

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة 8 ماي 1945 قالمة
Université 8 Mai 1945 Guelma
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Sciences de la Terre et de l'Univers



Mémoire En Vue de l'Obtention du Diplôme de Master

Domaine : Sciences de la Nature et de la Vie

Filière : Sciences Agronomiques.

Spécialité/Option : Phytopharmacie et protection des végétaux.

Thème

**Etude du comportement physiologiques et
biochimiques de l'orge (*Hordeum vulgare* L.) sous
conditions de stress salin.**

Présenté par :

- ❖ Boulahia Amel
- ❖ Mouas Meryem

Devant le jury :

Président Aissaoui Riad	M.C.B	Université de Guelma
Examinatrice Alloui Nora	M.C.A	Université de Guelma
Encadreur Chahat Nora	M.C.B	Université de Guelma

2022/ 2023

REMERCIEMENTS

Avant tout, tous nos remerciements à Dieu Tout Puissant qui nous a donné la force et la patience et nous a aidé à mener à bien ce travail

*Nous tenons à remercier notre encadreuse **Mme Chahat Nora** pour ses conseils, son aide, ses*

Encouragements et sa disponibilité tout au long de la réalisation de ce travail.

***Mr. Aissaoui Riad** d'avoir accepté de présider ce modeste travail.*

*A **Mme Allioui Nora** d'avoir accepté de juger ce travail en qualité de*

Examiné de jury

*Nous remercions très sincèrement **Mr Zitouni Ali** pour l'aide et les conseils qu'ils nous a*

Apporté lors de l'étude statistique

Nous remercions aussi tous les ingénieurs des laboratoires

Ghania, louiza et mahdi.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

. À ma mère pour son amour et ses encouragements pendant toute ma vie.

. À mon Père pour avoir toujours cru en moi en pour ses nombreux Sacrifices.

. À mes adorables frères : Nassim, Rami

. A tous la famille : Boulahia

*. À mes chers amis, et je voudrais mentionner :
Hadil, Rayen, Nada*

. À mes collègues : Meryem Mouas

AMEL



Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

Ma très chère maman, de tendresse et d'amour et pour son soutien et encouragement durent toute ma vie

Mon père qui sacrifiés pour moi. Et a été toujours présents par son aide et ses encouragements, que dieu te préserve et te procure santé et langue vie.

A mon cher frère **AHMED** que dieu vous garde pour moi,

A mes chères sœurs **CHAIMA et SAMEH**, aux je souhaite une très bonne continuité et réussite dans leurs vies.

Ames adorable amies **KHADIJA et AÏCHA** qui m'a

Donné de l'espoir dans mes moments de désespoir

Amon cher binôme dans ce travail **Amel**

A ma chères cousine **MANEL**.

MERYEM



Sommaire

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des abréviations

Introduction générale 1

Chapitre 1 : Matériel et méthodes.

1. 1. Objectif de l'essai	10
1.2. Présentation du site de l'essai	10
1.3. Matériel végétal	10
1.3.1. Grains de l'orge	10
1.3.2. Origine et caractéristiques de la variété	11
1.3.3. Les solutions salines (NaCl)	11
1.4. Conduite de l'essai	11
1.4.1. Essai de germination.....	12
1.4.2. Essai de croissance	13
1.4.3. Caractéristiques de substrat.....	14
1.4.4. Caractères mesurés.....	15
1.4.4.1. Hauteur des plantes	15
1.4.4.2 Longueur de la racine principale	15
1.4.4.3 La surface foliaire (SF).....	15
1.4.4. 4 Détermination de la biomasse aérienne et souterraine	15
1.4.4. 5. Teneur en chlorophylle totale.....	15
1.4.4. 6. Teneur en sucres solubles.....	17

Chapitre 2 : Résultats et discussion

2.1. Essai de germination dans les boîtes de Pétri	20
2.1.1. Taux de germination des graines	20
2.1.2. Longueur de la racine	21
2.1.3. Longueur de la tige	22
2.2. Essai de croissance et de développement des plantules dans les pots	23
2.2.1. Hauteur des plantes	23
2.2.2. La longueur de la racine principale.	24
2.2.3. La surface foliaire.....	25

2.2.4. Le poids frais de la partie aérienne et souterraine.....	26
2.2.5. Le poids sec de la partie aérienne et souterraine.....	27
2.2.6. La teneur en chlorophylle totale.....	29
2.2.7. Dosage des sucres solubles.....	30
Conclusion	33
Résumés	36
Références bibliographiques	40
Annexes	47

Liste de tableau

Tableau 1 : Caractéristiques de la variété étudiée.....	11
Tableau 2 : Description du dispositif expérimental de l'essai de germination dans les boîtes de Pétri.	13
Figure 6 : Description du dispositif expérimentale de l'essai de croissance dans les pots et sous serre.....	14

Liste des figures

Figure 1 :représentele site de l'essai (serre d'université).....	10
Figure 2 : Les grains de la variété d'orge testée (<i>Hordeum vulgare</i> L.).....	11
Figure 3 : Représente les grains de la variété d'Orge testée (<i>Hordeum vulgare</i> . L).....	12
Figure 4 : Essai de croissance dans les pots et sous serre en plastique.....	14
Figure 5 : Etapes de dosage de la chlorophylle.....	16
Figure 6 : Etapes de dosage des sucres solubles.....	18
Figure 7 : Taux de germination (%) des grains d'orge soumis aux différentes concentrations de Na Cl (mM).....	21
Figure 8 : Longueur de la racine (cm) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).....	22
Figure 9 : Longueur de la tigelle (cm) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).....	23
Figure 10 : Hauteur des plantes (cm) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).....	24
Figure 11 : Longueur de la racine principale (cm) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).....	25
Figure 12 : La surface foliaire (cm ²) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).....	26
Figure 13 : Le poids frais de la partie aérienne (mg) de la variété d'orge testée soumise	27

aux différentes concentrations de Na Cl (mM).....	
Figure 14 : Le poids frais de la partie racinaire (mg) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).....	27
Figure 15 : Le poids sec de la partie aérienne (mg) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).....	28
Figure 16 : Le poids sec de la partie racinaire (mg) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).....	29
Figure 17 : La teneur en chlorophylle totale ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).....	30
Figure 18 : La teneur en sucres solubles ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).....	31

Liste des abréviations

Chla+b : Chlorophylle a+b

CO₃⁻ : Carbonate

D.O: Densité Optique

FAO : Food and Agriculture Organisation

Fig : Figure

ITGC : Institut Technique des Grandes cultures

K⁺ : Potassium

MF : Matière Fraiche

Mg : Magnésium

mg : milligramme

Na Cl : Chlorure de Sodium

Na⁺ : Sodium

SAU : surface agricole utile

SF : La surface foliaire

µg : micro gramme

% : Pourcentage

Introduction
Générale

Introduction Générale

Le rendement optimal des cultures est lié à l'étendue de l'exposition aux pressions environnementales biotiques et abiotiques, qui limitent la croissance des plantes et leur production agricole en deçà de leur potentialité optimale. Le stress abiotique est considéré comme la principale cause de la baisse des rendements des cultures. Ce stress affecte négativement les processus physiologiques des plantes et provoque des changements biochimiques et moléculaires ainsi que la génération d'espèces réactives d'oxygène (**Ansari, 2018 ; Ansari, 2022**). Parmi les types de stress abiotiques dont les plantes souffrent le froid, la sécheresse, et la salinité. Cette dernière étant considérée comme l'un des problèmes agricoles les plus graves affectant la croissance des plantes et leur productivité. Ce problème prend de plus en plus d'ampleur dans la plupart des pays en voie de développement, où les terres fertiles et les eaux de bonne qualité sont devenues nettement insuffisantes pour une population sans cesse croissante (**Ben ahmed et al., 2008**).

Le contrôle et la gestion des sols salés sont d'une importance de premier ordre dans la mesure où ce problème affecte directement la sécurité alimentaire des populations. La salinité touche déjà près de 20% des terres agricoles sous cultures, et il est en constante augmentation (**Flower et al., 1997**). Bien que tous les types de sols contiennent une certaine quantité de sels solubles nécessaires à la production végétale, les problèmes ne surviennent que lorsque les sels solubles s'accumulent dans le sol à des niveaux préjudiciables à la croissance des plantes (**Garg et Gupta, 2019**).

