REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURE ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE MEDEA

FACULTE DES SCIENCES

Mémoire

Présenté pour obtenir le diplôme de **Master**

En filière d'écologie et l'environnement

Spécialité : Écologie

Par :

REZIG Karima

SALEMI Mebarka

Thème :

Explorer les effets du Biochar dans l'amélioration de la tolérance au stress salin chez la plante de Poivron

Soutenue publiquement le : 25 /06 /2024., Devant le jury composé de :

AINAS Mahfoud	**MCA**	U. Médéa	Président
AIT MOUHEB Hocine	**MCB**	U. Médéa	Examinateur
TOUZOUT Nabil	**MAB**	U. Médéa	Encadreur

Année universitaire 2023/2024

Remerciement

Nous remercions Dieu tout puissant de nous avoir accordé la force, le courage et les moyens afin de pouvoir accomplir ce travail.

Nous tenons à remercier particulièrement notre promoteur Monsieur Touzout Nabil Docteur à l'université Médéa pour avoir orienté et enrichi notre travail, pour sa disponibilité, ses précieux conseils ainsi que son souci du détail, qui ont abouti à laréalisation de ce mémoire. Nous à remercier tous les professeurs, qui nous ont accompagnés tout au long de notre parcours académique Mme Hamza Iman, Massmoudi Moatasem Billah et au Dr Hayat Telli, et un merci tout les membres jurys particulier à Ms AINES Mahfoud comme président , et Ait Mouheb Hussein comme examinateur , qui nous ont soutenus dans la réalisation de ce travail.



LEMI Mebarka, REZIG Karima

Dédicace

À ma chère mère Reguia

Aucun mot, aussi expressif qu'il soit, ne saurait remercier à sa juste valeur L'être qui a consacré sa vie à parfaire notre éducation avec Un dévouement inégal associé à beaucoup de sacrifice. Puisse Dieu m'aider pour rendre un peu soit-il De ce que vous m'avez donné !

Puisse Dieu vous garder longtemps auprès de nous et vous bénir infiniment !

À mon cher père Sahraoui

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'estime, Le respect et l'amour que je vous porte. Que Dieu, le tout puissant, vous couvre de Sa Sainte miséricorde et Vous accueille dans son éternel paradis « Amine ».

À mes chères sœur Mariya et Naila

A La Famille SALEMI ET RABHI

À Ma grande mère Fatma

Je ne pourrai jamais assez-vous remercier pour tout le soutien que vous m'avez

Accordé, vous

Avez toujours été présent pour moi. Puisse Dieu vous accorder santé et prospérité!

À mes amis et confrères et cousines

Je dédie également tous mes amis et compagnons de route vers Hayat, Assifa, Rayan, Hanae, Fella et Amal, Mehamdi yahia et mes collègues de promo écologie 2024.



SALEMI Mebarka

Dédicace

À ma chère mère Kheira

Aucun mot, aussi expressif qu'il soit, ne saurait remercier à sa juste valeur L'être qui a consacré sa vie à parfaire notre éducation avec Un dévouement inégal associé à beaucoup de sacrifice. Puisse Dieu m'aider pour rendre un peu soit-il De ce que vous m'avez donné !

Puisse Dieu vous garder longtemps auprès de nous et vous bénir infiniment !

À mon cher père Messoum

Aucune dédicace ne saurait exprimer l'estime, Le respect et l'amour que je vous porte.

À mes chères sœurs Ibtissam, Hafidha et mes chers frères Ali et Omar

A La Famille Rezig et Azaidj

A Ma grande mère Massouda

Je ne pourrai jamais assez vous remercier pour tout le soutien que vous m'avez accordé, vous

avez toujours été présent pour moi. Puisse Dieu vous accorder santé et prospérité!

A mes amis et confrères et cousines

Je remercie également tous mes amis Bader ilham , Kadjel

Abdou, Hadil et sidra ,Mouthe et mes collègues de promo écologie 2024 .



REZIG Karima

Table des matières

Table des matières :

Remerciment

Dédicace

Point de fort

Résumé

Abstract

الملخص

Liste des figures

Liste les abbreviations

Introduction Générale : 1

Chapitre I : Caractérisation de sol sableux Agro écologique 4

Introduction : 4

2.1. La Texture 4

2.2. Intérêt de l'Appréciation de la Texture 4

3. La Structure 5

3.1. La porosité 5

3. Les Propriétés Chimiques du Sol 6

3.1. Capacité d'Échange Cationique (CEC) 6

3.2. Le pH du Sol : 6

4. Les Propriétés Biologiques 6

5. Contraintes Édaphique 7

Chapitre II : Le stress salin 9

1. **Introduction du stress** : 9

2. Types de stress : 9

2.1. **Le stress hydrique** : 9

2.1.1. **Généralité de stress hydrique** 9

2.1.2**. Effet de stress hydrique sur la germination** 10

2.1.3. Mécanismes d'adaptation des plantes à la sécheresse : 10

2.2. Stress Salin : 10

2.2.1. Effet de salinité sur la morphologie et physiologie : 10

2.2.2. Effet du stress salin sur la germination des graines : 12

2.2.3. **Effet de la salinité sur le développement et la croissance des plantes :** 12

2.2.4. Effet de la salinité sur la biochimie de la plante : 13

2.2.5. Effet de stress salin sur les plantes : 13

Table des matières

2.3. Stress osmotique 14
2.4. Stress ionique 14
2.5. Stress nutritionnel 14
2.6. Stress oxydatif 15
3. Les mécanismes d'adaptation au stress salin : 15
3.1. Exclusion et Inclusion d'ions : 16
3.2. Homéostasie cellulaire 16
3.3. Control de l'absorption ionique par les racines 16
3.4. Synthèse des solutés compatibles 16
3.5. Induction des hormones végétales 16
3.6. Induction d'antioxydants 17
Chapitre III :L'adsorbant (Biochar) 19
1. Le biochar : 19
1.1. Introduction : 19
1.2. Définition 19
1.3. Principaux Avantages du Bio-charbon 19
1.4. Intérêt du Bio-charbon Comme Amendement 20
1.5. Propriétés Physico-Chimiques du Bio-charbon 21
1.6. Le Bio-Charbon et les Émissions de Gaz à Effet de Serre 21
1.7. Effets du Bio-charbon sur le Sol 22
1.7.1. Effets du Bio-Charbon sur les Propriétés Physico-Chimiques du Sol 22
1.7.2. Effets du Bio-Charbon sur la Biologie du Sol 22
1.8. Impact du Bio-Charbon sur la Croissance des Plantes et les Rendements des Cultures 23
1.9. Production du Bio-Charbon 23
Chapitre IV : Matériels et Méthodes 25
Objective d'étude : 25
Morphologie et importance économique des plantes expérimentales : 25
2 .1 Matériel végétal : plantes sélectionnées et utilisées 25
2-2 Conditions expérimentales 25
2-2.2 Conteneurs 26
2-2.3 Agent imposant du stress: 26
2.2.4 Dispositif expérimentale 27
2.2.5 Description des différents traitements utilisés 27
1. Paramètres mesurés 27
3.1. Paramètres morphologiques 27

Table des matières

3.1.1 Les paramètres morphologiques réalisés sur la phase végétative 27

3.2. Paramètres physiques 28

3.2.1. Estimation des pigments photosynthétiques : 28

4.Analyse biochimique : 28

4.1. Analyse des Indices de dommages oxydatifs 28

4.1.1. Estimation de la peroxydation lipidique : 28

4.1.2. Peroxyde d'hydrogène (H2O2) : 29

4.2. Analyse des antioxydants enzymatiques et non enzymatiques : 29

4.2.1. Estimation du système de défense antioxydant : 29

4.2.1.1. Activité de la catalase 29

4.2.2. Activité de l'ascorbate peroxydase (APX) : 30

4.2.3. Estimation de l'activité de la superoxyde dismutase (SOD) : .. **Erreur ! Signet non défini.**

4.2.4. Estimation de l'activité de la glutathion S-transférase (GST, EC 2.5.1.18) 30

4.2.5. Gaïacol peroxydase (POD) : 31

4.2.6. Dosage de PAL (EC 4.3.1.5) : 31

4.2.7. Estimation des protéines : 31

4.2.8. Analyse De l'extrait d'acide sulfisasylique : 32

4.2.8.1. L'estimation de la proline : 32

4.2.8.2. Glutathion (GSH) : 32

4.2.8.3. Estimation de la teneur en flavonoïdes : 32

Résultats et Discussions 34

Résultats : 34

Effet de la modification chimique sur la qualité des différents biochar produits 34

1. Effet de l'application de biochar (BC) sur la croissance du poivron, la structure des racines et les pousses en condition de stress salin : 35

2. Effets des différèrent traitements du NaCl et BC sur la teneur en chlorophylle a, b et caroténoïde content des semis de poivron : 37

4. Effets des différèrent traitements du NaCl et BC sur la teneur en enzymes antioxydantes des semis de poivron : 39

5. Effets des différèrent traitements du NaCl et BC sur la teneur en métabolites antioxydants des semis de poivron : 40

DISSCUSION : 42

Conclusion 48

Liste des figures :

Figure 1: Les Sols Sableux : Pas ou Peu de Structure 5
Figure 2: Effet du stress salin chez la plante : le stress salin provoque une toxicité ionique & osmotique par l'augmentation du contenu intracellulaire en cation Na+, Ca2+, l'activation du système antioxydant et un changement de la balance hormonale provoque un 12
Figure 3: Effets toxiques du NaCl sur la plante 14
Figure 4 : Équilibre entre les ROS et le système antioxydant 15
Figure 5: Le Bio-Charbon 19
Figure 6: Avantages Environnementaux, Sociaux et Financiers 20
Figure 7: Évolution de la Minéralisation du Bio-Charbon et de la Biomasse Non Carbonisée dans le Sol au Cours du Temps 20
Figure 8: Le Bio-Charbon : Système Pour Piéger le Dioxyde de Carbone dans le Sol (Devd, 2015). . 22
Figure 9: Technologie de Production de Bio-Charbon 23
Figure 10: non titre 25
Figure 11: Aspect générale des conteneurs..... 26
Figure 12: Dispositif expérimental. 27
Figure 13Clichés MEB issus de notre expérimentation démontrant la structure poreuse du Biochar modifie et non modifie. BM350E (Biochar Modifie avec Enrichissement NPK) ; BM450E (Biochar Modifie avec Enrichissement NPK). B350 (Biochar Témoin sans aucun traitement) (Biochar Témoin sans aucun traitement). 34
Figure 14: Spectres infrarouge du Biochar (avant et après traitement) faite par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR). BM350E (Biochar Modifie avec Enrichissement NPK) ; BM450E (Biochar Modifie avec Enrichissement NPK). B350 (Biochar Témoin sa (Biochar Témoin sans aucun traitement). 35
Figure 15: Analyse du Biochar par diffractométrie des rayons X (DRX). BM350E (Biochar Modifie avec Enrichissement NPK) ; BM450E (Biochar Modifie avec Enrichissement NPK). B350 (Biochar Témoin sans aucun traitement) ; B450 (Biochar Témoin sans aucun traitement). 35
Figure 16: Effet de l'application de biochar (BC) sur la croissance du poivron, la morphologie des racines et les pousses en différents condition. 36
Figure 17: Effet de l'application de biochar sur (A) le poids frais des pousses, (B) la longueur des pousses, (C) le poids frais des racines et (D) la longueur des racines en condition de stress salin. 37
Figure 18: Effets des différèrent traitements du NaCl et BC sur la teneur en chlorophylle a (A), chlorophylle b (B) et caroténoïdes (C) des semis de poivron..... 38
Figure 19: Effet de l'application de biochar sur la teneur en biomarqueurs de dommages oxydatives A : MDA, B :H2O2 de plantule de Poivrons sous condition de stress salin. 39

Liste des figures

Figure 20: Effet de l'application de biochar sur Les enzymes antioxydantes : A : CAT, B : APX, C : POD, D : GST de plantules de Poivrons sous condition de stress salin..... 40

Figure 21: Effet de l'application de biochar sur la teneur en métabolites antioxydants A : polyphénol, B : flavonoïde, C : GSH et D: proline des semis de poivron sous condition de stress salin.....41

Liste des abréviations

LISTE DES ABRIVIATION

°C : Degrés Celsius

µM : Micromole

ABA: L'acide abscissique.

AOX : Antioxydants

APX : Ascorbate peroxydase

As : Arsenic

Ca+ : Carbonate de calcium

CAE : Charbon active extrudé

CAG : Charbon active granulé

CAP : Charbon active poudre

Car : Caroténoïdes

CAT : Catalase

CDNB : Chloro dinitro benzène

CDPK : Protein kinases

Ca2+ dépondantes

Chl a : Chlorophylle a

Chl b : Chlorophylle b

Cl -: Chlore

CO2: Dioxyde de carbone

ERO : Espèces réactives de l'oxygène

FAO: Food and Agriculture Organization of the United Nations

GES : Gaz à effet de serre

GSH : Glutathion

GST : Glutathion S-transférase

H+ : Proton

H2O2 : Peroxyde d'hydrogène

IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry

K+: Potassium

KI : Iodure de potassium

M : Mol

MAPK: Mitogen Activated Protein Kinase

MEB : Microscopie électronique à balayage

MET : Microscopie électronique par transmission

Mg : Milligramme

Min : Minute

Liste des abréviations

Ml : Millilitre

mM : Millimole

Na+ : Sodium

NaCl : Chlorure de Sodium

NaOH: Hydroxide de sodium

OH : Radicaux hydroxyle

POD : Peroxydases

ROS: Reactive Oxygen Species

SOD : Superoxyde Disutase

TBA : Acide thiobarbiturique

TCA : Acide trichloroacétique

v/v : Volume sur volume

v/w : Volume sur poids

Points forts

- La présence de stress salin (NaCl) est devenue une menace pour la productivité agricole à l'échelle mondiale.
- Ici, le stress salin affecté négativement les paramètres vitaux des plantules de poivron.
- Le Biochar (BC) améliorent les caractéristiques de croissance, la teneur en glucides/protéines et la défense antioxydante sous stress salin.
- Le traitement au BC a réduit les marqueurs oxydatifs, les dommages membranaires chez les semis soumis à un stress salin.

Résumé :

Le stress abiotique a causé de nombreuses menaces pour l'écosystème du sol, parmi lesquelles la salinité du sol. Ainsi, plusieurs stratégies sont suggérées pour atténuer ce problème. Dans ce contexte, le biochar est connu comme un amendement puissant capable d'atténuer le stress salin sur les cultures. Ainsi, le but de la présente enquête est d'évaluer l'impact de sel (NaCl : 150 mM) et de biochar (BC : 0.5 g kg^{-1}) sur les réponses morphologiques, biochimiques et physiologiques des plantules de poivron (... ... L.). Nos résultats ont révélé tout d'abord une augmentation de la biomasse du poivron en présence de de biochar, indiquant le rôle important du biochar dans l'amélioration de la croissance des plantules. En outre, le biochar a atténué le stress oxydatif induit par le sel en augmentant les activités de l'ascorbate peroxydase (APX), de la catalase (CAT) et de la glutathion-S-transférase (GST). De plus, le biochar augmente la teneur en chlorophylle, proline et flavonoïdes dans les plantules traitées au sel. Dans l'ensemble, on peut conclure que le biochar peut constituer une stratégie utile pour réduire les effets nocifs de la salinité. Cependant, les taux de biochar doivent être utilisés avec précaution dans les sols salins pour améliorer le développement des plantes et réduire la toxicité du stress salin.

Mots clés : Antioxydants, Biochar, Poivre, Stress salin, métabolites secondaires

Abstract:

Abiotic stress has caused many threats to the soil ecosystem, one of which is soil salinity. Thus, several strategies are suggested to mitigate this problematic. In this context, biochar is known as a potent amendment capable of mitigating salt stress on crops. Thus, the aim of the present investigation is to evaluate the impact of salt (NaCl: 150 mM) and biochar (BC: 0.5 g kg−1) on the morphological, biochemical and physiological responses of pepper seedlings (.. . ... L.). Our results first revealed an increase in pepper biomass in the presence of biochar, indicating the important role of biochar in improving seedling growth. Furthermore, biochar alleviated salt-induced oxidative stress by increasing the activities of ascorbate peroxidase (APX), catalase (CAT), and glutathione-S-transferase (GST). Additionally, biochar increased the content of chlorophyll, proline and flavonoids in salt-treated seedlings. Overall, it can be concluded that biochar can be a suitable strategy to decrease the damaging effects of salinity. However, biochar levels should be used carefully in saline soils to improve vegetal growth and decrease the toxicity of salt stress.

Key words: Antioxidants, Biochar, Pepper, Salt stress, secondary metabolites

الملخص:

لقد تسبب الإجهاد اللاحيوي في العديد من التهديدات للنظام البيئي للتربة، أحدها ملوحة التربة. وبالتالي، تم اقتراح العديد من الاستراتيجيات للتخفيف من هذه المشكلة. وفي هذا السياق، يُعرف الفحم الحيوي بأنه تعديل قوي قادر على تخفيف الإجهاد الملحي على المحاصيل. وبالتالي، فإن الهدف من البحث الحالي هو تقييم تأثير الملح (NaCl: 150 ميلي مول) والفحم الحيوي (BC: 0.5 جم كجم$^{-1}$) على الاستجابات المورفولوجية والبيوكيميائية والفسيولوجية لشتلات الفلفل. كشفت نتائجنا أولاً عن زيادة في الكتلة الحيوية للفلفل في وجود الفحم الحيوي، مما يشير إلى الدور الهام للفحم الحيوي في تحسين نمو الشتلات. علاوة على ذلك، خفف الفحم الحيوي من الإجهاد التأكسدي الناجم عن الملح عن طريق زيادة أنشطة بيروكسيداز الأسكوربات (APX) والكاتالاز (CAT) والجلوتاثيون-S-ترانسفيراز. (GST) بالإضافة إلى ذلك، أدى الفحم الحيوي إلى زيادة محتوى الكلوروفيل والبرولين والفلافونويد في الشتلات المعالجة بالملح. بشكل عام، يمكن أن نستنتج أن الفحم الحيوي يمكن أن يكون استراتيجية مناسبة لتقليل الآثار الضارة للملوحة. ومع ذلك، ينبغي استخدام مستويات الفحم الحيوي بعناية في التربة المالحة لتحسين النمو النباتي وتقليل سمية الإجهاد الملحي.

