الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

Université Sétif 1, Ferhat ABBAS
Faculté des Sciences de la
Nature et de la Vie

جامعة ، سطيف 1، فرحات عباس
كلية علوم الطبيعة و الحياة

Université Ferhat ABBAS Sétif 1

DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIE

N°...../SNV/**2026**

MEMOIRE

Présenté par :

GHELLAB Abdellah

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER

Filière : Biotechnologie

Spécialité : Biotechnologie et valorisation des plantes

THEME

Recherche bibliographique sur l'adaptation des plantes aux stress abiotiques : généralités, mécanismes et exemples de plantes

DEVANT LE JURY :

PRESIDENT: DR. DAROUI ATIKA	**MCA**	**UFA Sétif 1**
ENCADRANT : DR. RAMDANE ESMA	**MCB**	**UFA Sétif 1**
EXAMINATEUR : DR. BOUKELLOUL INAS	**MCB**	**UFA Sétif 1**

ANNEE UNIVERSITAIRE : 2025/2026

Introduction générale

L'agriculture mondiale fait face à des défis de plus en plus lourds. Le changement climatique s'accélère et les agriculteurs en subissent déjà les conséquences. Un rapport publié conjointement par la FAO et l'Organisation météorologique mondiale en avril 2026 tire la sonnette d'alarme : la chaleur extrême est devenue la menace numéro un pour la sécurité alimentaire dans le monde **(FAO & WMO, 2026).** Selon ce rapport, une fois que la température dépasse 30°C, les rendements des cultures s'effondrent. Une simple vague de chaleur peut faire perdre 50 % d'une récolte. Et chaque degré supplémentaire ferait chuter les rendements du maïs et du blé de 4 à 10 % **(FAO & WMO, 2026).** Autant dire que l'avenir de l'agriculture dans de nombreuses régions du monde est menacé.

C'est dans ce contexte que la question des stress abiotiques prend toute son importance. Par stress abiotique, on entend l'ensemble des contraintes physiques ou chimiques non biologiques qui perturbent la croissance des plantes **(Kanwal *et al*., 2026).** Les plus courants sont la sécheresse, la salinité des sols, les températures extrêmes et le stress oxydatif qui en découle. Les chercheurs constatent aujourd'hui que ces stress surviennent de plus en plus souvent de manière combinée, par exemple la sécheresse accompagnée de fortes chaleurs, ce qui aggrave considérablement les dégâts sur les cultures **(Mittler *et al*., 2025).** Les pertes de rendement liées à ces stress sont estimées entre 50 et 70 % pour les grandes cultures **(Mittler *et al*., 2025).**

Avant d'entrer dans le vif du sujet, il est nécessaire de préciser ce que nous entendons par stress abiotique dans ce mémoire. Il s'agit donc d'une contrainte non biologique, qui ne provient pas d'organismes vivants, et qui affecte négativement la vie des plantes **(Kanwal *et al*., 2026).** Nous nous concentrerons sur deux types de stress particulièrement dévastateurs à l'échelle mondiale : le stress hydrique, autrement dit le manque d'eau, et le stress salin, c'est-à-dire l'excès de sel dans le sol. Ces deux stress partagent des effets communs, notamment le stress osmotique qui empêche la plante d'absorber l'eau, mais le stress salin a également des effets spécifiques comme la toxicité due aux ions sodium et chlorure.

Les plantes ne sont pas totalement démunies face à ces agressions. Elles ont développé au fil de l'évolution plusieurs mécanismes de défense. Elles peuvent fermer leurs stomates pour limiter la perte d'eau, accumuler des molécules comme la proline ou les sucres pour maintenir l'hydratation de leurs cellules, ou encore produire des antioxydants pour se protéger contre les

dégâts causés par le stress. Des travaux récents ont montré que certaines bactéries bénéfiques vivant dans le sol, appelées PGPR, peuvent aider les plantes à mieux supporter la sécheresse **(Bouremani, 2025)**. Malgré toutes ces capacités d'adaptation, les plantes atteignent leurs limites face à la rapidité et à l'intensité des changements climatiques actuels **(Mittler *et al*., 2025).**

