alimentaire, le blé est exposé à de nombreux micro-organismes pathogènes. Parmi eux, les champignons filamenteux occupent une place majeure dans la contamination des grains, notamment lors du stockage. Les genres *Aspergillus sp.*, *Penicillium sp.*, *Fusarium sp.*, *Rhizopus sp.*, *Stemphylium sp.* et *Alternaria sp.* figurent parmi les principaux contaminants fongiques des grains de blé. Leur développement peut provoquer des pertes pondérales, une diminution de la faculté germinative et une altération de la qualité technologique et sanitaire des grains. De plus, certaines espèces fongiques sont capables de produire des mycotoxines, telles que le déoxynivalénol, les aflatoxines et les ochratoxines, qui sont généralement thermostables et peuvent présenter des effets toxiques, cancérigènes ou immunotoxiques chez l'homme et l'animal (Marin *et al.*, 2013).

Pour faire face à ces contraintes fongiques, l'agriculture conventionnelle a longtemps eu recours aux fongicides et aux pesticides chimiques. Toutefois, l'utilisation excessive ou inappropriée de ces produits peut entraîner plusieurs effets indésirables, notamment la pollution de l'environnement, l'accumulation de résidus chimiques et l'apparition de souches fongiques résistantes. Ces limites ont encouragé la recherche de solutions alternatives plus sûres, plus respectueuses de l'environnement et compatibles avec une gestion durable des cultures et des denrées stockées.

Dans ce contexte, les extraits végétaux représentent une option prometteuse. En effet, de nombreuses plantes renferment des métabolites secondaires bioactifs, tels que les composés phénoliques, les flavonoïdes, les alcaloïdes, les tanins, les saponines et les terpénoïdes. Ces

Introduction

molécules peuvent exercer des effets antifongiques par différents mécanismes, notamment la perturbation de l'intégrité de la membrane ou de la paroi cellulaire, l'inhibition de la croissance mycélienne, la réduction de la germination des spores ou encore la limitation de la sporulation. Ainsi, l'exploitation de la biodiversité végétale locale pourrait constituer une approche écologique et durable pour protéger les grains de blé après la récolte (**Prakash et al., 2015**).

La présente étude s'inscrit dans cette perspective et s'intéresse à l'évaluation de l'activité antifongique des extraits bruts de *Salsola richteri* vis-à-vis des moisissures contaminant les grains de blé. *Salsola richteri*, appartenant à la famille des Amaranthaceae, est une plante adaptée aux milieux arides et sahariens. Elle pourrait constituer une source naturelle de métabolites secondaires d'intérêt biologique, en particulier des composés phénoliques, des flavonoïdes et d'autres substances bioactives susceptibles d'intervenir dans l'inhibition des micro-organismes pathogènes.

L'intérêt de cette plante réside donc dans la possibilité d'exploiter ses extraits comme agents naturels capables de limiter la croissance des champignons associés au blé. Les composés actifs qu'elle contient pourraient contribuer à ralentir le développement mycélien, à réduire la formation des spores et, par conséquent, à limiter les altérations fongiques et le risque de contamination par les mycotoxines. Cette approche pourrait offrir une alternative potentielle aux traitements chimiques utilisés dans la protection du blé, à condition que son efficacité et son innocuité soient confirmées par des études expérimentales approfondies (**Oztürk et al., 2014 ; Prakash et al., 2015**).

Dans ce cadre, l'objectif principal du présent travail est de mettre en évidence l'activité antifongique de l'extrait de *Salsola richteri*, récoltée dans la région d'El-Oued, en tant que substance naturelle susceptible de limiter la croissance des moisissures contaminant les grains de blé au cours du stockage.

Ce travail est organisé en deux grandes parties, précédées d'une introduction générale. La première partie est consacrée à la synthèse bibliographique et comprend trois chapitres. Le premier chapitre présente des généralités sur le blé, son importance et ses principales contraintes. Le deuxième chapitre traite des champignons contaminants du blé, de leurs effets sur la qualité des grains et des risques liés aux mycotoxines. Le troisième chapitre est consacré à la présentation générale de *Salsola richteri* et à ses propriétés biologiques potentielles.

Introduction

La deuxième partie correspond à l'étude expérimentale. Elle comprend deux chapitres : le premier décrit le matériel utilisé et les méthodes adoptées au cours de l'étude, tandis que le second présente les résultats obtenus et leur discussion. Enfin, le mémoire se termine par une conclusion générale résumant les principaux résultats, suivie de perspectives pouvant compléter et prolonger ce travail.

PREMIÈRE PARTIE
SYNTHÈSE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I

Généralité sur le blé

I. Généralités sur le blé :

1. Historique :

Des temps anciens, le blé apparaît parmi les premières céréales cultivées dans le monde. En termes de production, il figure au troisième rang mondial, avec environ 600 millions de tonnes récoltées chaque année (Clerget, 2011).

À la fin du XVIII^e siècle, le blé a été introduit sur le continent nord-américain par les colonisateurs britanniques. Ce produit a rapidement séduit les populations autochtones, en particulier grâce à sa richesse en gluten, nécessaire à de nombreuses recettes du pain, ce qui le rendait plus performant que d'autres types de céréales disponibles (Monneveux, 1991).

L'étymologie du mot « blé » remonte probablement à la forme gauloise *blato*, qui a donné des termes anciens comme « blaie », « blee », « blaier » ou « blaver ». Le verbe « emblaver », qui désigne le fait de semer du blé, dérive également de cette racine. Le mot désigne, entre autres, les grains à partir duquel l'on produira du pain.

2. Définition de blé :

Le blé est présent parmi les grandes cultures de céréales du monde (riz, maïs, orge, sorgho), cultivé en effet avec les autres, de sorte à assurer plus de 60 % des apports calorique et protéique de l'alimentation humaine. Et sa particularité d'être, au-delà de la richesse nutritionnelle propre au grain, dense en amidon (70 % pour le grain complet). Il fait partie des denrées de l'alimentation humaine plutôt de premier plan comme premier ingrédient au « pain », à la « semoule » du couscous aux « biscuits » aux « pâtes » (Zouaou, 2012).

C'est le *Triticum aestivum* ssp. *aestivum* (blé tendre), cultivé à plus de 90 %, qui sert pour la fabrication essentielle des pains, et le *Triticum turgidum* ssp. *durum* (blé dur) constituant en 5 % de la production des blés celle utilisée pour la fabrication des pâtes alimentaires et des semoules. C'est la dureté du grain (dur ou tendre), ici, qui justifie cette dichotomie (Zouaou, 2012).

3. Position systématique :

Le blé est une monocotylédone de la famille des Poaceae, il est classé dans le genre *Triticum*, il apparaît dans la classification figurant dans le tableau 01 :

Tableau 01 : Position systématique du blé dur (Doumandji *et al.*, 2003)

REGNE	Végétale
EMBRANCHEMENT	Stomatifères
SOUS-EMBRANCHEMENT	Angiospermes
CLASSE	Monocotylédones
ORDRE	Glumales
FAMILLE	Graminées(graminacées), (Poacées)
ESPECE	Blé dur : <i>Triticum durum</i> Desf. Blé tendre : <i>Triticum aestivum</i> L

4. Morphologie de grain de blé :

Le grain de blé est un fruit sec, dont le nom botanique est caryopse, de forme ovoïde et présente sur la face ventrale un sillon qui s'étend sur toute la longueur. Sa couleur varie du roux au blanc. A la base dorsale du grain, se trouve le germe qui est surmonté par une brosse. Le grain de blé mesure entre 5 et 7 mm de long, et entre 2,5 et 3,5 mm d'épaisseur, pour un poids compris entre 20 et 50 mg (Riba, A. 2008). La structure du grain de blé est présentée dans la figure 1

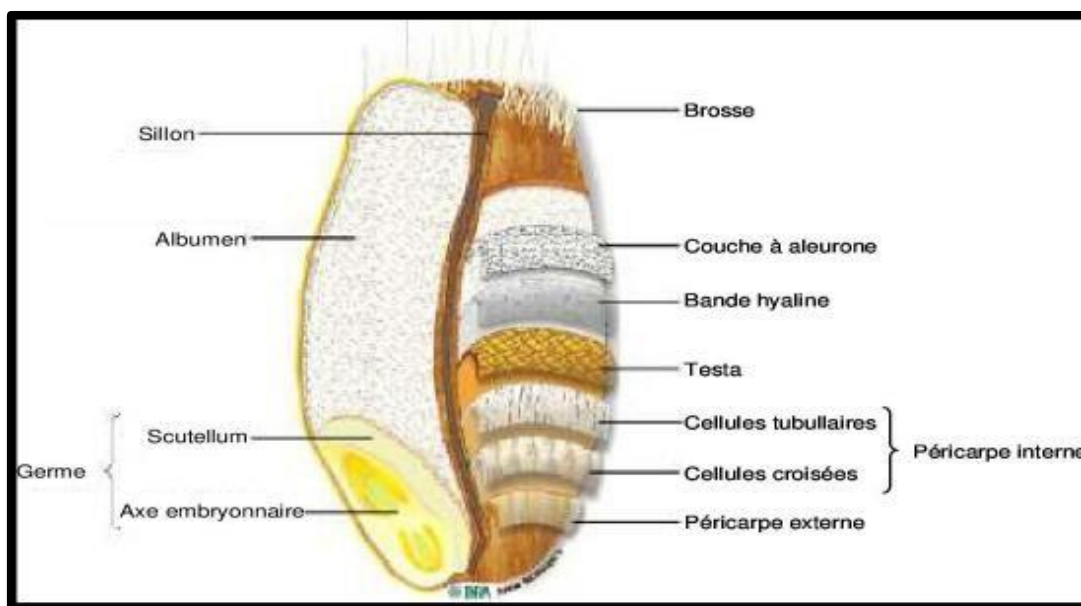


Figure 01 : Structure du grain de blé (Surget et Barro , 2005).

5. Composition chimique du grain de blé :

Le grain présente une grande richesse en amidon, qui représente environ 70 % de sa composition, une proportion largement supérieure à celle des protéines, dont la teneur varie entre 10 et 15 % selon la variété et les conditions de culture. Les autres constituants, pondéralement peu abondants (quelques pourcents seulement), sont principalement les lipides, la cellulose, les sucres libres, les minéraux et les vitamines.

Tableau02 : Composition chimique du grain de blé (Feillet ,2000)

Nature des composants	Teneur (% ms)
Protéines	10 – 15
Amidon	67 – 71
Pentosanes	8 – 10
Cellulose	2 – 4
Sucres libres	2 – 3
Lipides	2 – 3
Matières minérales	1.5 -2.5

5. Importance du blé et production

Concernant l'alimentation humaine, on peut affirmer que le blé figure parmi les aliments de base, au sein de l'alimentation directe et indirecte d'un très grand nombre d'individus. Nous précisons qu'il est aujourd'hui la première céréale sur le plan de la production mondiale et de la commercialisation sur le marché mondial (**Charvet, 1977**).

5.1 Dans le monde

Au niveau mondial, le blé est la principale culture vivrière avec 14 % de la part des surfaces cultivées, en même temps qu'il représente la valeur la plus échangée dans le secteur des produits alimentaires (**OCDE/FAO, 2020**). En l'espace de 60 ans, la production mondiale de blé a pris un essor considérable : elle est ainsi passée de 222,4 millions de tonnes en 1961 à 765,8 millions tonnes en 2019. La production mondiale de blé a été dominée par l'Europe jusqu'au début des années 90, mais l'Asie a pris le relais avec une forte progression de sa production (de 45,8 millions de tonnes en 1961 à 337,9 millions de tonnes en 2019). La production du continent américain s'est également redressée, bien qu'à un rythme moins important qu'en Europe ou en Asie : elle est ainsi passée de 50,8 millions de tonnes en 1961 à 116,8 millions de tonnes en 2019 (**Olivpro, 2020**). En 2019, la Chine et l'Inde sont de loin les deux premiers producteurs mondiaux de blé. Ils dépassent tous les deux les 100 millions de tonnes.

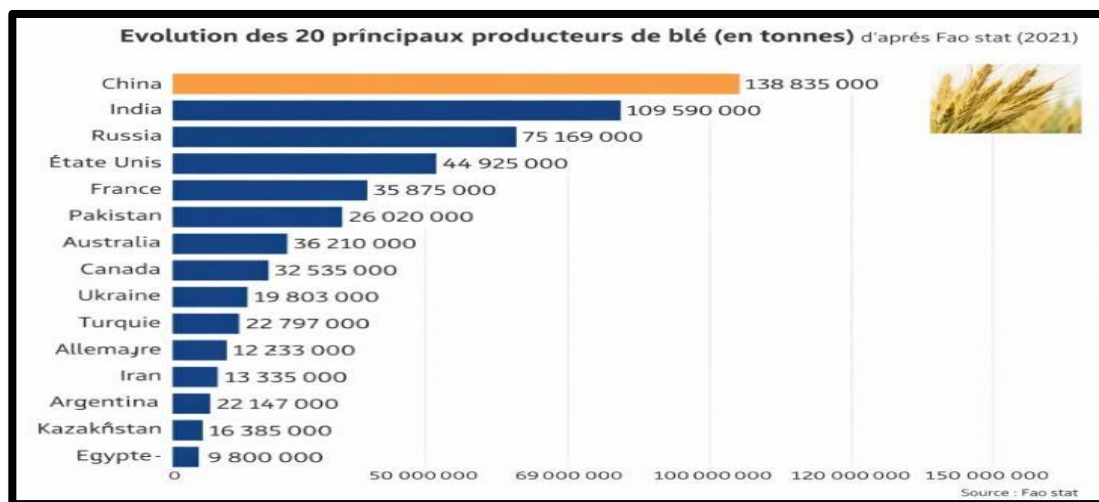


Figure02 : Evolution des 20 principaux producteurs de blé (en tonnes) d'après (Fao 2021)

5.2 En Algérie :

Au niveau national ; une augmentation significative est observée entre 2010 et 2012, où la production passe d'environ 2,6 millions à 3,43 millions, traduisant une amélioration des conditions agricoles ou climatiques. Par la suite, une phase de baisse et de variabilité est enregistrée entre 2013 et 2017, avec une relative stabilisation autour de 2,4 à 2,6 millions.

Entre 2018 et 2019, la production atteint son maximum, notamment en 2018 avec près de 3,98 millions, ce qui reflète une campagne agricole favorable. Cependant, cette tendance ne se maintient pas, puisqu'une chute importante est constatée durant les années 2020 et 2021, avec un minimum atteint en 2021 (environ 2,16 millions), probablement en raison de conditions climatiques défavorables ou de contraintes économiques et sanitaires.

À partir de 2022, une reprise partielle est observée, bien que la production demeure instable, avec une hausse en 2022, suivie d'une baisse en 2023, puis une nouvelle augmentation en 2024. Ainsi, il ressort que la production est marquée par une irrégularité et dépend fortement de facteurs externes, notamment climatiques figure 3. (fao Stat 2026)

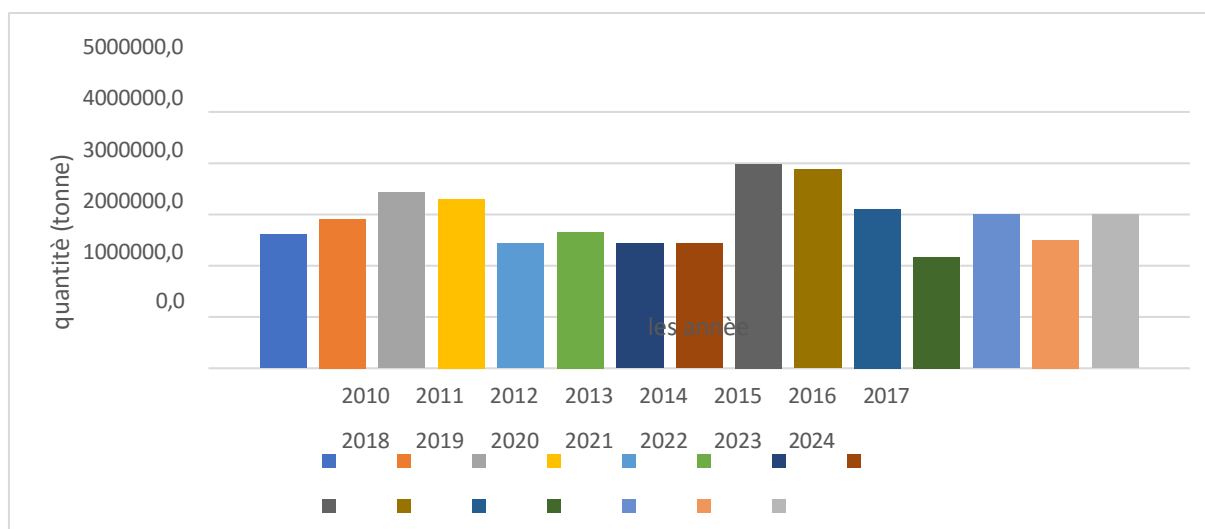


Figure 03: Évolution de la production de blé en Algérie (2010-2024) (fao Stat 2026)

6. Différences entre un blé tendre et un blé dur

Le blé existe principalement sous deux formes : le blé tendre et le blé dur. Ils se distinguent par leur composition et leurs utilisations. Le blé tendre est utilisé en boulangerie, tandis que le blé dur est destiné à la semoule et aux pâtes. Le tableau3 suivant présente leurs différences.

Tableau 03 : Différences entre un blé tendre et un blé dur (Aidani, 2015).

Caractère	Blé tendre	Blé dur
Aspect génétique	3 génomes A,B et D $2n = 42 = 3x (2x7)$	2 génomes A et B $2n = 28 = 2x (2x7)$
Prédominance	De l'amidon	Des protéines
Aspect de la Plante	Feuilles très étroites Maturation rapide	Feuilles larges Maturation très longue Moisson tardive exigeante du point de vue sol et climat.
Forme	Texture opaque Structure de l'amande farineuse	Texture vitreuse
Utilisation	Obtention de la farine utilisée dans la fabrication du pain et des biscuits	Obtention de la semoule à partir de laquelle on fabrique de la galette, du couscous et des pâtes alimentaires.

7. Cycle de développement du blé :

Le cycle de développement du blé correspond à la succession de phases de croissance permettant à la plante de se multiplier dans un environnement favorable. Il se compose de deux grandes périodes Figure 4 :

7.1. La période végétative : Cette période se caractérise par un développement strictement herbacé et se divise en deux stades principaux :

- **Phase germination – levée :** La germination correspond au passage de la graine de l'état de vie latente à un état de vie actif, marqué par l'émergence du coléorhize, qui donne naissance aux racines séminales, et de la coléoptile, jouant un rôle protecteur et mécanique pour percer le sol et protéger l'émergence de la première feuille fonctionnelle (**Bada, 2007**). La levée s'effectue réellement lorsque les feuilles émergent à la surface du sol et est atteinte lorsque la majorité des lignes de semis devient visible (**Gate, 1995**).

- **Phase levée – tallage :** Le tallage commence dès l'apparition de la première feuille de la talle latérale primaire. Cette phase se caractérise par la formation du plateau de tallage, l'émission des talles et la sortie de nouvelles racines (**Zaidi, 2018**).

Selon **Moule (1971)**, les talles apparaissent à partir du développement de la troisième feuille, suivant un rythme régulier similaire à l'émission des feuilles. Les bourgeons situés à l'aisselle des talles primaires peuvent donner naissance à des talles secondaires, qui elles-mêmes peuvent émettre des talles tertiaires. La fin de cette phase végétative marque le début de la phase reproductive, régulée par la photopériode et la vernalisation, qui permettent l'allongement des entre-nœuds (**Gate, 1995**).

7.2. La phase reproductrice : La phase reproductrice du blé se distingue par trois étapes principales :

- **Phase montaison – gonflement :** Le début de la montaison est marqué par l'apparition de l'épi d'environ 1 cm, ce qui indique la fin du tallage herbacé et le début de l'élongation des entre-nœuds de la tige principale (**Belaid, 1996**). Cette étape est suivie du stade des 1 à 3 nœuds, où les nœuds sont facilement visibles sur la tige. Elle se caractérise par la différenciation des pièces florales. La montaison est considérée comme la phase la plus critique du développement

du blé, et elle se termine avec la fin de l'émission de la dernière feuille et le gonflement provoqué par l'épi dans la gaine (**Baldy, 1984**).

- **Phase épiaison – floraison** : Selon (**Gate, 1995**), la phase d'épiaison se caractérise par la méiose pollinique et l'éclatement de la gaine, permettant l'émergence de l'épi depuis la gaine de la feuille étendard. Durant cette phase, la formation des organes floraux (anthèse) se complète et la fécondation a lieu. La floraison dure généralement de trois à six jours, selon les conditions climatiques, et est considérée comme atteinte lorsque 50 % des épis sont à moitié sortis de la gaine de la dernière feuille.

La formation du grain se déroule en trois stades principaux selon (**Gigot, 2009**) :

- **Stade du grain laiteux** : Il marque la fin des multiplications et différenciations cellulaires dans le grain, fixant ainsi le poids potentiel, car le nombre maximal de cellules est atteint.
- **Stade du grain pâteux** : Cette étape correspond à la fin de la croissance des cellules de l'enveloppe et au remplissage des amyloplastes par des sucres, principalement sous forme d'amidon.
- **Stade de maturité** : Il est atteint lorsque la migration de matière sèche vers le grain cesse, déterminant ainsi le poids sec maximal. Une phase rapide de dessiccation s'enclenche alors, conduisant à la maturité de récolte, lorsque le grain est suffisamment sec et dur pour être récolté.

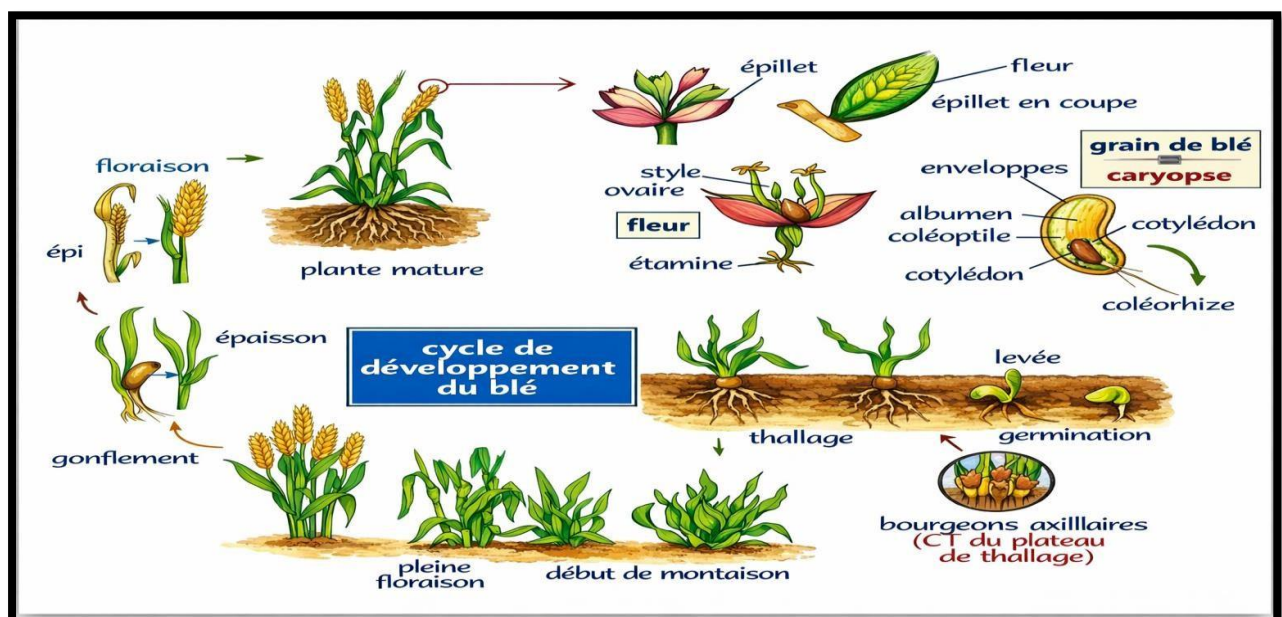


Figure 04 : Cycle de développement du blé (Henry et DE Buyser, 2001)

8. Principales maladies fongiques :

Le blé peut être attaqué par de nombreuses maladies fongiques à différents stades de croissances lorsque les conditions climatiques sont favorables, ces maladies peuvent facilement se propager provoquant des symptômes qui leurs sont spécifiques (Ezzahiri, 2001).