Les milieux naturels salins représentent une variété de paysages naturels variant entre une salinisation diffuse et une salinisation extrême. Les sols salins s'y développent en relation avec une biodiversité remarquable qui offre des ressources disponibles aux populations locales (**Valentin, 2018**). Le terme de salinisation définit un processus d'accumulation ou d'enrichissement en sels (du latin sal) qui s'exprime dans tous les environnements terrestres, aquatiques et atmosphériques, notamment dans le sol. De nombreux facteurs manifestent la genèse d'un sol salin : le régime hydrique du sol, la forme de sel, les conditions climatiques et la texture des sols (**Essington, 2004**).

La salinisation se produit naturellement en raison des changements climatiques et des processus naturels et chimiques qui concentrent les sels dissous (chlorure de sodium et sulfate de sodium) dans les zones côtières, les sédiments marins et les dépressions fermées (**Michael, 2017**). D'autre part, les anciens océans ou strates côtières qui se sont évaporés, ont laissé des dépôts de sels à la surface du sol (**Robert, 2011**). De même, L'évaporation de l'eau de mer résulte en la formation de saumures sédimentaires, qui peuvent conduire à la formation de

roches évaporitiques. Ces dernières, lorsqu'elles entrent en contact avec des eaux souterraines ou de surface peuvent se dissoudre, ce qui donne naissance à des saumures. De faibles proportions de ces saumures mélangées aux eaux souterraines suffisent pour induire une salinisation significative des nappes, interdisant certains usages (**Kloppmann et al., 2011**). L'eau de mer est, bien entendu, une source principale de sel en milieu côtier. La salinisation peut alors être un phénomène permanent lié aux marées (salinisation marine) (**Boualla et al., 2012**).

La salinisation peut se développer également à cause de l'irrigation inefficace utilisant des eaux souterraines salines ; l'utilisation croissante des eaux saumâtres souterraines pour l'irrigation, combinées à une forte évaporation dans les régions arides, conduisent inévitablement à la salinisation des sols et des nappes d'eau (**Radhouane, 2008**). De même, les changements récents dans les pratiques agricoles ont entraîné une augmentation de la salinité tels que l'agriculture intensive, qui implique des rotations des cultures plus fréquentes et augmente la quantité d'eau circulant dans le sol, ce qui augmente le niveau de la salinité. Les sels de lessivage des fermes agricoles s'accumulent à de très faibles profondeurs et se sont amenés à la surface du sol par une forte évaporation (**Metternich et Zinck, 2008**). D'autre part, les niveaux de sels dans le sol et les eaux souterraines ont également augmenté en raison de l'utilisation croissante de l'irrigation par inondation, qui consiste à déverser de grands volumes d'eau sur les champs qui s'accumulent ensuite dans la nappe, puis s'infilte progressivement dans le sol (**Fred, 2009**).

Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , et aux anions Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , NO_3^- . Egalement le bore, le sélénium, l'arsenic et le molybdène (les éléments traces) sont considérés comme d'autres sels moins courants et plus toxiques à faibles concentrations (**Essington, 2004**).

La gestion des sols salins demande avant tout l'élimination des sels en excès dans le sol, notamment les sels sodiques. Dans le meilleur des cas, il s'agit de mobiliser les sels solubles dans le sol (processus de lixiviation) et de drainer l'eau salée du sol en profondeur ou latéralement dans un réseau de drainage interne au sol. Par ailleurs, le drainage de la nappe souterraine salée permet la suppression totale ou partielle de la source initiale de sels. Si le drainage naturel est insuffisant, un système de drainage artificiel doit être installé (**Montoroi, 2018**). Dans le cas du drainage naturel, l'excès d'eau s'évacue des champs jusqu'aux lacs, fleuves et rivières. Dans le système artificiel, l'excès d'eau souterraine ou de surface est

éliminé par des canalisations souterraines ou de surface [1] . Cette technique est la plus utilisée en cas d'améliorer les qualités d'un sol salin (**Montoroi, 2018**).

D'autres méthodes naturelles ont été utilisées pour le dessalement des sols salin ; la bioremédiation à l'avantage de redonner à la terre sa capacité productive naturelle de façon permanente. Généralement, sous conditions salines, de nombreuses plantes ne peuvent pas pousser ou leur croissance est considérablement retardée. Cependant, certaines poussent bien sur un sol salin dites les halophytes ; elles peuvent se développer dans des conditions très salines, dans des marais salins ou sous irrigation avec de l'eau saumâtre ou même de l'eau de mer (**Zaman et al., 2018**).

Certaines études ont démontré que les plantes ont la capacité d'éliminer progressivement les sels du sol de manière bénéfique (**Danik et Martirosyan, 2005**). Ces espèces ont été identifiées comme hyper accumulatrices, principalement des halophytes très prometteuses pour le dessalement des sols salins. Cette capacité de dessalement a été estimée par des mesures effectuées en sols salins, et des expérimentations consistant à cultiver des halophytes sur ces sols. La comparaison de la salure des sols en début et à la fin de l'expérimentation montre l'aptitude des halophytes à extraire une quantité appréciable de sel (**Abdelly, 2006**). Cette technique a permis de réduire significativement la salinité des sols à un niveau tolérable pour le développement des cultures (**Ashraf et al., 2012**). Cependant, peu d'attention a été accordée à la classification des plantes en fonction de leur capacité à éliminer le sel du sol (**Danik et Martirosyan, 2005**).

Une autre approche de dessalement fondée sur l'utilisation de compost, de biochar et la paille de culture ; ces composés augmentent le statut nutritif chez les plantes cultivées et réduisent la salinité en diminuant l'accumulation de chlorure et de sodium et en augmentant la concentration en potassium. L'engrais a également augmenté les performances des plantes, le rendement en grains et l'indice de surface foliaire (**Akbar, 2021**). La silicone augmente la résistance des plantes au sel et au stress hydrique en soutenant la photosynthèse et en régulant la capacité d'ajustement osmotique. De même, il réduit la transpiration, augmente la capacité antioxydant et élimine les ions toxiques (**Chen et al., 2018**). Les amendements chimiques sont souvent utilisés dont le gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ; afin de minimiser la salinité et d'améliorer la structure du sol. Le rôle du gypse est d'augmenter la concentration du sol en calcium et de remplacer le sodium échangeable par le calcium (**Qadir et al., 2007**).

Introduction Générale

Les sols salins contiennent une grande variété de sels, mais ils contiennent des concentrations particulièrement élevées de chlorure de sodium, et c'est ce composé qui affecte principalement les plantes (**Willy, 2015**). La présence de sels solubles dans le milieu de culture affecte gravement la croissance des plantes en diminuant la disponibilité de l'eau pour les plantes et en réduisant l'énergie libre de l'eau. En général, les sels peuvent avoir des effets néfastes sur la croissance des plantes en raison de la toxicité d'un ou de plusieurs ions spécifiques présents en concentrations relativement élevées (**Alam, 1999**).

L'effet le plus courant de la salinité sur les plantes est le ralentissement général de la croissance. Le premier stade physiologique affecté par la salinité est la germination des graines, cette étape fondamentale est la plus importante du cycle de croissance des plantes. Il a été prouvé que la salinité avait un effet négatif sur le processus germinatif chez différentes espèces végétales dont le blé et l'orge (**Garg et Gupta, 2019**). Selon **Levigneron et al. (1995)**, le taux de germination du cotonnier chute de 70 % en présence de 12 grammes par litre de chlorure de sodium (Na Cl) et la germination des tubercules de pomme de terre peut être retardée de 3 à 7 jours selon le degré de salinité du sol. De même l'étude de **Xue et al. (2004)**, effectuée sur quelques accessions d'orge a révélé une diminution du pourcentage de germination en fonction de l'intensité du stress. L'effet du stress salin sur l'orge a été également signalé par d'autres auteurs dont **Fleurance (2022)** ; l'auteur a constaté une diminution de la biomasse correspondante aux parties aériennes et racinaires chez des plants d'orge exposés à stress salin par rapport à ceux non stressés. Chez d'autres espèces, des symptômes apparaissent sur les feuilles des plantes affectées par la salinité tels que les brûlures, les nécroses et dans le cas d'un stress sévère, les feuilles deviennent plus épaisses et plus foncées et se finit par un vieillissement précoce (**Garg et Gupta, 2019**).

La fonction de la photosynthèse est également très affectée par les concentrations élevées en sels. Une réduction de l'activité photosynthétique a été enregistrée chez les plantes cultivées en milieu salin (**Levigneron et al., 1995**). D'autres auteurs ont rapporté des perturbations fonctionnelles apparaissent au niveau de la photosynthèse, par effet de sel dans le stroma plastidial ce qui perturbe le transport des électrons ; la plante montre alors des signes de stress par la production d'anthocyanes ou la destruction de la chlorophylle, les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir terminées leur croissance et développement, et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (**Speer et Kaiser, 1991**). De même, l'étude de **Chaker haddadj (2015)**, sur la féverole soumise à la contrainte saline, a montré que la capacité photosynthétique est grandement entravée par une salinité élevée. D'autre part,

Introduction Générale

l'activité de l'enzyme nitrate réductase est très réduite sous l'effet du stress salin ce qui réduit l'absorption du NO_3^- et par conséquent un faible apport en azote pour la plante.