C'est exactement là que se situe notre question de départ : comment améliorer la tolérance des plantes à la sécheresse et à la salinité ? Ce mémoire, qui est une recherche bibliographique, poursuit plusieurs objectifs. Le premier est de comprendre les réponses des plantes face à ces stress, que ce soit au niveau physiologique, biochimique ou moléculaire. Le deuxième est de passer en revue les différentes stratégies qui existent pour renforcer cette tolérance : les approches agronomiques comme la gestion de l'eau, les approches génétiques comme la sélection variétale ou les biotechnologies, et les approches écologiques comme l'utilisation de bactéries bénéfiques. Le dernier objectif est de discuter des limites de ces stratégies et des perspectives qu'elles offrent pour assurer durablement la sécurité alimentaire.

Table des matières

Introduction 1

Introduction générale..... 2

II. Généralités sur le stress abiotique.....**Erreur ! Signet non défini.**

1. Définition .....**Erreur ! Signet non défini.**

2. Types de stress .....**Erreur ! Signet non défini.**

2.1. Sécheresse (stress hydrique) .....**Erreur ! Signet non défini.**

2.2. Salinité.....**Erreur ! Signet non défini.**

2.3. Stress thermique et froid .....**Erreur ! Signet non défini.**

2.4. Stress oxydatif.....**Erreur ! Signet non défini.**

3. Impact sur les plantes .....**Erreur ! Signet non défini.**

3.1. Réduction de la photosynthèse.....**Erreur ! Signet non défini.**

3.2. Perturbation métabolique .....**Erreur ! Signet non défini.**

3.3. Baisse de rendement.....**Erreur ! Signet non défini.**

III. Stress hydrique (sécheresse).....**Erreur ! Signet non défini.**

1. Définition et causes .....**Erreur ! Signet non défini.**

2. Effets physiologiques .....**Erreur ! Signet non défini.**

2.1. Fermeture des stomates .....**Erreur ! Signet non défini.**

2.2. Diminution de la photosynthèse.....**Erreur ! Signet non défini.**

2.3. Ralentissement de la croissance .....**Erreur ! Signet non défini.**

3. Mécanismes d'adaptation .....**Erreur ! Signet non défini.**

3.1. Développement racinaire .....**Erreur ! Signet non défini.**

3.2. Réduction de la surface foliaire.....**Erreur ! Signet non défini.**

3.3. Accumulation d'osmolytes (proline, sucres) .....**Erreur ! Signet non défini.**

IV. Stress salin.....**Erreur ! Signet non défini.**

1. Définition .....**Erreur ! Signet non défini.**

2. Effets sur la plante.....**Erreur ! Signet non défini.**

2.1. Stress osmotique.....**Erreur ! Signet non défini.**

2.2. Toxicité ionique .....**Erreur ! Signet non défini.**

2.3. Déséquilibre nutritionnel.....**Erreur ! Signet non défini.**

3. Mécanismes de tolérance .....**Erreur ! Signet non défini.**

3.1. Exclusion du sodium.....**Erreur ! Signet non défini.**

3.2. Compartimentation ionique.....**Erreur ! Signet non défini.**

3.3. Ajustement osmotique.....**Erreur ! Signet non défini.**

1. Mécanismes physiologiques.....**Erreur ! Signet non défini.**

1.1. Régulation stomatique.....**Erreur ! Signet non défini.**

1.2. Maintien de l'hydratation.....**Erreur ! Signet non défini.**

2. Mécanismes biochimiques .....**Erreur ! Signet non défini.**

2.1. Antioxydants .....**Erreur ! Signet non défini.**

2.2. Osmoprotecteurs .....**Erreur ! Signet non défini.**

3. Mécanismes moléculaires .....**Erreur ! Signet non défini.**

3.1. Expression des gènes de stress.....**Erreur ! Signet non défini.**