Parmi les maladies observées, certaines atteignent les feuilles, l'épi, le collet et les racines sont présenter dans le Figure.



Figure 05: Différents maladies du blé. En Haut, de gauche à droite : Rouille jaune, Septoriose des feuilles, Oïdium. En bas, de gauche à droite : Fusariose de l'épi, Charbon nu, Pourriture du collet. (Syngenta, 2015, <https://www.syngenta.fr>)

8.1 Fusariose du plateau de tallage (*Fusarium* sp) :

Le blé peut être infecté par plusieurs espèces du genre *Fusarium*, qui provoquent diverses maladies telles que le flétrissement des plantules, la pourriture du collet, ainsi que la fusariose des épis. Les maladies fusariennes comptent parmi les plus graves affectant le blé, en raison de leur impact négatif considérable sur la production : elles entraînent une baisse du taux de germination des graines, une diminution du nombre de grains par épi, ainsi qu'une baisse du poids de mille grains (Gutzuiller et al., 2005). La fusariose des épis et la pourriture du collet comptent parmi les maladies les plus répandues causées par les espèces de *Fusarium* (Zillinsky, 1983).

8.2. Oïdium (*Erysiphe graminis*):

L'oïdium blanc (*Erysiphe graminis*) est une maladie assez courante des céréales et des graminées (Zillinsky, 1983). Chez le blé il est provoqué par *Erysiphe graminis* f. sp. tritici (Messiaen, 1981).

Les premiers symptômes apparaissent sous forme de feutre blanchâtre ou gris pale sur les limbes et les feuilles basales, puis se développe sur les feuilles supérieures (Aouali et Douici- Khalfi, 2009). Après quelques temps, des ponctuations noires apparaissent (organes de conservation). La présence de la maladie peut conduire à l'échaudage des grains (Ectophyto, 2015).

8.3. Septoriose (La tache septorienne et *Septoria* des glumes) :

- **La tache septorienne** : La septoriose du blé, provoquée par *Z. tritici*, est une maladie largement étudiée chez les populations génotypiques de l'Est algérien. Elle apparaît initialement sur les feuilles inférieures sous forme de lésions chlorotiques jaunâtres (Pedersen, 1989 ; Ponomarenko, 2011). Par la suite, ces lésions évoluent progressivement vers des zones nécrotiques brunes dues à la destruction des tissus foliaires. Les nécroses prennent généralement une forme allongée et sont limitées par les nervures des feuilles. Elles sont également caractérisées par la présence de nombreux petits points noirs correspondant aux pycnides, souvent visibles sous forme d'exsudats cirrhiens (Rapilly et al., 1971 ; Ponomarenko, 2011).
- **Septoria des glumes** : La septoriose des glumes ou de l'épi est une maladie fongique causée par le champignon *Septoria nodorum* (Mazouz, 1992 ; Scharen, 1999). Cette pathologie peut affecter différentes parties de la plante, notamment les feuilles, les glumes, les gaines foliaires ainsi que les nœuds. Elle se manifeste par l'apparition de lésions brunes de forme ovale, entourées d'un halo jaunâtre au niveau des feuilles. De petits points noirs, correspondant aux pycnides, peuvent également être observés, bien qu'ils soient moins visibles que ceux produits par *Septoria tritici*. En conditions humides, ces pycnides émettent un cirrhe de couleur rosée (Ezzahiri, 2010).

8.4. Rouille jaune (*Puccinia striiformis*)

La rouille jaune est causée par le champignon *Puccinia striiformis* f. sp. tritici (Amrani, 2013) ; son développement dépend fortement de conditions climatiques favorables, à savoir un printemps froid, humide, nuageux et venteux, avec des températures comprises entre 2 et 15 °C. Les symptômes de la maladie se manifestent sous forme de pustules de

couleur jaune-orange tirant vers le brun, alignées en lignes longitudinales le long des nervures des feuilles. Ces pustules poudreuses sont principalement constituées de spores d'*oriodespor*, qui virent ensuite au noir à la suite de la formation de spores de *téliotes* à la fin du cycle pathogène (Aouali et Douici-Khalfi, 2013).

9. Traitement des maladies fongiques :

Les stratégies de lutte adoptées contre les agents responsables des maladies foliaires reposent principalement sur des méthodes culturales et chimiques.

9.1 Méthodes de lutte culturales

Ces méthodes reposent sur l'application de mesures prophylactiques ayant pour objectif soit de réduire les sources d'inoculum, soit de créer des conditions moins favorables au développement des maladies (Mehates-Demazure, 2000).

Les principales techniques culturales sont :

- La rotation culturale avec des espèces non hôtes des agents pathogènes, telles que la pomme de terre ou les légumineuses, permet de réduire l'inoculum fongique présent dans le sol et ainsi de limiter les risques d'infections précoces. En revanche, la succession de cultures de blé sur blé favorise la survie hivernale de plusieurs maladies comme la tache *helminthosporienne*, la rayure réticulée, la tache auréolée, la *septoriose*, la tache ovoïde, la *rhynchosporiose* et l'*oïdium* dans les résidus de culture.
- L'utilisation de semences certifiées et traitées par des fongicides constitue une mesure préventive importante afin d'éviter l'introduction de maladies dans les parcelles. Les traitements de semences sont particulièrement efficaces contre les maladies touchant les jeunes plantules.
- Il est recommandé d'éviter les fortes densités de semis ainsi que les excès de fertilisation azotée, car un couvert végétal trop dense crée des conditions favorables au développement des maladies foliaires. Il est également conseillé de limiter les apports azotés excessifs et de privilégier une fertilisation fractionnée.
- Le semis précoce au printemps permet aux plantes de se développer avant les périodes favorables aux infections, réduisant ainsi les risques de contamination. Il convient aussi

d'éviter l'utilisation de semences issues de champs infectés.

- La lutte contre les insectes ravageurs est indispensable, étant donné que les dégâts qu'ils provoquent affaiblissent les plantes et augmentent leur sensibilité aux attaques des champignons phytopathogènes.
- Le recours à des variétés résistantes demeure l'une des méthodes de lutte les plus simples, efficaces et économiques (**Boughaleb et al., 1997**). Dans le cas de la rouille, la variété de blé dur présente une résistance aux principales races de cet agent pathogène.

9.2 Méthode de lutte chimique :

En complément des pratiques culturales, la lutte chimique basée sur l'utilisation de fongicides représente une méthode largement employée pour contrôler les maladies foliaires du blé. Les principales stratégies reposent sur le traitement des semences avant le semis ainsi que sur les traitements foliaires appliqués au champ durant le cycle de culture.

L'application de fongicides au cours de la végétation devient particulièrement importante lors des fortes attaques épidémiques, notamment dans le cas des rouilles, où la lutte chimique constitue souvent le moyen de contrôle le plus efficace.

Plusieurs fongicides appartenant à la famille des triazoles, reconnus pour leurs propriétés curatives (**Schofi et al., 1994**), ont démontré une grande efficacité contre les différentes rouilles du blé.

Concernant la septoriose, de nombreux essais ont montré que l'utilisation de fongicides permet d'obtenir des résultats satisfaisants, avec des gains de rendement variant entre 10 et 35 % (**Rapilly et al., 1973**).

Par ailleurs, dans le cas de la fusariose, des traitements fongicides appliqués au stade de la floraison peuvent être utilisés afin de limiter le développement de la maladie chez le blé.

Chapitre II

Les champignons

1. Généralités sur les champignons :

Dans le contexte des champignons associés au blé, les champignons filamenteux jouent un rôle central, qu'il soit bénéfique ou pathogène. Ces organismes se distinguent par une organisation mycélienne, leur thalle étant constitué d'un réseau de filaments ramifiés, ou hyphes, qui permettent l'expansion dans le grain, la tige ou le sol environnant. Cette structure leur assure une absorption efficace des nutriments, essentielle à leur développement et à leur interaction avec la plante hôte. Au niveau cellulaire, les hyphes présentent souvent une organisation coenocytique, avec une masse cytoplasmique continue et plurinucléée entourée d'une paroi rigide riche en chitine. Chez certaines espèces, les hyphes sont cloisonnés par des septas perforées, permettant la circulation du cytoplasme et des organites, garantissant ainsi la continuité fonctionnelle du mycélium.

Dans le blé, cette organisation confère aux champignons filamenteux une grande adaptabilité, leur permettant soit de contribuer à l'antagonisme biologique (ex. *Trichoderma* spp.), soit de provoquer des maladies fongiques (ex. *Fusarium* spp.). Comprendre cette structure mycélienne et ses implications physiologiques est donc essentielle pour maîtriser les risques phytopathologiques et optimiser la prévention et la protection des cultures de blé (**Brock et al., 1994**).

1.1 Définitions :

Les champignons, également désignés sous le terme de mycètes, constituent un groupe d'organismes eucaryotes pouvant être unicellulaires ou pluricellulaires. Ils regroupent des espèces visibles à l'œil nu, appelées macromycètes, ainsi que des formes microscopiques, dites micromycètes (**Chabasse et al., 2002**).

Malgré cette diversité morphologique et structurale, les champignons partagent une caractéristique fondamentale commune, à savoir une nutrition hétérotrophe assurée par absorption. Selon les espèces, ce mode de nutrition peut s'exprimer sous forme de saprophytisme, de parasitisme ou de relations symbiotiques avec d'autres organismes

(Abdelkader,2012).

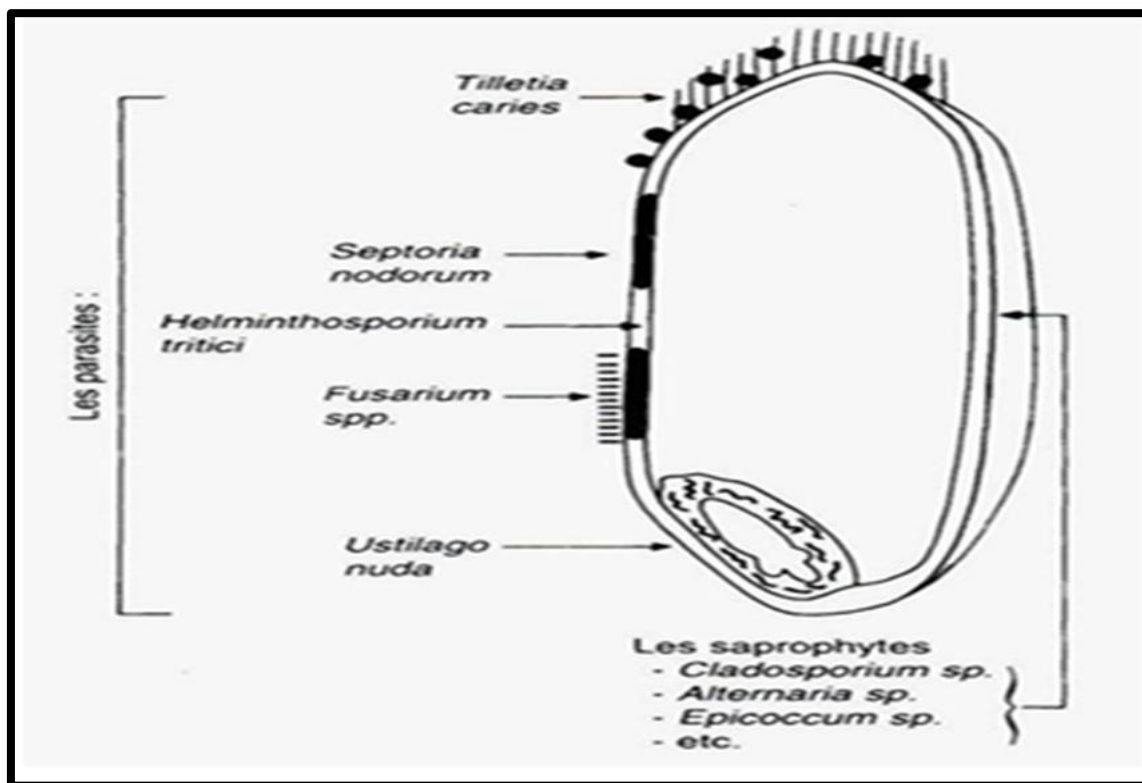


Figure 06. Localisation des champignons au niveau d'un grain de blé. (D'après Champion, 1997)

2. Caractéristiques générales des champignons :

- ✓ Les champignons sont des organismes eucaryotes.
- ✓ Ils possèdent la capacité de se reproduire de manière sexuée et/ou asexuée (**Dufresne, 2018**).
- ✓ La reproduction fongique repose essentiellement sur des spores uni- ou pluricellulaires, capables de donner naissance à de nouveaux individus (**Bouchet et al., 1999**).
- ✓ Tous les champignons sont dépourvus de chlorophylle et dépendent donc entièrement de sources externes de carbone, les classant parmi les organismes hétérotrophes, à l'instar des animaux (**Bouchet, 2005**).
- ✓ Ils appartiennent au groupe des Thallophytes. Leur particularité réside dans la formation de filaments appelés hyphes, libres ou entrelacés, et dont l'ensemble constitue le mycélium (**Boiron, 2005**).

3. Morphologie et structure cellulaire :

L'organisation cellulaire fondamentale des champignons repose sur le thalle, qui constitue leur appareil végétatif. Ce dernier présente une grande diversité structurale, allant d'une forme unicellulaire, représentée par les levures généralement pourvues d'un seul noyau par cellule, à une forme filamenteuse plus fréquente.

La forme filamenteuse est constituée d'hyphes, correspondant à des cellules allongées organisées en filaments tubulaires dont le diamètre varie généralement entre 2 et 10 μm . Ces hyphes renferment les organites caractéristiques des cellules eucaryotes, notamment le noyau, les mitochondries, le cytoplasme et diverses vésicules intracellulaires. Elles peuvent être cloisonnées (septées) ou non cloisonnées, selon les groupes fongiques.

L'ensemble des hyphes s'organise en un réseau appelé mycélium, qui assure les fonctions essentielles de croissance, de nutrition et de reproduction du champignon **(Boukhedenna et Merouane, 2014)**.

4. Classification des champignons :

La classification des champignons repose sur les caractères morphologiques, phylogénétiques et sur la présence ou l'absence de reproduction sexuée **(Guarro et al., 1999 ; Redecker, 2002)**. Le règne fongique est divisé en quatre phylums principaux, déterminés par la présence ou l'absence de cloisons dans le thalle, la présence de gamètes ou de spores mobiles, ainsi que par les caractéristiques des organes spécialisés dans la reproduction sexuée **(Sylvie, 2015)** :

- Zygomycètes : environ 200 espèces, comprenant des champignons saprophytes et des parasites d'insectes, nématodes et plantes. Caractérisés par un mycélium siphonique se reproduisant souvent de manière asexuée, avec formation de zygosporanges durant le cycle sexué **(Bouchet et al., 2005 ; Raven et al., 2007)**.
- Ascomycètes : champignons en forme de sac, hyphes cloisonnés, production de spores sexuelles (ascospores) dans l'asque **(Raven et al., 2003)**.
- Basidiomycètes : hyphes cloisonnés, formation de basidiocarpes, reproduction sexuée par basidiospores **(Prescott et al., 2003)**

- Deutéromycètes : « champignons incomplets », correspondant à des ascomycètes ou basidiomycètes ayant perdu la phase sexuelle de leur cycle de vie (Perry *et al.*, 2004).

5. Types de champignons :

Les champignons présentent une grande diversité et peuvent être classés en deux catégories principales selon leur rôle écologique et leur interaction avec d'autres organismes :

5.1. Champignons bénéfiques :

Le genre *Trichoderma* spp. Constitue un exemple majeur de champignons bénéfiques, jouant un rôle clé dans l'antagonisme des champignons phytopathogènes :

- ✓ Parasitisme direct des hyphes des champignons pathogènes, entraînant leur destruction.
- ✓ Production d'enzymes hydrolytiques, telles que les chitinases et les glucanases, capables de dégrader les parois cellulaires des pathogènes.
- ✓ Sécrétion de métabolites secondaires à effet antifongique.
Induction d'une résistance systémique chez les plantes, renforçant leurs défenses face aux stress bio grâce à ces mécanismes, *Trichoderma* est largement intégré dans les programmes de lutte biologique, réduisant l'usage de pesticides chimiques et Contribuant à une agriculture durable. (Bailly ,1980)

5.2. Champignons pathogènes :

Les champignons pathogènes, ou parasites, sont responsables de mycoses et de maladies végétales regroupées sous le terme général de maladies cryptogamiques. Ils infectent différentes parties de la plante, provoquant des pertes de rendement et affectant la qualité des grains. La capacité des pathogènes à survivre dans le sol, sur les résidus de culture ou dans les semences est cruciale pour comprendre la dynamique des infections et planifier des stratégies de lutte efficaces, telles que :

- ✓ Les rotations culturales pour réduire l'inoculum. Le traitement des semences pour éliminer les champignons présents.
- ✓ L'élimination ou le compostage des résidus contaminés.

Ainsi, la distinction entre champignons bénéfiques et pathogènes est essentielle pour protéger les cultures de blé et développer des méthodes de lutte biologique et

intégrée, permettant de maintenir la santé des plantes tout en réduisant l'impact environnemental. (Bailly ,1980)

6. Conditions physico-chimiques de croissance :

6.1. Température :

La croissance fongique est étroitement influencée par la température. La majorité des champignons appartiennent aux groupes des psychrotrophes et des mésophiles, présentant des températures optimales de croissance comprises entre 25 °C et 35 °C. Certaines espèces thermotolérantes peuvent se développer à des températures atteignant 50 °C, à l'exemple d'*Aspergillus fumigatus*. La température maximale limitant le développement fongique se situe généralement entre 60 °C et 62 °C. Parmi les espèces psychrotolérantes figurent notamment *Fusarium nivale* et *Thamnidium elegans* (Bendjoudi et Dehimi, 2020).

6.2. pH :

La majorité des champignons est capable de croître dans une large plage de pH, généralement comprise entre 4,5 et 7,5. Le pH optimal de croissance se situe le plus souvent entre 5,5 et 7,0. Toutefois, certaines espèces présentent une affinité particulière pour les milieux acides et sont qualifiées d'acidophiles ou d'acido-tolérantes (Botton et al., 1999).

6.3. Activité de l'eau :

L'activité de l'eau (a_w) constitue un facteur déterminant pour le développement des champignons. Une valeur d' a_w de 0,65 représente la limite inférieure de disponibilité en eau permettant leur croissance. Les champignons forment ainsi le groupe de microorganismes comprenant les espèces les plus xérophiles. Dans de nombreux cas, la xérophilie est associée à une forte osmotolérance (Pitt et Hocking, 2009).

6.4. Lumière :

Les radiations du spectre visible n'exercent généralement qu'un effet limité sur la croissance végétative des champignons. En revanche, la lumière peut influencer certains processus physiologiques, notamment la sporulation. De nombreuses espèces fongiques ne nécessitent toutefois pas de lumière pour produire des spores (Tabuc, 2007).

7. Mycotoxines :

Les mycotoxines sont des métabolites secondaires toxiques produits par certaines espèces de champignons. Elles représentent un risque majeur pour la santé humaine et animale, en raison de leur capacité à contaminer de nombreux produits agricoles et alimentaires. Les effets toxiques induits par les mycotoxines varient selon la nature du composé, la dose ingérée et la durée d'exposition (**Bennett & Klich, 2003**).

7.1. Nature des mycotoxines :

Les principaux genres fongiques producteurs de mycotoxines sont *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* et *Alternaria*, en raison de leur large répartition géographique et de leur grande capacité d'adaptation aux conditions environnementales. Les produits agricoles les plus sensibles à la contamination sont notamment les céréales, les fruits secs, les graines oléagineuses et les raisins.

Les voies d'exposition aux mycotoxines sont multiples. L'exposition directe résulte principalement de l'ingestion d'aliments végétaux contaminés, constituant la voie primaire. L'exposition indirecte survient lors de la consommation de produits d'origine animale provenant d'animaux ayant ingéré des aliments contaminés. D'autres voies d'exposition peuvent également être observées, telles que l'inhalation de spores sous forme d'aérosols ou le contact cutané (**Pitt & Hocking, 2009**).

7.2. Production et caractéristiques des mycotoxines :

Certaines espèces fongiques produisent diverses mycotoxines, parmi lesquelles figurent la patuline, la citrinine, l'acide pénicillique et la roquefortine C. Le genre *Penicillium*, qui comprend environ 227 espèces, se caractérise par un thalle septé et hyalin, des conidiophores simples ou ramifiés, ainsi que des phialides disposées en verticilles.

Les phialides peuvent être monoverticillées, lorsqu'elles sont directement portées par le conidiophore, ou biverticillées à triverticillées lorsqu'elles sont associées à des métules. La production et la libération des conidies jouent un rôle déterminant dans la dispersion des mycotoxines au sein de l'environnement et des produits agricoles (**Samson et al., 2010**).

7.3. Facteurs biologiques influençant la production des mycotoxines :

La production de mycotoxines est influencée par divers facteurs biologiques, notamment la cohabitation de plusieurs espèces fongiques dans un même milieu, pouvant entraîner une réduction ou une modification de la synthèse des toxines. À titre d'exemple, la production d'aflatoxines par *Aspergillus flavus* peut être diminuée en présence de certaines levures ou bactéries compétitives.

La compréhension de la physiologie des moisissures et des interactions microbiennes est essentielle pour élaborer des stratégies efficaces de prévention et de décontamination. Elle permet également de développer des modèles prédictifs de croissance fongique et de production de mycotoxines, adaptés aux conditions environnementales et aux chaînes de production agricole (Magan & Aldred, 2007).

Chapitre III
Salsola richetri

1. Généralités sur le genre Salsola :

Le genre *Salsola* appartient à la famille des *Amaranthaceae* et comprend des arbustes ligneux de petite à moyenne taille, caractérisés par une grande tolérance à la salinité, ce qui en fait l'un des plus grands genres de cette famille. Il joue un rôle important dans la réhabilitation des terres dégradées et salines ainsi que dans la réhabilitation des sols endommagés par les sels. Son nom dérive du mot latin *salsus*, qui signifie « salé », en référence à sa capacité à s'adapter aux environnements salés.