Généralement, la présence de sels dans la solution du sol réduit la capacité de la plante à absorber l'eau, sous l'influence d'une baisse du potentiel osmotique de l'eau du sol. L'effet de la salinité est d'autant plus important que le sol s'assèche et que la concentration de la solution du sol augmente. Ce mécanisme contribue à une diminution de la disponibilité de l'eau du sol pour la plante qui doit alors fournir un effort plus important pour son prélèvement (**Marlet et Job, 2006**). Le même auteur a rajouté que la quantité d'eau utilisable, ou facilement utilisable par les cultures est réduite sous l'effet du stress osmotique qui apparaît plus précocement entre deux irrigations.

D'autre part, les quantités excessives de sels entrant dans le flux de transpiration finiront par blesser les cellules des feuilles transpirantes, ce qui pourrait réduire davantage la croissance. C'est l'effet toxique de salinité ou toxicité ionique (**Munns et al., 2006**).

La productivité et l'expansion des cultures sont souvent limitées par la salinité du sol et de l'eau d'irrigation (**Hamon, 2001**). Une compréhension approfondie des mécanismes de tolérance au sel pour différents types de cultures est une condition préalable à l'atténuation des dommages causés par le sel, car elle leur permet de s'adapter à la nouvelle situation et de poursuivre leur croissance (**Zhang et Chengdao, 2022**).

Afin de s'adapter dans les milieux salins, les plantes peuvent synthétiser certaines substances qui augmentent leur capacité de survivre dans les milieux touchés par la salinité. Parmi ces substances ; la proline qui agit en tant que composé soluble compatible dans l'ajustement osmotique pouvant atteindre de fortes concentrations sans exercer d'effet toxique comme le cas des ions (**Yancey et al., 1982 ; Silva-Ortega et al., 2008**). Un autre composé participe au maintien des fonctions vitales des plantes sous contraintes salines, la glycine bêtaïne, est un osmolyte organique, qui s'accumule généralement dans les plantes lors de l'exposition aux différents stress environnementaux y compris le stress salin. Elle aide également les plantes à se remettre rapidement d'un stress sévère. Il a été prouvé que l'application exogène de glycine bêtaïne maintient les relations hydriques et la pression de turgescence des cellules végétales et augmente également le taux de photosynthèse, de même, elle réduit la toxicité des métaux lourds en augmentant les activités des enzymes antioxydants impératives (**Shafaqat et al., 2020**).

Les sucres ont été reconnus comme une nouvelle classe de métabolites à d'innombrables fonctions dans les plantes. Ils sont considérés comme un puissant outil

Introduction Générale

d'atténuation pour surmonter le stress abiotique en détoxifiant les composés toxiques, en maintenant l'ajustement osmotique et la stabilisation des membranes (**Farhan et al., 2020**). Les sucres servent également de source de carbone pendant la période de stress pendant laquelle les processus photosynthétiques ne sont pas disponibles (**Hanana et al., 2011**).

Récemment, il a été démontré que l'utilisation de phytohormones améliorait l'adaptation des plantes à divers stress environnementaux, notamment le stress salin. L'application exogène de cytokinines sous conditions de stress salin active l'induction de mécanismes de défense contre le stress et conduit à une plus grande tolérance au stress salin chez les plantes, son rôle est probablement dû à l'accumulation accrue d'antioxydants sous contraintes salines (**Azzam, 2022**).

L'effet de la salinité est plus prononcé dans les régions arides et semi-arides où les températures élevées et l'évapotranspiration importante favorisent la concentration de sels dans le sol. Selon la **FAO (2021)**, près d'un milliard d'hectares de sols touchés par le phénomène de salinisation a été recensé à travers le monde (soit 8,7 pour cent des sols de la planète), ces sols sont principalement observés en milieu naturellement aride ou semi-aride, en Afrique, en Asie et en Amérique latine. Les estimations de superficie pour les sols affectés par la salinité montrent que 20 à 50 pour cent des sols irrigués sur l'ensemble des continents sont trop salés, ce qui signifie que plus de 1,5 milliard de personnes dans le monde sont confrontées à des défis importants liés à la production de denrées alimentaires, du fait de la dégradation des sols. La surface affectée par la salinité dans le monde est évaluée à 954,8 millions d'hectares.

L'Algérie est parmi les régions du monde les plus touchées par le problème de salinité, une grande partie des terres agricoles sont soumises au processus de salinisation. Près de 3 million d'hectares sont exposés à des degrés divers de gravité, au phénomène de salinisation, dont une grande partie se situe dans les zones steppiques où le processus de salinisation est plus remarquable, en raison des températures élevées pendant la majeure partie de l'année, de manque d'exutoire et l'absence de drainage efficace (**Szablocs, 1989**).

Depuis la dernière décennie, un déficit prolongé des ressources d'eau a été enregistré, ce qui a entraîné par conséquent la sécheresse ainsi que la salinité des sols. Ces conditions climatiques représentent les principaux facteurs limitant la croissance des plantes ainsi que la productivité des cultures. La majeure partie de l'alimentation est fournie par les aliments en

Introduction Générale

grain, dont 96% sont produit par les cultures céréalières tels que le blé, l'orge, le riz, et le maïs (FAO, 2010).

Ces cultures sont souvent confrontées aux effets nuisibles des facteurs abiotiques dont la salinité des sols et celle des eaux d'irrigations. Celles-ci entravent les fonctions physiologiques des plantes en altérant la croissance normale. D'une manière générale, les contraintes abiotiques y compris la salinité ont un impact négatif très important sur le rendement mais aussi sur la qualité. Ces contraintes entraînent une croissance et un développement physiologique réduit des plantes ou de leurs organes par rapport au temps (Miguel et al., 2023).

En Algérie, les produits céréaliers occupent une place stratégique dans le système alimentaire. La filière céréalière constitue une des principales filières de la production agricole. Elle occupe environ 80% de la superficie agricole nationale (Djermoun, 2009). Les cultures céréalières sont concentrées dans trois régions principales qui diffèrent en fonction des niveaux des précipitations pluviométriques qu'elles reçoivent : une région à haut potentiel de production dans le nord de l'Atlas Tellien (Mitidja, Kabylie, vallée du Seybouse, vallée de la Soummam...) qui couvre 0,4 million d'ha de la SAU, avec une pluviométrie qui dépasse les 500 mm/an. Une région à moyenne potentialité vers l'ouest du pays, caractérisée par un climat semi-aride et une pluviosité entre 400 et 500 mm/an (massif de Médéa, coteaux de Tlemcen, vallée de Chélif,) et une région à basses potentialités située dans les Hauts plateaux allant du l'est vers l'ouest (massif des Aurès, plaines d'Annaba et Constantine) avec une moyenne de précipitations de moins de 350 mm/an (Chehat, 2005 cité in Chabane et Boussard, 2012).

Parmi les céréales, l'orge (*Hordeum vulgare* L.) est la première céréale alimentaire domestiquée à travers le monde (Wang et al., 2015) ; c'est l'une des rares espèces cultivées avec succès dans les zones semi-arides, où les précipitations varient considérablement d'une année à l'autre. Cette culture a le potentiel de pousser dans des conditions de sécheresse et de salinité (USDA, 2019).

En Algérie, L'orge occupe la seconde place après le blé dur en tant que culture stratégique, de par son importance économique et son utilisation à double fin (alimentation humaine et animale) (Rahal-Bouziane, 2015). 35 % de la superficie céréalière est consacrée à la culture d'orge qui est concentrée entre les isohyètes 250 et 450 mm. Selon Malki et Hamadache (2002), les wilayate agro-pastorales de Batna, Khenchela, Tebessa et M'Sila représentent actuellement les principales zones de production d'orge en Algérie.

Introduction Générale

Le rendement de cette espèce est faible et irrégulier, suite aux effets des contraintes climatiques, contraintes abiotiques et aux techniques culturales appliquées qui restent peu performantes (**Menad et al., 2011**). Une caractéristique essentielle de l'espèce d'orge est son extraordinaire adaptation à des conditions extrêmes. Ceci tient d'une part à l'existence de variétés bouclant leur cycle de culture en un temps court de 100-120 jours ou même moins, et d'autre part à une résistance inégalée à la sécheresse et à la salinité du sol (**Miguel et al., 2023**).