الكلمات المفتاحية: مضادات الأكسدة، الفحم الحيوي، الفلفل، الإجهاد الملحي، المستقلبات الثانوية

Introduction Générale :

Introduction Générale :

Environ 2/3 de la surface du globe terrestre est composée d'écosystèmes arides et semi-arides. La présence de salinité dans les sols est l'un des principaux obstacles au développement des plantes (BOUNAKALA F, MEDDAHI Z.). Plus de 2 millions de km2 sont occupés par le Sahara Algérien, un ensemble désertique aride qui représente 84 % de la superficie totale du pays. Il y a une pauvreté des terres (FAO, 2005). Selon Djennane (1990), les régions sahariennes sont composées de vastes espaces inadaptés à l'agriculture. Selon Koull (2007), les sols sahariens présentent des problèmes à la fois agronomiques (faible capacité à cultiver) et environnementaux (érosion et ruissellement de surface) (SADOUN S, AOUINET M).

La salinité du sol est un problème agricole mondial qui a un impact négatif sur la croissance et la productivité de diverses cultures (Sanker et al., 2020). Elle affecte plus de 6 % du monde et 30 % des terres arables. En outre, avec le réchauffement planétaire induit par le changement climatique, la situation s'aggrave. D'ici à 2050, la salinisation des sols devrait entraîner la perte de plus de 50 % des terres cultivées. Des terres cultivées, entraînant une perte économique annuelle estimée à 12 milliards de dollars pour les agriculteurs milliards de dollars pour les agriculteurs (Flowers et al., 2010). Selon Szabolcs, 1994, un milliard d'ha est menacé, dont 3,2 millions d'ha en algérien sont effectué par la teneur excessive de sel.

Selon Navarro et al. (2010), le poivron doux (*Capsicum annuum* L.) fait partie des espèces légumières qui sont sensibles ou modérément sensibles à la salinité. Plusieurs chercheurs (Chartzoulakis et Klapaki, 2000 ; Zribi, 2009) ont constaté que les concentrations de NaCl supérieures à 150 mM diminuent considérablement la croissance des plantes et entraînent des symptômes de brûlure et de toxicité. Le poivron est originaire des régions tropicales et subtropicales d'Amérique centrale et du Sud (EGK 2016). La culture du poivron a été introduite au dix-huitième siècle, durant la colonisation française en Algérie (Challali, 2015) On le cultive en tant que plante potagère pour ses fruits crus ou cuits (vert, jaune, rouge), La plante présente un port élevé, presque arbustif, avec de nombreuses branches. La base des tiges a tendance à se lignifier. (Anonyme, 2015).

Afin de réduire les conséquences néfastes du stress salin, l'utilisation de biochar (engrais organique) représente une solution attrayante et une technologie durable pour rétablir les ressources terrestres dégradées. Le biochar est obtenu par pyrolyse de matières organiques à faible teneur en oxygène. De plus, le biochar a la capacité d'accroître la transpiration, de favoriser la production de protéines et l'absorption des nutriments, de maintenir l'activité photosynthétique et d'améliorer la résistance au stress en altérant la production de ROS. Ont

montré que l'application de biochar dans les sols salins pourrait réduire considérablement le stress oxydatif et améliorer la croissance des plants de maïs. Par conséquent, il peut être utilisé comme solution afin d'atténuer le stress salin dans les sols agricoles.

La présente enquête visait à élucider les impacts du stress salin sur les paramètres morphologiques, physiologiques et biochimiques des plantules de poivron, une culture maraîchère importante, et à explorer si l'application de biochar a un effet sur la réduction du stress salin.

Nous avons divisé notre travail en deux parties :

La première partie : est caractérisée à une étude bibliographique ou un bref rappel comporte 3 chapitre : Dans le premier chapitre nous avons rassemblés l'essentiel des recherches effectués sur la caractérisation de sol sableux Agroécologique. Dans le deuxième chapitre donne un aperçu général sur la salinisation et son effet sur la plante ainsi que la réponse et l'adaptation de la plante au stress Salin. Dans le troisième chapitre on parle par l'absorbance du biochar et son effet sur l'atténuation de stress salin des plantes.

La seconde partie : est une partie expérimentale qui divisé deux chapitres : Le premier chapitre est réservé au matériel et méthode pour expliquer les conditions excréments dans les quelles est réaliser notre essaie ainsi que les déférentes méthodes analyses utilisé. En fin un dernier chapitre qui représente les déférentes résultats obtenus et leurs discussions allant à une conclusion générale.

Chapitre I

Caractérisation de sol sableux Agro écologique

Chapitre I : Caractérisation de sol sableux Agro écologique

Introduction :

1. Les zones sahariennes sont constituées d'immenses étendues. Le plus souvent dans ces régions, on appelle sol agricole, des zones constituées de couches sédimentaires superficielles dont la fertilité et le pouvoir de rétention en éléments fertilisants et en eau sont faibles ; dans la région d'El-Oued les horizons de surface sont le plus souvent recouverts d'apports sableux. (Djennane, 1990). Dans ce chapitre nous allons présenter les caractéristiques les plus importantes des sols sableux. Alors quelle sont les propriété physicochimique et biologique des sols sableux

2. La Propriété Physique du Sol

La texture, la structure, la masse volumique réelle du sol, la masse volumique sèche "de", la porosité totale, la porosité de drainage, les fractions volumiques et la surface spécifique sont les principales caractéristiques physiques des sols.

2.1. La Texture

La texture du sol est la proportion des particules minérales de différentes tailles qui composent le sol (Mermod, 2006). Les sols sableux (sols légers, terres jaunes) sont principalement composés de sables grossiers. Ces sols sont faciles à travailler et se réchauffent rapidement au printemps. Ils permettent une bonne ventilation et un bon drainage, cependant, ils sont susceptibles de se dessécher (eau + minéraux). En général, ils manquent de nutriments.

Les sols sableux sont « perméables » et « filtrants » : la grosseur des particules de sable et les grands espaces qui les séparent favorisent la pénétration de l'eau et de l'air mais retiennent peu l'eau. Les sols sableux s'agglomèrent difficilement en motte ce qui les rend légers et faciles d'accès aux racines mais aussi sensibles à l'érosion (Muriel, 2007).

2.2. Intérêt de l'Appréciation de la Texture

- La compréhension de la texture permet de déterminer les tendances du sol en ce qui concerne ses caractéristiques physiques.
- C'est pourquoi la texture joue un rôle essentiel dans le système hydrique des sols : Sur la quantité d'eau maximale dont la végétation peut disposer, c'est-à-dire la réserve utile maximale de chaque horizon. On sait, par exemple, que les sols sableux sont peu riches en eau. Sur la circulation de l'eau dans le sol : un sol riche en sable est perméable et filtrant, un horizon argileux peut former un obstacle à l'infiltration verticale de l'eau.

- De la richesse du sol : un sol sableux est pauvre en éléments nutritifs et possède une faible C.E.C. (capacité d'échange cationique) (Moctar, 2012). Ils sont peu fertiles, car ils contiennent des éléments grossiers (Bourgeois et al, 2017).

3. La Structure

La structure du sol correspond à la configuration physique du sol. Dans un sol sableux, les particules de sable ne se maintiennent pas entre-elles et ne forment donc pas d'agrégat (Mermoud, 2006), sols sablonneux, la plupart des particules de limon occupant les vides entre les grains de sable réduisant ainsi la porosité et par conséquent la perméabilité. La distribution granulométrique et la minéralogie des particules de limon et d'argile associées aux grains de sable sont également responsable des variations des propriétés physiques des sols sableux. (Bruand et al, 2006).

Les éléments de sol sableux sont taille variable sans liaison ; Ce qui signifie les sols sableux n'a aucune structure. **(Figure 06).**

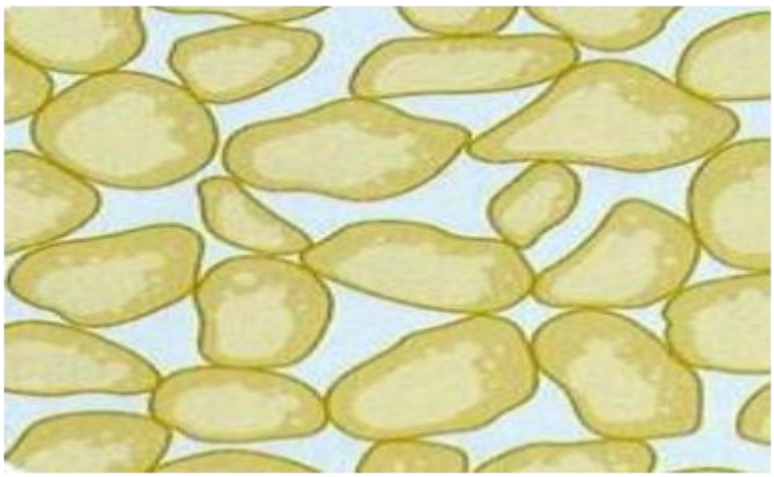


Figure 1: Les Sols Sableux : Pas ou Peu de Structure (Mermoud, 2006)

3.1. La porosité

La porosité du sol correspond à la quantité de volume non occupé par les éléments solides du sol. La porosité totale correspond à la combinaison de la quantité d'eau mobile (porosité efficace) et de la quantité d'eau associée aux particules (capacité de rétention) **(Jmvallee, 2005).** La valeur indicative de la porosité totale pour des sols meubles : sables fins 40-50%, sables moyens 35-40%, sables grossier 25%-30% (Mermoud, 2006). La porosité de drainage est la porosité du sol libérée de son eau suite au drainage et elle correspond à la différence entre la saturation et la capacité au champ. Elle est aussi appelée la macroporosité

(Inconnu, 2012), les valeurs indicatives de la porosité de drainage : Sable grossier 25-30 %, sable moyen 20-25%, sable fin 15-20%. (Mermoud, 2006). Il est essentiel que le sol soit poreux afin de permettre la circulation de l'eau et de l'air, ce qui a un impact sur les possibilités d'activités biologiques (racines, microflore, faune).

3. Les Propriétés Chimiques du Sol

Les caractéristiques chimiques du sol représentent les niveaux et la disponibilité des minéraux nutritifs pour les plantes, ainsi que les paramètres chimiques du sol liés à leur restitution ou à leur disponibilité naturelle.

3.1. Capacité d'Échange Cationique (CEC)

Le sol possède une capacité d'échange de cations (CEC), une caractéristique chimique. Il s'agit du pouvoir du sol à retenir ou à conserver les cations. En cas de charge négative des particules du sol, elles attirent et retiennent les cations (ions chargés positivement), les empêchant ainsi de se lessiver dans le sol. Les cations retenus par les particules du sol sont appelés cations échangeables. D'autre part, les particules de sol chargées négativement repoussent les anions (ions chargés négativement) (Effectue et al, 2016).

Le sol sableux n'a pas de capacité d'échanger des cations car il n'a pas de charge électrique. Une CEC des 6 meq/100g (Berkal, 2006). Cela signifie que les sols sablonneux manquent totalement de CEC.

3.2. Le pH du Sol :

Le terme 'pH' signifie 'potentiel hydrogène ' et définit l'Acidité ou l'Alcalinité du sol **(Carrifr, 2003)** ; Les sols un pH alcalin : 7.5 <pH<8.5 (Berkal, 2006)**.** La présence d'un pH supérieur à 7 dans les sols sableux à un impact significatif sur la nutrition minérale de la plante.

Les Éléments Nutritifs

Les sols sableux sont généralement peu fertiles, mais on dispose de peu d'information sur la dynamique des éléments nutritifs du sol et des plantes (Avaient al, 2007)**.**

4. Les Propriétés Biologiques

Les microorganismes du sol (champignons et bactéries) jouent un rôle essentiel dans l'activité biologique du sol, tant en ce qui concerne les fonctions (cycle des nutriments) que les activités biologiques, telles que la minéralisation du C et du N du sol. La respiration du sol, encore appelée minéralisation du C, est l'oxydation biologique de la matière organique en CO_2. Cette analyse permet d'évaluer l'activité métabolique des microorganismes (SAMB, 2010).

Les sols sableux ont généralement, une faible activité biologique (Kaboul, 2016).

5. Contraintes Édaphique

Selon Halite (2011), Les sols des régions arides présentent plusieurs contraintes agrologiques :

- Des sols de différentes profondeurs et textures (gestion et aménagement variés, sélection des cultures, techniques de culture, pollution).

- Les sols basiques, calcaires et/ou gypseux et/ou salés présentent des problèmes de fertilité, de stress salin, de dégradation de la structure, de biodisponibilité des nutriments, d'entrave au développement du système radiculaire, de techniques culturales appropriées et de faible productivité des plantes.

- Tendance à l'extension de la salinisation.

- La faible teneur en matière organique des sols entraîne une diminution de la fertilité, une détérioration de la structure, une érosion, une diminution de la couche arable, une diminution de la réserve en eau et de la productivité. Des sols à couche de surface (zones steppiques et irriguées, ruissellement, érosion en nappe, difficulté de régénération, désertification).

Chapitre II :

Le stress salin

Chapitre II : Le stress salin

1. Introduction du stress :

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par ailleurs, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, (le type de contrainte, son intensité et sa durée) et génétiques (espèce et génotype) (Hopkins., 2003).

Le stress est un ensemble de conditions qui provoquent des changements dans les processus physiologiques, entraînant finalement des dommages, des blessures, une croissance ou une inhibition du développement. Par exemple, au niveau de l'écosystème, toute contrainte externe qui limite la productivité en dessous du potentiel génétique des plantes peut être considérée comme une pression (Grime., 1979 in Baba Sidi Kaci., 2010).

2. Types de stress :

On peut distinguer deux types du stress dans la nature :

✓ **Les stress biotiques** : dus à une agression par autres organismes (insectes, herbivores…).

✓ **Les stress abiotiques** : qui sont dus principalement à des facteurs environnementaux), cette contrainte abiotique susceptible de déclencher des modifications chimiques ou physiques dommageables (Zhu, 2002 ; Vincent, 2006) (Boudreau et Laouaouda.,2021). Hopkins (2003), a défini le stress comme un ensemble de conditions qui provoquent des changements des processus physiologique, résultant éventuellement en dégâts, dommages blessures, inhibition de la croissance ou de développement.

2.1. Le stress hydrique :

2.1.1. Généralité de stress hydrique

Pour (Boyer, 1982) cité par (Apaisai, 2019), le stress hydrique est un problème sérieux dans beaucoup d'environnements arides et semi arides, où les précipitations changent d'année en année et où les plantes sont soumises à des périodes plus ou moins longues de déficit hydrique.

La demande hydrique d'une plante peut se définir comme la quantité d'eau optimale nécessaire pour sa croissance. La réserve utile pour la plante est la quantité d'eau présente dans le sol accessible via son système racinaire (Hamon, 2007). Sa demande en eau déterminée par

le niveau de transpiration ou d'évapotranspiration qui inclut les pertes en eau au niveau des feuilles mais aussi au niveau de la racine (Hamidou et al., 2005). La plupart des plantes peuvent extraire de 50 à 80% de la réserve utile du sol avant que la transpiration de la plante ne soit affectée (Ricoche et al., 2011). D'autre part, le stress hydrique a été définit comme une baisse de la disponibilité de l'eau, traduisant par une réduction de la croissance de la plante et/ou de sa reproduction par rapport au potentiel du génotype (Hamon, 2007).

2.1.2. Effet de stress hydrique sur la germination

Le stress hydrique peut intervenir à n'importe quel stade du cycle de la culture (El-Hafid et al., 1998)**.** Un manque d'eau précoce affecte principalement la croissance des racines, le développement des feuilles et des organes reproducteurs (Delbeke et al., 1996). L'organe qui est touché en premier lieu est le limbe de la feuille. Le stress cesse sa croissance, s'enroule et après le stade anthèse, accélère sa sénescence en cas de stress prolongé. Il se produit alors une réduction de la taille et de la surface des feuilles. En réduisant la taille des feuilles et la surface verte, le stress hydrique diminue l'indice foliaire et sa durée de vie et par conséquent de la capacité de photosynthèse du couvert végétal (Richards et al., 1997 ; Shoa et al., 2005)

2.1.3. Mécanismes d'adaptation des plantes à la sécheresse :

Le végétal perçoit constamment son environnement physico-chimique. Ne pouvant se déplacer comme un animal à la recherche des conditions les plus favorables, il rythme et ajuste son développement en fonction de ce qu'il perçoit (Meyer et al, 2008). Les adaptations des plantes au manque d'eau peuvent être classées principalement en trois grands types de stratégies. L'esquive, 1'évitement et la tolérance (Jean-pièce et al 2006).

2.2. Stress Salin :

2.2.1. Effet de salinité sur la morphologie et physiologie :

Effet osmotique :

- **Type inclue :**

Chez les plantes de type « inclue », le sodium est piégé et accumulé dans les cellules des parties aériennes, plus particulièrement dans leurs vacuoles (Rasante, 2002). Cependant, l'hypothèse la plus communément admise est que l'entrée de (Na+) se fait contre son gradient électronique ; l'énergie nécessaire au transport de cet ion serait fournie par le gradient de protons engendré par la pompe à protons du tonoplaste. La vacuole se chargerait ainsi en sodium grâce à l'action d'un antiport sodium-proton Na+/H+, lequel serait entretenu par le

fonctionnement accéléré des pompes à proton Na+/H+. L'existence d'un système d'échange Na+/H+ est largement signalé (Le vigneron et al., 1995). Il est alors admis que c'est la performance de stocker le sel dans les parties aériennes qui est déterminante dans le niveau de tolérance au sel des espèces.

Les plantes inclusives associent la résistance à la salinité avec l'aptitude à transporter de grandes quantités de NaCl dans les feuilles. Il semble que ces comportements résultent d'une bonne compartimentation cellulaire du (Na+) ; ce qui explique la tolérance à l'accumulation foliaire, et aussi la faible recirculation de cet ion à travers le phloème (Tal, 1983).

- **Type excluder:**

Généralement, les lycophytes sensibles limitent le transport de Na^+ dans leurs organes aériens (Hausawa et al., 2000 in Rasante, 2002). Sur le plan interspécifique**,** Slama, (1986) a montré que les espèces incapables de transporter facilement le (Na^+) dans leurs feuilles sont nettement plus sensibles que les autres, car leur inaptitude à exporter le sodium (Na^+) peut être probablement considéré comme un caractère moins protecteur que le reflet d'une déficience des systèmes de compartimentation cellulaire. En effet, ces espèces semblent peu efficaces pour abaisser le niveau cytoplasmique de (Na+), ce qui est peut-être l'une des causes profondes de leur sensibilité au niveau cellulaire. L'incapacité à débarrasser le cytoplasme du (Na+) est due au caractère de cet ion qui est facilement transporté dans le phloème chez ces plantes (Slama, 1986). Il est donc continuellement ramené vers le bas de la plante.

La capacité d'exclusion de (Na^+) des parties aériennes est en accord avec la relation négative trouvée entre l'accumulation des ions toxiques (Na^+ et Cl^-) dans les feuilles et la croissance des paries aériennes de poivron poussant en conditions salines. Le maintien d'une faible concentration de (Na^+) dans les feuilles peut être dû à un mécanisme d'exclusion qui provoque une accumulation de (Na^+).