Les espèces de ce genre présentent plusieurs caractéristiques environnementales remarquables, notamment une production abondante de graines et une grande résistance aux conditions climatiques extrêmes telles que les températures élevées et la sécheresse prolongée, ce qui leur confère une valeur pastorale potentielle dans les zones arides et semi-arides. Elles poussent généralement sur des terres plates et sèches ou légèrement salines, et certaines se trouvent dans des marais salants. Elles supportent également les fluctuations de pH et les conditions environnementales difficiles (Murshid *et al.*, 2022)

2. Distribution et répartition géographique :

Le genre *Salsola* est considéré comme un groupe végétal à distribution cosmopolite. Bien que le nombre exact d'espèces ne soit pas encore précisément déterminé, plus de 64 espèces ont été recensées. Elles sont principalement réparties dans les régions arides et semi-arides d'Asie centrale, du Moyen-Orient, d'Afrique et d'Europe, ce qui témoigne de leur grande capacité d'adaptation aux environnements secs et salins (Murshid *et al.*, 2022)

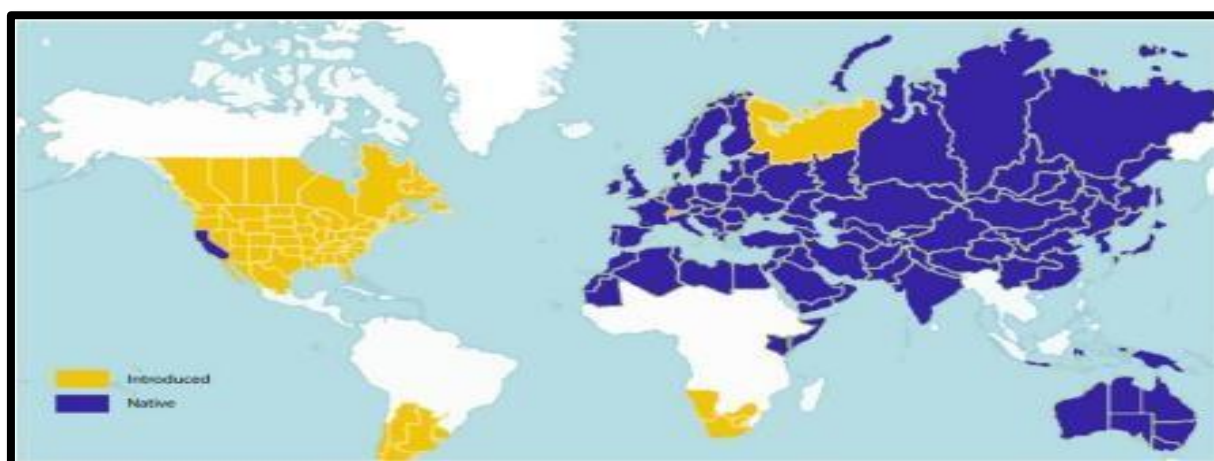


Figure 07: Distribution du genre *Salsola* dans différentes régions du monde Murshid *et al.*, 2022)

3. Définition de *Salsola richetri* :

Le genre *Salsola* est l'un des plus importants du règne végétal en raison de ses multiples applications dans les domaines traditionnels, industriels et environnementaux (Elnaggar *et al.*, 2022). L'espèce *Salsola richetri* est une plante désertique endémique, particulièrement adaptée aux sols salés et capable de supporter des niveaux élevés de salinité (Kalbaeva, 2021).

Son nom scientifique complet est *Salsola richetri* (Moq.) Karel. ex Litv. (Bahadran *et al.*, 1993). Cette espèce porte plusieurs noms communs : en arabe, elle est appelée Rotha ; en anglais, Richter's saltwort. *Salsola richetri* fleurit généralement au cours de la première quinzaine d'avril (Akopian *et al.*, 2020), tandis que sa saison de récolte s'étend de la fin septembre à la première quinzaine de novembre (Shaniyazo, 2023).



Figure 08 : plante *Salsola richetri*(beki 2024)

4. Classification de la plante :

Le genre *Salsola* comprend entre 80 et 150 espèces, parmi lesquelles l'espèce *Salsola richetri* est classée (Glushchenko, ElNaggar *et al.*, 2022 ; Abid *et al.*, 2018 ; Kanwal, 2017).

Tableau04 : classification de *salsola richetri* (El Naggar *et al.*, 2022; Abid *et Kanwal.*, 2017)

Règne	Plante
Division	Magnoliophyta (Angiospermes)
Classe	Magnoliopsida
Order	Caryophyllales
Famille	Amaranthaceae
Genre	<i>Salsola</i>
Espèce	<i>Salsola richetri</i> Kar. & Kir.

5. Composition chimique :

Le genre *Salsola* fait partie des genres végétaux qui n'ont pas fait l'objet d'études phytochimiques et biologiques approfondies, la recherche s'étant limitée à un nombre restreint de ses espèces. Les études ont montré que ce genre contient une grande diversité de

métabolites secondaires, parmi lesquels des flavonoïdes, des composés phénoliques, des acides phénoliques, des composés azotés, des saponines, des triterpènes, des stérols, des acides gras, ainsi que des composés volatils. Les flavonoïdes et les composés phénoliques comptent parmi les composés les plus répandus dans la plupart des espèces de ce genre.

L'étude de l'espèce Richteri a révélé que la partie aérienne de la plante (fruits, pousses et feuilles) contient des quantités considérables de composés chimiques de type flavonoïdes, dont la teneur s'élève à 2,32 grammes (**Bahadran et al., 1993**). Cependant, une source brute d'alcaloïdes, parmi lesquels l'alcaloïde Salsolin et l'alcaloïde Salsolidin (**Kalbaeva et Pakanaev, 2021 ,1980 et al**), la proportion d'alcaloïdes s'élevant à 1,5 %, soit la moitié de la quantité, dont 50 % de salsoline (**Akopian, J.A. et al. 2020**). (Les parties les plus efficaces sont les fruits, qui sont coupés immédiatement sans casser les branches Orekhov et en plus alcaloïde Carnegine (**Volynski,B et al.,1967**) et les tiges (**Tundis et al., 2009 ; Proskurnina, 1937**).

6. Description botanique :

- *Salsola richetri* est une espèce appartenant à la famille des Chenopodiaceae et au genre Salsola.
- Il s'agit d'un arbuste ou d'un petit arbre pouvant atteindre une hauteur comprise entre 1 et 3 mètres.
- Les parties jeunes de la plante sont généralement densément papillaires, puis deviennent glabres au cours du développement.
- La tige est fortement ramifiée, portant de nombreux rameaux souvent terminés par des inflorescences en épis lâches.
- Les rameaux latéraux sont plus courts et présentent des feuilles condensées accompagnant les fleurs.
- Les feuilles sont semi-térètes à térètes, droites ou ascendantes ; les plus longues sont souvent pendantes, avec :
 - Longueur : 30 à 80 mm
 - Largeur : 0,5 à 1,5 mm
- Les bractées sont étalées, de forme foliacée, mesurant environ 3 à 15 mm de long.
- Les bractéoles sont ovales à circulaires, généralement apiculées, avec des marges hyalines et ciliées entourant la fleur.

- Les tépales sont triangulaires à ovales, mesurant entre 3,5 et 4,5 mm de long.
- Les anthères ont une longueur comprise entre 2 et 2,5 mm. (World Flora Online, 2026).

7. Importance de *Salsola richetri* :

7.1. Importance écologique :

Cette espèce joue un rôle important dans la stabilisation des dunes de sable et la prévention de l'érosion des sols. Elle contribue également à maintenir l'équilibre écologique des écosystèmes désertiques (Koşak, 2009).

7.2 importances économique :

Salsola richetri est utilisé comme plante fourragère pour les animaux dans les zones désertiques. Ses jeunes pousses, ses feuilles et ses graines sont consommées par les moutons, les chameaux et les bovins (Pirasteh-Anosheh *et al.*, 2021).

7.3. Utilisations médicinales :

Les feuilles de *Salsola richetri* contiennent plusieurs composés bioactifs, notamment des alcaloïdes comme le salsolinol ($\approx 0,3 \%$), connus pour leurs effets pharmacologiques potentiels.

- Ces substances peuvent contribuer à la diminution de la pression artérielle grâce à une action vasodilatatrice et relaxante sur les vaisseaux sanguins, expliquant son usage traditionnel contre l'hypertension artérielle (Glushchenko *et al.*, 2018).

- En médecine traditionnelle, la plante est utilisée pour soulager divers troubles :

- maux de tête
- vertiges
- toux
- certaines affections cardiovasculaires

- Les décoctions et extraits des parties aériennes sont employés comme :

- agents calmants

- anti-inflammatoires
- expectorants (**Kintzios & Barberaki, 2004 ; Duke, 2002**)

8. Les problèmes qui menacent la plante :

Les principales menaces qui affectent *Salsola richteri* sont :

- le surpâturage
- l'activité agricole intensive
- l'exploitation minière
- la destruction du couvert végétal

Ces facteurs entraînent une augmentation de la mobilité du sable et une dégradation de l'écosystème désertique (**Toderich, 2009**).

DEUXIÈME PARTIE
PARTIE EXPÉRIMENTALE

Chapitre I
Matériel et méthodes

Ce travail a été effectué au niveau du laboratoire de Biochimie, Faculté de sciences de la nature et de la vie, Université El-Chahide Hamma Lakhdar El-Oued, Algérie. L'objectif de cette recherche est l'étude de l'activité antifongique de plante *Salsola richetii* sur les isolats fongiques contaminant les grains de blé stocké.

1. Matériels :

1.1. Matériel végétal :

L'espèce végétale utilisée dans cette étude appartient à la famille des Amaranthaceae : *Salsola richetii*. Dans cette étude, les échantillons du matériel végétal utilisé ont été récoltés au mois de février dans la région de Taksebt, wilaya d'El-Oued.



Figure 09 : Présentation de la plante *Salsola richetii* dans la région EL-Oued (Photo originale, 2026)

2. Méthodes :

2.1. Séchage et broyage de la plante :

Suite à la récolte de l'échantillon végétal, les parties aériennes sont lavées immédiatement à l'eau afin d'éliminer les poussières et les impuretés. Elles sont ensuite mises à sécher à l'air libre, à l'abri de la lumière et des rayons solaires, pour diminuer leur teneur en humidité. La matière végétale est répartie en couches fines sur des claies et remuée ou retournée régulièrement pendant une durée pouvant atteindre environ 20 jours (Lahmari *et al.*, 2012).

Après le broyage de l'échantillon, une poudre fine et homogène a été obtenue. Celle-ci a ensuite été conservée à température ambiante dans un récipient en verre hermétiquement

fermé, placé dans un endroit sec, à l'abri de l'humidité et de la lumière, jusqu'à son utilisation pour les analyses ultérieure.

2.2. Extraction (Méthode de macération) :

2.2.1. Principe :

La macération est une méthode utilisée pour séparer les différents composants et constituants des plantes sous forme d'extrait brut (**Irshad *et al.*, 2012**). Elle consiste à immerger la matière végétale dans le solvant, avec ou sans agitation. Malgré les longues durées d'extraction et la quantité importante de solvant nécessaire, cette méthode reste économique. De plus, elle se réalise à température ambiante, ce qui contribue à préserver l'intégrité des polyphénols (**Fettah, 2019**).

2.2.2. Mode d'opération :

Dans notre étude, l'extraction a été réalisée selon la méthode de (**Diouf *et al.*, 2009**), avec quelques ajustements. 20g de poudre de *Salsola richteri* ont été macérés dans un mélange composé de 180 ml d'éthanol et 20 ml d'eau distillée, dans un erlenmeyer entièrement recouvert de papier aluminium afin de protéger les composés photosensibles de la dégradation. Cette macération a été répétée trois fois, avec régénération du solvant à chaque cycle. L'extrait hydroalcoolique a ensuite été récupéré après filtration à l'aide d'un papier filtre n°01.

2.2.3. Rendement d'extraction :

Le pourcentage de rendement a été calculé par la formule suivante (**Muniyandi *et al.*, 2019**).

$$\text{Rendement (\%)} = (M1 / M2) \times 100$$

M1 : Masse en gramme de l'extrait sec résultant.

M2 : Masse en gramme du matériel végétal à traiter.

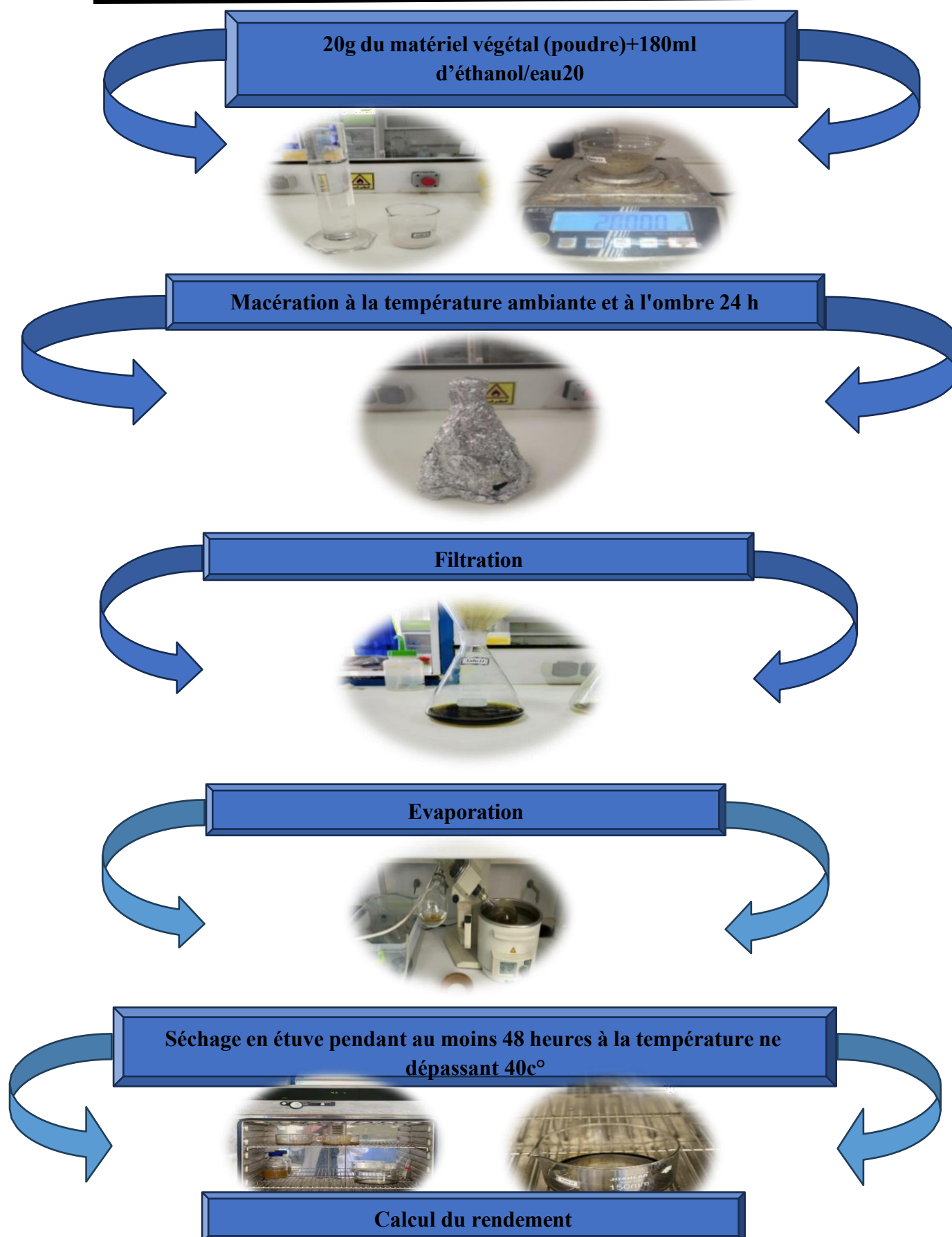


Figure 10 : Protocole de préparation d'extract hydroalcoolique de *Salsola richetii* par macération.

2.3. Tests phytochimiques :

La solution destinée aux tests de détection des groupes chimiques a été préparée à partir d'un extrait aqueux obtenu par décoction, selon la méthode décrite par (**Kaneria et al., 2012**), 2.5g de poudre sèche de *Salsola richetii* ont été portés à ébullition dans 50 ml d'eau distillée pendant 30 minutes au bain-marie. Après refroidissement, l'extrait obtenu a été filtré à l'aide d'un papier filtre Whatman n°01.

❖ Polyphénols :

La mise en évidence des polyphénols a été réalisée par la réaction au trichlorure de fer (FeCl_3). A 2 ml d'extrait aqueux, une goutte de trichlorure de fer alcoolique à 2 % a été ajoutée. Le développement d'une coloration bleu noirâtre ou verdâtre, d'intensité variable, a indiqué la présence de composés polyphénoliques (**N'Guessan et al., 2009**).

❖ Flavonoïdes (Réaction de Shibata) :

À 5 ml d'extrait aqueux, on incorpore 5 ml d'alcool chlorhydrique (préparé à partir de 4 ml d'éthanol et 1 ml d'HCl concentré), puis environ 0,5 g de copeaux de magnésium. L'apparition d'une teinte rose, orangée ou rouge violacée révèle la présence de flavonoïdes (**Lock et al., 2006**).

❖ Terpénoïdes :

Dans 5 ml d'extrait, on incorpore 2 ml de chloroforme et 3 ml d'acide sulfurique concentré (H_2SO_4). La présence des terpènes est indiquée par la formation de deux couches distinctes et l'apparition d'une coloration brunâtre à l'interface (**kablan et al., 2008**).

❖ Alcaloïdes:

À 1 ml de chaque extrait, 5 ml d'une solution d'HCl à 1 % sont ajoutés. Le mélange est ensuite chauffé au bain-marie, puis divisé en deux fractions égales. Chaque fraction est traitée séparément avec les réactifs appropriés:

- ✓ Mayer ajouter quelques gouttes de réactif qui donne une couleur jaunâtre (**Majob et al., 2003**).
- ✓ Le test de **Dragendorff** (réactif au tétraiodobismuthate de potassium) est réalisé selon la méthode décrite par (**Dovodi et al., 2021**). Un extrait sulfurique est d'abord obtenu en

utilisant une solution d' H_2SO_4 à 10 % dans laquelle est incorporée la poudre végétale à analyser pour la recherche des alcaloïdes. Le mélange est soumis à une agitation suivie d'une macération, puis il est filtré et rincé à l'eau distillée.

Le filtrat recueilli est ensuite additionné de 5 gouttes du réactif de Dragendorff dans un tube à essai. L'apparition d'un précipité de couleur orangée à rougeâtre indique la présence d'alcaloïdes. Les échantillons doivent être conservés à l'abri de la lumière. Ce test constitue une méthode de dépistage préliminaire des alcaloïdes.

❖ Tanins :

La mise en évidence des tanins est réalisée en mélangeant 1 ml de l'extrait aqueux avec 1 ml d'eau distillée, puis en ajoutant 1 à 2 gouttes d'une solution de chlorure ferrique (FeCl_3) à 2 %. L'apparition d'une teinte vert foncé ou bleu verdâtre révèle la présence des tanins (Hadouchie *et al.*, 2016).

• Réaction de Bate-Smith :

L'hydrolyse des liaisons intra-flavaniques des tanins condensés en milieu acide et à chaud (butanol chlorhydrique) conduit à la formation d'un cation benzylé hautement oxydable à l'air, qui se transforme ensuite en anthocyanes de coloration rouge. Dans un tube à essai contenant 1 ml de la solution aqueuse de l'extrait sec, 1 ml du réactif de Bate-Smith (n-butanol/HCl concentré, 4:1) est ajouté. Le mélange est ensuite incubé au bain-marie à 90 °C pendant 15 minutes. L'apparition d'une coloration rouge témoigne de la présence de tanins condensés. Une solution aqueuse de l'extrait sec, préparée dans les mêmes conditions mais sans ajout de réactif, est utilisée comme témoin (Bruneton, 2009).

❖ Saponosides (test de mousse) :

La détection des saponosides a été réalisée en agitant manuellement un tube à essai contenant 2,5 ml de l'extrait aqueux le long de la longueur du tube pendant 1 minute, puis en laissant reposer le mélange. La formation d'une colonne de mousse stable d'au moins 1 cm de hauteur, maintenue pendant 15 minutes, indique la présence de saponosides (Bruneton, 2009).

❖ Sucres réducteurs :

La détection des sucres réducteurs a été effectuée en ajoutant 1 ml de solution de Fehling à 5 ml de chaque extrait végétal. Les tubes contenant ces mélanges ont été chauffés au bain-marie à 40 °C. L'apparition d'une coloration rouge brique indique un test positif, confirmant la présence de sucres réducteurs dans l'échantillon (**Fettah, 2019**).

❖ Glucosides :

Pour la détection des glucosides, 5 g de matière végétale sont incorporés à 50 ml d'une solution d'acide tartrique à 2 % préparée dans l'éthanol. Le mélange est chauffé pendant 2 heures afin d'extraire les composés glucosidiques. Après cette étape, le mélange est filtré et le résidu est lavé avec de l'éthanol pour récupérer un maximum de principes actifs. Le filtrat obtenu est ensuite dilué dans de l'eau chaude et soumis à une seconde filtration pour éliminer toute impureté.

Pour le test, 2 ml de ce filtrat sont prélevés et mélangés avec 2 gouttes de solution de Fehling. Le chauffage du mélange au cours de cette réaction permet la détection des glucosides, qui se manifeste par un changement de couleur caractéristique indiquant leur présence dans l'échantillon par l'apparition d'une couleur rouge ou d'un précipité rouge brique (ajouré) (**Chaouch, 2001**).

2.4. Analyse quantitative :

2.4.1. Dosage de polyphénols totaux :

La teneur totale en polyphénols des différents extraits a été déterminée selon la méthode de Folin-Ciocalteu décrite par (**Boizot et Charpentier ,2006**) avec quelques modifications.

Le protocole expérimental est réalisé comme sui ; premièrement la préparation de l'extrait végétal, une quantité de 6 mg d'extrait végétal a été pesée puis dissoute dans 6 ml d'eau distillée afin d'obtenir la solution mère de l'extrait. Deuxièmes ; l'élaboration des réactifs ; le réactif de Folin-Ciocalteu a été dilué dix fois avant utilisation en mélangeant 500µL de réactif de Folin-Ciocalteu avec 4500µL d'eau distillée.

Ensuite, en a pris 500 µl de chaque extrait dissous dans l'eau distillée sont ajoutés à 500µl de réactif de Folin-Ciocalteu. Après 4 minutes d'incubation à température ambiante, 1.5ml de Na₂CO₃ (7,5 %), également dilué dans l'eau distillée, sont ajoutés au mélange. Après

agitation, le mélange est incubé à l'obscurité pendant 1 heures. L'absorbance est ensuite mesurée à $\lambda = 765$ nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Visible.

La concentration des polyphénols totaux de chaque échantillon est déterminée à partir de l'équation de régression obtenue grâce à une courbe d'étalonnage (0–200 $\mu\text{g/ml}$) réalisée en milieu aqueux en utilisant l'acide gallique comme standard, dans les mêmes conditions expérimentales que celles appliquées aux extraits. Les résultats sont ensuite traités à l'aide du logiciel Excel et exprimés en mg d'équivalent d'acide gallique par gramme de matière végétale sèche extraite (mg EAG/g E). Toutes les analyses sont effectuées en triplicat, et les valeurs finales correspondent à la moyenne des mesures obtenues.