Depuis plusieurs années, de nombreuses études ont été menées pour améliorer la tolérance des plantes à la salinité. Par exemple, l'ingénierie de l'expression et de l'accumulation de solutés compatibles a été expérimentée avec certains succès dans l'amélioration de l'adaptation des plantes au stress salin. Cependant, ces résultats restent incomplets car ils sont réalisés dans des conditions très restreintes ou à des stades de développement limités [2]. Ces études doivent être poursuivies afin d'obtenir des variétés plus tolérantes à des contraintes de salinité d'une part, et d'autre part de valoriser les sols des régions à climat aride et semi-aride.

L'objectif de cette étude est d'évaluer l'impact du stress salin causé par le chlorure de sodium sur le comportement morpho-physiologique et biochimique d'une variété d'orge locale (Saida 183), durant des stades précoces de son développement ; au stade germination des graines et au stade plantule, afin de déterminer leur niveau tolérance ou de sensibilité vis-à-vis la salinité.

Chapitre I
Matériel et méthodes

Chapitre I : Matériel et méthodes

1.1. Objectif de l'essai

Cette expérimentation a été réalisée sur une seule variété d'orge (Saida 183) soumise à des niveaux progressifs de salinité (Na Cl) (0, 50, 100, 150, 200, mM). Elle se fixe comme objectif d'évaluer la tolérance de cette variété vis-à-vis le stress salin causé par le chlorure de sodium sur la base de quelques paramètres physiologiques et biochimiques.

1.2. Présentation du site de l'essai

L'essai a été mené au niveau de la faculté des sciences de la nature et de la vie et des sciences de la terre et de l'univers de l'université 8 mai 1945 de Guelma dans des conditions semi contrôlées, au laboratoire de botanique et sous serre de l'université (**Fig.1**) .



Figure 1 : représente le site de l'essai (serre de l'université)

1.3. Matériel végétal

1.3.1. Grains d'Orge

Le matériel végétal utilisé constitué d'une seule variété d'orge (Saida), appartenant à l'espèce *Hordeum vulgare* L. largement adaptée aux plaines intérieures et hautes-plateaux (**Fig. 2**). Les semences ont été fournies par L'Office Algérien Interprofessionnel des Céréales (O.A.I.C) de Belkhir (Guelma). L'origine et les caractéristiques de la variété étudiée sont indiqué dans le tableau 1.



Figure 2 : Les grains de la variété d'orge testée (*Hordeum vulgare* L.)
(Photo personnelle)

Tableau1 : Caractéristiques de la variété étudiée (O. A. I. C., 2022)

Espèce	variété	Type de variété	Origine	Poids de mille grains (PMG)	Taux de protéines	Caractéristiques culturales	Caractéristiques morphologiques
<i>Hordeum vulgare</i> L.	Saida 183	Lignée pure	Locale	Elevé	11.4%	-Alternativité automne -Cycle végétatif semi – précoce -Tallage moyen - résistante au froid et à la sécheresse et sensible à la verse et aux maladies cryptogamiques.	-Compacité de l'épi: très lâche -Couleur de l'épi: blanc -Hauteur de la plante à maturité: 90 cm.

1.3.2. Les solutions salines (NaCl)

L'application du stress salin a été effectuée par apport d'une solution saline durant toute la période de l'expérimentation. Les grains d'orge sont soumis à des niveaux croissants de stress salin : [0] mM (le témoin), [50] mM, [100] mM, [150] mM et [200] mM de NaCl. Les doses en sels utilisées ont été déjà testées par d'autres auteurs (Averina et al., 2010 ; Adjel, 2017)

Chapitre I : Matériel et méthodes

1.4. Conduite de l'essai

1.4.1. Essai de germination

L'essai de germination est conduit à la température ambiante du laboratoire. Les grains d'orge de la variété étudiée sont d'abord désinfectés par trempage pendant 10 minutes dans une solution d'hypochlorite de sodium à 6%, puis rincés plusieurs fois à l'eau distillée. Dix (10) grains désinfectés sont mis à germer sur une fine couche du coton recouverte du papier buvard placé dans des boîtes de Pétri et arrosés avec les différentes concentrations salines et un échantillon arrosé à l'eau distillée considéré comme témoin négatif, chaque traitement est représenté par trois répétitions. Le test a duré 7 jours (**Fig. 3 et tableau 2**). Le dispositif est répété 3 fois (**Djerah et Oudjehih, 2015**). Les observations sont faites quotidiennement pour les différentes concentrations jusqu'à la fin de l'essai. Le pourcentage final de germination (la capacité de germination) est exprimé par le rapport suivant : nombre de graines germées / le nombre total de graines ensemencées x100 (**Come, 1970**). Une graine est considérée germée lorsqu'il y a eu émergence de la radicule.



Figure 3 : Essai de germination des grains d'orge dans les boîtes de Pétri
Après 7 jours de l'application du stress (**Photo personnelle**)

C0	C1	C2	C3	C4
R4	R1	R1	R3	R3
R2	R4	R3	R2	R2
R1	R3	R4	R4	R1
R3	R2	R2	R1	R4

C0, C1, C2, C3, C4 : Les concentrations

R1, R2, R3, R4 : Les répétitions

Tableau 2: Description du dispositif expérimental de l'essai de germination dans les boîtes Pétri

Trois paramètres ont été estimés pour cet essai (après 7 jours de l'application du stress) :

- **Taux de germination des graines (%)**

Le taux final de germination est exprimé par la formule suivante : $G\% = 100 (XT/N)$

XT est le nombre total de grains germées et N le nombre total des graines mises à germer

- **La longueur de la racine (cm)**
- **La longueur de la tige (cm)**

1.4.2. Essai de croissance

L'essai de croissance a été conduit sous serre dans des conditions semi contrôlées, en utilisant des pots de 19 cm de hauteur et 14 cm de diamètre contenant de la tourbe de sphaigne (2/3). Les grains d'orge utilisés dans cet essai sont d'abord désinfectés pendant quelques minutes dans de l'eau de javel, puis rincés trois fois à l'eau distillée. Ils sont placés ainsi dans les pots à raison de 10 graines par pot et à une profondeur de 2 cm. Chaque traitement a été représenté par quatre répétitions (**Fig. 4 et tableau 3**). L'irrigation par les solutions salines pour les graines stressées et par l'eau distillée pour celles non contraintes a été effectuée tous les deux jours durant une période de 21 jours.

L'ajout des différentes solutions est fait en fonction de la capacité de rétention du substrat (la tourbe pour l'essai de croissance et le coton et le papier filtre pour l'essai de germination) qu'est déterminée par la différence entre la quantité d'eau apporté avant

Chapitre I : Matériel et méthodes

l'arrosage et celle récupérée après décantation (24h pour la tourbe et 4h pour les substrats en boîte de pétri).

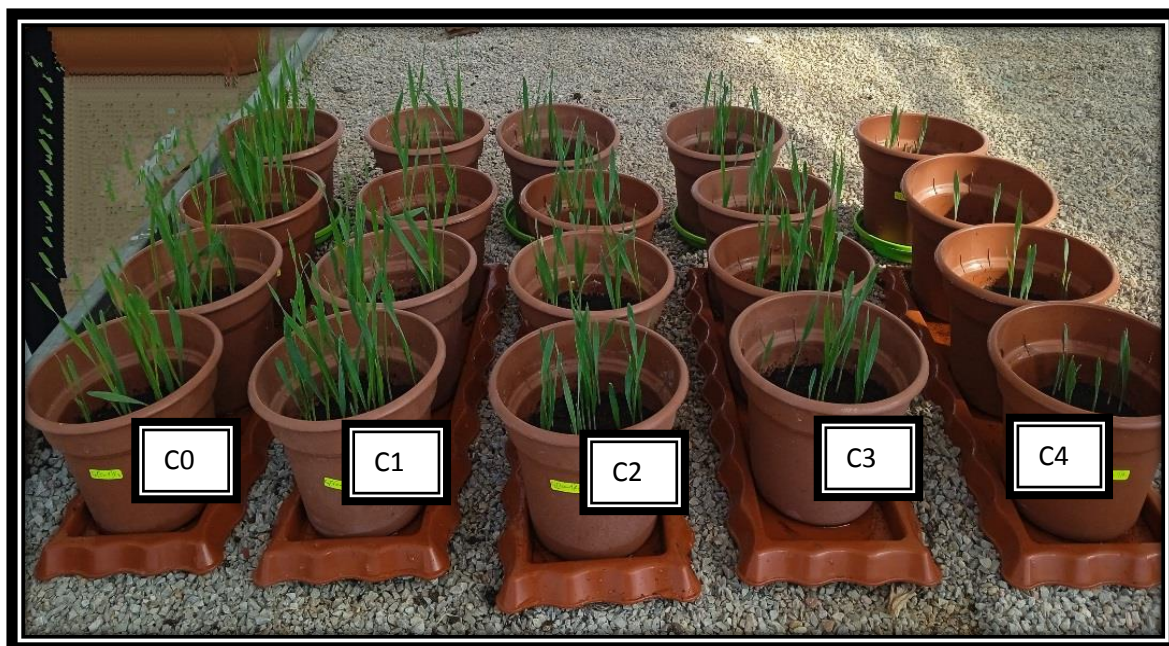


Figure 4 : Essai de croissance dans les pots et sous serre d'université. (Photo personnelle).