Dans les racines, évitant une translocation excessive aux tiges ; mais, il peut être aussi lié à une mobilité élevée du Na+ dans le phloème. Cependant, certaines mesures physiologiques concordent. Pour suggérer l'existence d'une expulsion active du sodium cytoplasmique vers l'apoplasme ou vers la vacuole, protégeant ainsi les équipements enzymatiques du cytoplasme dans les organes aériens (Greenway et Munns, 1980).

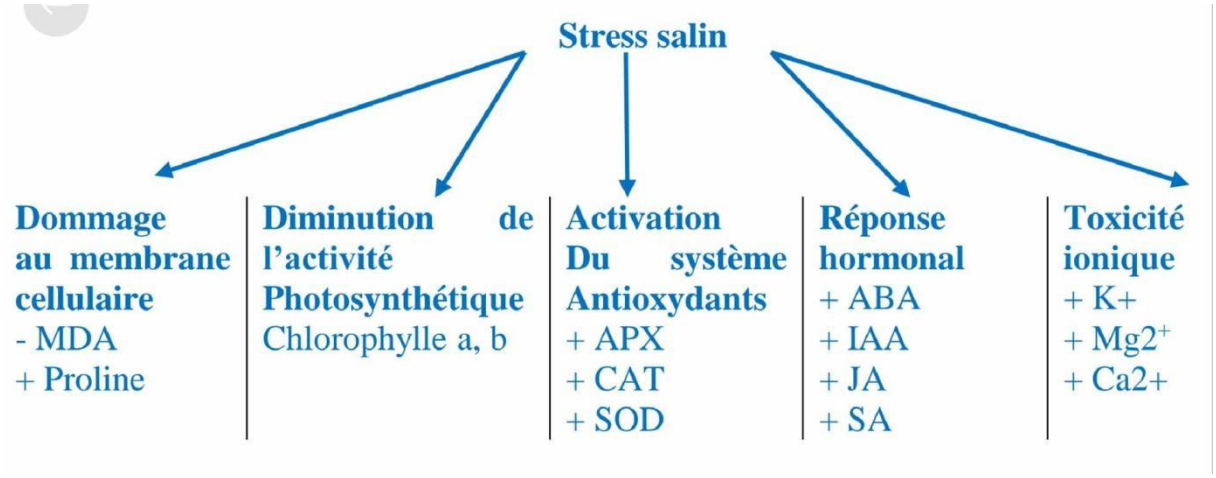


Figure 2: Effet du stress salin chez la plante : le stress salin provoque une toxicité ionique & osmotique par l'augmentation du contenu intracellulaire en cation Na+, Ca2+, l'activation du système antioxydant et un changement de la balance hormonale provoque un (Mahjoub, 2018)

Dans l'ensemble, la réponse des plantes au stress salin est complexe et fait intervenir des voies de réponse diverses **(Figure I.1)** conduisant à des mécanismes d'adaptation qui induisent un arrêt rapide de la croissance pour une meilleure redistribution des nutriments dans les différents tissus et au rétablissement rapide de la croissance lorsque le stress est levé (Mahjoub, 2019).

2.2.2. Effet du stress salin sur la germination des graines :

✓ La germination et les premiers stades de croissance sont cruciaux pour l'établissement des espèces se développant dans des environnements salins. Ce stade germinatif est souvent limité par la salinité du sol et se montre plus sensible par rapport aux autres stades de développements (Mahjoub, 2016).

✓ L'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique (Ismail, 1990) (Bornouane et al, 2020)

✓ La variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (Ungaro., 1978 ; Kabar., 1986 in Debar et al, 2001) (Bornouane et al, 2020).

✓ Le stress salin peut affecter la germination de deux façons :

- En diminuant la vitesse d'entrée et la quantité d'eau absorbée par les graines.
- En augmentant la pénétration d'ions qui peuvent s'accumuler dans les graines à des doses qui deviennent toxiques (Bornouane et al, 2020).

2.2.3. Effet de la salinité sur le développement et la croissance des plantes :

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (Baudouina et al., 2000).

✓ La salinité provoque le plus souvent un retard dans le développement, D'une manière générale ; la croissance en longueur, le diamètre des tiges et la grosseur des fruits diminuent d'une façon importante avec l'augmentation de la salinité (Bouchaib, 1993).

✓ En revanche, il faut signaler que les effets de salinité sur la croissance et la productivité végétale ne sont pas toujours négatifs. De faibles concentrations dans le milieu peuvent stimuler la croissance (Colme et al., 1995).

✓ Cet effet de stimulation de la croissance par le sel (NaCl) est particulièrement visible sur le cotonnier (Grossium hirsute, L) où l'on observe, on présence d'une teneur de 6g/l de NaCl, une augmentation de croissance pondérale et un allongement excessif des racines (Boutelier et Hubac, 1986) (Benkaddour, 2014).

2.2.4. Effet de la salinité sur la biochimie de la plante :

La salinité réduit la vitesse de la photosynthèse suite à une diminution de la conduction stomatique de CO_2 (Santiago et al., 2000). La diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs comme la déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO_2, la toxicité du sel, la réduction de l'approvisionnement en CO_2 à cause de la fermeture des stomates, la sénescence accrue induite par la salinité et le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique (Iyengar et Reddy, 1996 in et Das, 2005). Chez diverses espèces plus ou moins résistantes, un taux élevé des sucres totaux résultant du blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une grande hydrolyse de l'amidon (Asloum, 1990).

2.2.5. Effet de stress salin sur les plantes :

La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces (Levigneron et al., 1995). Le stress salin, comme beaucoup d'autres stress abiotiques, inhibe la croissance des plantes. Les concentrations élevées de sels cause un déséquilibre des ions (Zhu, 2001). L'étude des plantes placées dans ces conditions, appelée physiologie des stress, est un aspect important de l'écophysiologie végétale pour trois raisons. D'abord, les plantes répondent souvent aux stress en modifiant leur physiologie et leurs métabolismes normaux ; ensuite, l'étude de la physiologie

des stress contribue à la compréhension des facteurs qui limitent la répartition des végétaux ; enfin, en agriculture, la capacité des cultures à résister aux stress est un facteur important de la détermination du rendement (Nebors, 2008).

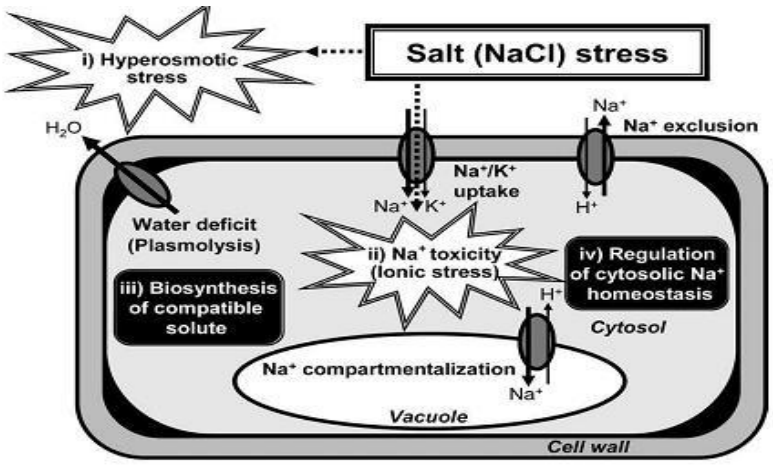


Figure 3: Effets toxiques du NaCl sur la plante (Jabnoune, 2008).

2.3. Stress osmotique

L'entrée de l'eau dans les tissus du cortex racinaire est assurée par capillarité et osmose. Elle est donc d'autant plus aisée que la solution du sol est à une pression osmotique plus faible. Au fur et à mesure que la salinité du sol augmente, son potentiel osmotique diminue ce qui réduit la disponibilité de l'eau pour la plante (Mangel et Kirkby, 1982) (Chaffai., 2017)

2.4. Stress ionique

Des concentrations excessives d'ions chlorures et sodium dans la solution du sol peuvent causer une toxicité dans la plante. Les ions Cl- peuvent être absorbés par les racines et s'accumuler dans la feuille. Ces ions peuvent provoquer une brûlure des extrémités des feuilles et un jaunissement prématuré de celles-ci (Maillard, 2001).

2.5. Stress nutritionnel

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes : la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (Haouala et al., 2007)

En particulier, vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires, le sodium entre en compétition avec le potassium et le calcium, les chlorures avec le nitrate, le phosphate et le sulfate (Levigneron et al., 1995).

2.6. Stress oxydatif

Un stress oxydatif peut être induit par le stress biotiques **(Grataoet al., 2005)** ou par des stress abiotique (cas d'un stress salin ou d'un stress hydrique) (Deng et al., 2012) (Chaffai., 2017). Il résulte d'un déséquilibre entre la production d'espèces réactives de l'oxygène (ROS) et les défenses antioxydantes. À faible concentration, les ROS interviennent comme des promoteurs de la croissance et de développement de la plante. À forte dose, ils causent la sénescence et la mort cellulaire (Joseph et Jini, 2011 ; Deng et al., 2012). L'intensité du stress est déterminée par le taux des ROS se trouvant au niveau cellulaire (efficacité du système antioxydant). Il a été démontré que les balances entre la production et la détoxication des radicaux libres oxygénés dépendent du degré de tolérance des génotypes au stress abiotique (Liu et Zhang, 2004) (Figure I.3).

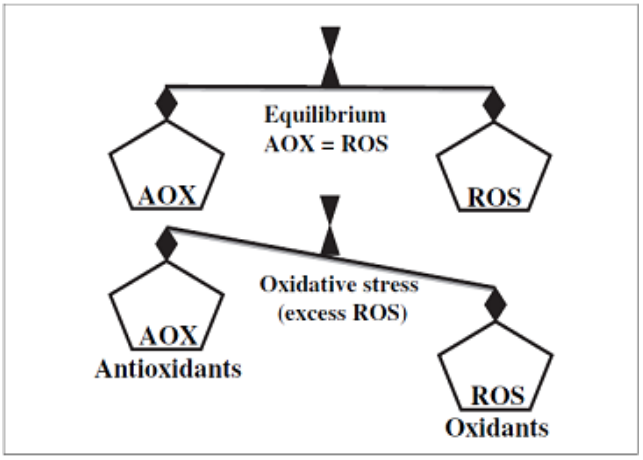


Figure 4 : Équilibre entre les ROS et le système antioxydant (Gill et Tuteja, 2010).

3. Les mécanismes d'adaptation au stress salin :

Selon Levitt (1980), on distingue deux types d'adaptation :

- Adaptation élastique (ou capacité d'adaptation) : concerne un organisme adapté qui peut vivre, croître et réaliser son cycle de vie en présence du stress.

- Adaptation plastique (ou résistance à l'adaptation) : inhibe la croissance et ainsi tous les dommages éventuels sont irréversibles jusqu'à la disparition partielle ou complète de l'agent stressant. Levitt (1980) a qualifié les mécanismes d'évitement et de tolérance et a utilisé le terme « résistance aux sels » pour désigner une combinaison de stratégies de tolérance et d'évitement:

3.1. Exclusion et Inclusion d'ions :

L'élimination du sodium du cytoplasme ou de la compartimentation dans les vacuoles est effectuée par un enzyme anti-sel Na + / H + inductible par le sel (Apse et al., 2003). Cependant, l'inclusion d'ions dans le cytoplasme peut conduire à un ajustement osmotique qui est généralement accepté comme une adaptation importante à la salinité (Hanana et al., 2011)

3.2. Homéostasie cellulaire

L'homéostasie ionique au niveau des cellules est atteinte sous stress salin par la stratégie suivante :

a) Exclusion des ions (Na+) des cellules par les canaux ioniques : anti port Na+ /H+, ou bien par la limitation d'entrée des ions (Na+).

b) Compartimentation de (Na+) dans des vacuoles intracellulaires pour un ajustement osmotique.

c) Sécrétion de (Na+), ainsi que la régulation du transport ionique qui joue un rôle fondamental dans la tolérance au sel chez les plantes (Zhu, 2002).

3.3. Control de l'absorption ionique par les racines

Il est bien documenté qu'un degré plus élevé de tolérance au sel chez les plantes est associé à un système plus efficace pour l'absorption sélective de K+ sur Na+ (Noble et Rogers, 1992)

3.4. Synthèse des solutés compatibles

Les solutés compatibles comprennent principalement la proline et la glycine bétaïne (Girija et al., 2002). Ces composés sont rapportés pour fonctionner dans l'ajustement osmotique, la protection des macromolécules cellulaires et le piégeage des radicaux libres. D'autres solutés compatibles qui s'accumulent dans les plantes sous stress salin comprennent des glucides tels que les sucres (glucose, fructose, saccharose, fructanes) et de l'amidon (Parida et al., 2002)

3.5. Induction des hormones végétales

Les effets inhibiteurs du NaCl sur la photosynthèse, la croissance et la translocation des assimilas se sont révélés être atténués par ABA qui agit sur l'ouverture et la fermeture des stomates (Grondin et al., 2015). Il existe également des preuves de l'implication de l'ABA dans la phosphorylation/ réversible des protéines, via des kinases de type MAPK (Mitogène Activâtes Protéine Kinase), ou CDPK (kinases Ca2+ -dépendantes) et des phosphates

(Kroniewicz, 2011). L'augmentation de l'absorption de ça++ est associée à l'élévation de l'ABA sous stress salin et contribue ainsi à l'entretien de l'intégrité membranaire, ce qui permet aux plantes de réguler l'absorption et le transport à des niveaux élevés de salinité externe à plus long terme (Chen et al., 2001). L'ABA réduit la libération de l'éthylène et provoque l'abscission des feuilles probablement en diminuant l'accumulation d'ions Cl toxiques dans les feuilles (Gomez-Cadenas et al., 2002)

3.6. Induction d'antioxydants

Les plantes produisent des espèces réactives à l'oxygène, nommés ROS (radicaux superoxyde, O^{-2}), peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), et radicaux hydroxyle (OH) en réponse à un stress salin. Les ROS causent d'importants dommages dans des lipides membranaires, des protéines et acides nucléiques. La détoxication des ROS constitue un élément clé de défense des plantes contre les stress abiotiques dont le stress salin. Les enzymes responsables de cette détoxication nommées antioxydants incluent le superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT), et des enzymes du cycle ascorbate-glutathion (Hernandez et al., 2001).

Chapitre III :

Le Biochar

Chapitre III : L’adsorbant (Biochar)

1. Le biochar :

1.1. Introduction :

Au cours des dernières années, la communauté scientifique a constaté que l'utilisation du bio-charbon comme amendement au sol présentait un immense potentiel pour améliorer les rendements des cultures agricoles. Il a de nombreux effets positifs sur la qualité et les rendements des cultures agricoles, ainsi que sur les caractéristiques des sols (Guillaume, 2013).

1.2. Définition

Le bio-charbon est une forme stable de carbone provenant de la pyrolyse (décomposition thermique). Biochar désigne l'abréviation de bio-chacal. Il fait référence à un charbon végétal produit par pyrolyse de biomasse végétale provenant de différentes origines, le plus souvent des déchets de scierie ou des résidus agricoles. (Antoine et al, 2009) en termes d'utilisation énergétique ou en termes d'utilisation comme amendement du sol (Mustin, 2013). (Figure 07).



Figure 5: Le Biochar

1.3. Principaux Avantages du Bio-charbon

La transformation de la biomasse en bio-charbon et en énergie offre quatre bénéfices majeurs **(Figure 09) :**

- Augmenter l'efficacité du sol afin d'obtenir des rendements plus élevés.
- Mise en place d'une bioénergie en remplacement des énergies fossiles.
- Rétention du carbone dans le sol qui diminuera la concentration de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Encadrement des déchets. **(Don, 2009).**



Figure 6: Avantages Environnementaux, Sociaux et Financiers (Lehmann et Joseph, 2015).

1.4. Intérêt du Bio-charbon Comme Amendement

Le bio-charbon présente des avantages environnementaux en stockant du carbone dans le sol. Cependant, la stabilité du bio-charbon dans le sol est essentielle car seule une période de résidence prolongée peut garantir une séquestration durable du carbone (Badji, 2011).

Ses principaux avantages pour les sols sont :

- Meilleure capacité d'échange de cations (CEC) du sol - c'est-à-dire la capacité du sol à retenir les nutriments.
- En raison de sa porosité élevée, il offre de multiples environnements favorables aux microbes bénéfiques.
- Plus de rétention d'eau (Wojciech, 2014).
- Le processus de transformation de la biomasse en bio-charbon modifie profondément les mécanismes de séquestration du carbone (Figure10). En carbonisant la biomasse, on libère immédiatement 50% de son carbone, ce qui maintient le reste du carbone stable dans le bio-charbon (Badji, 2011).

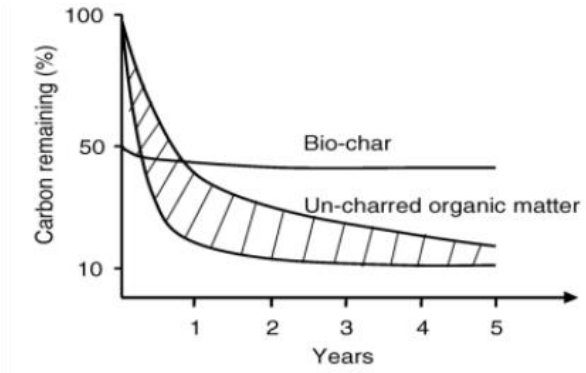


Figure 7: Évolution de la Minéralisation du Bio-Charbon et de la Biomasse Non Carbonisée dans le Sol au Cours du Temps (Lehmann et al 2006 in Badji, 2011).

1.5. Propriétés Physico-Chimiques du Bio-charbon

En fonction de la matière organique employée et de la température appliquée, il est possible d'obtenir diverses variétés de bio-charbon. Les propriétés physico-chimiques qu'ils ont sont donc très variables, comme la porosité, la surface spécifique, la composition minérale et la capacité d'échange cationique. Le bio-charbon se distingue par son taux élevé de carbone aromatique. Il se distingue également par un transport efficace de gaz. C'est en raison de sa présence de micro et macro pores, qui captent l'air et l'eau, qu'il constitue un environnement propice aux microorganismes en leur assurant les divers besoins métaboliques (Lehmann et al., 2011 in Héla, 2016).