3.2. Rôle de l'ABA (acide abscissique).....**Erreur ! Signet non défini.**

VI. Stratégies d'amélioration de la tolérance.....**Erreur ! Signet non défini.**

1. Sélection classique .....**Erreur ! Signet non défini.**

2. Biotechnologies.....**Erreur ! Signet non défini.**

3. Approches écologiques .....**Erreur ! Signet non défini.**

4. Approches agronomiques.....**Erreur ! Signet non défini.**

VII. Cas d'étude .....**Erreur ! Signet non défini.**

1. Plantes xérophytes (résistantes à la sécheresse).....**Erreur ! Signet non défini.**

2. Plantes halophytes (résistantes au sel) .....**Erreur ! Signet non défini.**

3. Exemples : Acacia, blé, riz.....**Erreur ! Signet non défini.**

VIII. Discussion générale.....**Erreur ! Signet non défini.**

1. Comparaison entre sécheresse et salinité .....**Erreur ! Signet non défini.**

2. Limites des stratégies actuelles .....**Erreur ! Signet non défini.**

3. Défis pour l'avenir.....**Erreur ! Signet non défini.**

Conclusion générale .....**Erreur ! Signet non défini.**

Perspectives.....**Erreur ! Signet non défini.**

Résumé 7

Abstract 8

الملخص .....**Erreur ! Signet non défini.**

Résumé

Ce mémoire de recherche bibliographique porte sur le développement de plantes résistantes aux stress abiotiques, en particulier la sécheresse et la salinité. Face à l'accélération du changement climatique, ces stress réduisent considérablement la productivité agricole, avec des pertes de rendement estimées entre 50 et 70 % pour les grandes cultures. Les plantes ne sont pas passives face à ces agressions : elles ont développé des mécanismes de résistance à différents niveaux d'organisation. Au niveau physiologique, la fermeture rapide des stomates permet de limiter les pertes en eau. Au niveau biochimique, l'accumulation d'osmolytes (proline, glycine bétaïne, sucres) et l'activation des systèmes antioxydants protègent les cellules contre la déshydratation et le stress oxydatif. Au niveau moléculaire, l'acide abscissique (ABA) joue un rôle central dans la coordination de la réponse au stress. La comparaison entre sécheresse et salinité montre que ces deux stress partagent le stress osmotique, mais la salinité ajoute une toxicité ionique spécifique due à l'accumulation de sodium et de chlorure. Plusieurs stratégies d'amélioration de la tolérance existent : la sélection classique (lente mais robuste), les biotechnologies (transgenèse et édition génétique CRISPR-Cas9), les approches écologiques (utilisation de PGPR et de mycorhizes) et les approches agronomiques (irrigation contrôlée, gestion des sols). Les résultats récents issus d'études publiées entre 2025 et 2026 confirment l'efficacité de ces approches chez des cultures d'importance agronomique comme le blé, le riz, le quinoa et le cumin. Cependant, des limites subsistent : lenteur de la sélection classique, obstacles réglementaires et acceptabilité sociale des OGM, efficacité variable des approches écologiques en conditions réelles. Les défis futurs incluent le développement de variétés à tolérance multiple (sécheresse + chaleur + salinité), l'équilibre entre tolérance et productivité, et le transfert effectif des innovations vers les agriculteurs.

Mots-clés : stress abiotique, sécheresse, salinité, mécanismes de résistance, osmolytes, acide abscissique, sélection variétale, biotechnologies, CRISPR-Cas9, PGPR, agriculture durable, changement climatique.