2.4.2. Dosage des flavonoïdes :

La quantification des flavonoïdes dans les échantillons est effectuée selon la méthode décrite par (Quettier-Deleu *et al.*, 2000), utilisant le trichlorure d'aluminium (AlCl_3) comme réactif. Cette méthode repose sur la capacité des flavonoïdes à former avec l'aluminium un complexe stable de couleur jaune, dont l'absorbance peut être mesurée dans le domaine visible à 430 nm.

Pour l'analyse, 1 ml d'extrait ou de solution standard préparé dans l'eau, est mélangé avec 1 ml d'une solution fraîche d' AlCl_3 (2 % dans l'éthanol). Après 10 minutes de réaction, l'absorbance est mesurée à $\lambda = 430$ nm à l'aide d'un spectrophotomètre. Les résultats obtenus sont exprimés en mg équivalent de quercétine par gramme de matière végétale sèche (mg EQ/g MS), en se référant à la courbe d'étalonnage établie avec la quercétine.

2.4.3 Dosage des tanins condensés:

La teneur en tanins condensés des extraits de *Salsola richetii* est déterminée selon la méthode de (Schofield *et al.* 2001). Ce test repose sur la réaction du groupe aldéhyde du vanilline chromophore rouge dont l'absorbance est mesurable à 500 nm.

Pour chaque échantillon ou solution standard, 200 μl de l'extrait mélangé avec 1500 μl d'une solution de vanilline (4 % dans l'éthanol) et 750 μl d'acide chlorhydrique concentré. Le mélange est ensuite incubé pendant 15 minutes, puis l'absorbance est mesurée à $\lambda = 500$ nm.

Les concentrations en tanins condensés sont déterminées à partir des courbes d'étalonnage établies avec la catéchine (0–0,5 mg/ml) et sont exprimées en mg d'équivalent catéchine par gramme d'extrait (mg EC/g E).

2.5. Activités biologiques :

2.5.1. Activités antioxydant (test DPPH) :

➤ Principe :

Le radical 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyle (DPPH) est un radical libre stable capable d'accepter des atomes d'hydrogène. Il se distingue par sa couleur violette intense (**Chikhi, 2014**), due à la délocalisation des électrons qui confère à la molécule sa stabilité.

En présence d'un antioxydant, le DPPH est réduit en 2,2-diphenyl-1-picrylhydrazine, provoquant un changement de couleur du violet au jaune et entraînant la décoloration de la solution (**Laraba et al., 2022**). Ce radical présente une absorbance caractéristique dans la plage 512–517 nm, et l'intensité de la couleur est proportionnelle à la capacité des antioxydants à fournir des protons (**Boudjouref, 2011**).

➤ Mode opératoire :

La capacité des composés à fournir des atomes d'hydrogène ou des électrons a été évaluée par la décoloration de la solution violette de DPPH (2,2-diphényl-1-picrylhydrazyle) en méthanol (**Sharma et al., 2007**).

Le test a été effectué en mélangeant 50 µL d'extrait ou d'étalon avec 1,95 mL de DPPH (3% en méthanol) accompagné de 50 µL de méthanol. Après agitation, le mélange a été protégé de la lumière pendant 30 minutes, puis l'absorbance a été mesurée à 517 nm. L'inhibition du radical libre DPPH en pourcentage (I %) a été calculée selon la formule suivante :

$$\text{DPPH piégeur de radicaux (\%)} = [(A_0 - A_s) / A_0] \times 100$$

A₀ : est l'absorbance de la réaction témoin.

A_s : est l'absorbance de la solution échantillon contenant le composé d'essai.

Les valeurs d'IC₅₀ ont été déterminées à partir de l'équation linéaire représentant l'activité de piégeage des radicaux en fonction des différentes concentrations des échantillons

testés. L'IC₅₀ correspond à la concentration d'antioxydant requise pour inhiber 50 % du radical libre DPPH. Ainsi, plus la valeur de l'IC₅₀ est faible, plus le composé présente une activité antioxydante élevée (Khelef *et al.*, 2019).

2.5.2. Activité antioxydants (test FRAP) :

Prélever 250 µl d'échantillon et ajouter 625µl de solution tampon (0,2 M, PH = 6,6). Ajouter à 625 µl ferricyanure de potassium. Puis Incubation pendant 20 min au bain-marie à 50C°. Après refroidissement, ajouter 625µl de la solution aqueuse de TCA (10 %) pour arrêter la réaction. Centrifugation à 3000 tr/min pendant 10 minutes. Ensuite, prenez 625 µl de surnageant et mélange avec 625 µl d'eau distillée et 125 µl de FeCl₃ (0,1%). L'absorbance a été mesurée à 700 nm par rapport à un blanc.

2.6. Étude mycologique des grains de blé dur :

Ce travail a été effectué au sein du laboratoire de Microbiologie, de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Echahid Hamma Lakhdar d'El Oued.

2.6.1. Échantillonnage :

Des échantillons de blé dur ont été prélevés à partir de stocks dans la Wilaya d'El Oued. Après la collecte, les échantillons ont été transportés à domicile pour les opérations de séchage, puis placés directement sous forme de grains dans deux flacons en verre stériles. Ils ont ensuite été transférés au laboratoire pour des analyses microbiologiques

2.6.2. Milieux de culture :

Un milieu de culture a été utilisé pour l'isolement des champignons à partir des grains de blé dur, à savoir, 20 SAB (Sabouraud Agar).

Pour sa préparation, 30 g de SAB ont été pesés et ajoutés à 500 ml d'eau distillée dans un erlenmeyer. Le mélange a été chauffé pendant 30 minutes sur plaque chauffante jusqu'à homogénéisation complète et formation de mousse. Ensuite, il a été laissé tiédir avant d'être réparti dans 5 flacons vides, en veillant à ne pas les fermer hermétiquement pour assurer une bonne ventilation. Les flacons ont été autoclavés à 121 °C pendant 1 heure. Après l'autoclavage, ils ont été laissés à tiédir pendant 10 minutes, puis le milieu a été versé dans des boîtes de Petri.

Après 15 minutes pour la solidification, les boîtes ont été placées au réfrigérateur afin d'obtenir un milieu prêt à être utilisé pour l'ensemencement des grains de blé.

2.6.3. Désinfection superficielle des grains de blé :

La désinfection superficielle des grains constitue une étape essentielle visant à éliminer les microorganismes présents à la surface des grains sans altérer les champignons internes, à savoir les étapes suivantes :

- ✓ Trempage des grains dans une solution d'eau de Javel diluée à 5 % pendant 1 minute.
- ✓ Trempage immédiat des grains dans de l'éthanol pendant 1 minute.
- ✓ Rinçage des grains à deux reprises avec de l'eau distillée stérile.
- ✓ Séchage des grains à l'aide de papier filtre stérile.
- ✓ Les grains sont ensuite prêts pour l'étape d'ensemencement

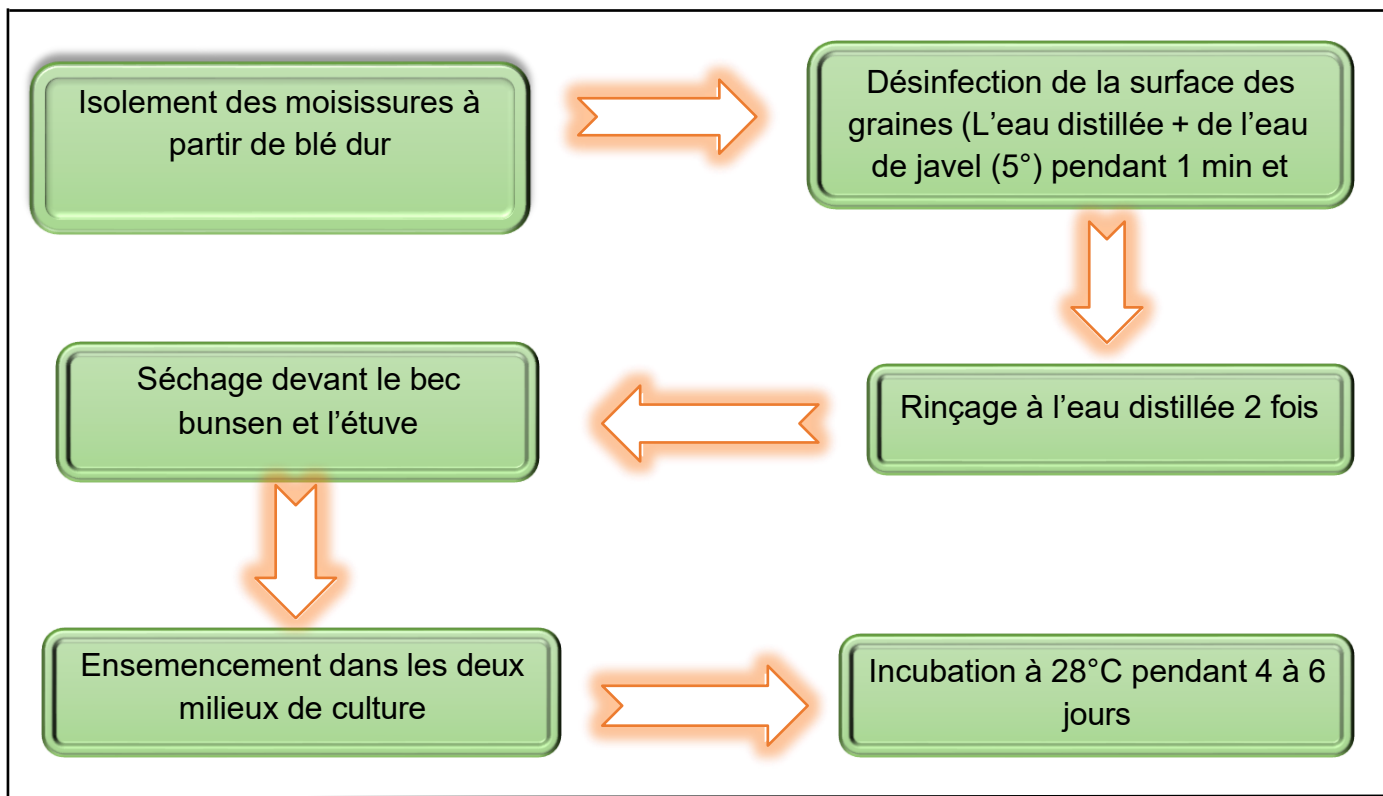


Figure 11. Etapes de désinfection des grains de blé dur et isolement de champignons.

2.6.4. Isolement des champignons par la méthode d'isolement direct

Cette méthode repose sur l'ensemencement direct des grains désinfectés sur des milieux de culture solides.

Procédure :

- ✓ Désinfection superficielle des grains selon le protocole décrit précédemment.
- ✓ Placement des grains dans des boîtes de Pétri : 20 grains ont été déposés dans chacune des 4 boîtes destinées à la phase d'isolement direct, chaque boîte contenant 5 grains et correspondant à un échantillon différent.
- ✓ Manipulation des grains à l'aide d'une pince stérile.
- ✓ Préparation des boîtes pour chaque échantillon : deux boîtes ont été préparées pour chaque échantillon de blé (E1, E2, E3, E4), l'une pour l'isolement direct et l'autre pour l'isolement sur papier filtre.
- ✓ Incubation : les boîtes ont été incubées à 28°C pendant une durée de 4 à 6 jours, à l'obscurité (Oulad Hadj Youcef & Oulad Mir, 2022).

Cette méthode permet d'isoler les champignons présents à la surface ou à l'intérieur des grains.



Figure12. Techniques d'isolement des souches fongiques à partir des grains de blé dur par la méthode directe sur SAB.

2.6.5. Purification des isolats :

Après un bon développement des colonies, on effectue des repiquages de chaque colonie pour purifier les champignons et minimiser les risques de contamination, jusqu'à arriver à isoler sur chaque boîte de Pétri une seule colonie d'un champignon donné.

Le repiquage se fait par prélèvement d'un fragment de colonie à l'aide d'une anse stérilisée tout en évitant son contact avec les autres colonies avoisinantes de la même boîte. Ce fragment est déposé au centre d'une nouvelle boîte sur laquelle on indique la date de repiquage et les coordonnées de la boîte de prélèvement. Le repiquage se fait aseptiquement près du bec Bunsen (Guiraud, 1998).

2.6.6. Identification des souches fongiques :

a. Identification macroscopique :

L'identification macroscopique repose sur l'observation des caractéristiques morphologiques visibles à l'œil nu ou à l'aide d'une loupe.

Critères étudiés :

- ✓ Couleur et texture du mycélium.
- ✓ Couleur du revers de la colonie.
- ✓ Vitesse de croissance.
- ✓ Densité et aspect des spores (poudreux ou granuleux).
- ✓ Homogénéité de la coloration des spores.
- ✓ Présence de pigments diffusibles ou d'exsudats (Djossou, 2011)

b. Identification microscopique :

L'identification microscopique permet une détermination plus précise des champignons isolés.

Procédure :

- ✓ Prélèvement d'un fragment de mycélium à l'aide d'une anse de platine stérile.
- ✓ Dépôt sur une lame de microscope contenant une goutte d'eau distillée.
- ✓ Recouvrement par une lamelle.
- ✓ Observation à l'aide d'un microscope optique numérique.

Critères microscopiques étudiés :

- ✓ Présence ou absence de cloisons.
- ✓ Forme et coloration des hyphes.

- ✓ Mode de ramification.
- ✓ Différenciation des spores végétatives (thallospores)(Houansou *et al.*, 2020).

2.6.7. L'évaluation de l'activité antifongique des extraits de *Salsola richetii* :

L'activité antifongique a été évaluée sur neuf souches fongiques en testant trois concentrations différentes de l'extrait végétal (25, 50 et 100 mg) pour chaque série de trois boîtes de Pétri (répétitions). Étant donné que chaque concentration est appliquée à 27 boîtes de Pétri (9 souches × 3 répétitions), la quantité totale d'extrait utilisée pour chaque concentration est respectivement de 75 mg, 150 mg et 300 mg.

Pour la préparation des milieux de culture, un volume final de 270 ml a été adopté pour chaque concentration, à raison de 10 ml par boîte de Pétri. Le milieu SAB a été préparé puis enrichi avec les quantités d'extrait végétal correspondantes à chaque concentration, avec l'ajout de 1 ml de DMSO afin de faciliter la solubilisation et la diffusion de l'extrait.

Après homogénéisation, le milieu a été distribué dans des boîtes de Pétri stériles à raison de 10 ml par boîte. Le témoin a été préparé dans les mêmes conditions en ajoutant uniquement 1 ml de DMSO au milieu SAB, sans extrait végétal.

Toutes les expériences ont été réalisées en trois répétitions pour chaque souche et chaque concentration afin d'assurer la fiabilité et la reproductibilité des résultats (Bautista-Baños *et al.*, 2002).

Chapitre II

Résultats et discussion

1. Résultats et discussion :

1.1. Description de l'extrait brut :

Au terme du procédé d'extraction, un extrait brut a été obtenu par macération à l'aide d'un mélange hydroéthanolique. Les principales caractéristiques de l'extrait préparé à partir de la partie aérienne de *Salsola richteri* sont récapitulées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 05 : Caractéristiques de l'extrait hydroéthanolique préparé à partir de la partie aérienne de *Salsola richteri*

Plante	<i>Salsola richteri</i>
Extrait	Hydroéthanolique
Aspect	Poudre
Couleur	Vert clair

L'extraction par solvants représente une étape fondamentale dans la valorisation des composés bioactifs des plantes. En effet, la nature du solvant utilisé influence considérablement le rendement en métabolites secondaires. Selon (Khoddami *et al.*, 2013), l'eau, l'éthanol ainsi que leurs mélanges à différentes proportions sont parmi les solvants les plus appropriés pour l'extraction des composés phénoliques.

Préalablement à l'extraction, la plante a été séchée à l'abri de la lumière puis réduite en poudre. L'utilisation de matériel végétal sec est privilégiée, car certains composés, notamment les flavonoïdes (en particulier les glycosides), sont susceptibles de subir une dégradation enzymatique lorsque la plante est utilisée à l'état frais ou insuffisamment séché (Marston et Hostettmann, 2006). De plus, la présence d'humidité peut favoriser des phénomènes de fermentation microbienne, responsables de l'altération de ces composés (Seidel, 2005).

Le séchage à l'obscurité permet de limiter les transformations chimiques, telles que l'isomérisation et la dégradation induites par les rayonnements ultraviolets de la lumière solaire (Jones et Kinghorn, 2005). Par ailleurs, la réduction en poudre améliore l'efficacité du processus extractif en augmentant la surface de contact entre le solvant et le matériel végétal, en assurant une meilleure homogénéité de l'échantillon et en facilitant la pénétration du solvant dans les structures cellulaires.

1.2. Rendement d'extraction

L'extrait brut obtenu à partir de la partie aérienne de *Salsola richteri* a été soigneusement pesé après évaporation et séchage, afin de permettre une détermination précise de la masse sèche. Le rendement de l'extraction hydroéthanolique a été exprimé en pourcentage de la masse du résidu sec par rapport à celle de la poudre végétale initiale. Les résultats correspondants sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 06 : Rendement de l'extraction hydroéthanolique de *Salsola richteri*

Plante	<i>Salsola richteri</i>
Extrait	Hydroéthanolique
Masse de poudre (g)	20
Masse d'extrait pur (g)	1.798
Rendement de la macération (%)	8.99

D'après les résultats présentés dans le tableau 08, le rendement de l'extraction hydroéthanolique de *Salsola richteri* est estimé à 8,99 %.

En comparaison avec l'étude de (Saadani et Rezig 2020), réalisée sur la partie aérienne de *Salsola tetragona* récoltée dans la région d'Oued El Gerdania (El Hammadine, El Magren), dont les rendements d'extraction étaient de 0,81 %, 2,24 % et 0,32 %, respectivement, le rendement obtenu dans notre étude apparaît plus élevé. Il est également supérieur à celui rapporté par (Rouabhia et Younsi 2024) chez *Salsola kali*, estimé à 4,2 %.

Par ailleurs, certaines études réalisées sur la même espèce, *Salsola richteri*, ont rapporté un rendement plus élevé, atteignant 34 % (Beki, 2024). Cette différence montre que le rendement d'extraction peut varier considérablement selon les conditions expérimentales et l'origine du matériel végétal. Cette variation peut être expliquée par plusieurs facteurs, notamment :

- ✓ Le solvant utilisé : le choix du solvant influence directement l'efficacité de l'extraction ; l'éthanol et les mélanges hydroéthanoliques sont souvent privilégiés pour leur polyvalence ;
- ✓ La partie de la plante étudiée : certaines parties végétales peuvent être plus riches en composés actifs que d'autres ;

- ✓ L'origine géographique : les conditions climatiques et pédologiques peuvent modifier la composition chimique de la plante ;
- ✓ La période de récolte : la teneur en métabolites secondaires varie au cours du cycle de croissance ;
- ✓ Les conditions de stockage : une mauvaise conservation peut altérer la qualité de l'extrait (Hayouni *et al.*, 2007).

1.3. Tests phytochimiques :

Les analyses phytochimiques effectuées sur l'extrait obtenu à partir de la partie aérienne de *Salsola richteri* ont permis de caractériser la présence de certains groupes de métabolites secondaires ainsi que l'absence d'autres dans les tissus végétatifs de la plante. La détection de ces composés chimiques a été réalisée en utilisant des tests spécifiques basés sur : la solubilité des constituants, les réactions de précipitation, la turbidité et les changements de coloration caractéristiques en présence de réactifs chimiques adaptés. Les résultats détaillés de ces analyses sont présentés dans le tableau suivant :

Tableau 07 : Résultats des tests phytochimiques réalisés sur l'extrait hydroéthanolique de *Salsola richteri*

Métabolites Secondaires	Réactifs	Résultats
Polyphénols	FeCl ₃ (2%)	+
Flavonoïdes	Mg ²⁺ (copeaux de magnésium)	+
Terpénoïdes	H ₂ SO ₄	+
Alcaloïdes	Mayer	+
	Bouchardat	-
	Dragendorff	+
Tanins		+
	FeCl ₃	
	Réactif de stiasny	-
	Réactif de bate-smith	-

Saponosides	/	+
Sucres réducteurs	Liqueur de Fehling	-
Glucosides	Liqueur de Fehling	-

+ : Composé présent, - : Composé absent

Les tests phytochimiques réalisés ont mis en évidence la présence de plusieurs métabolites secondaires dans la partie aérienne de la plante, notamment les saponosides, les terpènes, les alcaloïdes, les flavonoïdes et les polyphénols. En revanche, une absence des glycosides et des sucres réducteurs a été constatée.

1.4. Analyse quantitative :

1.4.1. Dosage de polyphénols totaux :

La teneur en polyphénols totaux de l'extrait hydroéthanolique de *Salsola richteri* a été évaluée par spectrophotométrie selon la méthode de Folin-Ciocalteu. Cette méthode a été retenue en raison de sa fiabilité, de sa bonne reproductibilité et de sa large utilisation pour l'estimation des composés phénoliques (Huang *et al.*, 2005).

Les résultats sont exprimés en microgrammes d'équivalent d'acide gallique par milligramme d'extrait sec ($\mu\text{g EAG/mg Ex}$), à une longueur d'onde de 765 nm. La détermination de cette teneur repose sur l'équation de régression linéaire de la courbe d'étalonnage établie à partir de l'acide gallique ($y = 0,0048x + 0,0375$; $R^2 = 0,9994$), illustrée dans la figure 13 .

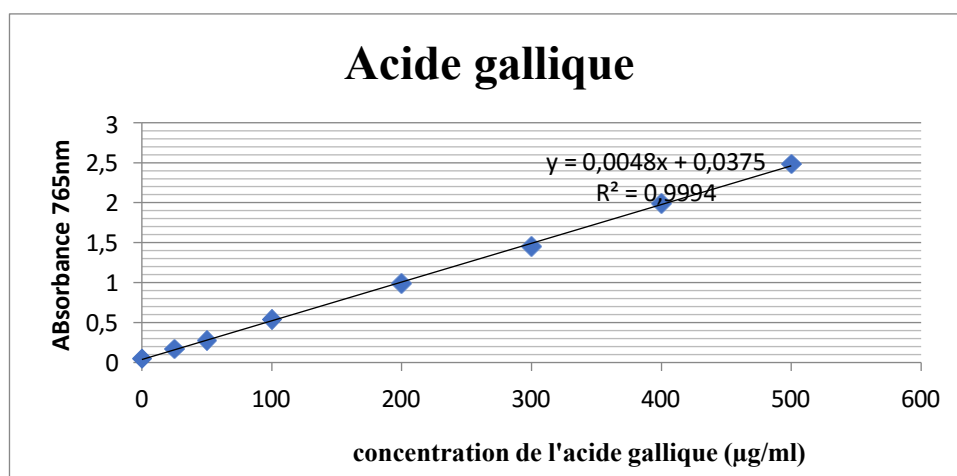


Figure 13: Courbe d'étalonnage de l'acide gallique pour le dosage des polyphénols totaux

Les résultats de la teneur totale en polyphénols dans l'extrait de la partie aérienne de *Salsola richteri* sont exprimés sous forme de moyenne $\pm$ écart-type, comme indiqué dans le tableau 08.