1.6. Le Bio-Charbon et les Émissions de Gaz à Effet de Serre

Selon Rondon et al., (2007), le bio-charbon réduit les émissions de CO_2 et de méthane du sol, ainsi que les émissions de protoxyde d'azote (N_2O ou oxyde nitreux), trois gaz à effet de serre préoccupants pour le climat. Selon une étude récente, il est estimé que le développement du bio-charbon pourrait compenser au moins 12% des émissions de gaz à effet de serre (Figure 11) émises par l'activité humaine (Devd, 2015). Le réacteur ne produit aucune émission de gaz à effet de serre (GES) à l'exception du CO_2 recyclé lors de la régénération de la biomasse renouvelable. Les bénéfices du charbon vert sont les suivants :

- Limite la pression sur les forêts en substituant d'autres biomasses renouvelables au bois. L'évitement de la déforestation entraîne une séquestration de carbone supplémentaire par rapport au scénario initial.
- Ne pas faire brûler en plein air les résidus agricoles traditionnellement utilisés, ce qui contribue à diminuer les émissions de CO_2, NH_4 et N_2O.
- La production traditionnelle de charbon de bois entraîne des émissions de CH_4.
- L'efficacité de la carbonisation est considérablement améliorée par cette technologie (**30-45%)** par rapport aux méthodes classiques **(10-15%).** (Pro-Natura, 2010).

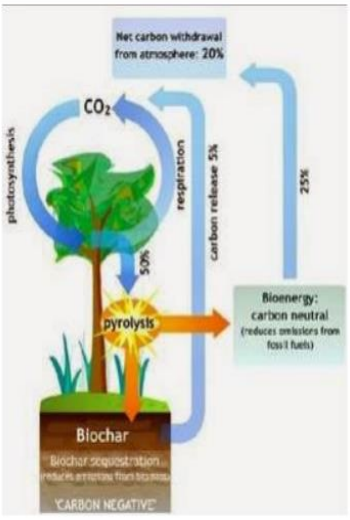


Figure 8: Le Bio-Charbon : Système Pour Piéger le Dioxyde de Carbone dans le Sol **(**Devd, 2015).

1.7. Effets du Bio-charbon sur le Sol

L'ajout de bio-charbon mène à une modification des propriétés des sols (Héla, 2016).

1.7.1. Effets du Bio-Charbon sur les Propriétés Physico-Chimiques du Sol

D'après les recherches, l'ajout de bio-charbon peut améliorer les caractéristiques physiques du sol, comme la masse volumique apparente, la porosité, la capacité de rétention en eau, la stabilité et la formation d'agrégats (Ding et al., 2016 ; Vicky, 2017). Cependant, des conséquences différentes. En ce qui concerne les caractéristiques chimiques, une analyse approfondie de 371 études indépendantes révèle que l'incorporation de biochar dans le sol entraîne une augmentation du taux d'azote, de phosphore, de potassium et de carbone total (Vicky, 2017).

1.7.2. Effets du Bio-Charbon sur la Biologie du Sol

L'introduction de bio-charbon pourrait avoir un impact sur la croissance de certains groupes de microorganismes impliqués dans le cycle de l'azote, du carbone et du phosphore dans le sol (Anderson et al., 2011). En outre, selon (Vicky ,2017), le bio-charbon pourrait influencer positivement la composition des communautés microbiennes du sol et encourager certaines espèces impliquées dans la dénitrification complète de l'azote. Effectivement, l'utilisation d'un bio-charbon issu de la décomposition thermochimique des résidus de culture (tels que les résidus de récolte et les feuilles) à des températures inférieures à 700 °C a des effets bénéfiques sur la prolifération, la diversité et l'activité des communautés microbiennes (Héla, 2016).

1.7.3. Effet de Bio-Charbon sur la Productivité du Sol

D'après Pro-Natura , (2016), le bio-charbon présente une efficacité supérieure sur les sols défavorisés. Selon cette étude, il est démontré que le bio-charbon a des effets mesurables sur la productivité du sol :

• L'activité biologique des sols est stimulée (+40% de champignons de mycorhizes).

• Renforcer la capacité de stockage des nutriments (+50% d'échanges cationiques).

• Meilleure capacité de stockage d'eau dans les sols (jusqu'à +18%).

• Augmentation du pH des sols acides d'un point supplémentaire.

• Increase of organic substances in the soil.

• Selon (Baril ,2013), les effets bénéfiques observés sur la croissance des plantes après l'utilisation de bio-charbon pourraient ne pas être attribués à un apport nutritionnel, mais plutôt à l'amélioration d'autres caractéristiques du sol.

1.8. Impact du Bio-Charbon sur la Croissance des Plantes et les Rendements des Cultures

L'ajout de bio-charbon peut entraîner des effets positifs sur la croissance des plantes. Selon (Biederman et Harpole ,2012), à partir de 114 articles scientifiques, il a été constaté que le biochar a une influence moyenne sur la productivité de la biomasse aérienne et les récoltes agricoles, bien qu'il n'y ait pas de lien évident entre la quantité de bio-charbon ajoutée au sol et la réponse des plantes en termes de productivité. (Criscuoli, 2016). La synthèse des publications scientifiques importantes sur l'impact du bio-charbon sur les principales cultures tempérées est présentée dans le tableau.

1.9. Production du Bio-Charbon

La production de bio-charbon peut être réalisée de différentes manières, mais toutes nécessitent une chauffe de la biomasse avec peu ou pas d'oxygène afin de libérer les gaz volatils, laissant le carbone derrière. La décomposition thermique est un processus simple, généralement réalisé par pyrolyse ou gazéification. (Lehmann, 2007). La fabrication du bio-charbon à l'aide de la pyrolyse : Le biochar est produit par pyrolyse en utilisant une biomasse riche en cellulose, comme des copeaux de bois ou des résidus agricoles. Le carbone contenu dans la biomasse est brûlé dans un four industriel à une température élevée et dans un environnement dépourvu d'oxygène. Selon (Laurin-Lanctôt , 2015)**,** cette pyrolyse produit 50% du carbone sous forme de bio-charbon, principalement utilisé comme amendement au sol, tandis que 50% du carbone est produit sous forme de bioénergie, comme des gaz synthétiques ou des huiles qui peuvent être utilisées pour générer de la chaleur et/ou de l'énergie. **(Figure 12).**

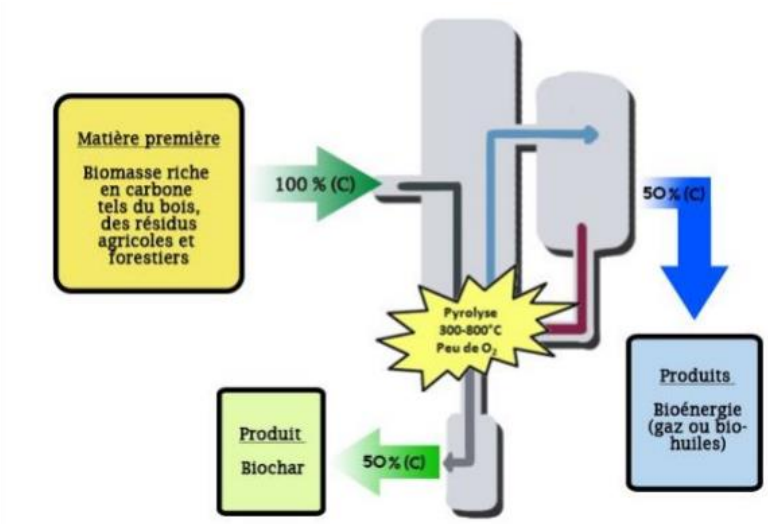


Figure 9: Technologie de Production de Bio-Charbon (forme de et al., 2013)

Chapitre IV :

Matériels et Méthodes

Chapitre IV : Matériels et Méthodes

Objective d'étude :

L'objectif de cette recherche est de mettre en évidence, d'une part, l'impact dépressif de la salinité apportée par le NaCl dans deux solutions sur la germination et la croissance des plantes de poivron de la variété « ADINA ». Le laboratoire de la Faculté des Sciences de l'Université Yahia Farès à Médéa a été utilisé pour notre recherche. Par ailleurs, l'objectif principal de cette étude était de saisir l'utilisation courante du biochar dans l'agriculture. Nous avons réalisé des tests afin de déterminer l'effet le plus stimulant et qui permet d'obtenir une régulation osmotique par faite pour les plantules de poivron pendant les périodes de stress pendant la phase de culture (la croissance active).

Morphologie et importance économique des plantes expérimentales :

2 .1 Matériel végétal : plantes sélectionnées et utilisées

Dans cette recherche, le genre de plante employé est ADINA est une variété de poivron (Capsicum) provenant de la région de Birtouta dans la wilaya d'Alger. La plante est transportée vers le laboratoire de l'université de YAHIA Farès de Médéa pour l'écologie et la biologie. Les expériences ont été menées avec ces plantes en raison de leur meilleure capacité de croissance et de leur sensibilité à la salinité.

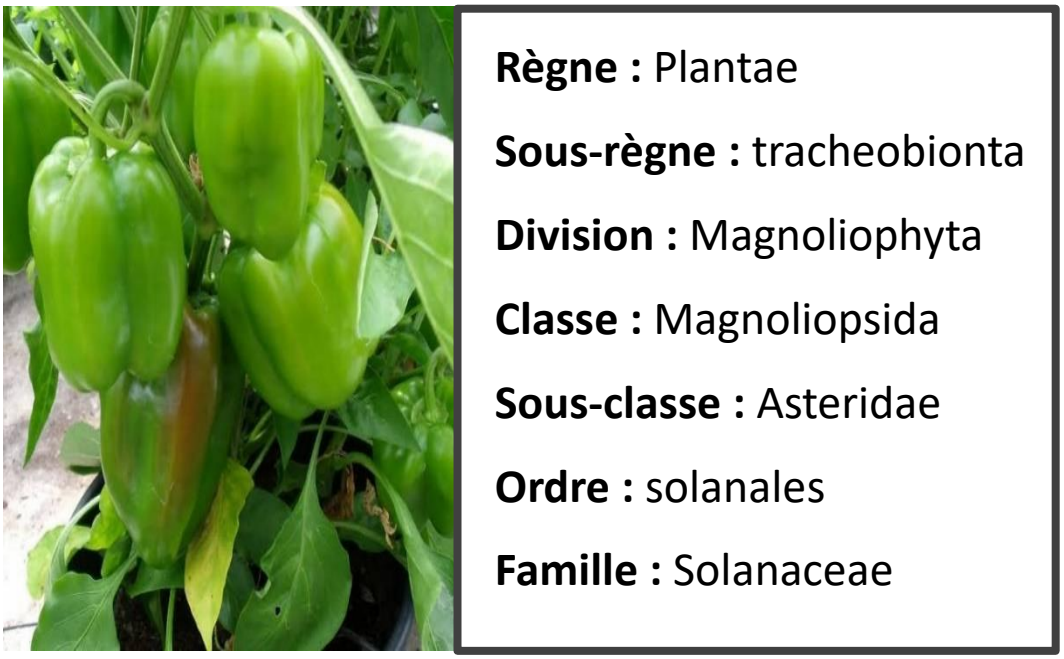


Figure 10: la taxonomie de poivrons

2-2 Conditions expérimentales

2-2.2 Conteneurs

Les pots en plastique utilisés sont des pots de 1 kg de capacité en plastique bleu, munis d'orifices de drainage à leur base pour évacuer la solution d'irrigation en excès. Il a un diamètre supérieur de 6,5 cm, un diamètre inférieur de 4,5 cm et une hauteur de 11 cm.

2-2.3 Agent imposant du stress:

Chemicals	**La masse**
Chlorure de sodium	150 mmol (NaCl)

Biochar utilisé pour atténuer le stress

Biochar amélioré par des modifications et traitements chimiques

Après avoir collecté les résidus des palmiers dattiers, tout le matériel collecté est broyé puis passé à travers une série de tamis où l'on sépare les fractions à tester, pour lesquelles on a choisi des fractions millimétriques : 2 (mm). Nous avons choisi à cet effet la fraction millimétrique : 2 (mm). Toute la matière tamisée a été lavées par de l'eau minéralisée puis laissées sécher 24h sous la chaleur du soleil.

Une partie de ce déchet a été laissé sans modification, après avoir été passées dans un pyrolyseur pour la fabrication du Biochar. La deuxième partie a été imprégnée durant 07 jours à l'air ambiant dans un système acide (5 M HCl - 1 :10) pour développer davantage la structure poreuse (méso-pores), augmenter sa surface spécifique et augmenter aussi des groupes fonctionnels oxygénés sur la surface du Biochar (carboxylique, phénolique, hydroxyle…). L'activation du Biochar crée des groupes fonctionnels fortement mobilisés dans la régulation de la mobilité des nutriments dans la solution du sol (Dietrich et al. 2020).

Après ce traitement, le Biochar est lavé avec de l'eau déminéralisée à travers un filtre à mailles très fines, puis étalé et séché à l'air.

Après cette 1 ère période d'imprégnation, la deuxième étape d'imprégnation a été réalisée afin de mieux enrichir le Biochar, ainsi le Biochar a été imprégné dans une solution nutritive préparée en dissolvant 50 g de MAP et 6 g de K 2 SO 4 dans 1000 ml d'eau distillée. Le Biochar en solution était régulièrement remué, afin de l'activer et de le charger suffisamment en éléments nutritifs.

À la fin de ce traitement le Biochar a été filtré à travers une passoire à mailles très serrées, puis étalé sur une feuille de papier et séché à l'étuve à 65 °C pendant 48 heures.

2.2.4 Dispositif expérimentale

Notre expérimentation a été réalisée selon le plan complètement avec quatre facteurs étudiés qui est les compositions des NaCl, Biochar et CK. L'interaction de cette variable donne naissance à 02 traitements comparés par (Control : CK) au totale 4 traitements testés avec 06 répétitions pour chaque traitement, ceci donne 24 unités expérimentales dans le plan.

2.2.5 Description des différents traitements utilisés

Lot 1	CK (Sable)
Lot 2	CK (Sable + BC)
Lot 3	Sable + NaCl
Lot 4	Sable + BC + NaCl



Figure 11: Dispositif expérimental (Source personnelle, 2024).

1. Paramètres mesurés

3.1. Paramètres morphologiques

3.1.1 Les paramètres morphologiques réalisés sur la phase végétative

Tous les paramètres morphologiques ont été effectué au moment de la coupe réalisé le 14/05/2024 soit 7 jours après le semi

A. Hauteur finale des plantes et la longueur des racines (cm)

Cette mesure a été effectuée au moment de la coupe à l'aide d'une règle graduée.

B. Biomasse fraiche produite

Au moment de la coupe, nous avons pesé les deux parties de la plante (partie aérienne : tiges ; partie souterraine : racines) en gramme à l'aide d'une balance. L'opération a été réalisée comme suite :

- Poids frais de tige de chaque plante.
- Poids frais de la racine de chaque plante.

3.2. Paramètres physiques

3.2.1. Estimation des pigments photosynthétiques :

A. Chlorophylle et caroténoïdes :

Dans un tube à essai à 100 mg d'échantillon frais, coupé en petits fragments, Ils ont été écrasés dans un mortier et homogénéisées sont ajoutés 3 ml d'acétone à 80%. L'ensemble est conservé à l'obscurité à 4°C pendant 48h, le calcul des concentrations en chlorophylle. Puis on procède à la lecture des densités optiques des solutions à l'aide d'un spectrophotomètre à trois longueurs d'ondes : 663, 645 et 480 nm à l'aide d'un spectrophotomètre.

4.Analyse biochimique :

4.1. Analyse des Indices de dommages oxydatifs

4.1.1. Estimation de la peroxydation lipidique :

Le niveau de peroxydation lipidique a été mesuré par quantification de la teneur en malondialdéhyde (MDA) produit par l'acide thiobarbiturique (TBA) pour évaluer les dommages membranaires selon la méthode modifiée de (Gupta et al.,2018).

a. Réactifs :

- Phosphate buffer (pH 7.0) : 50.0 mM
- 2-thiobarbituric Acid (TBA)
- TCA : 0.67 % (w/v) dans TBA solution
- TCA: 10.0 % (w/v) dans DDW

b. Procédure :

Les feuilles fraîches (100 mg) ont été broyées en homogénat à l'aide de 1 ml d'acide trichloracétique (TCA) à 10 % et centrifugées à 8000 × g (4 ◦C) pendant 10 min. Le surnageant (500 µl) a été mélangé avec 1 ml de solution aqueuse de TBA à 0,67 % et incubé pendant 30 minutes dans un bain d'eau chaude à 90 ◦C. Après l'incubation, il a été refroidi immédiatement dans un bain de glace et centrifugé à 10 000 × g (4 ◦C) pendant 10 minutes. Ensuite, l'absorbance de la solution réactionnelle a été enregistrée à 440, 532 et 600 nm de chaque échantillon à l'aide d'un spectromètre UV.

4.1.2. Peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) :

La teneur en peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) a été déterminée par spectrophotométrie selon une méthode modifiée de (Velikova et al.,2000).

a. Réactifs :

- PPB (pH 7.0) : 10.0 mM
- Potassium iodide (KI) : 1.0 M
- Trichloroacetic acid (TCA): 0.1 % (w/v)

b. Procédure :

Pour évaluer la concentration en H_2O_2, on a pesé et homogénéisé 100 mg de feuilles fraîches dans 3 ml de TCA (0,1%). On a procédé à une centrifugation à 15000 tours/minute pendant 15 minutes à une température de 4 °C. Après avoir ajouté 0,5 ml de PPB (10 mM, pH 7,0), 1 ml de KI (1 M) et 0,5 ml de surnageant (extrait enzymatique), le mélange réactionnel a été fait. Mesurée à 390 nm, l'absorbance de la solution finale a été évaluée par rapport au blanc. On a effectué l'estimation de H_2O_2 en utilisant une courbe standard préparée à l'aide de H_2O_2.

4.2. Analyse des antioxydants enzymatiques et non enzymatiques :

4.2.1. Estimation du système de défense antioxydant :

4.2.1.1. Activité de la catalase

L'activité de la catalase a été mesurée selon la méthode de Gupta et Datta (2003).

a) Réactifs :

- PPB (pH 7) : 50 mM
- H_2O_2 (0,1 M) : 100 µL
- Extrait enzymatique : 100 µl

b) Procédure :

Pour l'estimation de l'activité CAT dans le témoin et chaque plantule traitée, en utilisant 0,3 ml de H_2O_2 (15 mM), 2,6 ml de PPB (50 mM, pH 7,0) et 0,1 ml d'extrait enzymatique. L'absorbance du mélange préparé a été enregistrée à 240 nm par un spectrophotomètre UV-Vis pendant 3 min à température ambiante.

4.2.2. Activité de l'ascorbate peroxydase (APX) :

L'activité de l'ascorbate peroxydase a été analysée selon la méthode de Nakano et Asada (1981).

a) Réactifs :

- Ascorbate : 0,5 mM
- H_2O_2 : 01 mM
- PPB (pH 7.0) : 50.0 mM

b) Procédure :

On a utilisé l'extrait brut obtenu lors de la centrifugation pour l'analyse APX. Le mélange final réactionnel comprenait 0,5 ml de H2O2 (0,4 mM), 0,5 ml d'ascorbate (2 mM), 0,8 ml de PPB (50 mM, pH 7,0) et 0,2 ml d'extrait brut (extrait enzymatique ajouté pour commencer la réaction). La solution échantillon a été analysée à 290 nm à l'aide d'un spectrophotomètre UV-Vis pendant une minute à une température de 25 °C.