C0	C1	C2	C3	C4
R3	R4	R2	R1	R2
R2	R2	R1	R4	R1
R1	R3	R4	R3	R3
R4	R1	R3	R2	R4

Tableau 3 : Description du dispositif expérimentale de l'essai de croissance dans les pots et Sous serre d'université.

1.4.3. Caractéristiques de substrat (tourbe de sphaigne)

Le substrat de base (tourbe de sphaigne) est caractérisé par :

- Un taux de matière sèche exprimée en pourcentage en masse de produit brute : 35%
- Un taux de matière organique exprimée en pourcentage en masse de produit brute : 35%
- PH (H₂O): 5.8-6.8
- Résistivité : 25000 Ohm /cm
- Rétention en eau : 80 vol %

Chapitre I : Matériel et méthodes

1.4.4. Caractères mesurés

1.4.4.1. Hauteur des plantes

La mesure de la hauteur des plantes, en centimètres, est déterminée à l'aide d'une règle graduée du collet de la plante à l'extrémité de la feuille la plus longue.

1.4.4.2. Longueur de la racine principale

La longueur maximale des racines séminales a été déterminée comme étant la longueur de la racine la plus longue (Simmons *et al.*, 1995). Les mesures ont été effectuées pour chaque traitement y compris le témoin négatif à l'aide d'une règle graduée à partir du collet jusqu'à son extrémité inférieure.

1.4.4.3. La surface foliaire (SF)

La surface moyenne de la feuille la plus développée (avant dernière feuille : la plus jeune adulte feuille), est déterminée à partir d'un échantillon de dix plantules par traitement, par la formule suivante :

$$SF \text{ (cm}^2\text{)} = L \times I \times 0,709$$

L : la longueur moyenne des limbes des 10 feuilles

I : la largeur moyenne des limbes des 10 feuilles

0,709 représente le coefficient de correction, étant donné que la feuille a une forme triangulaire (Mefti *et al.*, 2008).

1.4.4.4. Détermination de la biomasse aérienne et souterraine

Pour chaque traitement, la partie aérienne a été séparée de la partie racinaire, puis chaque partie a été pesée avec une balance de précision pour avoir le poids frais aérien et le poids frais racinaire. Pour la mesure du poids sec, les parties racinaire et aérienne de chaque traitement ont été placées à l'étuve à 105°C. Les pesées ont été effectuées après une période de 24 heures (Cheikh *et al.*, 2020).

1.4.4.5. Teneur en chlorophylle totale

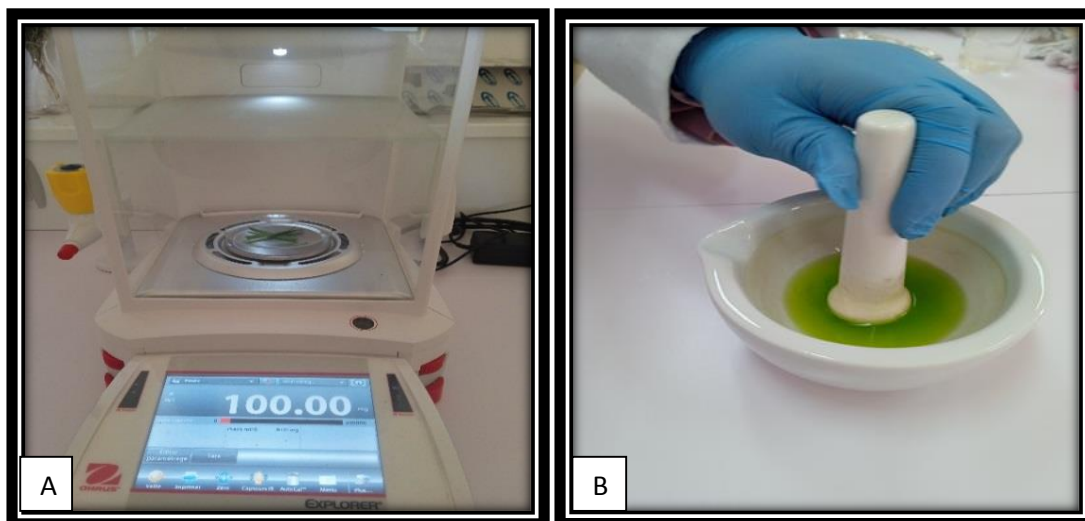
Le dosage de la chlorophylle a été réalisé selon la méthode de Rao *et blanc* (1956), qui consiste à peser 100 mg de feuilles fraîches de chaque échantillon. Puis la broyer dans un mortier en ajoutant une pincée de carbamates de calcium (CaCo₃) pour neutraliser l'acidité

Chapitre I : Matériel et méthodes

vacuolaire et faciliter l'extraction de la chlorophylle et 20 ml d'acétone à 80%, ensuite on procède à la filtration de la solution obtenue. Avant la lecture spectrophotométrique, la solution chlorophyllienne est conservée dans des boîtes noires afin d'éviter la photo oxydation. La densité optique (D.O.) des extraits chlorophylliens est lue, sur un spectrophotomètre à deux longueurs d'ondes suivantes : 645 nm et 663 nm (**Fig.5**)

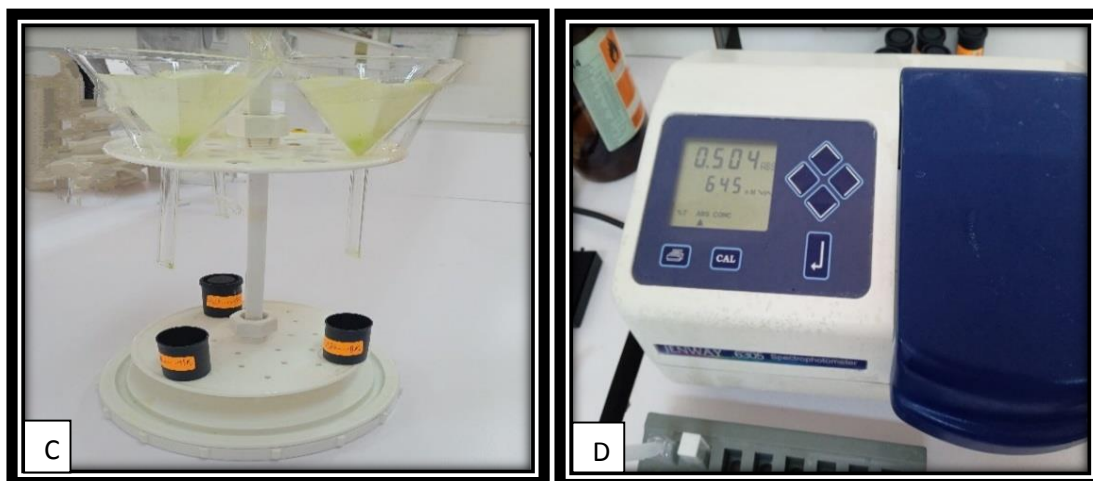
La teneur en chlorophylle totale (a+b) est calculée selon la formule suivante :

$$\text{Chl a+b} = 8,02 (\text{DO } 663) + 20,20 (\text{DO } 645) .$$



A : Mensuration de 100 mg de feuilles

B : Extraction des pigments chlorophylliens



C : Filtration de la solution chlorophyllienne **D : Mesures spectrophotométriques**