Tableau 08 : Teneur en polyphénols totaux dans l'extrait de *Salsola richteri*

Extrait	Teneur en polypolyphénols totaux (μg EAG/mg Ex)
<i>Salsola richteri</i>	$150,73 \pm 2,13$

Les résultats obtenus montrent que l'extrait présente une teneur importante en composés polyphénoliques, avec une valeur de $150,73 \pm 2,13 \mu\text{g}$ EAG/mg Ex.

1.4.2. Dosage des flavonoïdes :

La teneur en flavonoïdes a été déterminée par la méthode colorimétrique au chlorure d'aluminium (AlCl_3). Le dosage repose sur l'équation de régression linéaire obtenue à partir de la courbe d'étalonnage réalisée avec la quercétine, à une longueur d'onde de 420 nm. Les résultats sont exprimés en microgrammes d'équivalent quercétine par milligramme d'extrait sec (μg EQ/mg Ex). À partir de la courbe d'étalonnage ($y = 0,0071x + 0,0133$; $R^2 = 0,9962$), les valeurs obtenues sont regroupées dans le tableau 09, tandis que la courbe correspondante est présentée dans la figure 14.

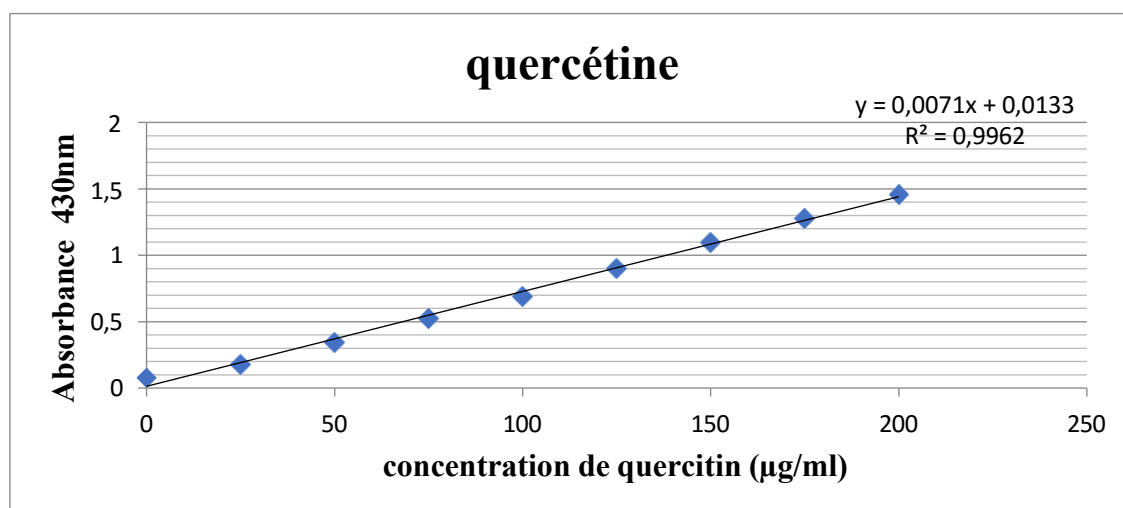


Figure 14 : Courbe d'étalonnage de la quercétine pour le dosage des flavonoïdes totaux

Le résultat de la teneur totale en flavonoïdes dans l'extrait étudié apparaît dans le tableau suivant :

Tableau 09 : Teneur en flavonoïdes totaux dans l'extrait de *Salsola richteri*

Extrait	Teneur en flavonoïdes totaux ($\mu\text{g Equ/mg Ex}$)
<i>Salsola richteri</i>	$34,98 \pm 0,47$

1.4.3. Dosage des tanins condensés :

La teneur en tanins condensés a été déterminée par la méthode de la vanilline–aldéhyde. Les résultats sont exprimés en microgrammes d'équivalent catéchine par milligramme d'extrait ($\mu\text{g ECT/mg Ex}$), en se basant sur l'équation de régression linéaire obtenue à partir de la courbe d'étalonnage réalisée avec la catéchine. Le calcul a été effectué à partir de l'équation suivante : $y = 0,0013x + 0,0528$; $R^2 = 0,9975$, comme illustré dans la figure 15.

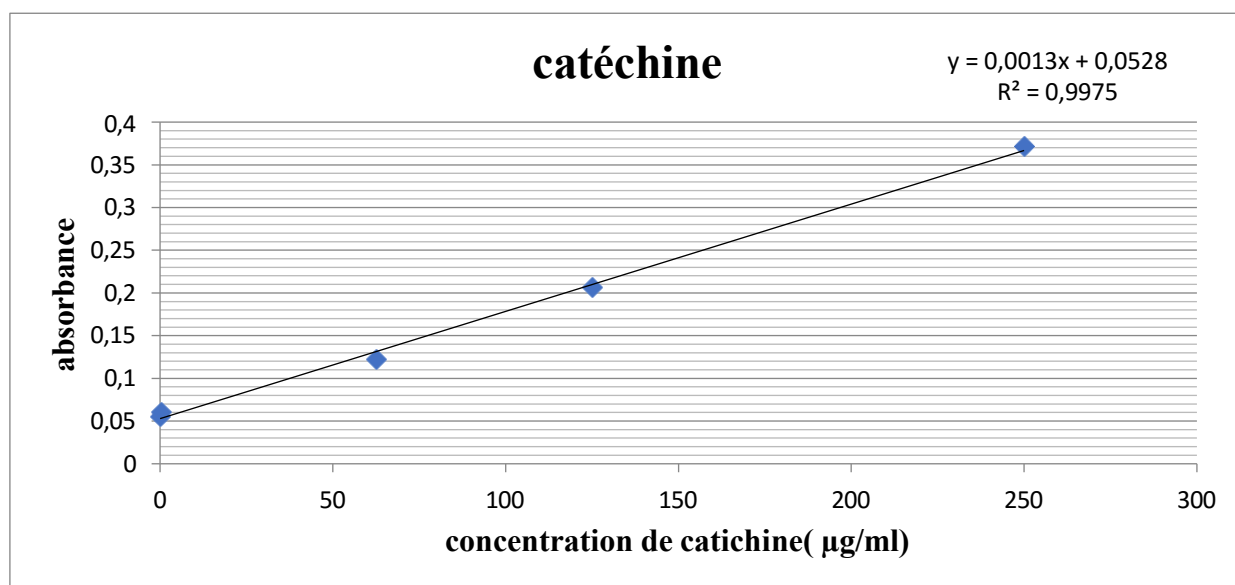


Figure 15 : Courbe d'étalonnage de la catéchine pour le dosage des tanins condensés

Le résultat de la teneur en tanins condensés dans l'extrait de la partie aérienne de *Salsola richteri* est présenté dans le tableau 10.

Tableau 10 : Teneur en tanins condensés dans l'extrait de *Salsola richteri*

Extrait	Teneur en tanins condensés ($\mu\text{g EC/mg Ex}$)
<i>Salsola richteri</i>	$18,66 \pm 2,96$

Globalement, les résultats obtenus mettent en évidence la richesse de l'extrait hydroéthanolique de *Salsola richteri* en composés phénoliques. La teneur en polyphénols totaux a été estimée à $150,73 \pm 2,13 \mu\text{g EAG/mg Ex}$, ce qui suggère une contribution importante de ces composés au potentiel antioxydant de l'extrait. Les flavonoïdes ont été quantifiés à $34,98 \pm 0,47 \mu\text{g EQ/mg Ex}$, représentant ainsi une fraction non négligeable des métabolites phénoliques susceptibles de participer aux activités biologiques observées. Quant aux tanins condensés, leur teneur a atteint $18,66 \pm 2,96 \mu\text{g EC/mg Ex}$, ce qui pourrait contribuer aux propriétés antimicrobiennes et antioxydantes de l'extrait.

Les courbes d'étalonnage présentées dans les figures précédentes ont permis de déterminer quantitativement les polyphénols totaux, les flavonoïdes totaux et les tanins condensés présents dans l'extrait de *Salsola richteri*. Ces résultats confirment que la partie aérienne de cette plante constitue une source intéressante de métabolites secondaires bioactifs.

L'analyse quantitative a montré que la teneur en polyphénols totaux de l'extrait étudié est relativement élevée, avec une valeur de $150,73 \pm 2,13 \mu\text{g EAG/mg Ex}$. Cette teneur traduit le potentiel biologique de la plante et pourrait expliquer, en partie, son activité antioxydante. En comparaison avec les travaux antérieurs réalisés sur le même genre botanique, cette valeur demeure légèrement inférieure à celle rapportée par (Beki 2024) chez *Salsola richteri*, estimée à $173,79 \mu\text{g EAG/mg}$, mais elle reste supérieure à celle obtenue par (Rouabhia et Younsi 2024) chez *Salsola kali*, soit $120,46 \mu\text{g EAG/mg}$.

Concernant les flavonoïdes, la teneur enregistrée dans l'extrait de *Salsola richteri* est de $34,98 \pm 0,47 \mu\text{g EQ/mg Ex}$. Cette valeur est supérieure à celle rapportée par (Rouabhia et Younsi 2024) chez *Salsola kali*. Les flavonoïdes sont reconnus pour leur rôle dans la protection des plantes contre le stress oxydatif, notamment chez les espèces halophytes soumises à des conditions environnementales contraignantes. Ainsi, les variations observées entre les différentes espèces du genre *Salsola* pourraient être liées aux conditions écologiques, à la nature du sol, au stade de développement de la plante ou encore aux méthodes d'extraction utilisées.

En ce qui concerne les tanins condensés, leur teneur a été estimée à $18,66 \pm 2,96 \mu\text{g EC/mg Ex}$. Ces composés sont généralement associés à des activités biologiques importantes, notamment antimicrobiennes et antioxydantes. Leur présence dans l'extrait pourrait donc renforcer l'effet inhibiteur observé contre certaines souches microbiennes, ainsi que la capacité de l'extrait à neutraliser les radicaux libres.

Par ailleurs, il convient de souligner que la variation des teneurs en composés phénoliques peut être influencée par plusieurs facteurs méthodologiques. La méthode d'extraction joue en effet un rôle déterminant dans la récupération des métabolites secondaires. L'efficacité de cette extraction dépend principalement de la nature du solvant, de la température, de la durée d'extraction, ainsi que du rapport solvant/matière végétale, comme l'ont rapporté(Toledo *et al.*, 2011).

1.5. Activités biologiques :

1.5.1. Activité antioxydante (test DPPH) :

L'activité antioxydante de l'extrait hydroéthanolique de *Salsola richteri* vis-à-vis du radical DPPH a été évaluée par spectrophotométrie, en suivant la réduction de ce radical, caractérisée par le passage de la couleur violette au jaune, mesurable à 517 nm.

Les résultats ont été comparés à ceux de l'acide ascorbique utilisé comme contrôle positif. La courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique est présentée dans la figure 16. Les valeurs d'IC₅₀ de l'extrait de la partie aérienne de *Salsola richteri* et de l'acide ascorbique sont présentées dans le tableau 11.

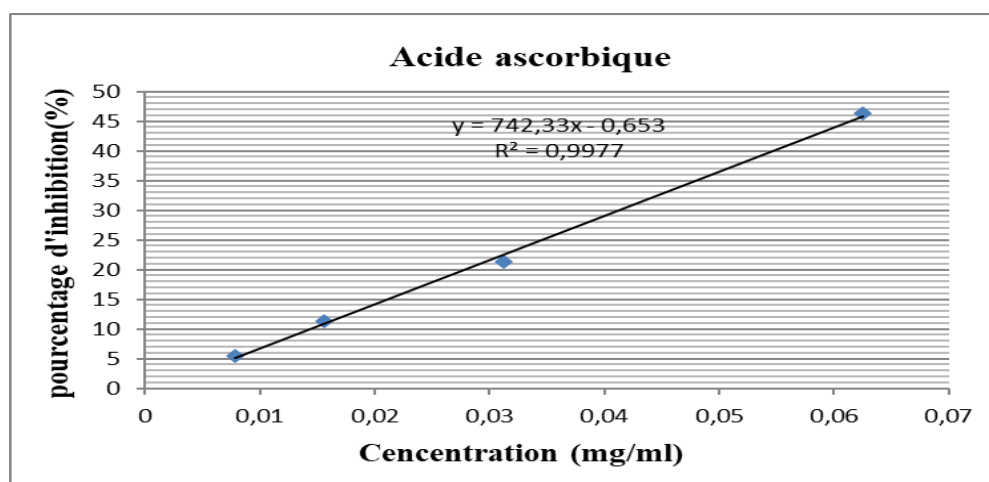


Figure 16 : Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour le test DPPH

Tableau 11 : Valeurs d'IC₅₀ de l'extrait de *Salsola richteri* et de l'acide ascorbique dans le test DPPH

Échantillon	IC ₅₀ (mg/mL)
Extrait	0,274 ± 0,025 mg/mL
Acide ascorbique	0,067 ± 0,008 mg/mL

D'après les résultats présentés dans le tableau 13, l'extrait de la partie aérienne de *Salsola richteri* présente une activité antioxydante avec une valeur d'IC₅₀ de 0,274 ± 0,025 mg/mL. Toutefois, cette activité reste inférieure à celle de l'antioxydant de référence, l'acide ascorbique, qui présente une IC₅₀ plus faible de 0,067 ± 0,008 mg/mL.

Les résultats obtenus montrent que l'extrait possède une capacité de piégeage du radical DPPH. Cette activité peut être liée à sa richesse en composés phénoliques, flavonoïdes et tanins.

En comparaison avec les études antérieures réalisées sur certaines espèces du genre *Salsola*, (**Rouabhia et Younsi 2024**) ont rapporté chez *Salsola kali* une IC₅₀ de 0,571 ± 0,132 mg/mL, supérieure à celle obtenue dans notre étude, ce qui suggère une activité antioxydante plus importante de l'extrait étudié. D'autres travaux réalisés sur *Salsola foetida* ont également montré une variabilité de l'activité antioxydante entre les espèces du même genre, probablement en relation avec leur composition phytochimique.

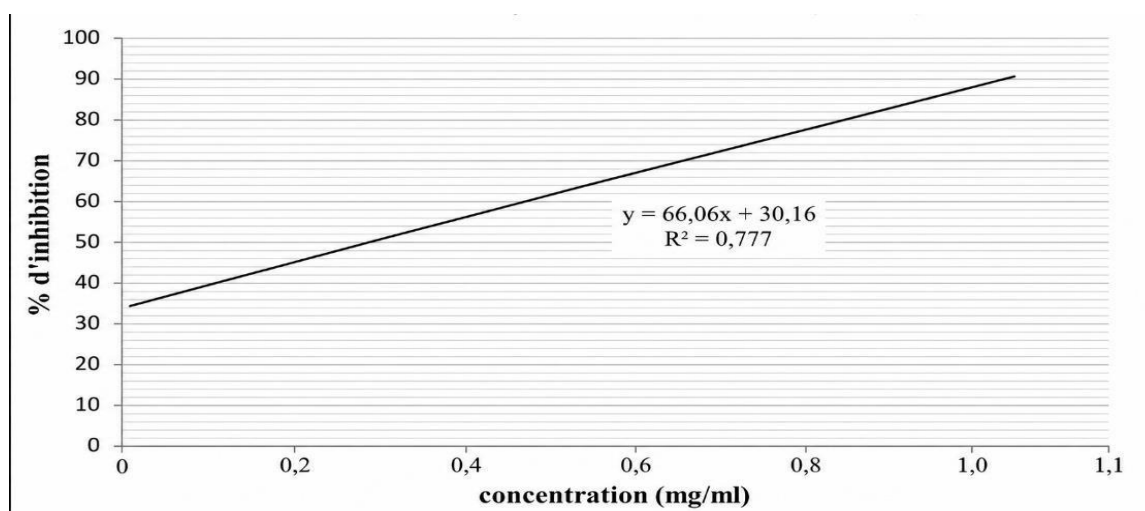


Figure 17 : Pourcentage d'inhibition du radical libre DPPH par l'extrait hydroéthanolique de *Salsola richteri*

La figure 17 montre l'évolution du pourcentage d'inhibition du radical DPPH en fonction de la concentration de l'extrait. Une augmentation progressive du pourcentage d'inhibition est observée avec l'augmentation de la concentration, ce qui confirme l'effet dose-dépendant de l'extrait.

1.5.2. Activité antioxydante (test FRAP) :

Un seul test ne permet pas de refléter l'ensemble des composés antioxydants présents dans une plante. C'est pourquoi l'extrait hydroéthanolique de *Salsola richteri* a également été évalué par le test FRAP, basé sur la capacité des composés antioxydants à réduire les ions ferriques (Fe^{3+}) en ions ferreux (Fe^{2+}).

Une courbe d'étalonnage a été établie en utilisant l'acide ascorbique comme standard de référence. Les résultats permettent d'estimer le pouvoir réducteur de l'extrait par comparaison avec cette molécule antioxydante de référence, comme indiqué dans la figure 18 et le tableau 12.

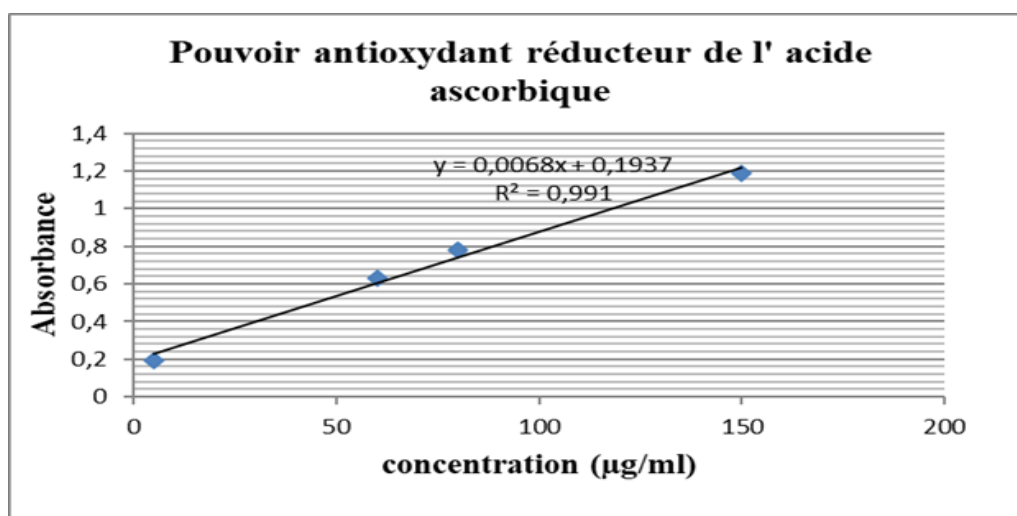


Figure 18 : Courbe d'étalonnage de l'acide ascorbique pour le test FRAP

Tableau 12 : Valeurs d'A0,5 de l'extrait hydroéthanolique et de l'acide ascorbique mesurées par le test FRAP

Le pouvoir réducteur	A0,5 (µg/mL)
Extrait	200,25 ± 4,16
L'acide ascorbique	52,43 ± 1,10

D'après les résultats obtenus, l'augmentation de l'absorbance du mélange réactionnel traduit une augmentation du pouvoir réducteur (**Hubert, 2006**). L'acide ascorbique a présenté la plus forte activité antioxydante, avec la plus faible concentration efficace ($52,43 \pm 1,10$ µg/mL). L'extrait végétal a montré un pouvoir réducteur appréciable, mais inférieur à celui du composé standard, avec une valeur de $200,25 \pm 4,16$ µg/mL.

La comparaison avec le standard montre donc que l'activité réductrice de l'extrait est inférieure à celle de l'acide ascorbique, ce qui est attendu puisque l'extrait végétal est un mélange brut de plusieurs composés naturels, alors que l'acide ascorbique est un composé pur.

Dans le cas de *Salsola foetida*, certains travaux ont rapporté une faible capacité à réduire le fer ferrique (Fe³⁺) en fer ferreux (Fe²⁺), ce qui pourrait être dû à la nature des composés chimiques présents dans cette espèce (**Gaâram et al., 2021**). Le pouvoir réducteur observé chez *Salsola richteri* peut être attribué à la présence de polyphénols, flavonoïdes et tanins capables de transférer des électrons et de participer aux réactions d'oxydoréduction. Ces résultats confirment que l'extrait possède une capacité réductrice mesurable dans le test FRAP.

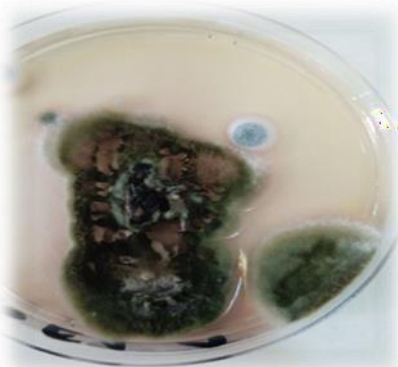
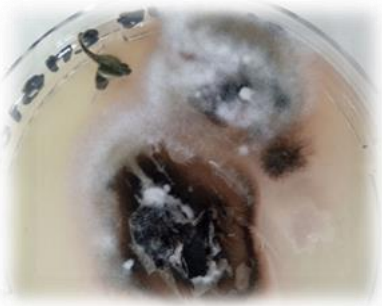
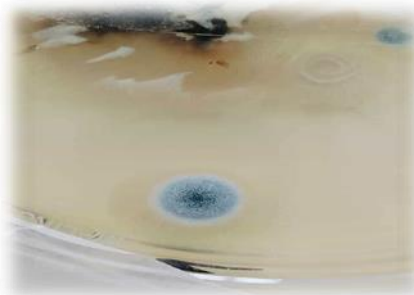
1.6. Identification des souches fongiques isolées :

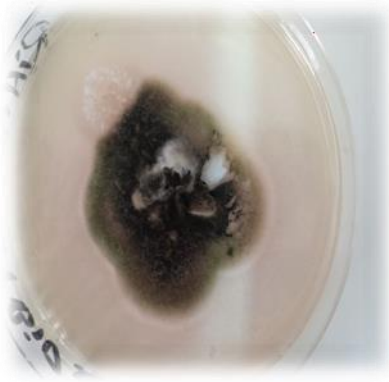
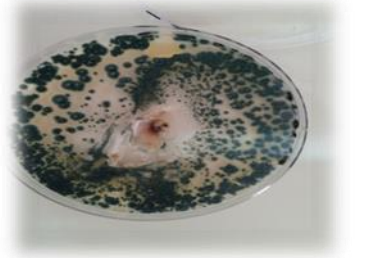
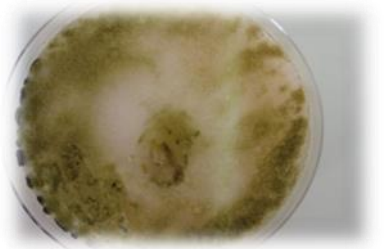
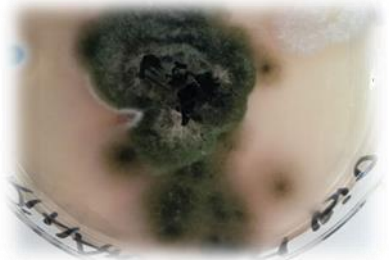
1.6.1. Identification macroscopique :

L'étude macroscopique a été réalisée par l'observation des caractères cultureux à l'œil nu et à l'aide d'une loupe binoculaire. Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau 15.