4.2.4. Estimation de l'activité de la glutathion S-transférase (GST, EC 2.5.1.18)

L'activité glutathion-S-transférase a été analysée selon la méthode de (Habig et al.,1974) en utilisant le CDNB (1-chloro, 2, 4-dinitro benzène) comme substrat.

a) Réactifs :

- PPB (pH 7.5) : 100 mM
- 1-chloro, 2,4-dinitrobenzene (CDNB): 1 mM
- Glutathion réduite (GSH) : 1 mM

b) Procédure :

Pour déclencher la réaction, on a préparé le mélange réactionnel en ajoutant 0,3 ml de CDNB (1 mM), 0,3 ml de GSH (1 mM), 0,0023 ml de PPB (0,1 mM, pH 7,5) et 1 ml d'extrait enzymatique. Un spectrophotomètre UV-VIS a été utilisé pour mesurer le changement d'absorbance du mélange réactionnel à 340 nm pendant une minute à une température de 25 °C.

4.2.5. Gaïacol peroxydase (POD) :

La méthode de Zhang (1992) a été utilisée pour évaluer l'activité de la peroxydase de Gaïacol.

a) Réactifs :

- Potassium phosphate buffer (pH 7.0) : 50 mM
- Pyrogallol : 0,1 mM
- H_2O_2: 12,3 mM

b) Procédure:

On a mesuré l'activité de la peroxydase dans 1,9 ml de tampon de phosphate de potassium (50 mM ; pH 7.0), 0,5 ml de H_2O_2, 0,5 ml de pyroggalol solution et 0,1 ml de l'extrait d'enzyme. Ensuite, après 5 minutes d'incubation à 25 °C, on ajoute 1 ml de NH_2SO_4. L'augmentation de l'absorbance causée par l'oxydation du gaïacol a été régulée à une longueur d'onde de 470 nm.

4.2.6. Dosage de PAL (EC 4.3.1.5) :

a) Réactifs :

- Tris-HCI buffer (pH 8.0) : 0.5 mM
- L-phenylalanine (pH 8.0): 6 mM
- Trichloroacetic acid: 25%

b) Procédure :

L'activité de la Phénylalanine ammonia lyase a été calculée dans un volume total de 0,9 ml composé d'un L-phénylalanine (6 mM ; pH 8.0), 0,1 ml de l'extrait d'enzyme. Après 1 heure d'incubation à 37 °C en ajoute 0,05 ml de TCA (25%). L'absorbance du mélange préparé a été contrôlée à 290 nm.

4.2.7. Estimation des protéines :

Les protéines des plants témoins et traités de diverses expériences ont été mesurées selon la méthode proposée par Bradford (1976).

a) Réactifs :

- Potassium phosphate buffer (pH 8.0) : 50 Mm
- Bradford

b) Procédure :

Afin d'évaluer la quantité de protéines, les protéines ont été prélevées en pesant 0,2 ml de surnageant dans un tube à essai, puis ajoutées à 1 ml de réactif de Bradford et mélangées

de manière adéquate. Le mélange a été conservé à température ambiante (25°C) pendant 5 minutes et l'absorbance a été évaluée à 595 nm.

4.2.8. Analyse De l'extrait d'acide sulfisasylique :

4.2.8.1. L'estimation de la proline :

La teneur en Proline endogène a été déterminée selon le protocole de (Bates et al.,1973). 0,5 g de tissu a été homogénéisé dans 5 ml d'acide sulfosalicylique aqueux à 3 % (p/v), centrifugé à 10 000 × g pendant 10 min et le surnageant a été collecté. À 0,5 ml d'extrait, 1 ml chacun d'acide acétique glacial et de ninhydrine acide fraîchement préparée (1 : 1) ont été mélangés et bouillis au bain-marie pendant 1 h. La réaction a été terminée en plaçant le mélange sur un bain de glace et en mesurant enfin l'intensité de la couleur rouge à 520 nm. La teneur en Proline a été déterminée par comparaison avec une courbe étalon préparée avec une concentration connue de Pro.

4.2.8.2. Glutathion (GSH) :

Sedlak et Lindsay (1968) méthode a été utilisés pour évaluer la concentration de glutathion. Dans 100 µL de surnageant, 4 ml de méthanol absolu, 50 µL de DTNB 0,01 M [(5,5′-dithiobis-(acide 2-nitrobenzoïque)] et 1 ml de tampon Tris (0,2 M, pH 8,2) ont été ajoutés. Et laissé pendant 15 minutes. Le mélange a été centrifugé à 3 000 tr/min pendant 15 minutes, puis son absorbance à 412 nm a été notée. L'étalon utilisé pour cette méthode était le glutathion.

4.2.8.3. Estimation de la teneur en flavonoïdes :

La teneur en flavonoïdes endogènes a été estimée selon la méthode de (Basu et al.,2012). 0,5 g de plants ont été homogénéisés dans du méthanol absolu. L'homogénat a été centrifugé à 10 000 × g pendant 10 min et le surnageant a été récupéré. Le mélange réactionnel était constitué de 1 ml d'$AlCl_3$ à 2 % et de 0,1 ml d'extrait. Une période d'incubation de 1 h a été maintenue dans l'obscurité, suivie d'une mesure de l'absorbance à 415 nm. La concentration finale en flavonoïdes a été quantifiée à l'aide d'une courbe étalon avec la rutine.

Analyses statistiques

Les expériences ont été réalisées dans un plan complètement randomisé (CRD) avec trois répétition (n = 3) dans chaque traitement et chaque réplication contenant une moyenne de 10 plantules. À l'aide de l'analyse bidirectionnelle de la variance (ANOVA) à $p \leq 0,05$, la signification statistique a été calculée ; les calculs ont été effectués à l'aide de SPSS 2018.

Résultats et Discussions :

Résultats et Discussions

Résultats :

Effet de la modification chimique sur la qualité des différents biochar produits

Deux types de Biochar ont été produits et des analyses physico-chimiques voire minéralogiques ont été réalisées pour comprendre la qualité finale du Biochar. Les résultats de l'analyse du Biochar sont répertoriés dans le tableau ci-dessous :

- ✓ **Analyses minéralogiques**

Paramètres	BM350E	BM450E
PH	2.60	3.63
CE (ms/cm)	6.66	4.61
CEC ($mmol^{+}\ kg^{-1}$)	23.09	33.51
N Total (%)	En cours	En cours
P (%)	En cours	En cours

Les observations par MEB des quatre biochars permettent de visualiser leurs morphologies et d'identifier en partie les phases minérales qui leurs sont associées. Les biochars ont été soumis à la microscopie électronique à balayage (MEB) à différents grossissements : 5 µm -10 µm et 50µm.

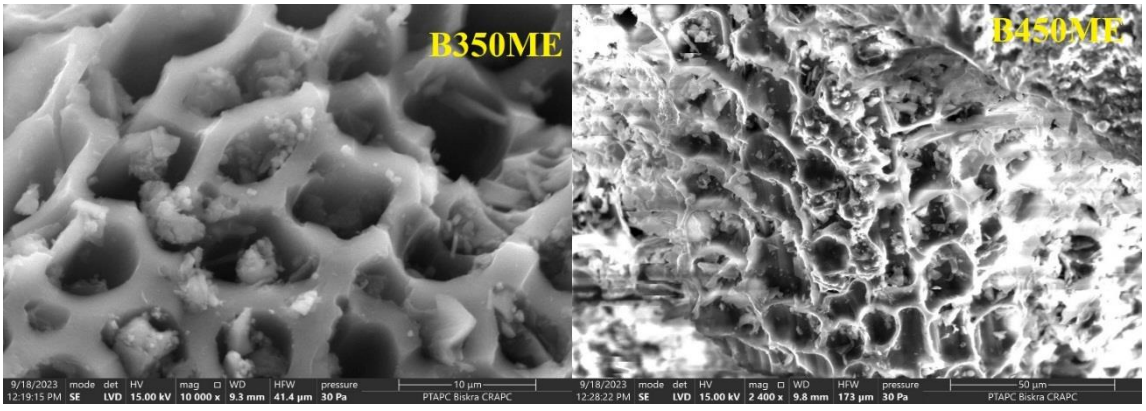


Figure 12 : Clichés MEB issus de notre expérimentation démontrant la structure poreuse du Biochar modifie et non modifie. BM350E (Biochar Modifie avec Enrichissement NPK) ; BM450E (Biochar Modifie avec Enrichissement NPK). B350 (Biochar Témoin sans aucun traitement) **(Biochar Témoin sans aucun traitement).**

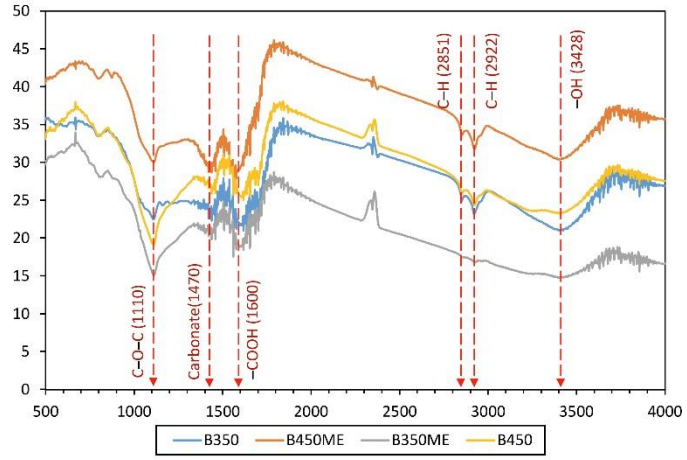


Figure 13: Spectres infrarouge du Biochar (avant et après traitement) faite par spectroscopie infrarouge à transformée de Fourier (FT-IR). BM350E (Biochar Modifie avec Enrichissement NPK) ; BM450E (Biochar Modifie avec Enrichissement NPK). B350 (Biochar Témoin sa **(Biochar Témoin sans aucun traitement).**

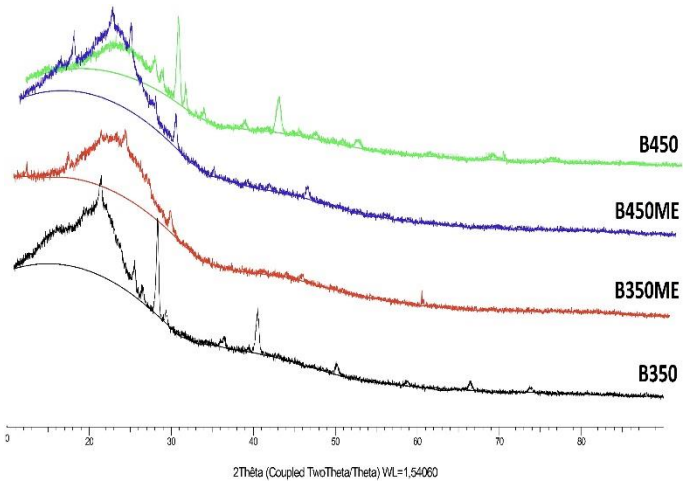


Figure 14: Analyse du Biochar par diffractométrie des rayons X (DRX). BM350E (Biochar Modifie avec Enrichissement NPK) ; BM450E (Biochar Modifie avec Enrichissement NPK). B350 **(Biochar Témoin sans aucun traitement) ; B450 (Biochar Témoin sans aucun traitement).**

1. Effet de l'application de biochar (BC) sur la croissance du poivron, la structure des racines et les pousses en condition de stress salin :

Les plantules de poivrons soumises à sol salin seul et/ou avec du biochar pendant 7 jours, ont présenté des effets dramatiques notamment une réduction de la longueur des racines et des tiges. En revanche l'amendement de biochar a supprimé les altérations et phytotoxique induite par le NaCl et améliorer la croissance des plantules soumises aux stress salin (Fig. 1).



Figure 15: Effet de l'application de biochar (BC) sur la croissance du poivron, la morphologie des racines et les pousses en différents condition.

Les plantules du poivron exposés aux stress saline présentaient une rédaction du poids frais des racines et des tiges, ainsi que la longueur des deux parties, l'amendement au biochar augmenter le poids frais de feuilles de 3,15 %, le poids frais des racines de 16, 71 %, la longueur des tiges de 16,37 % et la longueur des racines de 8,28 % en l'absence de stress salin par rapport aux plantules de CK (Fig. 2). Le stress saline a un effet négatif sur le poids frais des tiges 31,45 % et poids frais des racines 42,73 % et la longueur des tiges 38,89 % et longueur des racines 25,72 % par rapport les plantules de CK. En présence de stress saline, l'amendement des biochar atténuer les dommage induit par la salinité et amélioré le poids frais des tiges 9,41 %, poids frais des racines 15,32%, la longueur du tige 5,22 % et la longueur des racines 12, 57 % ...

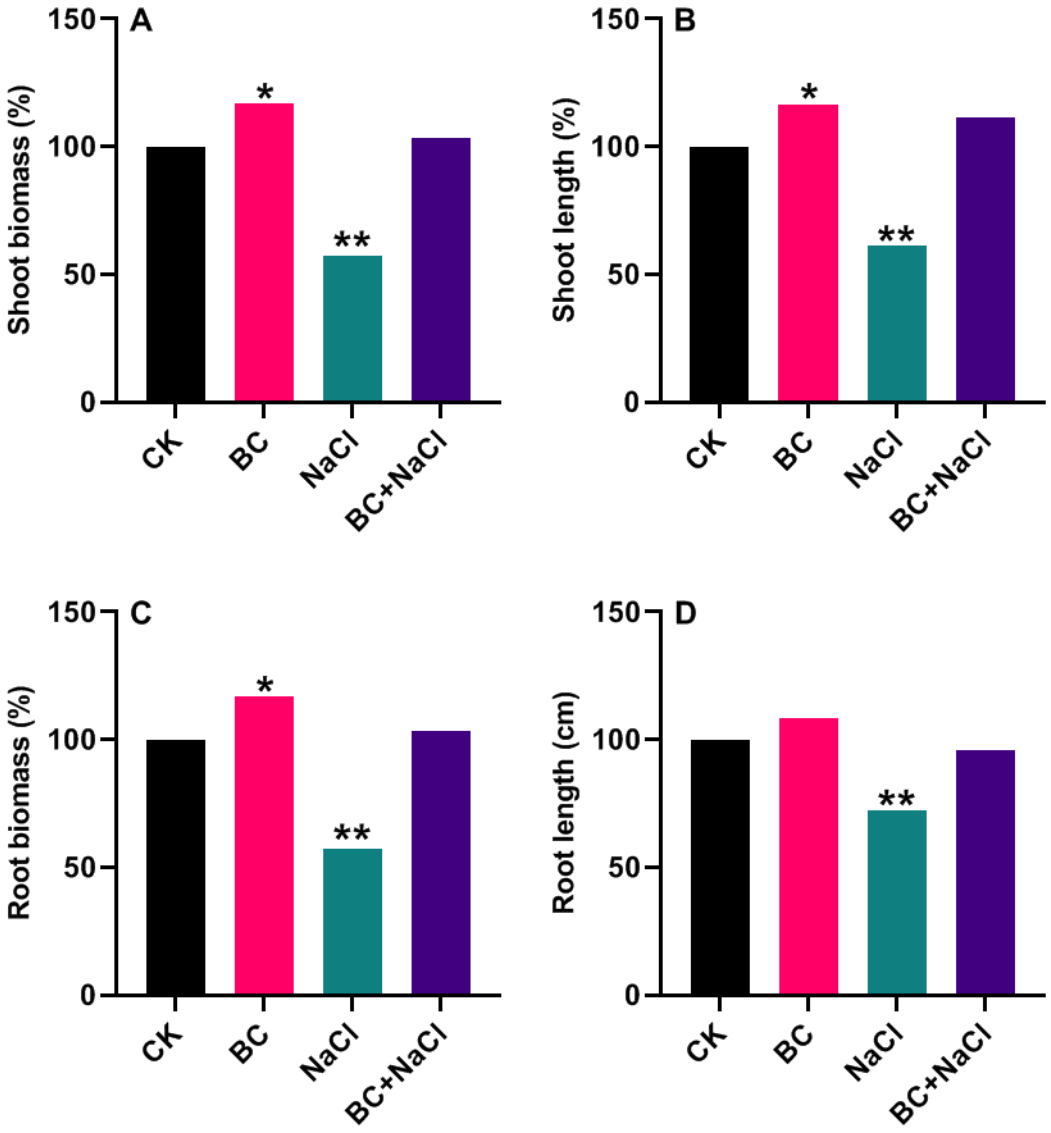


Figure 16: Effet de l'application de biochar sur (A) le poids frais des pousses, (B) la longueur des pousses, (C) le poids frais des racines et (D) la longueur des racines en condition de stress salin.

2. Effets du NaCl et BC sur la teneur en chlorophylle a, b et caroténoïde content des semis de poivron :

En l'absence de stress salin, l'application de BC a entraîné une augmentation de 8,28 % de la chlorophylle *a* (Chl a), de 80,20 % de la chlorophylle *b* (Chl b) et de 52,43 % des caroténoïdes (Fig. 18). En présence de stress salin, une réduction de 37,45 %, 33,56 % et 52,09 % de la teneur en Chl *a*, Chl *b* et caroténoïdes a été observée par rapport au témoin, sans surprise. D'un autre côté, l'incorporation de BC a réduit la destruction des pigments chlorophylliens causée par le NaCl et augmenté la concentration de chlorophylle (Fig. 18).