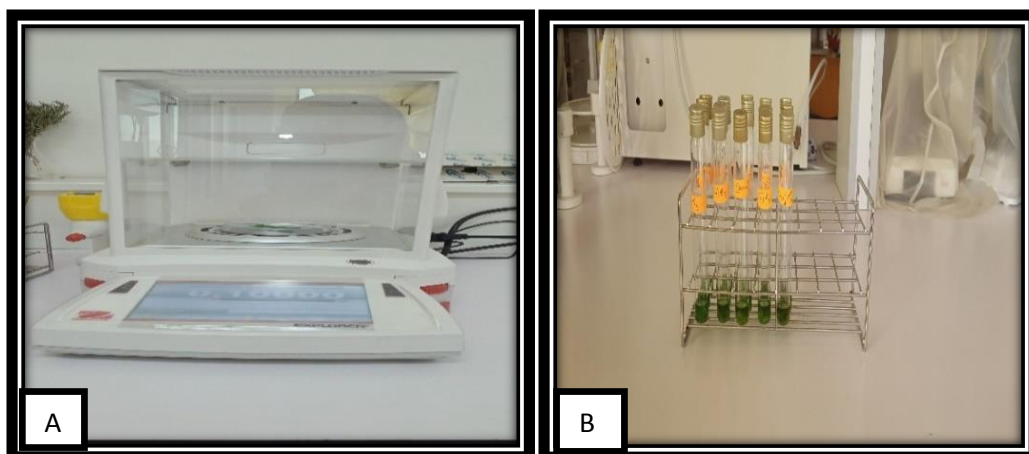
Figure 5(A.B.C.D) : Etapes de dosage de la chlorophylle (photos personnelles)

1.4.4. 6. Teneur en sucres solubles

La teneur en sucres solubles dans les feuilles a été mesurée selon la méthode de **Dubois et al. (1956)**, qui consiste à mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai puis ajouter 2 ml d'éthanol à 80%. Laisser les tubes fermés au repos pendant 48 h. Faire évaporer l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain Marie à 70°C. Après refroidissement, un volume de 20 ml d'eau distillée est ajouté dans chaque tube à essai. Puis prendre 1 ml de la solution et ajouter 1 ml de phénol à 5% et bien agiter. Ajouter 5 ml d'acide sulfurique concentré dans chaque tube à essai puis les passer au vortex, les laisser au repos pendant 10mn puis les passer au bain Marie pendant 15 mn à 30°C. Procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm (**Fig. 6**).

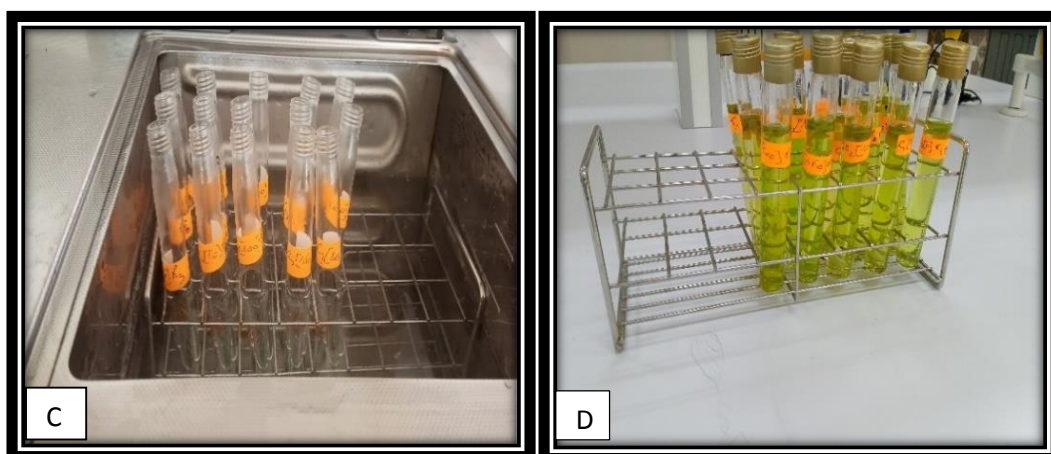
La détermination de la teneur en sucres solubles est calculée selon la formule :

$$\text{Sucres solubles } (\mu\text{g/mg de MF}) = \text{DO 490} \times 1,657$$

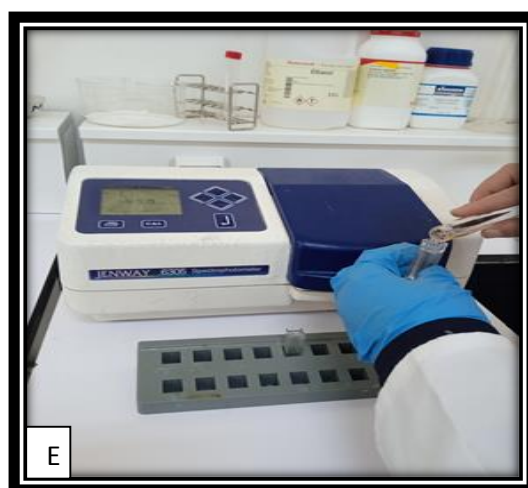


A : Préparation des pesées

B : Ajout de 2ml d’Ethanol (80%)



C : Evaporation de l’alcool dans un bain marie D: Ajout de 20 ml d’eau distillée



E: Versement de la solution dans la cuve spectrophotométrique

Figure 6(A.B.C.D.E) : Etapes de dosage des sucres solubles (photo personnelle)

Chapitre I : Matériel et méthodes

Traitement statistique des résultats

Afin de déterminer la significativité des traitements appliqués sur les différents paramètres étudiés, nous avons procédé à une analyse statistique de la variance et à la comparaison des moyennes pour déduire la différence entre le témoin et les différentes concentrations en utilisant le logiciel Minitab 2018.

Chapitre II

Résultats et discussion

Chapitre II :Résultats et discussion

2.1. Essai de germination dans les boîtes de Pétri

2.1.1. Taux de germination des graines

La germination est une série de phénomènes que présente une graine lorsque placée dans des conditions favorables, l'embryon qu'elle renferme se développe et donne naissance à un nouvel individu. C'est une étape importante conditionne la réussite des étapes ultérieures du cycle de développement des plantes (**Auguste et Drapiez, 2009**). Le test de germination des graines est un test biologique efficace et économique pour évaluer la capacité potentielle des graines avant leur utilisation (**Luo et al., 2018**).

L'examen des résultats illustrés dans la figure 7 montrent que la présence de sel dans le milieu de culture affecte négativement le taux de germination des graines surtout pour les niveaux élevés du stress appliqué. L'effet du stress est plus prononcé aux fortes doses de NaCl. Les valeurs moyennes enregistrées aux concentrations 150 et 200 mM sont successivement 52,37 et 23,80 % contre 100% pour l'échantillon non additionné de sel.

Van Hoorn, 1991 (cité in Elmokh et Nagaz, 2015), a rapporté que les plantes sous conditions de salinité, rencontrent beaucoup de problèmes au moment de la germination et la levée qu'aux derniers stades de développement végétatif, et peuvent dans certains cas ne pas germer surtout chez les espèces sensibles. La diminution du taux de germination sous contrainte saline peut être attribuée selon certains auteurs à l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol, ce qui diminue le taux d'absorption et ralentit l'humidification au niveau de la semence, conduisant ainsi à une diminution du taux de germination et d'émergence (**Elmokh et Nagaz, 2015**). Selon **Bliss (1986)**, le retard de germination des graines sous l'effet du stress salin peut s'expliquer par le temps nécessaire à la graine de mettre en place des mécanismes lui permettant d'ajuster sa pression osmotique interne. De même, il a été signalé que le NaCl peut affecter également l'activité des enzymes hydrolytiques et le transport des produits de l'hydrolyse des réserves vers l'embryon (**Gomes et al., 1983**).

Nos résultats sont en accord avec ceux obtenus par **El karaki (2001)**, sur l'orge et **Askri et al. (2015)**, sur des graines de pastèque exposées à des niveaux différents de Na Cl. Ces auteurs ont signalé un ralentissement du processus germinatif en fonction des concentrations salines.

Chapitre II : Résultats et discussion

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification ($p < 0,05$) a révélé une différence significative entre les concentrations ($p < 0,001$) donc il y'a un effet de sel sur ce paramètre (**Annexe 01**).