Tableau 13 : Caractères macroscopiques des souches isolées des grains de blé dur

Souches	Aspect macroscopique des isolats	Aspect macroscopique
---------	----------------------------------	----------------------

E 1 1		Surface : colonie de couleur brun foncé à noirâtre. Aspect : velouté avec une croissance modérée à lente.
E 1 4		Surface : colonie brun olive à brun foncé. Aspect : velouté, légèrement poudreux avec une croissance lente.
E 2 2		Surface : colonie gris brunâtre à noirâtre. Aspect : cotonneux à velouté avec une croissance rapide.
E 2 4		Surface : colonie bleu-vert avec bordure blanche. Aspect : poudreux à velouté avec une croissance rapide.
E 3 1		Surface : colonie brun olive foncé. Aspect : velouté avec une croissance modérée.

E 3 2		Surface : colonie brun noirâtre. Aspect : velouté avec une croissance lente à modérée.
E 3 3		Surface : colonie vert foncé à noirâtre. Aspect : poudreux avec une croissance rapide.
E 3 4		Surface : colonie vert olive à vert jaunâtre. Aspect : granuleux à poudreux avec une croissance rapide.
E 4 2		Surface : colonie brun foncé. Aspect : velouté avec une croissance lente.

1.6.2. Identification microscopique :

L'étude microscopique a été effectuée à l'aide d'un microscope optique numérique. Parmi les isolats observés, neuf isolats ont présenté des caractères macromorphologiques permettant une identification provisoire des genres fongiques comme suit :

Trois isolats ont présenté les caractéristiques suivantes :

- ✓ Des conidiophores solitaires ou regroupés en petits faisceaux, simples ou ramifiés.

- ✓ Des conidies brunes, pluricellulaires, disposées en chaînes parfois ramifiées.
- ✓ Les conidies sont septées avec des cloisons transversales et longitudinales, souvent munies d'un bec court. Ces isolats semblent appartenir au genre **Alternaria** (Larone, 1987).

Un isolat a présenté les caractéristiques suivantes :

- Des conidies brunes, pluricellulaires, ovoïdes à légèrement arrondies
- Présence de cloisons transversales et parfois longitudinales. Conidies isolées ou regroupées, certaines présentant un bec court. Cet isolat semble appartenir au genre **Stemphylium**.

Un isolat a présenté les caractéristiques suivantes :

- Des conidies brunes allongées, droites à légèrement courbées.
- Conidies pluri septées avec plusieurs cloisons transversales.
- Hyphes pigmentés bien développés. Cet isolat pourrait appartenir au genre **Bipolaris**.

Un isolat a présenté les caractéristiques suivantes :

- Des conidies allongées et pigmentées.
- Présence de plusieurs cloisons transversales.
- Conidies disposées isolément sur les conidiophores. Cet isolat semble appartenir au genre **Drechslera**.

Deux isolats ont présenté les caractéristiques suivantes :

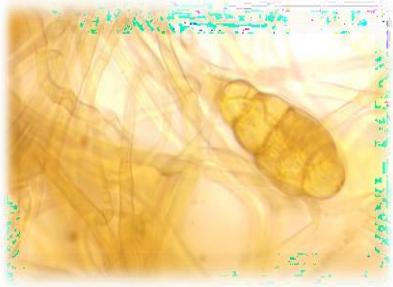
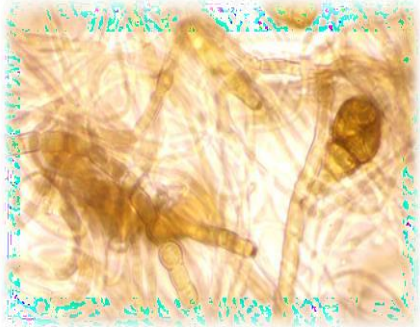
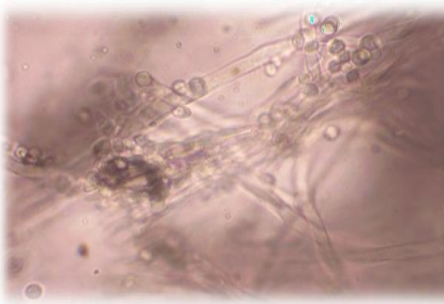
- Conidiophore long, hyalin et terminé par une vésicule.
- Présence de phialides portées directement sur la vésicule ou sur des métules.
- Tête aspergillaire radiée avec chaînes de conidies globuleuses.
- Spores sphériques, plus ou moins pigmentées selon les isolats. Ces souches semblent appartenir au genre **Aspergillus**.

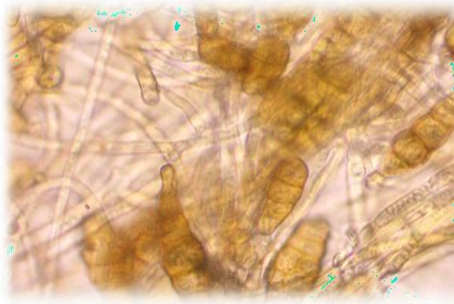
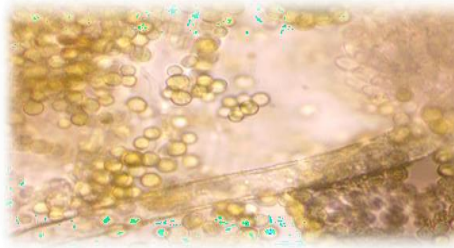
Un isolat a présenté les caractéristiques suivantes :

- Mycélium cloisonné avec conidiophores simples ou ramifiés.
- Présence d'un pénicille formé de phialides ramifiées.

- Production de spores en chaînes à l'extrémité des phialides. Cet isolat appartient probablement au genre **Penicillium**.

Tableau 14 : Caractères microscopiques des souches isolées des grains de blé dur

Souche	Aspect microscopique X40 ou X100	Pré-identification de la souche	Principaux critères observés
E 1 1		<i>Alternaria sp</i>	Conidies brunes pluricellulaires, ovoïdes à brièvement obclavées
E 1 4		<i>Stemphylium sp.</i>	Conidies brunes pluricellulaires, certains ovoïdes ou à bec court
E 2 2		<i>Bipolaris sp.</i>	Conidies brunes allongées, pluriseptées, droites à légèrement courbes
E 2 4		<i>Penicillium sp.</i>	Colonie bleu-vert et conidiation en brosse probable

E 3 1		<i>Drechslera sp.</i>	Conidies pigmentées allongées et pluriseptées
E 3 2		<i>Alternaria sp.</i>	Conidies brunes muriformes ou à cloisons transversales, avec bec court
E 3 3		<i>Aspergillus sp.</i>	Tête conidienne globuleuse avec chaînes radiales de conidies
E 3 4		<i>Aspergillus sp</i>	Colonie vert olive avec nombreuses conidies rondes
E 4 2		<i>Alternaria sp.</i>	Conidies pigmentées pluricellulaires à bec court

1.7. Détermination de l'activité antifongique :

L'activité antifongique de l'extrait de *Salsola richteri* a été évaluée vis-à-vis de neuf souches fongiques isolées des grains de blé. Les résultats obtenus montrent une variation de la croissance mycélienne et du taux d'inhibition selon la souche étudiée et le traitement appliqué. Cette variabilité traduit des différences de sensibilité entre les genres fongiques vis-à-vis des composés bioactifs présents dans l'extrait végétal.

Souche 1 : *Alternaria sp.*

Pour la souche 1, identifiée comme *Alternaria sp.*, la croissance mycélienne moyenne observée au dernier jour varie selon les traitements appliqués (C1 : 4,33, C2 : 2,47, C3 : 3,57, DMSO : 7,27). Comparativement au DMSO, les traitements C1, C2 et C3 entraînent une réduction de la croissance fongique, traduisant un effet inhibiteur de l'extrait testé.

Les taux d'inhibition calculés confirment cette tendance (C1 : 40,44 %, C2 : 66,02 %, C3 : 50,89 %). Le traitement C2 présente le taux d'inhibition le plus élevé, avec 66,02 %, ce qui correspond à la croissance mycélienne la plus faible ou à l'une des plus faibles valeurs observées sous traitement. Ces résultats indiquent que cette souche présente une sensibilité variable aux différents traitements, avec une réponse plus marquée sous C2.

Souche 1 - *Alternaria sp.*

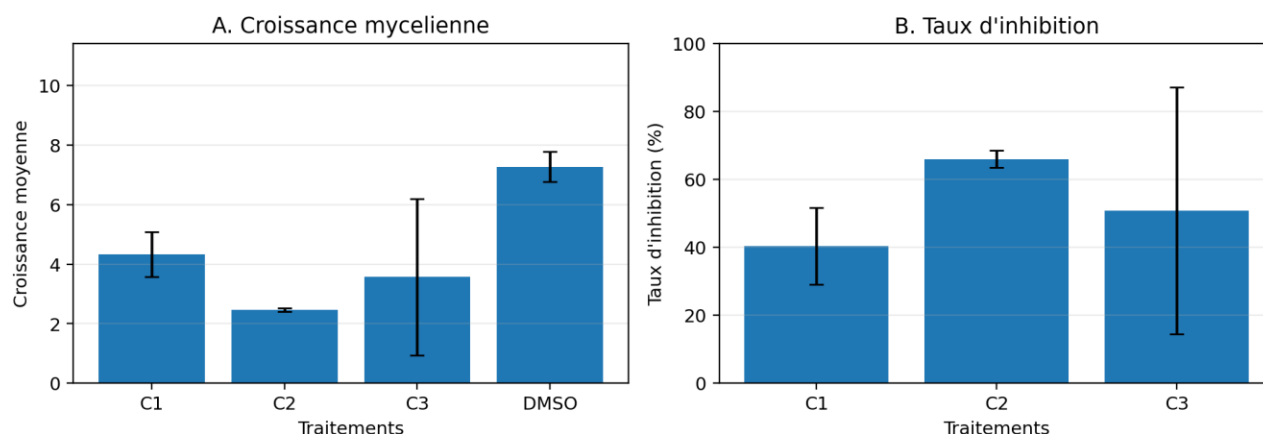


Figure 19 : Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 1 (*Alternaria sp.*).

Souche 2 : *Stemphylium sp.*

Pour la souche 2, identifiée comme *Stemphylium sp.*, la croissance mycélienne moyenne observée au dernier jour varie selon les traitements appliqués (C1 : 4,00, C2 : 5,30, C3 : 2,93,

DMSO : 7,60). Comparativement au DMSO, les traitements C1, C2 et C3 entraînent une réduction de la croissance fongique, traduisant un effet inhibiteur de l'extrait testé.

Les taux d'inhibition calculés confirment cette tendance (C1 : 47,37 %, C2 : 30,26 %, C3 : 61,45 %). Le traitement C3 présente le taux d'inhibition le plus élevé, avec 61,45 %, ce qui correspond à la croissance mycélienne la plus faible ou à l'une des plus faibles valeurs observées sous traitement. Ces résultats indiquent que cette souche présente une sensibilité variable aux différents traitements, avec une réponse plus marquée sous C3.

Souche 2 - *Stemphylium sp.*

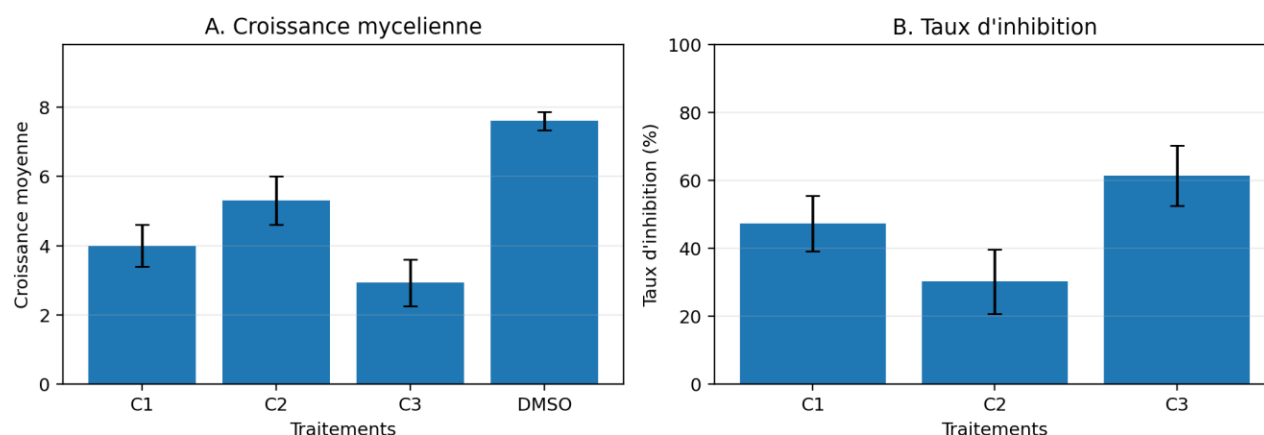


Figure 20 : Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 2 (*Stemphylium sp.*).

🚩 Souche 3 : *Bipolaris sp.*

Pour la souche 3, identifiée comme *Bipolaris sp.*, la croissance mycélienne moyenne observée au dernier jour varie selon les traitements appliqués (C1 : 5,90, C2 : 3,90, C3 : 4,37, DMSO : 8,17). Comparativement au DMSO, les traitements C1, C2 et C3 entraînent une réduction de la croissance fongique, traduisant un effet inhibiteur de l'extrait testé.

Les taux d'inhibition calculés confirment cette tendance (C1 : 27,78 %, C2 : 52,26 %, C3 : 46,51 %). Le traitement C2 présente le taux d'inhibition le plus élevé, avec 52,26 %, ce qui correspond à la croissance mycélienne la plus faible ou à l'une des plus faibles valeurs observées sous traitement. Ces résultats indiquent que cette souche présente une sensibilité variable aux différents traitements, avec une réponse plus marquée sous C2.

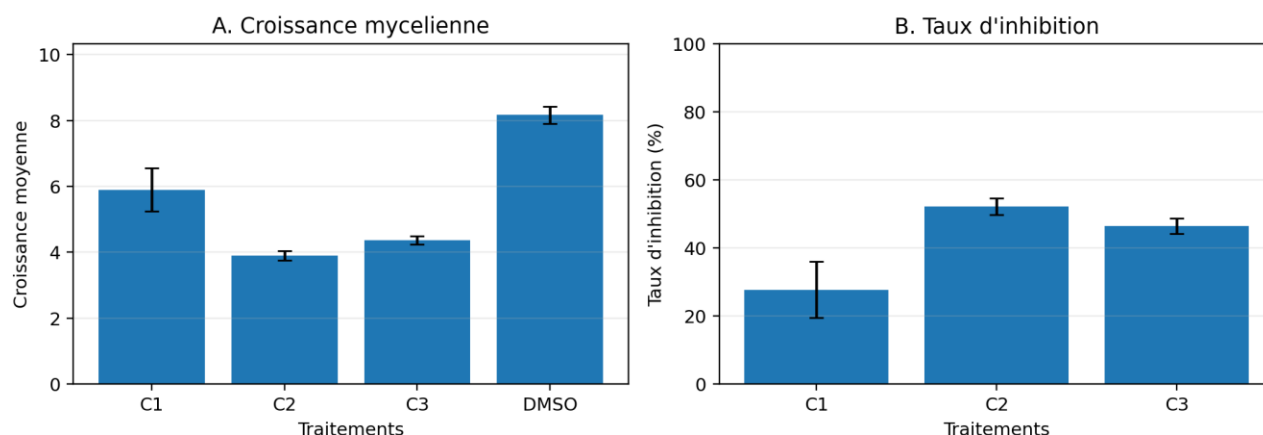
Souche 3 - *Bipolaris* sp.

Figure 21 : Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 3 (*Bipolaris* sp.).

 Souche 4 : *Penicillium* sp.

Pour la souche 4, identifiée comme *Penicillium* sp., la croissance mycélienne moyenne observée au dernier jour varie selon les traitements appliqués (C1 : 4,70, C2 : 3,83, C3 : 2,90, DMSO : 9,53). Comparativement au DMSO, les traitements C1, C2 et C3 entraînent une réduction de la croissance fongique, traduisant un effet inhibiteur de l'extrait testé.

Les taux d'inhibition calculés confirment cette tendance (C1 : 50,68 %, C2 : 59,81 %, C3 : 69,57 %). Le traitement C3 présente le taux d'inhibition le plus élevé, avec 69,57 %, ce qui correspond à la croissance mycélienne la plus faible ou à l'une des plus faibles valeurs observées sous traitement. Ces résultats indiquent que cette souche présente une sensibilité variable aux différents traitements, avec une réponse plus marquée sous C3.

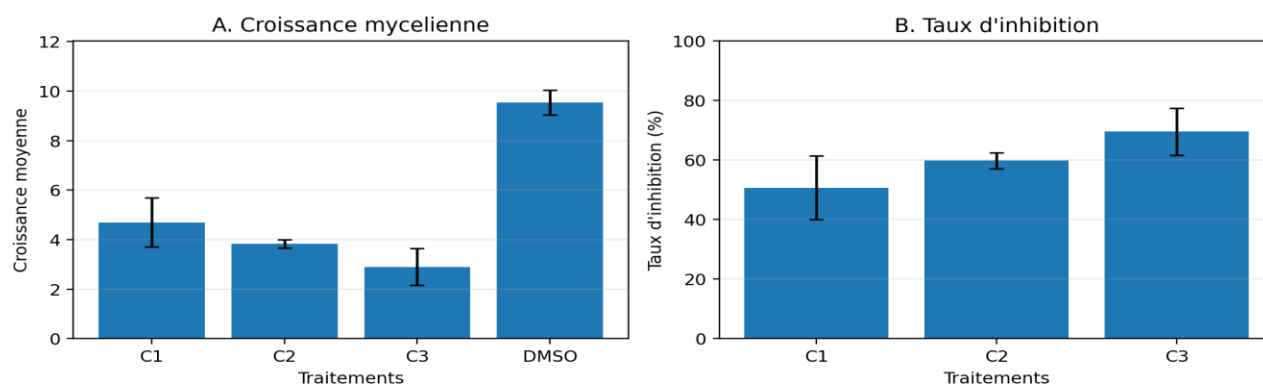
Souche 4 - *Penicillium* sp.

Figure 22 : Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 4 (*Penicillium sp.*).

✚ Souche 5 : *Drechslera sp.*

Pour la souche 5, identifiée comme *Drechslera sp.*, la croissance mycélienne moyenne observée au dernier jour varie selon les traitements appliqués (C1 : 3,93, C2 : 5,13, C3 : 4,00, DMSO : 8,53). Comparativement au DMSO, les traitements C1, C2 et C3 entraînent une réduction de la croissance fongique, traduisant un effet inhibiteur de l'extrait testé.

Les taux d'inhibition calculés confirment cette tendance (C1 : 53,93 %, C2 : 39,86 %, C3 : 53,11 %). Le traitement C1 présente le taux d'inhibition le plus élevé, avec 53,93 %, ce qui correspond à la croissance mycélienne la plus faible ou à l'une des plus faibles valeurs observées sous traitement. Ces résultats indiquent que cette souche présente une sensibilité variable aux différents traitements, avec une réponse plus marquée sous C1.

Souche 5 - *Drechslera sp.*

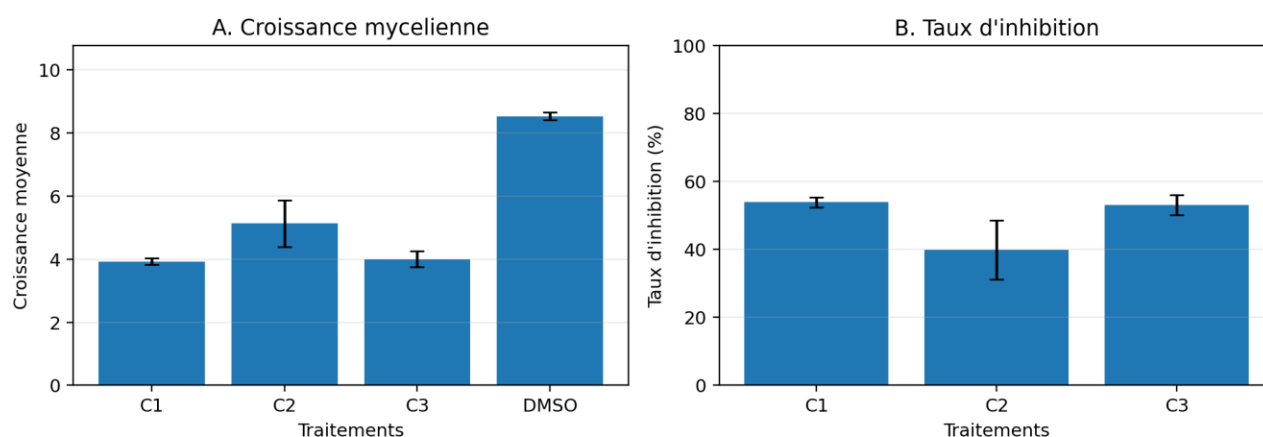


Figure 23 : Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 5 (*Drechslera sp.*).

✚ Souche 6 : *Alternaria sp.*

Pour la souche 6, identifiée comme *Alternaria sp.*, la croissance mycélienne moyenne observée au dernier jour varie selon les traitements appliqués (C1 : 3,13, C2 : 2,43, C3 : 2,70, DMSO : 6,33). Comparativement au DMSO, les traitements C1, C2 et C3 entraînent une réduction de la croissance fongique, traduisant un effet inhibiteur de l'extrait testé.

Les taux d'inhibition calculés confirment cette tendance (C1 : 50,55 %, C2 : 61,61 %, C3 : 57,35 %). Le traitement C2 présente le taux d'inhibition le plus élevé, avec 61,61 %, ce qui

correspond à la croissance mycélienne la plus faible ou à l'une des plus faibles valeurs observées sous traitement. Ces résultats indiquent que cette souche présente une sensibilité variable aux différents traitements, avec une réponse plus marquée sous C2.

Souche 6 - *Alternaria sp.*

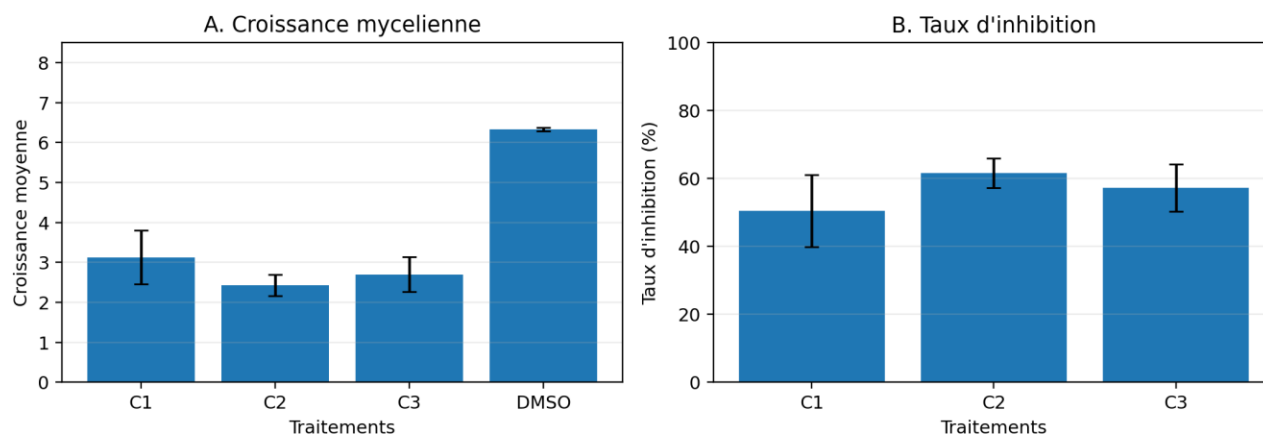


Figure 24 : Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 6 (*Alternaria sp.*).