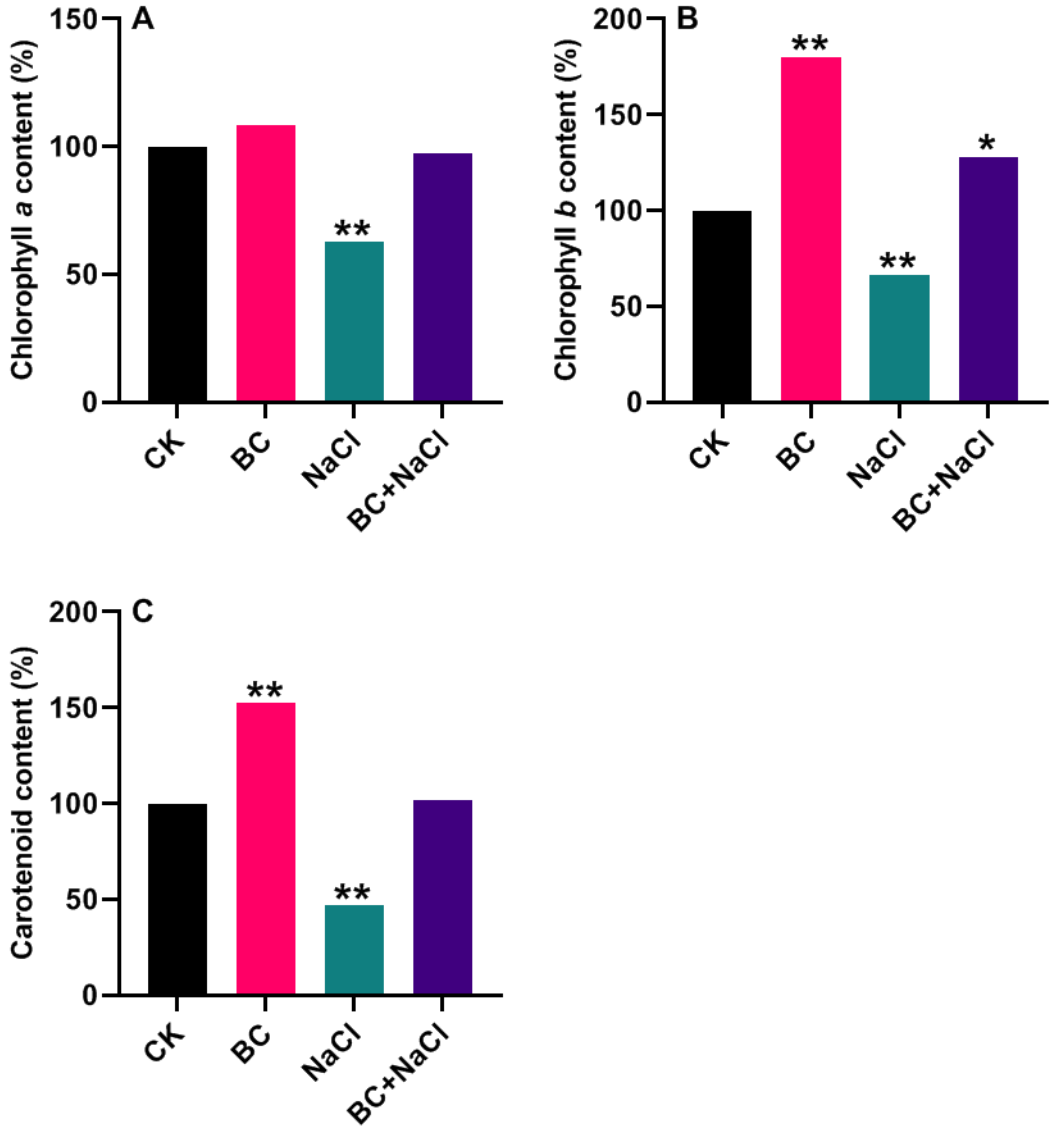


Figure 17: Effets des différèrent traitements du NaCl et BC sur la teneur en chlorophylle a (A), chlorophylle b (B) et caroténoïdes (C) des semis de poivron.

3. Effets des différèrent traitements du NaCl et BC sur la teneur en biomarqueurs de stress oxydative des semis de poivron :

Le stress salin a provoqué un stress oxydatif notable chez les plantules de poivron, comme le prouvent la teneur en MDA et la production de H_2O_2, toutes deux extrêmement réactives et toxiques, et ont induit des dommages structurels considérables **(Fig. 19).** Le traitement au NaCl a augmenté la teneur de H_2O_2 et MDA de 50,47% et 54,38%, respectivement dans les feuilles par rapport à CK. L'amendement en Biochar a réduit efficacement les concentrations d'H_2O_2 et MDA de 44,17% et 31,19% dans les feuilles sous condition de stress

salin par rapport aux plantules des poivrons qui ont été soumises à un stress salin sans amendement biochar **(Fig. 19).**

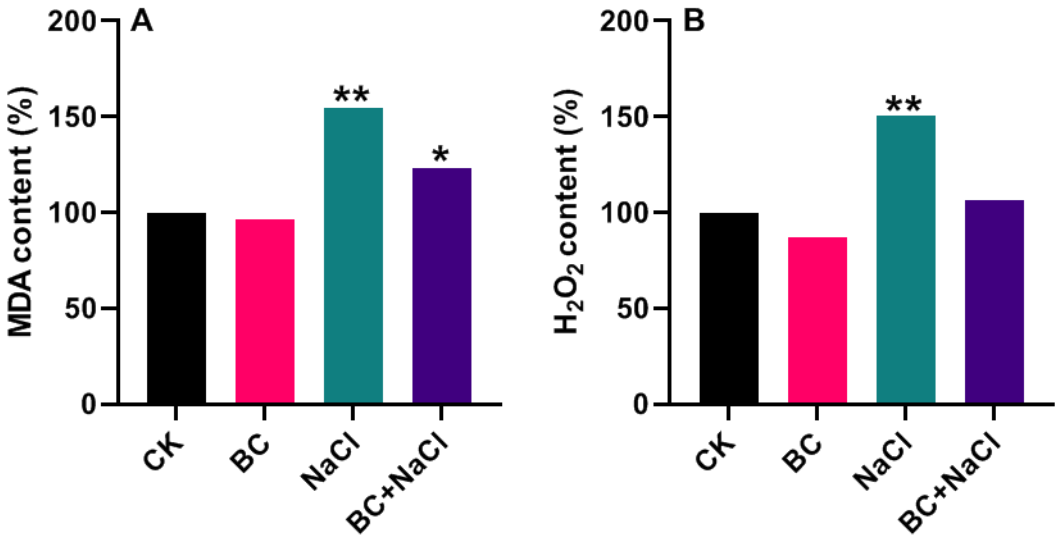


Figure 18: Effet de l'application de biochar sur la teneur en biomarqueurs de dommages oxydatives A : MDA, B :H2O2 de plantule de Poivrons sous condition de stress salin.

4. Effets des différèrent traitements du NaCl et BC sur la teneur en enzymes antioxydantes des semis de poivron :

L'activité des enzymes antioxydantes ont été évalués spectrophotométriquement dans les feuilles des plantules de poivron traités par BC afin d'explorer les effets possibles de Biochar sur le mécanisme d'antioxydants dans les plantules de poivron stressés par NaCl. L'exposition à NaCl a considérablement induit l'activité des enzymes antioxydantes dans les feuilles, ce qui a entraîné une augmentation de 20.68% et 10.36% des activités de CAT et APX respectivement, par rapport à CK. Dans les feuilles des semis traités au NaCl, L'application de biochar a considérablement amélioré les actifs POD, CAT, APX et GST de 34.09%,49.1%, 0.37%, 15.88%, respectivement, par rapport à ces semis qui étaient sous stress salin sans application **(Fig. 20)**.

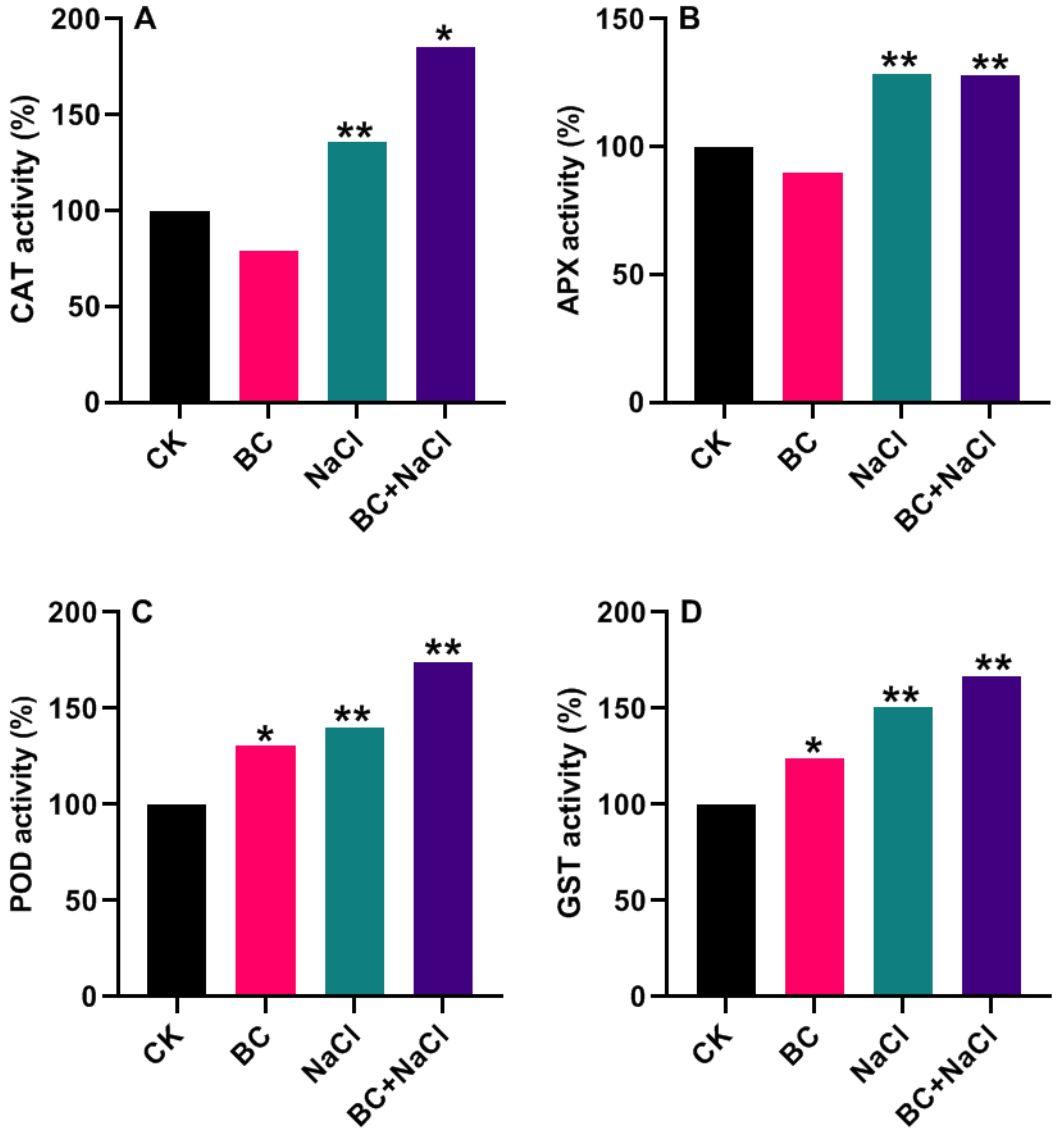


Figure 19: Effet de l'application de biochar sur Les enzymes antioxydantes : A : CAT, B : APX, C : POD, D : GST de plantules de Poivrons sous condition de stress salin.

5. Effets des différèrent traitements du NaCl et BC sur la teneur en métabolites antioxydants des semis de poivron :

L'Exposition des semis de poivron au NaCl et/ou BC pendant 7 jours ont provoqué un accroissement d'accumulation de polyphénols totaux, en général. L'application individuelle NaCl et BC, le niveau de polyphénols totaux estimé dans les feuilles était de (75,31% et 20,80% respectivement) qui étaient comparativement plus élevées que celles mesurées dans des feuilles de semis contrôle. Cependant, le traitement combiné du NaCl et du BC a entraîné considérablement réduit, c'est-à-dire (16.5%) de synthèse de PPO dans les feuilles, par rapport aux tissus témoins **(Fig. 21).** L'exposition des semis de poivron au biochar et au stress salin pendant 7 jours ont provoqué un accroissement d'accumulation de flavonoïde, en général.

L'application individuelle de NaCl et Biochar le niveau de flavonoïde était de 48 .2% et 19.02% respectivement) qui étaient comparativement plus élevées que celles mesurées dans des feuilles de semis contrôle **(Fig. 21.B).** Cependant, le traitement combiné du NaCl et le biochar entraîné considérablement plus élever, c'est-à-dire (34,38%) de synthèse de flavonoïde dans les feuilles, par rapport aux tissus témoins. **(Fig. 21.B).**

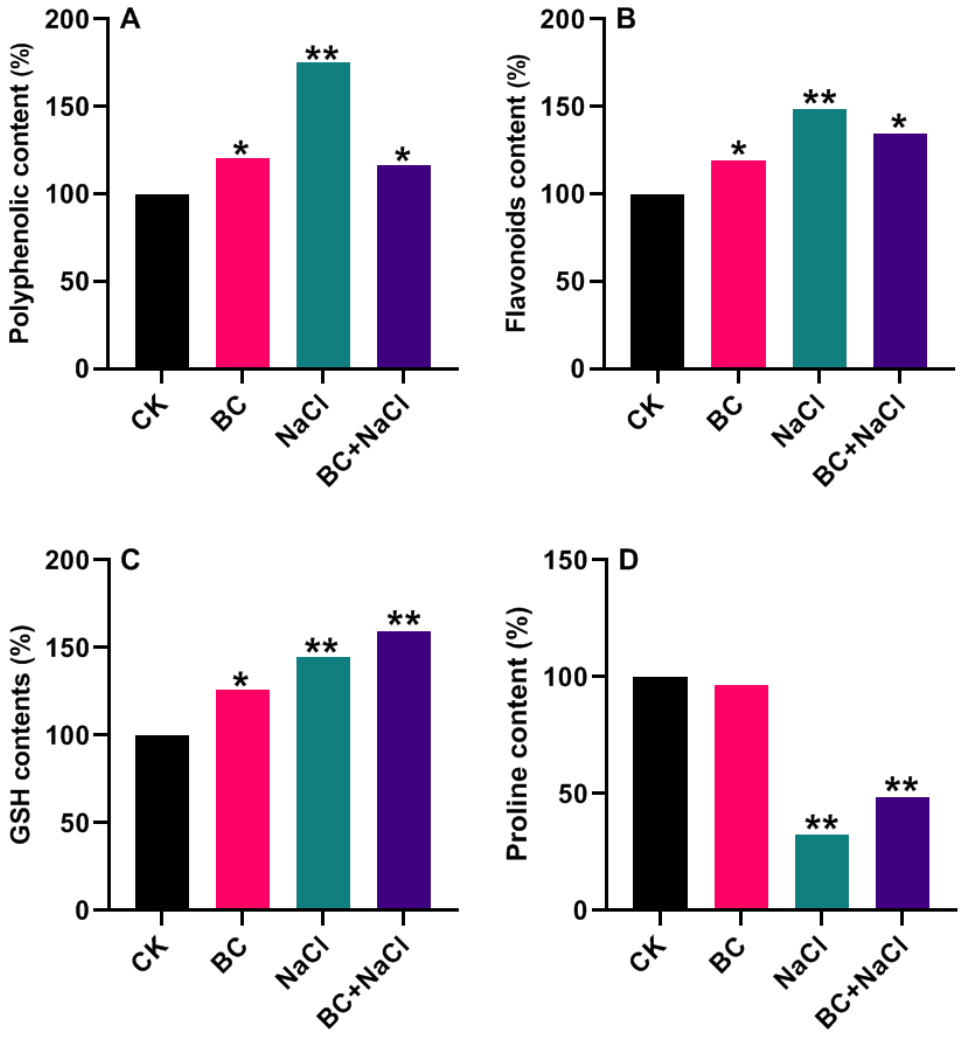


Figure 20: Effet de l'application de biochar sur la teneur en métabolites antioxydants **A** : polyphénol, **B** : flavonoïde, **C** : GSH et **D** : proline des semis de poivron sous condition de stress salin.

DISSCUSION :

La dégradation des sols due à la salinité nécessite l'application de nouvelles technologies qui pourraient aider à gérer tout effet négatif sur la croissance des plantes et à améliorer la qualité des sols (Grifffon,2006). Le biochar a attiré beaucoup d'attention en raison de ses effets sur l'amélioration de la fertilité et de la qualité des sols, ainsi que sur l'immobilisation et la biodisponibilité des éléments toxiques (Chan &Xu ,2009). Le but de ce travail était d'analyser l'effet du biochar sur l'état oxydatif et les paramètres de croissance de plantules de poivron cultivés dans un sol salin.

Le stress salin a considérablement réduit la croissance des plantules et la matière fraiche des plantules de poivron par rapport aux plantules témoins. Selon les résultats de la présente étude, la toxicité des NaCl a gravement affecté la croissance du poivron en termes de perte de rendement de la biomasse (racines et pousses), le stress salin est le dommage abiotique le plus limitant la production agricole. En fait, cette réduction peut être due à l'effet du sel sur divers processus métaboliques et modifications moléculaires la disponibilité de l'eau pour les plantes, entrave l'absorption de l'eau par les racines des plantes et peut être toxique pour la vie végétale, affectant ainsi la croissance des plantes. De même, Réduit considérablement la croissance et le rendement en diminuant les niveaux de chlorophylle, la stabilité de la membrane et l'activité photosynthétique. De nombreuses études ont rapporté les effets toxiques des sels sur la croissance des cultures (Etikala et al., 2021 ; Rani et al., 2019 ; Syed et al., 2020). Ont révélé que le stress salin a un effet majeur sur la division cellulaire. De plus, le stress salin dans le sol affecte la croissance des plantes pour trois raisons : Premièrement, le sel présent dans la solution du sol réduit la capacité de la plante à absorber l'eau, entraînant une diminution du taux de croissance. Cela est dû à l'effet osmotique du stress salin. Deuxièmement, l'excès d'ions Na + augmentera la pression osmotique de la solution du sol et réduira l'absorption des nutriments par les plantes, affectant ainsi la disponibilité des nutriments des plantes (N, P et K). Troisièmement, la transpiration des feuilles est affectée lorsqu'un excès de sel pénètre dans le flux de transpiration de la plante, ce qui peut entraîner un retard de croissance. La croissance et le développement sont des processus indispensables à la survie et à la multiplication continues de toute espèce végétale. Selon les résultats de la présente étude, la toxicité de NaCl a gravement affecté la croissance du poivron en termes de perte de rendement de la biomasse (racines et pousses), alors que l'ajout de BC a significativement amélioré la croissance des plantules **(Fig. 17).** De nombreuses études ont démontré que la présence de BC peut réduire les stress salins dans une large gamme de cultures, y compris le poivron, le riz et le blé (Nwugo and Huerta, 2008a ; Song et 2014 ; Rizwan et al., 2012 ; Farooq et al., 2013). Le suivi du la longueur des

pousses et des racines et la biomasse de ces parties reflètent la croissance et l'état de développement de toute espèce végétale. Dans la présente enquête, après 7 jours de traitements, les semis de poivron ont révélé des augmentations de biomasse et la longueur des pousses en réponse aux traitements de BC, par rapport au contrôle. Malgré tout elle est diminuée l'effet nocif du stress salin sur la croissance du poivron, L'excès de salinité du sol réduit la disponibilité de l'eau pour les plantes, entrave l'absorption de l'eau par les racines des plantes et peut être toxique pour la vie végétale, affectant ainsi la croissance des plantes (Naveed et al., 2020 ; Osman et al., 2021), réduit considérablement la croissance et le rendement en diminuant les niveaux de chlorophylle, la stabilité de la membrane et l'activité photosynthétique.