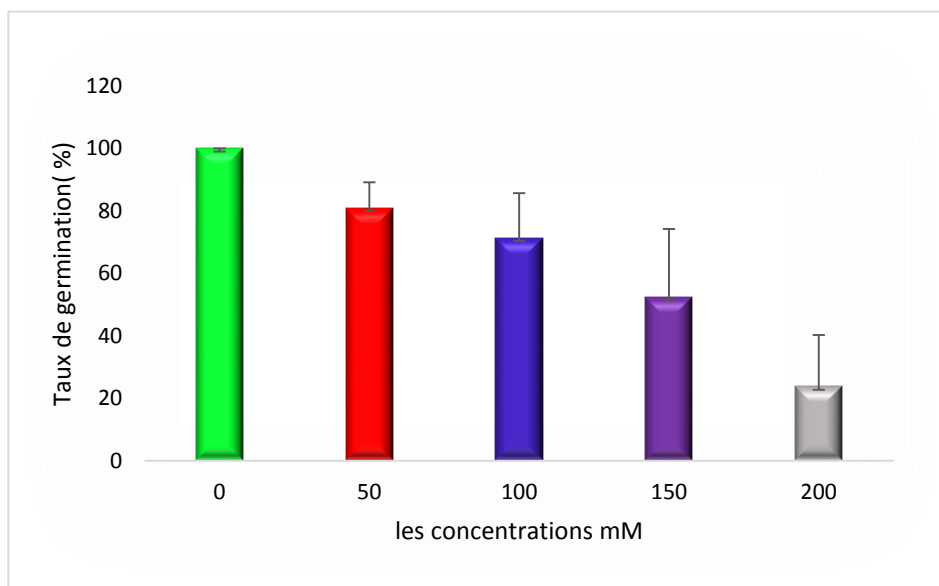


Figure 7 : Taux de germination (%) des grains d'orge soumis aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

2.1.2. Longueur de la racicule

L'étude du comportement germinatif des grains d'orge sous différentes doses de chlorure de sodium (**Fig. 8**), montre que la longueur des racicules diminue avec l'accentuation du stress.

Aux fortes concentrations de NaCl, on remarque une forte diminution de la longueur des racicules d'où nous avons noté les valeurs moyennes de 2,77 et 0,51 cm successivement pour les concentrations 150 mM et 200 mM, contre 5,81 cm pour le témoin non traité.

De nombreuses études dont celles de **Xue et al. (2004)** et **Martinez et al. (2004)**, ont rapportées un effet toxique du NaCl sur la germination des graines conduisant ainsi à une inhibition de l'émergence des racicules. Le même résultat a été observé par **Madidi et al. (2004)**, sur 9 géotypes d'orge exposés aux différents niveaux du stress salin, ces auteurs ont rapporté une réduction dans la longueur des racicules en fonction de l'augmentation de la quantité de sel dans le milieu.

Chapitre II : Résultats et discussion

L'analyse statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentration significatif ($p < 0,05$) entre les différents traitements ($p = 0,000$) (**Annexe 3**).

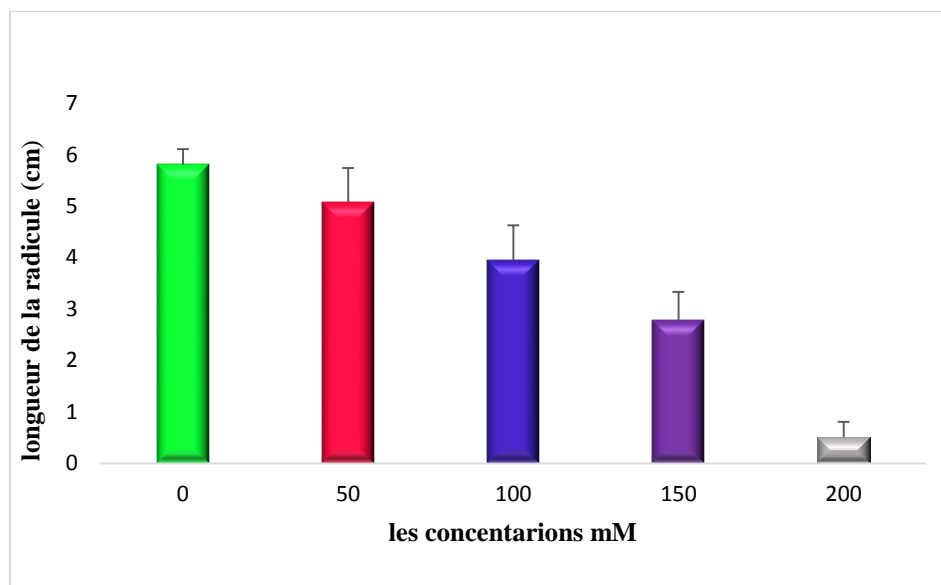


Figure 8 : Longueur de la racicule (cm) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

2.1.3. Longueur de la tigelle

Les résultats de la figure 9, montrent que la longueur de la tigelle diminue fortement avec l'augmentation de la concentration saline dans le milieu. Ces résultats montrent que l'effet du stress salin est moins prononcé aux faibles concentrations de NaCl (50 mM) avec une valeur moyenne de 4,26 cm par rapport au témoin non traité (5,83 cm). Cependant cet effet devient plus important aux fortes doses de NaCl d'où les réductions enregistrées aux concentrations 150 et 200 mM (1,44 et 0,00 cm) par rapport au groupe non traité (5,83 cm).

Les travaux de **Kadri et al. (2009)**, et **Djerah et Oudjehih (2016)**, et **Adjal (2017)**, sur l'orge ont rapporté un effet dépressif du NaCl sur la croissance et le développement de la coléoptile, lors de la germination des graines exposées à des niveaux croissants de chlorure de sodium.

L'étude statistique à l'aide de l'analyse de la variance ANOVA à un seul critère de classification ($p < 0,05$) révèle un effet concentrations significatif ($p = 0,000$) (**Annexe 05**).

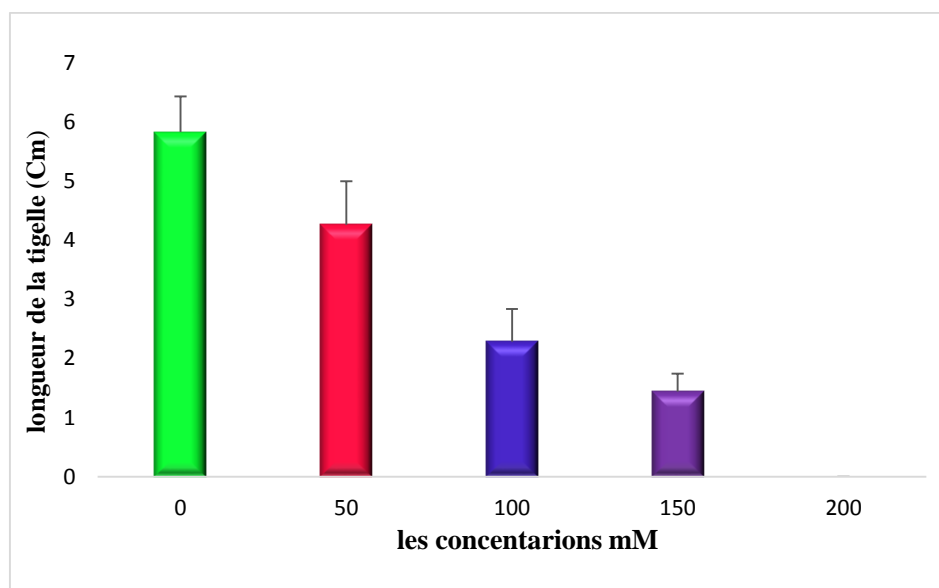


Figure 9 : Longueur de la tige (cm) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

2.2. Essai de croissance et de développement des plantules dans les pots

2.2.1. Hauteur des plantes

Les données illustrées dans la figure 10 montrent l'effet du sel sur la croissance en hauteur des plantes. L'augmentation de la concentration saline dans le milieu s'accompagne d'une diminution de la hauteur de la plante et ce pour les différents niveaux du stress appliqués. L'effet sévère du stress salin commence à partir de la concentration 100 mM où la valeur 23,84 cm a été enregistrée par rapport celle du témoin non traité (34,66 cm). La diminution s'est poursuivie jusqu'à elle atteint les valeurs moyennes 22,63 et 15,09 cm aux concentrations 150 mM et 200 mM respectivement, par rapport à la valeur enregistrée pour l'échantillon arrosé à l'eau distillée.

De nombreuses études menées sur différentes espèces végétales soumises à un stress salin, dont celles de **Bakht et al. (2011)**, sur le maïs, **Djerah et Oudjehih (2016)**, sur l'orge, **Ouhaddach et al. (2016)**, sur le blé et **Faye (2017)**, sur le riz ont révélé un effet négatif de sel sur la croissance en hauteur des plantes examinées surtout aux niveaux élevés du stress. De même **Stephan et wall, (1996)**, ont rapporté que l'excès de sel dans le milieu entraîne le nanisme chez les plantes exposées à un stress salin.