Abstract

This bibliographic research thesis focuses on the development of plants resistant to abiotic stresses, particularly drought and salinity. In the context of accelerating climate change, these stresses significantly reduce agricultural productivity, with yield losses estimated at 50-70% for major crops. Plants are not passive in the face of these aggressions: they have developed resistance mechanisms at different levels of organization. At the physiological level, rapid stomatal closure helps limit water loss. At the biochemical level, the accumulation of osmolytes (proline, glycine betaine, sugars) and the activation of antioxidant systems protect cells against dehydration and oxidative stress. At the molecular level, abscisic acid (ABA) plays a central role in coordinating the stress response. The comparison between drought and salinity shows that these two stresses share osmotic stress, but salinity adds specific ionic toxicity due to the accumulation of sodium and chloride. Several strategies for improving tolerance exist: classical selection (slow but robust), biotechnologies (transgenesis and CRISPR-Cas9 gene editing), ecological approaches (use of PGPR and mycorrhizae), and agronomic approaches (controlled irrigation, soil management). Recent results from studies published between 2025 and 2026 confirm the effectiveness of these approaches in crops of agronomic importance such as wheat, rice, quinoa, and cumin. However, limitations remain: the slowness of classical selection, regulatory barriers and social acceptability of GMOs, variable effectiveness of ecological approaches under real field conditions. Future challenges include the development of multiple-tolerant varieties (drought + heat + salinity), the balance between tolerance and productivity, and the effective transfer of innovations to farmers.

Keywords: abiotic stress, drought, salinity, resistance mechanisms, osmolytes, abscisic acid, plant breeding, biotechnologies, CRISPR-Cas9, PGPR, sustainable agriculture, climate change.

الملخص

هذه على تطوير نباتات مقاومة للإجهادات غير الحيوية، وخاصة الجفاف ibliographiqueتركز مذكرة البحث الب والملوحة. في سياق تسارع التغير المناخي، تقلل هذه الإجهادات بشكل كبير من الإنتاجية الزراعية، حيث تقدر خسائر المحاصيل بنسبة 50-70% للمحاصيل الرئيسية. النباتات ليست سلبية في مواجهة هذه الاعتداءات: فقد طورت آليات مقاومة على مستويات مختلفة من التنظيم. على المستوى الفسيولوجي، يساعد الإغلاق السريع للثغور في تقليل فقدان الماء. على المستوى الكيميائي الحيوي، يحمي تراكم المواد التناضحية (البرولين، الجليسين بيتائين، السكريات) وتنشيط أنظمة مضادات دورًا محوريًا في (ABA) الأكسدة الخلايا من الجفاف والإجهاد التأكسدي. على المستوى الجزيئي، يلعب حمض الأبسيسيك تنسيق الاستجابة للإجهاد. تُظهر المقارنة بين الجفاف والملوحة أن هذين الإجهادين يشتركان في الإجهاد التناضحي، لكن الملوحة تضيف سمية أيونية محددة بسبب تراكم الصوديوم والكلوريد. توجد عدة استراتيجيات لتحسين التحمل: الانتخاب ، المقاربات البيئية (CRISPR-Cas9 الكلاسيكي (بطيء ولكنه قوي)، التقنيات الحيوية (النقل الجيني والتحرير الجيني والفطريات الجذرية)، والمقاربات الزراعية (الري المتحكم فيه، إدارة التربة). تؤكد النتائج الحديثة PGPR (استخدام بكتيريا من الدراسات المنشورة بين عامي 2025 و2026 فعالية هذه المقاربات في محاصيل ذات أهمية زراعية مثل القمح والأرز والكينوا والكمون. ومع ذلك، لا تزال هناك حدود: بطء الانتخاب الكلاسيكي، العوائق التنظيمية والقبول الاجتماعي للكائنات المعدلة وراثيًا، الفعالية المتغيرة للمقاربات البيئية في الظروف الحقلية الحقيقية. تشمل التحديات المستقبلية تطوير أصناف متعددة التحمل (الجفاف + الحرارة + الملوحة)، التوازن بين التحمل والإنتاجية، والنقل الفعال للابتكارات إلى المزارعين.

الكلمات المفتاحية: الإجهاد غير الحيوي، الجفاف، الملوحة، آليات المقاومة، المواد التناضحية، حمض الأبسيسيك، الانتخاب النباتي، التقنيات الحيوية، CRISPR-Cas9، بكتيريا PGPR، التغير المناخي، الزراعة المستدامة.