Ainsi, les paramètres de croissance des plantules de poivron ont été augmentés après l'application de BC suite au traitement au sel. En tant que source de carbone et de nutriments, la supplémentation en biochar améliore la fertilité du sol, l'absorption d'eau et de nutriments, améliorant ainsi la croissance des plantes (**Fig .17**), ce qui peut contribuer à l'augmentation de la croissance des plantes en présence de toxicité saline.

La photosynthèse est un mécanisme biochimique essentiel pour préserver la vie des plantes et réaliser différentes activités de synthèse de composés organiques (glucides) grâce à l'énergie lumineuse. La chlorophylle qui permet aux plantes d'obtenir l'énergie de la lumière est vitale pour la photosynthèse (Touzout et al., 2021). L'efficacité photosynthétique des plantes influence également les quantités de glucides et de protéines présentes dans leurs tissus, notamment en situation de stress (Simkin et al., 2019). Il est évident que ces données ont l'interférence du NaCl avec le taux de photosynthèse et les pigments chlorophylliens, ce qui entravait le développement des plantes et diminuait la biomasse. La croissance réduite en cas de stress salin peut être causée par la sénescence et une activité photosynthétique réduite, et la diminution de la teneur en chlorophylle peut alors être une conséquence supplémentaire (GROUZ et al,1976, Belkhodja et Bidai, 2004). Dans notre étude, les niveaux de chlorophylle ont diminué sous le stress salin. L'effet de la salinité sur l'activité photosynthétique des plantes a été largement analysé (El-keblawy et Al-Rawai,2005). De même, (Bouchemal et al.,2023) ont révélé que la salinité réduisait les échanges gazeux, la conduction stomatique, la chaîne de transport d'électrons et donc la synthèse de la chlorophylle dans les plantes. Cette réduction peut s'expliquer par la dégradation de la structure chlorophylle due à la génération de ROS et à la substitution des éléments essentiels par Cl^- et Na^+. Cependant, l'ajout de biochar a amélioré l'activité photosynthétique des plantules de poivron, ce qui peut être dû à une diminution de la teneur en Na^+ suivie d'une augmentation de l'ultrastructure des chloroplastes (Chan et

al,2007 ; Dugan et al, 2010 ; Karhu et al, 2011) ont également démontré l'effet positif de la supplémentation en biochar sur la réduction de l'accumulation de sodium dans les plantes stressées par le sel de blé. La teneur accrue en chlorophylle dans les feuilles de poivron à une salinité plus élevée, combinée au biochar, peut être le résultat d'une absorption accrue de CO_2, comme l'ont montré **(Fig .18)** (Zhang et coll,2014).

L'effet délétère observé à l'échelle de la plante entière était la mort de la plante. En fait, la salinité a affecté des processus importants chez les plantes tels que la germination, le déséquilibre des nutriments, la productivité et a provoqué un stress oxydatif (Dong et al., 2020). En fait, les concentrations croissantes de sel ont entraîné une surproduction de contenu en H_2O_2 et en MDA (Touzout, 2023). Pour cela, une gamme de biomarqueurs a été définie ces dernières années afin d'évaluer les réponses des plantes au stress abiotique (Touzout et al., 2021). En fait, de nombreuses enzymes antioxydantes endogènes, telles que la catalase (CAT) et la glutathion-S-transférase (GST), excluront l'excès de ROS et supprimeront leurs effets destructeurs (Magali,2013). Dans notre cas, nos résultats ont montré que le stress salin augmenterait les teneurs en MDA par rapport aux traitements témoins. Cela peut être dû aux effets destructifs d'une salinité sur la physiologie des plantes (Greenway & Munas ,1980 ;Levigneron et al., 1995.). D'autre part, nous avons constaté que le traitement combiné de doses plus élevées de biochar et de salinité diminuait la teneur en MDA des feuilles de poivron par rapport au traitement sans biochar. Dans une étude précédente, il a été démontré que l'ajout de biochar atténuait le stress salin dans les plantes de blé en réduisant l'absorption du sodium par le blé et sa biodisponibilité des ions du sol (Chen et al,2016), ce qui réduisait ensuite leur accumulation dans les plantes. En fait, l'application de biochar a une grande capacité à adsorber le Na + dans le sol, puis à diminuer son absorption par les plantes. Dans les plantules de poivron, le stress salin a accru la surproduction de MDA. Conformément à notre étude, de nombreux chercheurs ont découvert que le stress lié à la salinité induisait la production de MDA chez (Zea mays L) et *Triticum aestivum* L. par rapport aux plantules témoins. Dans ce contexte, la peroxydation lipidique pourrait altérer l'activité mitotique, perturber la membrane cellulaire, puis provoquer une inhibition de la croissance des plantes. Cependant, l'ajout de biochar réduit la teneur en MDA par rapport aux plantules sans biochar. Plusieurs études ont montré que le biochar entraîne une diminution des teneurs en H_2O_2 et en MDA et donc une meilleure stabilité de la membrane**.**

Les plantes disposent d'un système vital de réduction des ROS qui les protège des réactions d'oxydation nocives. Dans le cadre de ce système, les enzymes antioxydantes jouent un rôle important dans les mécanismes de défense contre les sels. Sous salinité, l'activité CAT

était réduite par rapport aux plantules témoins. Comme le montrent., le stress salin entraîne une surproduction de ROS suivie d'une diminution des enzymes antioxydantes, ce qui peut créer un déséquilibre entre la production et la dégradation des ROS (Doudech et al., 2008). Cette diminution de CAT pourrait également s'expliquer par l'effet négatif du sel sur la synthèse de l'enzyme ou l'activation d'autres enzymes (Burcu et al., 2010 ; Sairam, 2002 ; Ashraf et al., 2012). De même, ont montré une activité accrue de CAT dans les plantes de quinoa soumises à un stress salin, suggérant leur rôle dans la détoxification du H_2O_2 en O_2 et H_2O. En fait, le biochar réduit le stress oxydatif en altérant la production de ROS et en stimulant les enzymes antioxydantes dans les feuilles (Doudech et al., 2008 ; Ashraf et al., 2012)**.** Ces résultats suggèrent que l'application de biochar peut développer une homéostasie rédox cellulaire en stimulant la capacité des antioxydants à éliminer les ROS générées par le sel, améliorant ainsi la tolérance des plantes au sel. Cette réduction du stress oxydatif peut être due à une accumulation plus faible de Na^+ dans les plantes que chez les témoins ont également montré que l'ajout de biochar peut réduire la toxicité du sel chez les plantes en modifiant leurs réponses au stress ou en réduisant leur exposition aux éléments toxiques Mishra et Gupta, (200-) et Barabas et al., (2000).

Pour évaluer l'effet du stress salin sur l'état oxydatif des plantules de poivron, l'activité GST a été analysée en plus de la teneur en CAT et MDA. Le stress salin a augmenté de manière significative l'activité de la GST par rapport au témoin. Les mêmes résultats ont également été observés pour (*Zea mays* L et *Oryza sativa* L) sous stress salin. Les enzymes GST aident les cellules végétales à répondre efficacement à la toxicité du NaCl associée à la production de MDA. L'application du biochar améliore la tolérance des plantes au stress salin et réduit les effets négatifs du sel sur les plantes en augmentant les enzymes antioxydantes. En fait, la supplémentation en biochar joue un rôle important dans la modulation des activités enzymatiques et des processus métaboliques, améliorant ainsi la tolérance des plantes au stress salin (Murage et al,2007). D'après Lehmann et al , (2004 ,2006**)** La supplémentation en biochar peut atténuer les effets néfastes du stress salin en modulant l'activité des enzymes GST dans les plantes .

Une stratégie adaptative bien connue des plantes pour faire face au stress salin consiste à ajuster la pression osmotique via des osmolytes comme la proline **(**Munns et Tester, 2008). La proline est un soluté bénéfique dans des circonstances de stress et de non-stress (Ashrafi et al., 2022). La proline aide à maintenir l'équilibre hydrique, à stabiliser les protéines et la structure membranaire, à éliminer les radicaux hydroxyles et à réguler le pH cellulaire (Sarker

et Oba, 2020). Bien qu'il existe une forte relation entre la tolérance au stress et l'accumulation de proline chez les plantes supérieures, son accumulation dans certaines plantes s'est avérée être un symptôme d'un dysfonctionnement induit par le stress plutôt qu'une réponse de tolérance (Ashraf et Foulad, 2007). Dans cette étude, le NaCl a provoqué une augmentation de la proline. Notre résultat concorde avec plusieurs autres qui ont signalé une augmentation de la teneur en proline dans des conditions de stress salin chez des espèces telles que le riz (Gerona et al., 2019), les lentilles et les pois chiches (Ardebili et al., 2014). L'accumulation de proline peut être bénéfique car elle joue un rôle protecteur contre les dommages oxydatifs induits par le NaCl chez plusieurs espèces végétales (Biancucci et al., 2015). Plusieurs études ont rapporté que dans des conditions de stress salin, une augmentation de l'accumulation de composés osmotiques, dont la proline, peut prévenir les déséquilibres métaboliques et faciliter l'absorption continue de l'eau et des nutriments pour la plante (Nohong et Nompo, 2015). Il est rapporté que le biochar est un matériau efficace pour atténuer les circonstances stressantes telles que la sécheresse et la salinité en raison de son influence sur l'augmentation de la capacité de rétention d'eau du sol, l'amélioration des propriétés microbiennes du sol et la fourniture de certains éléments essentiels à la croissance des plantes dans des conditions induites par le stress. (Shamsaddin Saeid et Ramroudi,2022).

Les polyphénols totaux et les flavonoïdes expriment les propriétés antioxydants par : Le piégeage directes espèces réactives de l'oxygène (ERO), La suppression de la formation des ERO par l'inhibition de quelques enzymes ou par chélation des ions métalliques, impliqués dans leur production, La protection des systèmes de défense antioxydants de l'organisme (Boudiaf, 2006). En effet, les polyphénols possèdent des groupes hydroxy phénoliques dans leurs structures et les propriétés antioxydants sont attribuées en partie, à la capacité de ces composes naturels à piéger les radicaux libres (Bartosz, 2003). La propriété des flavonoïdes la mieux décrite est leur activité antioxydant et leur capacité à piéger les radicaux libres. Dans cette étude, les tissus de semis de poivron traités avec du NaCl et/ou du BC ont présenté une amélioration notable en termes de polyphénols totaux et de flavonoïdes **(Fig.21).** Des travaux ont montré que les niveaux des flavonoïdes augmentaient dans les cas de stress biotique et abiotique, tels que le stress salin (Winkel-Shirley, 2002).

Conclusion :

Conclusion

Nos résultats suggèrent que le stress salin affecte négativement les processus biochimiques directement associés à l'état physiologique des plantules de poivron, tels que la teneur en chlorophylle. Cependant, nos résultats indiquent que la supplémentation de biochar pourrait être utilisés efficacement pour favoriser le développement du poivron dans des conditions de salinité tout en réduisant le stress oxydatif. Cela pourrait s'expliquer par une diminution de la concentration en sodium dans les plantules, possiblement due à une diminution de sa biodisponibilité dans le sol. Par conséquent, un ajout prudent de biochar doit être effectué dans les sols salins afin de minimiser la toxicité du sel et de maintenir les processus de croissance des plantes. Dans l'ensemble, l'impact du biochar sur la séquestration du sodium et la manière dont il peut être géré pour atténuer le stress salin doivent être évalués plus en détail, car le biochar réduit la biodisponibilité de sodium et atténue ensuite leur absorption par les plantes.

Référence

Listes des réfférences:

A.W. Daba, A.S. Qureshi Review of soil salinity and sodicity challenges to crop production in the lowland irrigated areas of Ethiopia and its management strategies Land, 10 (2021), p. 1377, 10.3390/land10121377

Akhtar, S.S.; Li, G.T.; Andersen, M.N.; Liu, F.L. Biochar enhances yield and quality of tomato under reduced irrigation. Agric. Water Manag. 2014, 138, 37–44. [Google Scholar] [CrossRef]

Antoine.C et Richard.E,2009 ; Le biochar est-il vert ? -SCFD. [08/2009]. http://www.csf-desertification.org/combattre-la-desertification/item/le-

Apse, M. P., Sottosanto, J. B., Blumwald, E.,2003 . Vacuolar cation/H+ exchange, ion homeostasis, and leaf development are altered in a T-DNA insertional mutant of AtNHX1, the Arabidopsis vacuolar Na+/H+ antiporter. The plant journal, 36(2), 229-239.

Arpita Basu, and Timothy J. Lyons., 2012. « Strawberries, Blueberries, and Cranberries in the Metabolic Syndrome: Clinical Perspectives ». Copyright © 2011 American Chemical Society, 13 juin 2012, 60.

Ashraf M A., Ashraf M., Shahbaza M., 2012. Growth stage-based modulation in antioxidant defense system and proline accumulation in two hexaploïdes wheat (Triticum aestivum L.) cultivars differing in salinity tolerance. Flora., 207. 388– 397.

Asloum, H., 1990. Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, Lycopersicum esculentum L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de Doctorat, développement et amélioration des végétaux, Univ. Nice Sophia- Antipolis, pp : 24-32 .

Badji, A.2011 ; EFFETS DU BIOCHAR SUR LES ACTIVITES MICROBIOLOGIQUES DU SOL SOUS FORTS INTRANTS AZOTES (MARAICHAGE). Dakar, Sénégal . UNIVERSITE CHEIKH ANTA DIOP DE DAKAR, 48p.Mém MASTER II EN BIOTECHNOLOGIE VEGETALE ET MICROBIENNE.

Badraoui H et Meziani S., 2019. Effet de la contrainte saline sur la germination et la croissance de quelques variétés de blé dur (TriticumdurumDesf.).Mémoire de fin d'études p 19-38.

Barabas N K., Omarov R T., Erdi L., Lips SH., 2000. Distribution of the Mo-enzymes aldehyde oxidase, xanthine dehydrogenase and nitrate reductase in maize (Zea mays L.) nodal roots as affected by nitrogen and salinity. Plant Sci, 155, 49-58.

Bates L.S., Waldren R.P. & Teare I.D. 1973. Rapid determination of free proline for water-stress studies. Plant and Soil, 39, 205- 207.

BENKADDOUR MOUNIA., 2014 . Modifications physiologiques chez des plantes de blé (Triticum durum Desf) exposées à un stress salin. Thèse en vue de l'obtention d'un diplôme de doctorat 3eme cycle P 04 -18

Benraouane,F ., Djeroum,S ., Leir , F .,2020 . Effet du stress salin sur le comportement de quelques variétés de blé dur cultivée dans la région de M'sila . Mémoire de fin d'étude en production végétale .

Benraouane,F ., Djeroum,S ., Leir , F .,2020 . Effet du stress salin sur le comportement de quelques variétés de blé dur cultivée dans la région de M'sila . Mémoire de fin d'étude en production végétale .

Berkal.I, 2006. Contribution à la connaissance des sols du Sahara d'Algérie. INSTITUT NATIONAL AGRONOMIQUE (I. N. A ELHRRACH ALGERI), 112p. Mém magister en agronomique.

Biancucci, M, Mattioli, R, Forlani, G, Funck, D, Costantino, P, Trovato, M., 2015. Role of proline and GABA in sexual reproduction of angiosperms. Front. Plant Sci. 6, 680.

biochar-est-il-vert.

Bouaouina, S., Zid, E. & Hajji, M., 2000. Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence

chlorophyllienne chez le blé dur (Triticum turgidum L.). In : Royo C., Nachit MM, Di Fonzo N. & Araus JL, éds. L'amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne : nouveaux défis. Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, 239-243.

Bouchemal, K., Bouldjadj, R., Belbekri, M. N., Ykhlef, N., & Djekoun, A.(2023). Pigments photosynthétiques , enzymes antioxydantes et potentiel osmotique foliaire de dix génotypes de blé dur (Triticum durum) : effet du stress hydrique Photosynthetic pigments , antioxydant enzymes and leaf osmotic potential of ten durum wheat .

Bourgeois.M, Coquillart.E, Cournarie.M, Fassino.C ; 2017. Supagro.

Boyer, J. S.,1982 . Plant productivity and environment. Science, 218(4571), 443- 448pp.

Bruand.A, Hartmann.C, Lesturgez.G; 2006, Physical properties of tropical sandy soils: A large range of behaviours. HAL Id: hal-00079666 https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/hal-00079666.

Burcu S., Turkan I., Askim H S., Ceyda O., 2010. The role of antioxidant defense systems at differential salt tolerance of Hordeum marinum Huds. (Sea barleygrass) and Hordeum vulgare L. (cultivated barley). Environmental and Experimental Botany, 69, 76–85.

Carrifr.A ;2003.QUE SE PASSE-T-IL DANS LE SOL ? . 02/04/2003. https://www.agrireseau.net/.../QUE%20SE%20PASSEIL%20DANS%20S

Chaffai,G.,2017 . Étude de l'effet d'atténuation de stress salin par application de silicium sur un modèle biologique alternatif le blé . Mémoire de fin d'étude en analyse toxicologique et biochimique

Challali, S. 2015 : le comportement morpho-physiologique de deux variétés du poivron (Capsicum annuu L) dans les conditions pédoclimatiques sahariennes de la région de Ouargla (au niveau de la stationexpérimentale de l'ITDAS de Hassi BenAbdallah) .p13,14.

Chan K Y, Van Zwieten L, Meszaros I, Downie A and Joseph S, 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. Australian journal of soil research 45, 629-634.

Chan K.Y. & Xu Z., 2009. Biochar: nutrient properties and their enhancement. *In*: Lehmann J. & Joseph S., eds. *Biochar for environmental management - Science and technology*. London: Earthscan, 67-84.

Chen S, Chen M, Wang Z, Qiu W, Wang J, Shen Y, et al.,2016. Toxicological effects of chlorpyrifos on growth, enzyme activity and chlorophyll a synthesis of freshwater microalgae. Environmental Toxicology and Pharmacology. 2016; 45: 179–186

Chen, S., Li, J., Wang, S., Hüttermann, A., & Altman, A.,2001 . Salt, nutrient uptake and transport, and ABA of Populus euphratica; a hybrid in response to increasing soil NaCl. Trees, 15(3), 186-194

Criscuoli.I .2016. Stabilité du charbon végétal (biochar) dans le sol et impact sur la productivité et les cycles des nutriments des prairies alpines ; Paris, France ; Université Pierre et Marie Curie, p 96 ; Thèse de doctorat Sciences du sol et de l'environnement.

Devd.E.2015. Biocharbon et technologies performantes de carbonisation et de torréfaction. [22/05/2015]. http://biocharbon.blogspot.com/.

Djennane. A, 1990 ; Constat de situation dans des zones Sud des oasis algériennes. In : Dollé V. (ed.), Toutain G. (ed.). Les systèmes agricoles oasiens. Montpellier : CIHEAM, 1990. p. 29-40 (Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens ; n. 11).