🚩 Souche 7 - *Aspergillus sp.*

Pour la souche 7, identifiée comme *Aspergillus sp.*, la croissance mycélienne moyenne observée au dernier jour varie selon les traitements appliqués (C1 : 2,63, C2 : 4,30, C3 : 1,80, DMSO : 7,00). Comparativement au DMSO, les traitements C1, C2 et C3 entraînent une réduction de la croissance fongique, traduisant un effet inhibiteur de l'extrait testé.

Les taux d'inhibition calculés confirment cette tendance (C1 : 62,43 %, C2 : 38,57 %, C3 : 74,29 %). Le traitement C3 présente le taux d'inhibition le plus élevé, avec 74,29 %, ce qui correspond à la croissance mycélienne la plus faible ou à l'une des plus faibles valeurs observées sous traitement. Ces résultats indiquent que cette souche présente une sensibilité variable aux différents traitements, avec une réponse plus marquée sous C3.

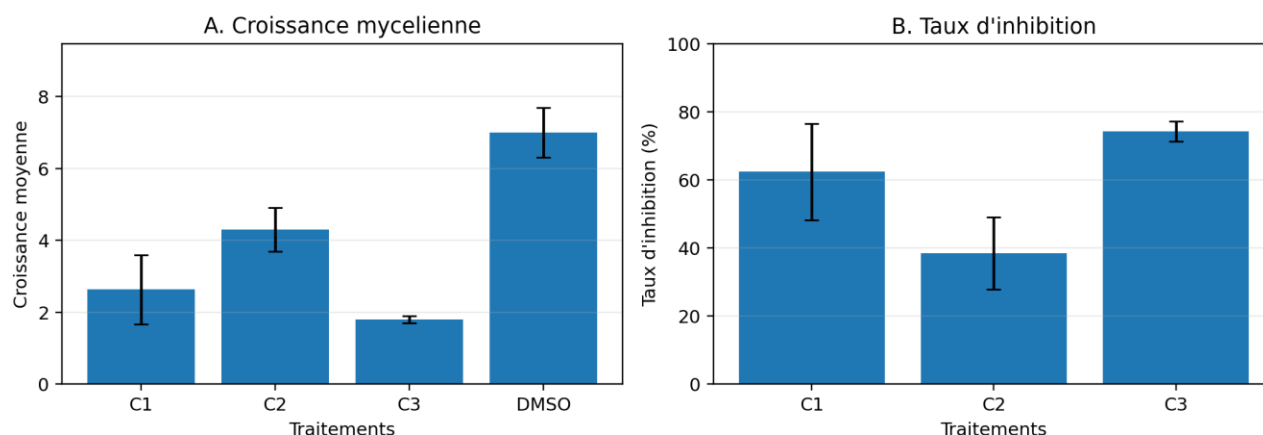
Souche 7 - *Aspergillus sp.*

Figure 25 : Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 7 (*Aspergillus sp.*).

 Souche 8 - *Aspergillus sp.*

Pour la souche 8, identifiée comme *Aspergillus sp.*, la croissance mycélienne moyenne observée au dernier jour varie selon les traitements appliqués (C1 : 3,43, C2 : 2,33, C3 : 2,33, DMSO : 8,30). Comparativement au DMSO, les traitements C1, C2 et C3 entraînent une réduction de la croissance fongique, traduisant un effet inhibiteur de l'extrait testé.

Les taux d'inhibition calculés confirment cette tendance (C1 : 58,67 %, C2 : 71,93 %, C3 : 71,93 %). Le traitement C2 présente le taux d'inhibition le plus élevé, avec 71,93 %, ce qui correspond à la croissance mycélienne la plus faible ou à l'une des plus faibles valeurs observées sous traitement. Ces résultats indiquent que cette souche présente une sensibilité variable aux différents traitements, avec une réponse plus marquée sous C2.

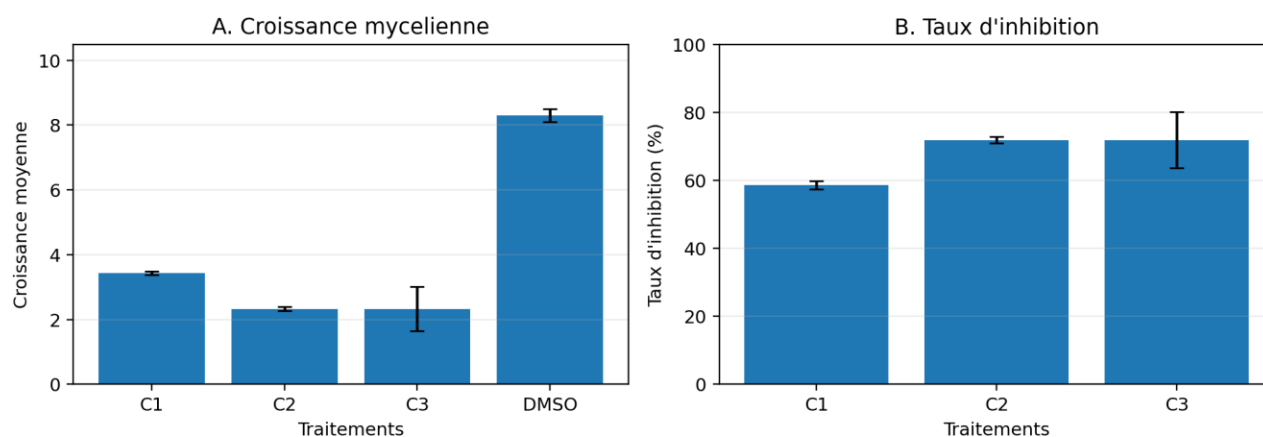
Souche 8 - *Aspergillus sp.*

Figure 26 : Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 8 (*Aspergillus sp.*).

Souche 9 - *Alternaria sp.*

Pour la souche 9, identifiée comme *Alternaria sp.*, la croissance mycélienne moyenne observée au dernier jour varie selon les traitements appliqués (C1 : 5,10, C2 : 1,87, C3 : 2,10, DMSO : 9,13). Comparativement au DMSO, les traitements C1, C2 et C3 entraînent une réduction de la croissance fongique, traduisant un effet inhibiteur de l'extrait testé.

Les taux d'inhibition calculés confirment cette tendance (C1 : 44,14 %, C2 : 79,52 %, C3 : 77,00 %). Le traitement C2 présente le taux d'inhibition le plus élevé, avec 79,52 %, ce qui correspond à la croissance mycélienne la plus faible ou à l'une des plus faibles valeurs observées sous traitement. Ces résultats indiquent que cette souche présente une sensibilité variable aux différents traitements, avec une réponse plus marquée sous C2.

Souche 9 - *Alternaria sp.*

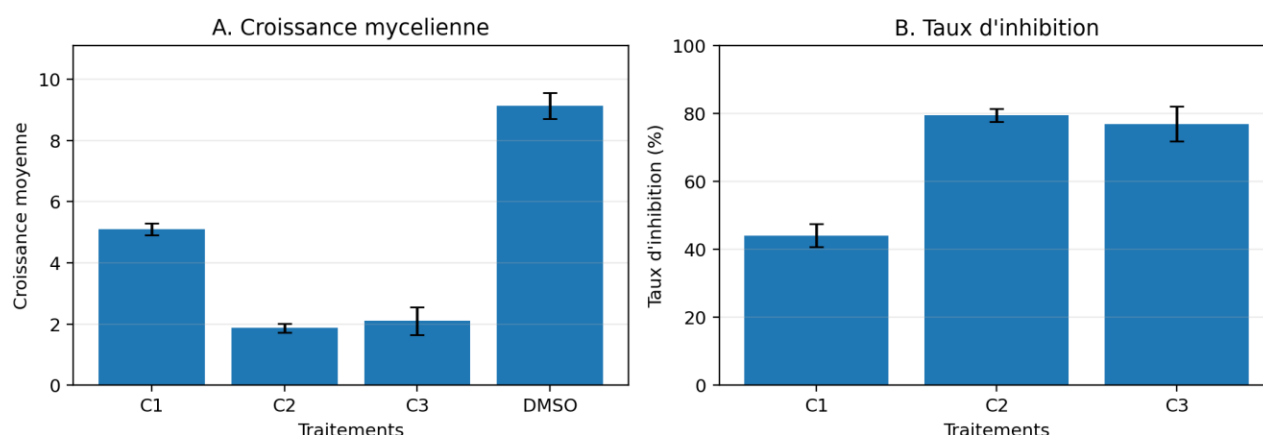


Figure 27 : Effet des traitements C1, C2 et C3 sur la croissance mycélienne et le taux d'inhibition de la souche 9 (*Alternaria sp.*).

1.7.1. Comparaison entre les souches selon leur sensibilité aux traitements antifongiques :

La comparaison des résultats montre que les souches fongiques étudiées ne présentent pas le même degré de sensibilité vis-à-vis de l'extrait de *Salsola richteri*. Les souches ayant présenté les plus faibles croissances mycéliennes sous traitement correspondent généralement aux taux d'inhibition les plus élevés. Cette relation confirme l'intérêt de présenter simultanément les valeurs de croissance et les pourcentages d'inhibition.

Les meilleurs résultats sont observés principalement chez *Alternaria sp.* et *Aspergillus sp.* La souche 9 d'*Alternaria sp.* Présente le taux d'inhibition le plus élevé, atteignant 79,52 % avec C2 et 77,00 % avec C3. Les souches 7 et 8 d'*Aspergillus sp.* montrent également une sensibilité importante, avec des taux atteignant respectivement 74,29 % et 71,93 %. À l'inverse, la souche 3 de *Bipolaris sp.* présente une sensibilité plus faible, notamment avec C1, où le taux d'inhibition est de 27,78 %.

Tableau 15 : Synthèse des meilleurs traitements selon la croissance mycélienne et le taux d'inhibition.

Souche	Genre fongique	Meilleur traitement	Taux d'inhibition (%)	Croissance sous ce traitement	Niveau de sensibilité
1	<i>Alternaria sp.</i>	C2	66,02	2,47	Élevée
2	<i>Stemphylium sp.</i>	C3	61,45	2,93	Élevée
3	<i>Bipolaris sp.</i>	C2	52,26	3,90	Modérée
4	<i>Penicillium sp.</i>	C3	69,57	2,90	Élevée
5	<i>Drechslera sp.</i>	C1	53,93	3,93	Modérée
6	<i>Alternaria sp.</i>	C2	61,61	2,43	Élevée
7	<i>Aspergillus sp.</i>	C3	74,29	1,80	Très élevée
8	<i>Aspergillus sp.</i>	C2	71,93	2,33	Très élevée
9	<i>Alternaria sp.</i>	C2	79,52	1,87	Très élevée

Les résultats obtenus montrent une variabilité importante de l'activité antifongique selon les souches testées. Cette variabilité est en accord avec les travaux antérieurs indiquant que la sensibilité des champignons aux substances antifongiques naturelles dépend de leurs caractéristiques biologiques, morphologiques et physiologiques.

Les genres *Alternaria sp.* et *Aspergillus sp.* ont présenté les taux d'inhibition les plus élevés. Ces résultats concordent avec les observations rapportées par (Bautista-Baños *et al.*, 2002), selon lesquelles plusieurs champignons phytopathogènes peuvent être sensibles aux composés naturels d'origine végétale. De même, (Brahmi *et al.*, 2020) ont montré que les extraits végétaux riches en composés phénoliques peuvent exercer une activité inhibitrice contre différents champignons contaminants.

En revanche, *Bipolaris sp.* et *Drechslera sp.* ont présenté une sensibilité plus faible ou intermédiaire. Cette différence pourrait être liée à des particularités structurales et physiologiques propres à ces genres fongiques, comme l'ont également signalé (**Prakash et al., 2015**). Par ailleurs, les résultats obtenus pour *Stemphylium sp.* traduisent une sensibilité modérée aux traitements appliqués.

D'une manière générale, ces résultats confirment que l'efficacité des extraits végétaux varie selon l'espèce fongique, la composition chimique de l'extrait et les conditions expérimentales. Cette interprétation rejoint les conclusions de (**Pitt et Hocking 2009**), qui soulignent l'importance des différences interspécifiques dans la réponse des champignons aux agents antifongiques.

Les différences observées dans les taux d'inhibition peuvent être expliquées par plusieurs facteurs liés aux caractéristiques propres des souches fongiques étudiées. La structure de la paroi cellulaire constitue l'un des principaux facteurs influençant la sensibilité des champignons aux substances antifongiques. Une paroi riche en chitine, en glucanes ou en mélanines peut limiter la pénétration des composés bioactifs et réduire leur efficacité.

La composition de la membrane plasmique, notamment sa teneur en ergostérol, peut également intervenir dans la réponse aux traitements. Les variations de composition membranaire peuvent modifier la perméabilité cellulaire et influencer l'interaction entre les composés actifs de l'extrait et les cellules fongiques.

De plus, certaines souches peuvent posséder des mécanismes de résistance, tels que des systèmes enzymatiques de détoxification ou des pompes d'efflux membranaires. Ces mécanismes permettent de réduire l'accumulation intracellulaire des molécules inhibitrices, ce qui pourrait expliquer les faibles taux d'inhibition observés chez certaines souches, notamment *Bipolaris sp.* et *Drechslera sp.*

À l'inverse, la forte sensibilité observée chez certaines souches d'*Alternaria sp.* et d'*Aspergillus sp.* pourrait être liée à une plus grande perméabilité cellulaire ou à une capacité de résistance moins développée. Les composés bioactifs de l'extrait de *Salsola richteri*, notamment les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins, les alcaloïdes et les saponosides, pourraient agir en perturbant l'intégrité de la paroi cellulaire, en altérant la membrane plasmique ou en interférant avec certains processus métaboliques essentiels à la croissance fongique.

Ainsi, l'intégration conjointe des graphes de croissance mycélienne et des taux d'inhibition permet une interprétation plus complète de l'activité antifongique. Elle montre clairement que

les traitements les plus efficaces sont ceux qui limitent le plus fortement la croissance du mycélium, ce qui se traduit par des taux d'inhibition élevés.

1.8. Analyse Statistiques des résultats :

L'analyse statistique a été réalisée afin d'évaluer l'effet des différents traitements de l'extrait de *Salsola richteri* sur la croissance des souches fongiques isolées des grains de blé. Elle vise à déterminer si les différences observées entre le témoin négatif DMSO et les traitements C1, C2 et C3 sont statistiquement significatives, et à comparer les profils de réponse des différentes souches.

Deux approches complémentaires ont été utilisées. La première repose sur l'analyse de variance à un facteur (ANOVA), suivie du test post-hoc de Tukey HSD, afin de vérifier la significativité des différences entre les traitements. La deuxième est l'Analyse en Composantes Principales (ACP), utilisée comme méthode exploratoire pour visualiser la distribution des souches selon leurs taux d'inhibition.

Les analyses ont été réalisées à partir des résultats de croissance mycélienne et des taux d'inhibition obtenus au dernier jour de l'expérimentation. Le DMSO a été utilisé comme témoin négatif pour le calcul des taux d'inhibition, car il permet d'évaluer l'effet réel de l'extrait végétal indépendamment du solvant utilisé.

Le taux d'inhibition constitue un indicateur direct de l'activité antifongique. Plus ce taux est élevé, plus la réduction de la croissance fongique par rapport au DMSO est importante. Les traitements C1, C2 et C3 correspondent aux concentrations testées de l'extrait végétal.

1.8.1. ANOVA et Tukey HSD :

L'ANOVA à un facteur permet de déterminer s'il existe une différence significative entre les traitements appliqués à une même souche fongique. Dans cette étude, elle permet de comparer la croissance observée sous DMSO avec celle obtenue sous C1, C2 et C3.

Lorsque l'ANOVA révèle une différence significative, le test post-hoc de Tukey HSD permet d'identifier les traitements qui diffèrent significativement du témoin ou entre eux. Une différence est considérée comme significative lorsque la valeur de p est inférieure à 0,05. Dans ce cas, la réduction de la croissance fongique ne peut pas être attribuée au hasard, mais elle peut être associée à l'effet inhibiteur de l'extrait végétal.

Ainsi, les traitements présentant simultanément un taux d'inhibition élevé et une différence significative par rapport au DMSO sont considérés comme les plus intéressants sur le plan antifongique. À l'inverse, un traitement présentant une inhibition faible ou non significative traduit une sensibilité plus faible de la souche ou une efficacité limitée de la concentration testée.

Tableau 16 : Critères d'interprétation statistique et biologique des résultats de l'ANOVA, du test de Tukey et des taux d'inhibition antifongique.

Résultat observé	Interprétation statistique	Interprétation biologique
$p < 0,05$ et taux d'inhibition élevé	Différence significative par rapport au témoin	Traitement efficace contre la souche étudiée
$p < 0,05$ et taux d'inhibition modéré	Différence significative mais effet partiel	Sensibilité moyenne de la souche
$p > 0,05$	Différence non significative	Effet faible ou absence d'effet clair
Taux d'inhibition élevé mais forte variabilité	Résultat à interpréter avec prudence	Nécessité de confirmer par répétitions supplémentaires

La diminution de la croissance fongique en présence de l'extrait de *Salsola richteri* suggère une action inhibitrice sur le développement mycélien. Cette activité peut être liée à la présence de métabolites secondaires bioactifs, notamment les polyphénols, les flavonoïdes, les tanins, les alcaloïdes et les saponosides.

La variabilité de la réponse entre les souches indique cependant que toutes les espèces fongiques ne présentent pas le même niveau de sensibilité. Certaines souches semblent fortement sensibles à l'extrait, alors que d'autres montrent une tolérance relative. Cette différence peut être expliquée par des facteurs biologiques tels que la structure de la paroi cellulaire, la composition de la membrane plasmique, les systèmes enzymatiques de détoxification et les mécanismes d'efflux membranaire.

1.8.2. L'Analyse en Composantes Principales (ACP) :

L'Analyse en Composantes Principales a été réalisée à partir des taux d'inhibition calculés au dernier jour pour les traitements C1, C2 et C3. Le DMSO a servi de témoin pour le calcul des taux d'inhibition, mais il n'a pas été inclus comme variable dans l'ACP.

Les deux premières composantes principales expliquent 91,86 % de la variabilité totale, avec 54,60 % pour l'axe PC1 et 37,27 % pour l'axe PC2. Cette valeur élevée indique que le plan factoriel formé par PC1 et PC2 résume correctement l'essentiel de l'information contenue dans les données d'inhibition.

Tableau 17 : Pourcentage de variance expliqué par les deux premières composantes principales de l'ACP appliquée aux taux d'inhibition des traitements C1, C2 et C3.

Composante	Variance expliquée (%)	Interprétation
PC1	54,60	Axe principal de différenciation des souches selon leur réponse aux traitements
PC2	37,27	Axe secondaire complétant la séparation des profils d'inhibition
Total PC1 + PC2	91,86	Représentation globale satisfaisante de la variabilité observée

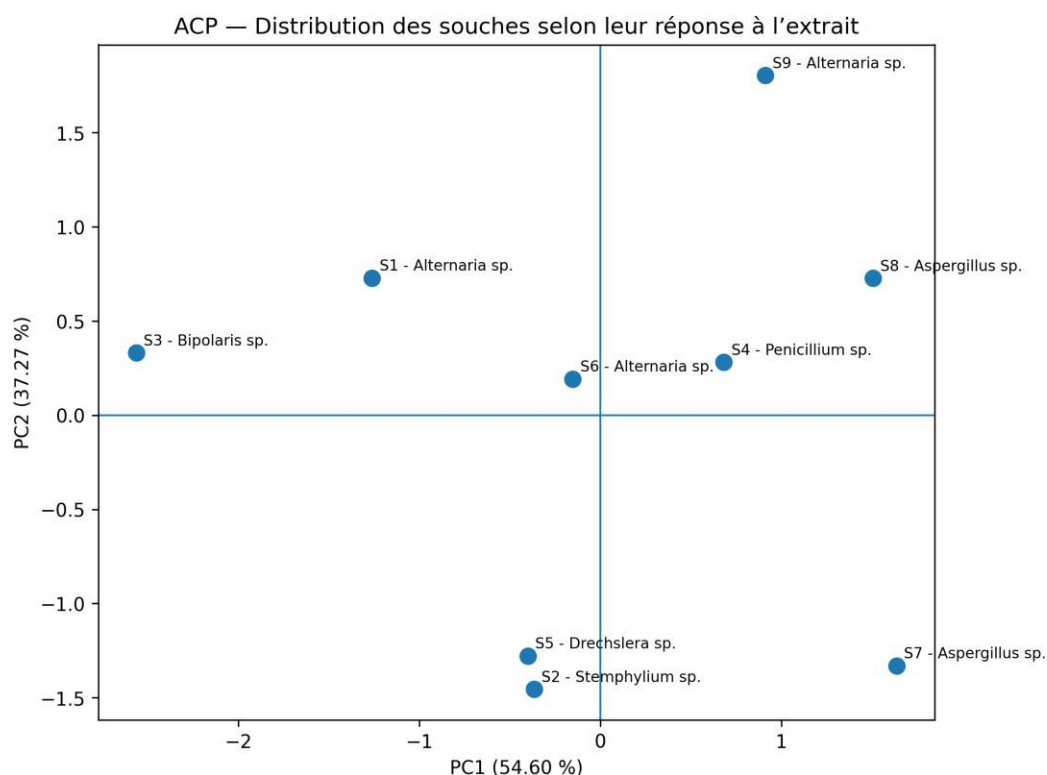


Figure 28 : Distribution des souches fongiques selon leur réponse aux traitements C1, C2 et C3 dans le plan factoriel de l'ACP (PC1 = 54,60 % ; PC2 = 37,27 %).

La distribution des souches montre que les souches proches sur le graphique présentent des profils de réponse similaires à l'extrait végétal. À l'inverse, les souches éloignées possèdent des comportements différents vis-à-vis des traitements C1, C2 et C3. Cette représentation permet donc de distinguer les souches les plus sensibles de celles qui présentent une résistance relative.