Don. H, 2009. Biochar - A Multitude of Benefits. [12/2009]. https://www.agmrc.org/renewable-

energy/biofuelsbiorefining-

Dong X, Sun S, Jia R, Xu L, Hou W, Lu N, et al.,2020. Effects of Sulfamethoxazole Exposure on the Growth, Antioxidant System of Chlorella vulgaris and Microcystis aeruginosa. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology. 2020; 105: 358–365

Doudech N., Mhamdi M., Bettaieb T., Denden M., 2008. Tolérance à la salinité d'une graminée à gazon. TROPICULTURA, 26, 3, 182-185.

Dugan E, Verhoef A, Robinson S and Sohi S, 2010. Bio-char from sawdust, maize stover and charcoal: Impact on water holding capacities (WHC) of three soils from Ghana. In Proceedings of the 19th World congress of soil science ―Soil solutions for a changing world‖, August 1-6, Brisbane, Queensland, Australia.

Egk Newsletter, Juin 2016. Connaissance Des Herbes Poivron, Pag3

El Haffid, R., Smith, D.H., Karrou, M. & Samir, K.,1998. Physiologocal attributes associated with early-season drought resistance in spring durum wheat cultivars. Canadian Journal of Plant Science, 78: 227-237.

F.A.O. 2008. Global network on integrated soil management for sustainable use of salt affected soils. Rome, Italy: FAO Land and plant nutrition management service.

FAO, 2005. L'irrigation en Afrique en chiffres – Enquête AQUASTAT 2005 http://www.fao.org/fileadmin/user_upload/aquastat/pdf_files/DZA_algeria general/biochar-a-multitude-of-benefits/.germination des graines chez trois espèces annuelles du genre Salicornia. Œcof. Plant., 11: 41 52.

Gerona, M.E.B., Deocampo, M.P., Egdane, J.A., Ismail, A.M., Dionisio-Sese, M.L., 2019. Physiological responses of contrasting rice genotypes to salt stress at reproductive stage. Rice Sci. 26 (4), 207–219. https://doi.org/10.1016/j.rsci.2019.05.001.

Gill SS, Tuteja N (2010) Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiol Biochem 48:909–930. https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016

Gill, S. S. and Tuteja N., 2010. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. Plant Physiology and Biochemistry 48(12): 909- 930.

Girija, C., Smith, B. N., & Swamy, P. M.,2002 . Interactive effects of sodium chloride and calcium chloride on the accumulation of proline and glycinebetaine in peanut (Arachis hypogaea L.). Environmental and Experimental Botany, 47(1), 1-10.

Gomez-Cadenas, A., Arbona, V., Jacas, J., Primo-Millo, E., & Talon, M.,2002. Abscisic acid reduces leaf abscission and increases salt tolerance in citrus plants. Journal of Plant Growth Regulation, 21(3), 234-240.

Greenway H. and Munns R., 1980. Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. Annual Review of Plant Physiology 3: 149-190.

GREENWAY., H. et MUNNS, R., 1980 - Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. Annual Review of Plant Physiology 3: 149-190.

Griffon M., 2006 « *Nourrir la planète* », Odile Jacob.

Grondin, A., Rodrigues, O., Verdoucq, L., Merlot, S., Leonhardt, N., & Maurel, C.,2015. Aquaporins contribute to ABA-triggered stomatal closure through OST1- mediated phosphorylation. The Plant Cell, 27(7), 1945-1954.

Référence

GROUZIS M., BERGER A. et HEIM G., 1976 - Polymorphisme et

Guillaume. P ,2013 ; ÉTUDE DE PRODUCTION ET DE CARACTÉRISATION DE BIOCHARBONS DE PANIC ÉRIGÉ (Panicum virgatum L.) OBTENUS PAR PYROLYSE ; Sherbrooke (Québec) Canada : UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, 180p. Thèse de doctorat.

Halitim.A,2011 ; L'aridoculture et le développement durable, Algerian journal of arid environment ISSN-2170-1318 ; vol. 1, n° 1, Janvier 2011 : 3-9.

Hamom S.,2007 .L'amélioration de la résistance a la sécheresse peut-elle être basé sur les méthodes de sélection traditionnelle et / ou sur les méthodes biotechnologiques moderne ? Possibilité et limites respectives. Centre IRD de Montpellier.1-6 pp.

Hanana, M., Hamrouni, L., Cagnac, O., & Blumwald, E.,2011. Mecanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plants. Environnemental Reviews.19 :121-140

Haouala, F., Ferjani, H. & El Hadj, S.B.,2007. Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na+ , K+ et Ca2+) et du chlore (Cl-) dans les parties aériennes et les racines du raygrass anglais et du chiendent. Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement, 11(3): 235-244.

Héla. S,2016 ; Effet de l'ajout de biochar sur la symbiose tripartite Ensifer meliloti-Rhizophagus irregularis-luzerne (Medicago sativa L.), sur la production d'inocula bactériens et envers la lutte aux agents pathogènes ; Québec, Canada : UNIVERSITE DE LAVAL, p89. Mém.Maîtrise en Microbiologie agroalimentaire.

Hernandez, J.A., Ferrer, M.A., Jimènez, A., Barcelo, A.R. & Sevilla, F., 2001. Antioxidant systems and O2- /H2O2 production in the apoplast of pea leaves. It's relation with salt-induced necrotic lesions in minor veins. Plant Physiology, 127: 817-831.

Hopkins W G., 2003 : Physiologie végétale. 2éme édition. De Boeck, Bruscelles : 61-476. http://www.supagro.fr/ress-pepites/sol/co/2_1_TextureSol.html.
hVCJMAKHcRHDS8Q6AEIJTAA#v=onepage&q=biochar%20systems%

Inconnu,2012. Porosité équivalente de drainage, chapitre 08. www.grr.ulaval.ca/gae_3001/Documents/Notes_2012/CH_08_Porosite.pdf.

Ismail A.M.A, (1990). Germination ecophysiology in population of ZygophyllumqatarensesHadidi from contrasting habitats. J. Arid.Environ,18: 185-194.

Kaboul. A,2016 ; Etude des croûtes biologiques des sols des zones arides (cas De la région d'Ouargla et la région de El-Oued). Ouargla, Algérie: UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA, 67p.Mém MASTER ACADEMIQUE d'état en Sciences de l'environnement.

Karhu K, Mattila T, Bergström I and Regina K, 2011. Biochar addition to agricultural soil increased CH4 uptake and water holding capacity-Results from a short-term pilot field study. Agriculture, ecosystems and environment, 140, 309-313.

Koull.N,2007 ; Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région de Ouargla. Ouargla ; Algérie, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA. mém MAGISTER .[13/01/2007] https://www.memoireonline.com/03/11/4331/m_Effet-de-la- matiere-organique-sur-les-proprietes-physiques-et-chimiques-des-sols-

Kroniewicz, L.,2011 . Caracterisation physiologique et fonctionnelle du transporteur anionique ATCLC-C chez Arabidopsis Thaliana (Doctoral dissertation, AixMarseille 2).

Lehmann J, J. Gaunt et M. Rondon. (2006). « Biochar sequestration in terrestrial ecosystems – a review »,

Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, 11: 403-427.

Lehmann J, Rillig M C, Thies J, Masiello C A, Hockaday W C and Crowley D, 2011. Biochar effects on soil biota-A review. Soil biology and biochemistry, 43, 1812-1836.

Lehmann, J et Joseph, S, 2015. Biochar for Environmental Management : Science, Technology and Implementation. Routledge, 20 févr. 2015 - 944 pages. https://books.google.dz/books?id=gWDABgAAQBAJ&pg=PA795&dq=bi

Lehmann, J. 2007. Bio-Energy in the Black. Frontiers in Ecology and the Environment, 5, 381-387.

Lehmann, J. 2007. International Biochar Initiative. http://www.biochar- international.org/technology

Lehmann, J., Gaunt, J., Rondon, M., 2006. Bio-char sequestration in terrestrial ecosystems—a review. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change 11 (2), 403–427.

LEVIGNERON A., LOPEZ F., VANSUYT G., BERTHOMIEU P, FOURCROY P. Etfrancine C. D., 1995 - Les plantes face au stress salin. Cahiers agricultures, 4 :263-73.

Levigneron, A., Lopez, F., Varisuyt, G., Berthomien, P. & Casse-Delbar, T., 1995. Les plantes face au stress salin. Cahier d'agriculture, (4) : 263-273.

Levitt, J., 1980. Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and other stresses. Academic Press, New York, 2: 365- 406

Liu, Y. and Zhang. S., 2004. Phosphorylation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase by MPK6, a stress-responsive mitogen-activated protein kinase, induces ethylene biosynthesis in Arabidopsis. The Plant Cell Online 16(12) : 3386-3399.

Liu, Y. and Zhang. S., 2004. Phosphorylation of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid synthase by MPK6, a stress-responsive mitogen-activated protein kinase, induces ethylene biosynthesis in Arabidopsis. The Plant Cell Online 16(12): 3386-3399.

M. Asema., 2016 . Elimination des micropolluants par des adsorbants naturels, Thèse de Master, Université de Mostaganem.

M. Ashraf, R. Munns.,2022 . « Evolution of Approaches to Increase the Salt Tolerance of Crops ». 27 Apr 2022 41 (s. d.): 128‑60.

Magali MONGENS.(2013) .ORIGINE ET CONSÉQUENCES DU STRESS OXYDANT . THÈSE de DOCTORAT de l' ÉCOLE NATIONALE VÉTÉRINAIRE D'ALFORT

Mahjoubi, H.,2018. Nouvelle stratégie d'amélioration de la productivité végétale en condition de stress environnemental via un meilleur contrôle du cycle cellulaire (Doctoral dissertation). Thèse doctorat.

Maillard J., 2001. Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34 p.

Marklund S, Marklund G, (1974). Involvement of the superoxide anion radical in the autoxidation of pyrogallol and a convenient assay for superoxide dismutase. Eur. J. Biochem. 47, 469–474.

Mermoud. A, 2006 ; Cours de physique du sol, Propriétés de base du sol et de la phase liquide, école polytechnique. FEDERALE DE LAUSANNE.

Meyer S., Reeb C., Bosdevix R.,2008 . Adaptation des végétaux à leur environnement .in botanique : biologie et physiologie végétale .Ed .Maloine .France . 355-366 pp.

Mishra N., Gupta A K., 2006. Effect of salinity and different nitrogen sources on the activity of antioxidant

enzymes and indole alkaloid content in Catharanthus roseus seedlings. Journal of plant physiology, 163, 11-18.

Moctar.M ;2012 ; SCRIBD [2012] https://ar.scribd.com/document/313228039/PEDO4-2012

Munns, R, Tester, M, 2008. Mechanism of salinity tolerance.Annu. Rev. Plant Biol.,59,, 651–681.

Murage, E.W., P. Voroney et R.P. Beyaert. (2007). « Turnover of carbon in the free light fraction with and without charcoal as determined using the 13C natural abundance method », Geoderma 138: 133-143. DOI : 10.1016/j.geoderma.2006.11.002.

Muriel.F ;2007 ; Gestion des matières organiques dans les sols cultivés en Région wallonne : avantages agronomiques, avantages environnementaux et séquestration du carbone. Université Libre de Bruxelles IGEAT , 93p.Mém Master en Sciences et Gestion de l'Environnement.

Mustin.M,2013. Le biochar : Rôle agronomique et environnemental ; XXIème Rencontres Professionnelles RITTMO Biomasses énergie : Biochar, [09/12/2013].

Nakano, Y. et Asada, K., 1981. Hydrogen peroxide is scavenged by ascorbate-specific peroxidase in Spinach chloroplasts. Planf Cell Physiol., 22,867-880.

Noble, C. L., & Rogers, M. E. ,1992 . Arguments for the use of physiological criteria for improving the salt tolerance in crops. Plant and soil, 146(1-2), 99-107.ochar+systems+components&hl=fr&sa=X&ved=0ahUKEwjh7uTby5HbA

Nohong, B., Nompo, S., 2015. Effect of water stress on growth, yield, proline and soluble sugars contents of Signal grass and Napier grass species. American-Eurasian Journal of Sustainable Agriculture 9 (5), 14–21. OL%20(AC)

Parvin K, Hasanuzzaman M, Borhannuddin Bhuyan MHM et al (2019) Quercetin mediated salt tolerance in tomato through the enhancement of plant antioxidant defense and glyoxalase systems. Plants 8:1–21. https://doi.org/10.3390/plants8080247

Pro-Natura International.2010. Lutter contre les changements climatiques et augmenter la productivité agricole avec le charbon vert. [02/2010]. www.pronatura.org.

Pro-Natura International.2016. POUR UNE AGRICULTURE TRES PRODUCTIVE ET ECOLOGIQUE AVEC LE BIOCHAR. [02/2016].https://www.pronatura.org/wp-content/uploads/2016/.../FR32- Agriculture-biochar.pdf.

Räsänet, L- A.,2002. Biotic and abiotic factors infl uencing the development of N2-fi xing symbioses between rhizobia and the woody legumes Acacia and Prosopis . Academic dissertation in microbiology. Helsinki. Thesis. 80Pp

Richards, R.A., Rebtzke, G.J., Van Herwaardlen, A.F., Dugganb, B.L. & Condon, A.G., 1997. Improving yield in rainfed environments through physiological plant breeding. Dryland Agriculture 36, 254 - 266.

Ricroch A., Dattée Y.,Fellous M ., 2011 . Biotechnologies végétale : environnement, alimentation, santé . Ed du Vuibert .170-182 pp.

Rodriguez-Reinoso F., In: Marsh,H., Heintz E. A., Rodriguea-reinoso F. (editors)., 1997. Introduction to carbon technologies, Spain, Secretariado de publicaciones, (1997) 35-101.

Rondon M, Lehmann J, Ramírez J, Hurtado M.,2007. Biological nitrogen fixation by common beans (Phaseolus vulgaris L.) increases with bio-char additions. Biology and Fertility in Soils 43:699-708. (Http://www.css.cornell.edu/faculty/lehmann/publ/BiolFertSoils 43, 699- 708, 2007 Rondon.pdf).sableux-de-

la-r0.html.

Sairam, RK., Rao, KV., Srivastava, GC., 2002. Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. Plant Sci., 163, 1037–1046.

Santiago, L.S., Lau, T.S., Melcher, P.J., Steele, O.C. & Goldstein, G.,2000. Morphological and physiological responses of Hawaiian Hibiscus tiliaceus populations to light and salinity. International journal of plant sciences, 161(1): 99-106.

Sarker, U, Oba, S., 2020 Oct 16. The response of salinity stress-induced A. tricolor to growth, anatomy, physiology, non-enzymatic and enzymatic antioxidants. Front. Plant Sci. 11, 559876 https://doi.org/10.3389/fpls.2020.559876. PMID: 33178233; PMCID: PMC7596248.

Sarker, U., Oba, S., 2020. Leaf pigmentation, its profiles and radical scavenging activity in selected Amaranthus tricolor leafy vegetables. Sci. Rep. https://doi.org/10.1038/ s41598-020-66376-0

Sarker, U., Oba, S., 2020. The response of salinity stress-induced A. tricolor to growth, anatomy, physiology, non-enzymatic and enzymatic antioxidants. Front. Plant Sci. 11, 559886 https://doi.org/10.3389/fpls.2020.559876.

Sedlak, J. and Lindsay, R.H. (1968) Estimation of Total, Protein-Bound, and Nonprotein Sulfhydryl Groups in Tissue with Ellman's Reagent. Analytical Biochemistry, 25, 192-205. https://doi.org/10.1016/0003-2697(68)90092-4

Shao, H.B., Liang, Z.S., Shao, M.A., Sun, S.M. & Hu, Z.M., 2005. Investigation of dynamic changes of photosynthetic characteristics of 10 wheat (Triticum aestivum L.) genotypes during two vegetative-growth stages at water deficits. Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 43: 221-227

Slama, F.,1986 . Intervention des racines dans la sensibilité ou la tolérance à NaCl de plantes cultivées.

Szabolcs, I. 1994: Soils And Salinization. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook Of Plant And Crop Stress. Marcel Dekker, New York: 3-11.

Tal, M., 1984. Physiological genetics of salt resistance in higher plants: Studies on the level of the whole plant and isolated organs, tissues and celles. In: Salinity tolérance in plants: stratégies of crop improvement. Staples R. C Toenissen G. H. (Eds). Wiley, New york: 301-320

Touzout N (2023) Efficacy of Silicon in Mitigating the Combined Phytotoxic Effects of Salt and Insecticide in Solanum lycopersicum L. J Soil Sci Plant Nutr. https://doi.org/10.1007/s42729-023- 01381-6

Touzout, N., Mehallah, H., Moralent, R., Moulay, M., & Nemmiche, S. (2021). Phytotoxic evaluation of neonicotinoid imidacloprid and cadmium alone and in combination on tomato (Solanum lycopersicum L.). Ecotoxicology, 30(6), 1126–1137. https://doi.org/10.1007/s10646-021-02421-6

U Sarker, S. Oba The response of salinity stress-induced *A. tricolor* to growth, anatomy, physiology, non-enzymatic and enzymatic antioxidants

Vicky. L ,2017 ; Amendement en biochars : Effets sur l'activité et la structure des microorganismes et sur les rendements de la tomate et du poivron de serre ; Québec, Canada : UNIVERSITE DE LAVAL ,232p. Thèse de doctorat en microbiologie agroalimentaire.

Violeta Velikova , I Yordanov , A Edreva.,2000 « Oxidative stress and some antioxidant systems in acid rain-treated bean plants », février 2000.

WILLIAM, H. HABIG., MICHAEL J. PABST, GERALD FLEISCHNERt, ZENAIDA GATMAITANt,

Référence

IRWIN M. ARIASt, AND WILLIAM B. JAKOBY.,1974. « The Identity of Glutathione S-Transferase B with Ligandin, a Major Binding Protein of Liver (organic anion binding protein/Y protein) ». October 1974, 31 juillet 1974.October 1974

Wojciech.M, Ficed.U. How to Permanently Improve Your Sandy Soil - Permaculture Research ...26/08/2014. https://permaculturenews.org/.../permanently-improve-sandy-soil/.

Zhang, F., T. Oshiro and F. Takashima, 1992. Chromosome synapsis and recombination during meiotic division in gynogenetic triploid ginbuna, *Carassius auratus langsdorfii*. Jap. J. Ichthyol. 39(2):151-155.

Zhang, L., Sun, X., Tian, Y. et Gong, X. (2014). Biochar and humic acid amendments improve the quality of composted green waste as a growth medium for the ornamental plant Calathea insignis. Scientia Horticulturae, 176: 70–78.

Zhu, J.K.,2002. Salt and drought stress signal transduction in plants. Annual Review of Plant Biology, 53: 247-273.

Zhu, X.G., Wang, Q., Zhang, Q.D., Lu, C.M. & Kuang, T.Y., 2001. Effects of photoinhibition and its recovery on photosynthetic function of winter wheat under salt stress. Acta Botanica Sinica, 43: 1250-1254.