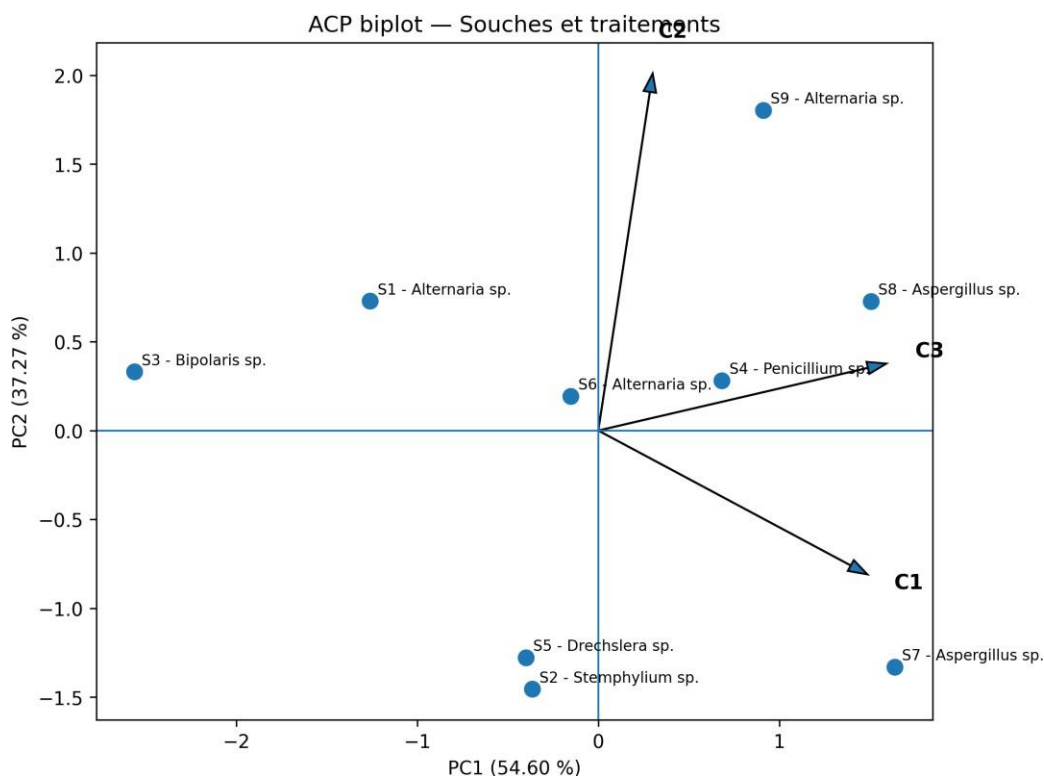


Figure 29 : Biplot de l'ACP illustrant la relation entre les souches fongiques et les traitements C1, C2 et C3 sur la base des taux d'inhibition au dernier jour.

Le biplot ACP permet de visualiser à la fois la position des souches et l'influence des traitements. Les flèches C1, C2 et C3 indiquent les variables qui contribuent à la séparation des souches. Une souche située dans la direction d'une flèche est associée à une réponse plus marquée pour le traitement correspondant.

Tableau 18 : Scores des souches fongiques sur les axes PC1 et PC2 issus de l'ACP des taux d'inhibition de l'activité antifongique.

Souche	PC1	PC2
S1 - Alternaria sp.	-1,261	0,729
S2 - Stemphylium sp.	-0,366	-1,456
S3 - Bipolaris sp.	-2,564	0,331

S4 - <i>Penicillium</i> sp.	0,683	0,281
S5 - <i>Drechslera</i> sp.	-0,400	-1,278
S6 - <i>Alternaria</i> sp.	-0,152	0,192
S7 - <i>Aspergillus</i> sp.	1,639	-1,330
S8 - <i>Aspergillus</i> sp.	1,508	0,727
S9 - <i>Alternaria</i> sp.	0,912	1,804

L'ensemble des analyses statistiques indique que l'extrait de *Salsola richteri* exerce une activité antifongique variable selon les souches fongiques testées et selon les concentrations utilisées. Les traitements qui entraînent une croissance inférieure à celle du DMSO, un taux d'inhibition élevé et une différence significative au test de Tukey sont les plus pertinents à retenir.

Les résultats de l'ACP renforcent cette interprétation en montrant que les souches ne se répartissent pas de manière homogène. Certaines souches se regroupent en fonction de leur réponse aux traitements, tandis que d'autres s'éloignent du centre du graphique, traduisant un comportement particulier vis-à-vis de l'extrait. Les souches associées aux directions des traitements C1, C2 ou C3 peuvent être considérées comme plus sensibles à ces concentrations.

Globalement, les analyses statistiques confirment l'intérêt de l'extrait de *Salsola richteri* comme agent antifongique naturel potentiel. L'effet est particulièrement pertinent lorsque les traitements montrent une croissance fongique inférieure à celle du DMSO, un taux d'inhibition élevé et une différence significative au test de Tukey. L'ACP apporte une vision complémentaire en distinguant les souches selon leurs profils de sensibilité. Ces résultats soutiennent l'hypothèse d'une activité antifongique réelle de l'extrait, tout en montrant que cette activité dépend de la souche fongique et de la concentration utilisée.

Conclusion et perspective

Conclusion

Au terme de cette étude, il ressort que la contamination fongique du blé constitue un problème important pouvant altérer la qualité sanitaire des grains et compromettre leur conservation. Dans ce contexte, la recherche d'alternatives naturelles aux fongicides chimiques représente une approche prometteuse, notamment en raison des effets indésirables de ces derniers sur l'environnement, la santé et l'apparition éventuelle de souches fongiques résistantes.

Les résultats obtenus montrent que l'extrait hydroéthanolique de la partie aérienne de *Salsola richteri* présente un rendement d'extraction de 8,99 %. Les analyses phytochimiques ont révélé la présence de plusieurs métabolites secondaires actifs, notamment les alcaloïdes, les saponines et les terpénoïdes. Le dosage quantitatif a également mis en évidence des teneurs appréciables en composés phénoliques, avec $150,73 \pm 2,13$ µg équivalent acide gallique/mg de matière sèche pour les polyphénols, $34,98 \pm 0,47$ µg équivalent quercétine/mg de matière sèche pour les flavonoïdes et $18,66 \pm 2,96$ µg équivalent catéchine/mg de matière sèche pour les tanins.

L'activité antioxydante de l'extrait a été confirmée par les méthodes DPPH et FRAP. La valeur d'IC₅₀ obtenue par le test DPPH est de $0,274 \pm 0,025$ µg/ml, tandis que la valeur d'EC₅₀ déterminée par le test FRAP est de $200,25 \pm 4,16$ mg/g. Ces résultats suggèrent que l'activité antioxydante observée est probablement liée à la richesse de l'extrait en composés phénoliques et en flavonoïdes.

L'étude mycologique a mis en évidence la présence de plusieurs genres fongiques contaminant les grains de blé, notamment *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Stemphylium*, *Drechslera* et *Bipolaris*. La présence de certains de ces genres, connus pour leur capacité à produire des mycotoxines, confirme l'importance du contrôle de la flore fongique lors du stockage et de la conservation des céréales.

Les essais antifongiques réalisés sur neuf souches fongiques ont révélé une sensibilité variable vis-à-vis de l'extrait végétal testé. Les meilleurs taux d'inhibition ont été observés contre *Alternaria sp.* et *Aspergillus sp.*, avec des pourcentages respectifs de 79,52 % et 74,29 %. Ces résultats indiquent que l'extrait de *Salsola richteri* possède un potentiel antifongique intéressant, tout en montrant que son efficacité dépend du genre fongique étudié.

Conclusion

De manière générale, cette étude met en évidence l'intérêt de *Salsola richteri* comme source naturelle de composés bioactifs à propriétés antioxydantes et antifongiques. Toutefois, son utilisation comme alternative aux fongicides chimiques nécessite encore des investigations complémentaires, notamment pour identifier les molécules responsables de l'activité observée, comprendre leurs mécanismes d'action, évaluer leur efficacité dans des conditions réelles de stockage et vérifier leur innocuité pour l'homme, l'animal et l'environnement.

Références

Références :

- **Abdelkader , A.** (2012). Mycologie générale et appliquée. Alger : Office des Publications Universitaires.
- **Aidani, H.** (2015). Effet des attaques de capucin des grains (*Rhizopertha dominica*) sur les céréales stockées : Estimation sur la perte pondérale et le pouvoir germinatif (Cas du blé dur dans la région de Tlemcen. Tlemcen, Algérie: Université Abou Bekr Belkaid
- **Akopian, J.A. et al.** (2020) ‘On some medicinal plants of Chenopodiaceae family in the floras of Armenia and Uzbekistan’, *Electron J Nat Sci*, 34(1), pp. 12–17.
- **Akopian, J.A. et al.** (2020) ‘On some medicinal plants of Chenopodiaceae family in the floras of Armenia and Uzbekistan’, *Electron J Nat Sci*, 34(1), pp. 12–17.
- **Aouali S. et Douici-Khalfi A.** (2009). Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes, développement et moyens de lutte ; ITGC, EL Harrach, Alger. 56p.
- **Aouali S. et Douici-Khalfi A.** (2009). Recueil des principales maladies fongiques des céréales en Algérie : symptômes, développement et moyens de lutte ; ITGC, EL
- **Bada, L.** (2007). Variabilité génotypique du blé dur (*Triticum durum Desf.*) vis-à-vis de la nuisibilité directe du brome (*Bromus rubens L.*) en conditions semi-arides.
- **Bahadran, M., Ejtehadi, H., Ghasemzadeh, F. et Abrishami, P.** (1993). Étude autoécologique de *Salsola richteri* Moq. ex Karel. Litw dans la province du Khorasan du Sud. *Revue des recherches botaniques (Revue de biologie d’Iran)*, vol. 29, n° 2, p. 139.
- **Bailly, J.** (1980). Les champignons et leurs applications en agriculture. Paris : Masson.
- **Baldy C.,** (1984). Utilisation efficace de l’eau par la végétation en climats méditerranéens. *Bull. Soc. Botan. Fr* 131(2,3,4). *Actual. Botan* (491-499).
- **Bautista-Baños, S., Hernández-López, M., Bosquez-Molina, E., & Wilson, C. L.** (2002). Antifungal activity of leaf and stem extracts from various plant species on the incidence of *Colletotrichum gloeosporioides* of papaya and mango fruit after storage. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 20, 8–12.
- **Beki, A. M.** (2024). Contribution à l’étude physiologique, phytochimique et biologique des extraits de deux plantes : *Salsola richteri* (Moq.) Karel ex Litv. et *Cornulaca monacantha* Del. dans la région de N’Ghamien, El Oued. Thèse de doctorat, Université Echahid Hamma Lakhdar d’El Oued, Algérie.
- **Belaid D.,** (1996). Aspects de la céréaliculture algérienne. INES. D’Agronomie. Batna. 187p
- **Bendjoudi, F., & al.** (2020). Influence des facteurs environnementaux sur la croissance fongique. *Revue Algérienne de Microbiologie*, 12(2), 45–56.
- **Bennett, J. W., & Klich, M.** (2003). Mycotoxins. *Clinical Microbiology Reviews*, 16(3), 497– 516.
- **Boiron, P.** (2005). Mycologie médicale. Paris : Elsevier Masson.
- **Botton, B., Breton, A., Fevre, M., Gauthier, S., Guy, P., Larpent, J. P., Reymond, P., Sanglier, J. J., Vayssier, Y., & Veau, P.** (1999). Moisissures utiles et nuisibles : importance industrielle. Paris : Masson.

- **Bouchet, P.** (2005). *Biologie et écologie des champignons*. Paris : Dunod.
- **Bouchet, P., & D. al.** (1999). *Mycologie fondamentale et appliquée*. Paris : Masson.
- **Bouchet, P., & D. al.** (2005). *Les champignons : classification et biologie*. Paris : Masson.
- **Boughaleb, N., Harrabi, M.**, 1997. Physiological specialisation of *Septoria tritici* in North Africa. *Tropicultura* 15: page 33-66.
- **Boukhedenna, M., & M. al.** (2014). *Morphologie et cycle de vie des champignons*.
- **Brahmi, F., Mechri, B., Dabbou, S., Dhibi, M., & Hammami, M.** (2013). The efficacy of phenolics compounds with antioxidant activity from medicinal plants. *Journal of Medicinal Plants Research*, 7(15), 1024–1031.
- **Brock, T. D.** (1994). *Biology of Microorganisms* (7th ed.). Englewood Cliffs, NJ : Prentice Hall.
- **Chabasse, D., Bouchara, J. P., & de Gentile, L.** (2002). *Mycologie médicale et biologique*. Paris : Elsevier Masson.
- **Champion, R.** (1997). *Identifier les champignons transmis par les semences*. Paris : INRA / Quae.
- **Charvet, J.** (1977). *Le blé dans le monde : Évolution récente de la consommation et de la commercialisation de la production*.
- **Clerget, Y.** (2011). *Biodiversité des céréales : origine et évolution*. p16 . Société d'Histoire Naturelle du Pays de Montbéliard.
- **Djossou, O., Perraud-Gaime, I., Lakhal-Mirleau, F., Rodriguez-Serrano, G., Karou, G., Niamke, S., Ouzari, I., Boudabous, A., & Roussos, S.** (2011). Robusta coffee beans post- harvest microflora: *Lactobacillus plantarum* as potential antagonist of *Aspergillus carbonarius*. *Anaerobe*, 1–6.
- **Doumandji, A. D.-M.** (2003). *Cours de technologie des céréales : Technologie de transformation des blés et problèmes dus aux insectes au stockage*. Office des
- **Dube, H. C.** (2013). *An Introduction to Fungi* (3rd ed.). New Delhi : Vikas Publishing House.
- **Dufresne, M.** (2018). Reproduction et diversité des champignons. *Revue Française de Mycologie*, 42(3), 101–115.
- **Duke, J. A.** (2002). *Handbook of Medicinal Herbs* (2nd ed.). Boca Raton : CRC Press.
- **Ecophyto** (2015). *Symptômes, dégâts seuils de nuisibilité et des bioagresseurs* , page 07.
- **Eddouks, M., Maghrani, M., Lemhadri, A., Ouahidi, M. L., & Jouad, H.** (2005). Ethnopharmacological survey of medicinal plants used for the treatment of diabetes mellitus, hypertension and cardiac diseases in the south-east region of Morocco. *Journal of Ethnopharmacology*, 99(2), 303–307.
- **ElNaggar, M. H., Eldehna, W. M., Abourehab, M. A., & Abdel Bar, F. M.** (2022). The old world as a source of valuable secondary metabolites endowed with diverse pharmacological activities: A Review. *Journal of Enzyme Inhibition and Medicinal Chemistry*, 37(1), 2036–2062.

- **Ezzahiri B.,** (2001). Les maladies du blé. Identification, facteurs de développement et méthodes de lutte. Transfert de technologie en Agriculture, n°77, 4 pages
- **Ezzahiri B.,** (2010). Maladies fongiques foliaires du blé. Agriculture du Maghreb n°41, 66-74
- **FAOSTAT**(Stat 2026) . Données statistiques agricoles
- **FAOSTAT.** (2021). Données statistiques agricoles. Récupéré sur <https://olivierfrey.com/agridata-n15-la-production-et-le-commerce-de-ble-dans-le-monde/>.
- **Feillet, P.** (2000). Le grain de blé : composition et utilisation.
- **Gate P.,** (1995). Ecophysiologie du blé. ITCF. Technique et Documentation. Lavoisier, paris, 419p
- **Glushchenko, N. N., Kachala, V. V., & Kovalev, V. N.** (2018). Chemical constituents and pharmacological properties of *Salsola richteri*. Pharmaceutical Chemistry Journal, 52(4), 321–326.
- **Guarro, J., Gené, J., & Stchigel, A. M.** (1999). Developments in fungal taxonomy. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(3), 454–500.
- **Gutzuiller A., Czeglédé L., et Stoll P.,** (2005). Efficacité d'adsorbants contre les mycotoxines de Fusarium chez le porc. Revue Suisse Agric. 37 (3) : 121-129
Harrach, Alger. 56p.
- **Henry Y. et De Buyser J.,** 2001. L'origine des blés. In : belin Pour la science (Ed.).
- **Houansou, D., & al.** (2020). Identification des microflore mycologiques présentes dans les casse-croûtes à base de céréales.
- **Guiraud, Joseph-Pierre.** (1998). *Microbiologie alimentaire*. Paris : Éditions Dunod, 652 p.
- **Kanwal, D., & Abid, R.** Taxonomic assessment of the family Amaranthaceae with special emphasis on seed morph-ology. Pak J Bot 2017; 49, 43–68
- **Kintzios, S. E., & Barberaki, M. G.** (2004). Plants That Fight Cancer. Boca Raton : CRC Press.
- **Ksouri, R., Megdiche-Ksouri, W., Jallali, I., Debez, A., Magné, C., Hiroko, I., & Abdelly, C.** (2012). Medicinal halophytes: Potent source of health promoting biomolecules. *Critical Reviews in Biotechnology*, 32(4), 289–326.
- **Larone D.H.** (1987). Medically important fungi. A guide to identification, 2nd edition. New York, London, Amsterdam : Elsevier Science Publishing. 230p
- **Magan, N., & Aldred, D.** (2007). Why do fungi produce mycotoxins? Food Science and Technology Bulletin, 4(3), 21–25.
- **Mazouz L.,** (2006). Etude de la contribution des paramètres phéno-morphologiques dans l'adaptation du blé dur (*Triticum durum* Desf.) dans l'étage bioclimatique semi-aride. Thèse de magister. Institut d'Agronomie, Université Colonel El Hadj Lakhdar, Batna, 65pages.

- **Mehates-Demazure, B.**, 2000. Blé : Les maladies de l'année; Helminthosporiose du blé aussi nuisible que les septorioses. Grandes cultures info : page 22-23.

Mémoire de Magister en Agrotechnique, Université El Hadj Lakhdar, Batna, Algérie, 72 p

- **Messiaen C. M.**, (1981). les variétés résistantes ; Méthode de lutte contre les maladies et ennemis des plantes. INRA. Eds. Louis-Jean. ISBN 2-85340-355-6. 333 pp
- **Mohammed, H. A., Al-Omar, M. S., Aly, M. S. A., & Hegazy, M. E. F.** (2019). Phytochemical constituents and biological activities of the genus *Salsola*: A review. *Molecules*, 24(18), 3255.
- **Monneveux, P.** (1991). Quelles stratégies pour l'amélioration génétique de la tolérance au déficit hydrique des céréales d'hiver. AUPELF-UREF / John Libbey Eurotext.
- **Moule C.**, 1971. Céréales, Phytotechnie Spéciale II, éd. La maison rustique, Paris, 94p. N
- **Murshid, S. S. A., Atoum, D., Abou-Hussein, D. R., Abdallah, H. M., Hareeri, R. H., Almukadi, H., & Edrada-Ebel, R.** (2022). Genus *Salsola*: Chemistry, Biological Activities and Future Prospective—A Review. *Plants*, 11(6), 714 *Mycologie appliquée*, 8(1), 23–34.
- **Nasraoui, B.** (2015). Mycotoxines et sécurité alimentaire. Tunis : Centre National des Sciences et Technologies.
- **OCDE/FAO.** (2020). Perspectives agricoles de l'OCDE et de la FAO 2020–2029. OCDE / FAO.
- **Olivpro.** (2020). Agridata No 15 : La production et le commerce de blé dans le monde. Récupéré sur <https://olivierfrey.com/agridata-n15-la-production-et-le-commerce-de-ble-dans-le-monde/>
- **Oulad Hadj Youcef & Oulad Mir** (2022).
- **Pakanaev, Y. I., Kattaev, N. S., Shaimardanov, R. A., & Yuldashev, U.** (1980). Changes in the alkaloid and flavonoid contents of *Salsola richteri*. *Rastitel'nye Resursy*, 16(3), 411-414.
- **Pedersen E.A.**, (1989). Epidemiology of the Septoria disease complex of wheat: effect of cultivars, crop rotation and weather on disease development. Master of science, University of Saskatchewan, 181p 67.
- **Perry, J. J.** (2004). *Microbial Life* (2nd ed.). Sunderland, MA : Sinauer Associates.
- **Pitt, J. I., & Hocking, A. D.** (2009). *Fungi and Food Spoilage* (3rd ed.). Springer.
- **Ponomarenko A., Goodwin S.B., & Kema G.H.J.**, (2011). Septoria tritici Blotch (STB) du blé. *Plant Health Instructor*. (DOI : 10.1094/PHI-I-2011-0407-01)
- **Prescott, L. M.** (2003). *Microbiology* (5th ed.). New York : McGraw-Hill.

Publications Universitaires.

- **Rapilly F., Lemaire J.M. & Cassini R.**, (1971). Les principales maladies cryptogamiques des céréales. Eds. I.N.R.A, Paris 310p
- **Rapilly, F., Foucault, B., & Lacazedieu, J.** (1973). Études sur l'inoculum de la rouille jaune du blé (*Puccinia striiformis* West). *Annales de Phytopathologie*.
- **Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E.** (2003). *Biology of Plants* (6th ed.). New York : W.H. Freeman.

- **Raven, P. H., Evert, R. F., & Eichhorn, S. E.** (2007). *Biology of Plants (7th ed.)*. New York : W.H. Freeman.
- **Redecker, D.** (2002). Molecular identification of fungal groups. *Mycological Research*, 106(7), 829–842.
- **Riba, A.** (2008). Recherche sur les champignons producteurs d'aflatoxines et d'ochratoxine A dans la filiere ble en Algerie [Thèse de doctorat d'état, Université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou].
- **Samson, R. A., Houbraken, J., Thrane, U., Frisvad, J. C., & Andersen, B.** (2010). *Food and Indoor Fungi*. CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre.
- **Schofield, P., Mbugua, D. M., & Pell, A. N.** (1994). Analysis of condensed tannins: A review. *Animal Feed Science and Technology*, 45(3-4), 181-196
- **Shaniyazov, S.** (2023). Analysis of spatio-time dynamics the areal of medicinal plants in the conditions of Karakalpakstan. *Universum:Chemistry & Biology*, 103(1).
- **Surget, A., Barron, C.** (2005). Coupe longitudinale d'un grain de blé: Structure et composition. *Journal of Cereal Science*, 42(3), 255-263
- **Sylvie, R.** (2015). Introduction à la systématique fongique. Paris : Lavoisier.
- **Syngenta, 2015**, <https://www.syngenta.fr>
- **Tabuc, C.** (2007). Moisissures, mycotoxines et alimentation animale. Toulouse.
- **Tundis, R., Menichini, F., Conforti, F., Loizzo, M. R., Bonesi, M., Statti, G., & Menichini, F.** (2009). A potential role of alkaloid extracts from *salsola* species
- **Volynski, B. G., Bender, K. I., Freidman, S. L., Bogoslovskaja, S. I., Voronina, K. V., Glazyrina, G. A., Kaprelova, T. S., Koloskova, I. G., Kouznetsova, S. G. et Martynov, L. A.** (1967). *Plantes médicinales dans la médecine scientifique et populaire*. 2e éd. Éditions de l'Université de Saratov.
- **World Flora Online** (2026). *Salsola richteri* (Moq.) Karel ex Litv.
- **World Health Organization** (2011). Quality control methods for herbal materials. Geneva: WHO Press.
- **Zaidi C. A., Benbelkacem A. et Brinis L.** (2018). Etude de lignées de blé tendre utilisées dans un programme d'amélioration génétique pour la résistance à la rouille jaune en Algérie. *Synthèse : revue des sciences et de la technologie*. Vol 36 : 21-31.
- **Zillinsky F.J.**, (1983) : Les maladies des céréales à paille : Guide d'identification. Eds. CIMMYT, Mexico. 141p.
- **Zouaou, A.** (2012). Contribution à l'étude de la qualité technologique du blé dur (*Triticum durum* Desf.) cultivé en Algérie. École Nationale Supérieure Agronomique, Alger.