La diminution de la hauteur des plantes cultivées sous conditions de stress salin, pourrait s'expliquer par l'inhibition de l'élongation de l'axe principal et des rameaux

Chapitre II : Résultats et discussion

latéraux sous l'effet de la contrainte saline (Maaouia *et al.*, 2011). Selon Benzahra et Snoussi (2018), les concentrations élevées en sels empêchent les plantes d'absorber l'eau et les éléments nutritifs indispensables, ce qui se traduit par un ralentissement de la croissance végétale.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification ($p < 0.05$) a révélé un effet concentration significatif entre les traitements ($p = 0,001$) (Annexe 07).

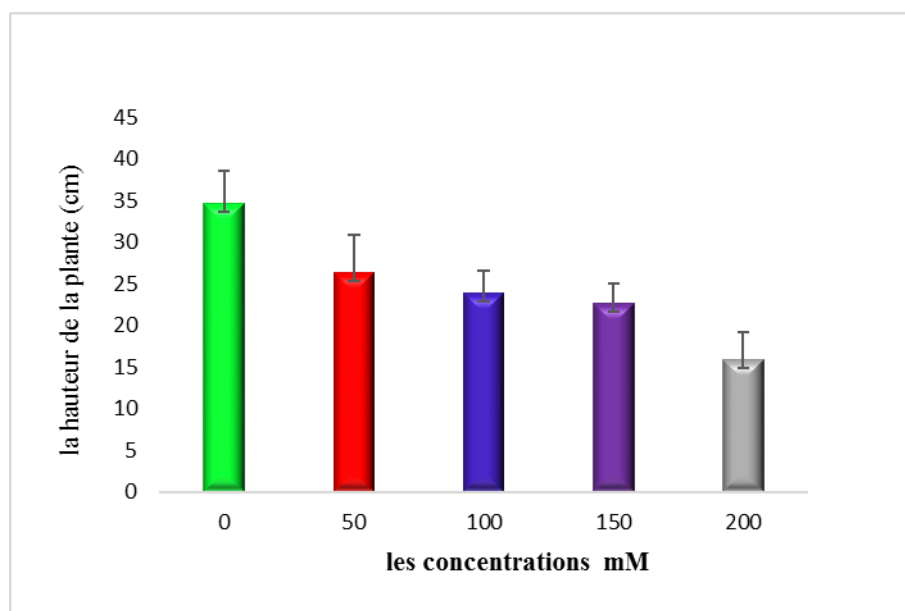


Figure 10 : Hauteur des plantes (cm) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

2.2.2. La longueur de la racine principale

À partir des résultats illustrés dans la figure 11, nous constatons que le développement des racines est inversement proportionnel à l'application de différentes doses de sel.

L'effet de la salinité sur ce paramètre était plus clair surtout aux fortes concentrations en sel. La longueur des racines a diminué de 10,82 cm pour le traitement sans sel à 7,66 et 6,96 cm pour les concentrations 150 mM et 200 mM respectivement. Ces résultats sont similaires à ceux trouvés par Bauci *et al.* (2003), Khosravenenejad *et al.* (2009), et Bchini *et al.* (2019), sur différents génotypes d'orge cultivés sous contrainte saline. Ces auteurs ont rapporté une diminution dans la longueur des racines en fonction des différentes doses de sel appliquées.

Chapitre II : Résultats et discussion

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification ($p > 0,05$) a révélé un effet concentration non significatif ($p = 0,109$) donc il y'a un effet de sel sur ce paramètre (**Annexe 09**).

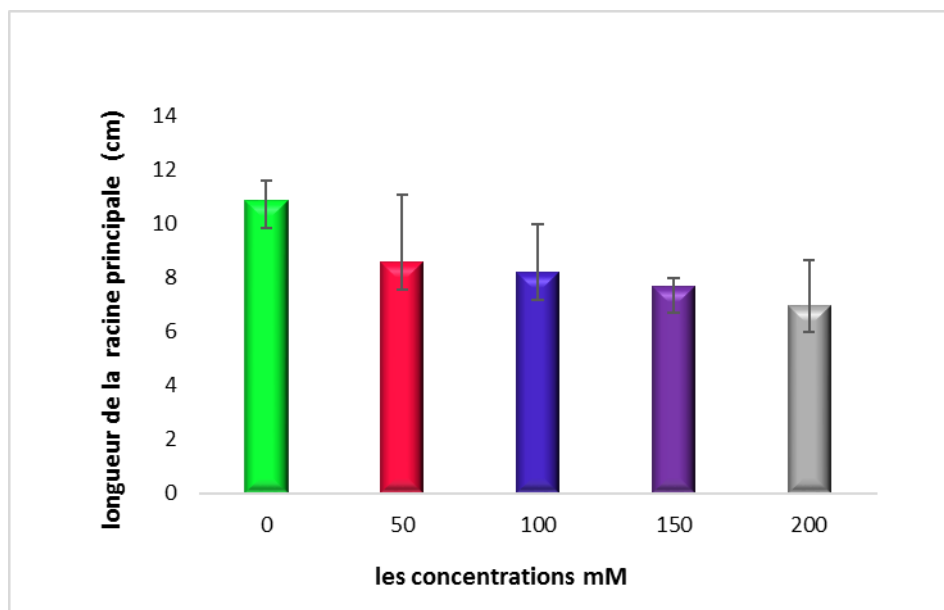


Figure 11 : Longueur de la racine principale (cm) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

2.2.3. La surface foliaire

Selon les résultats de la figure 12, la surface foliaire est également affectée par la présence de sel dans le milieu. Les plantes témoins de la variété testée présentent une surface foliaire moyenne de $6,21 \text{ cm}^2$, cette surface diminue progressivement pour atteindre $2,95 \text{ cm}^2$ chez les plantes stressées avec la plus forte concentration (200 mM).

La réduction de la surface foliaire sous conditions de stress salin a été signalée chez de nombreuses espèces dont l'orge (**Zrroumda, 2012**), le blé (**Boatrous, 2013**), et le maïs (**Vahidreza et Kapourchal, 2020**) et cette réduction est d'autant plus grande que la concentration en sel est plus élevée. D'autre part, **Benmahioul (2009)**, a constaté que la salinité affecte négativement la croissance de l'appareil végétatif chez *Pistacia vera* L. en réduisant rapidement son expansion foliaire et sa croissance aérienne et tend à maintenir le développement de son système racinaire.

L'analyse ANOVA a montré une différence hautement significative ($p < 0,05$) entre les traitements ($p = 0,024$) (**Annexe 11**).

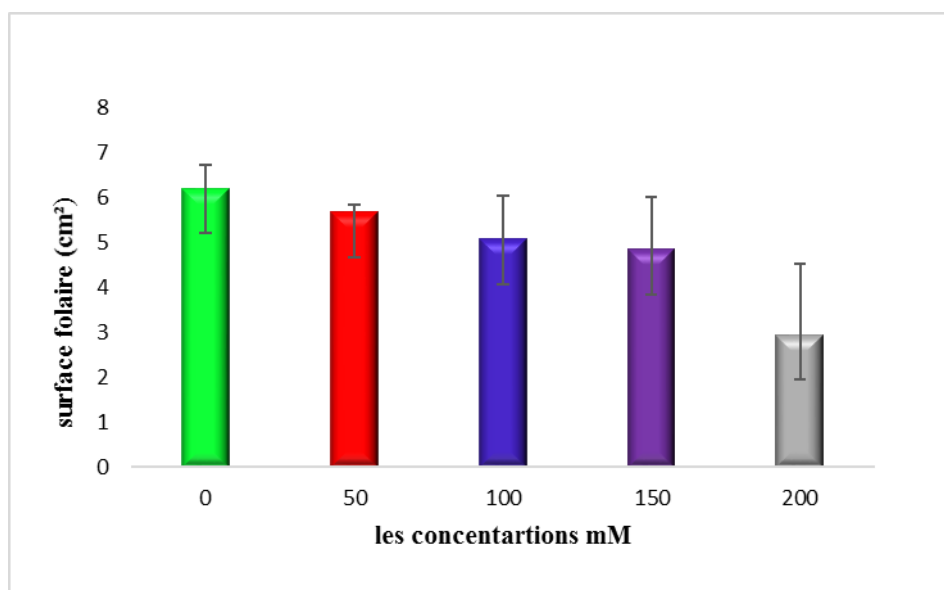


Figure 12 : La surface foliaire (cm²) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

2.2.4. Le poids frais des parties aériennes et souterraines

L'analyse des résultats exprimés dans les figures 13 et 14 révèle que le traitement salin affecte également le poids frais des parties aérienne et racinaire. Ces résultats indiquent qu'il existe une relation négative entre le poids frais et les concentrations de sel appliquées, où la production de matières fraîches diminue avec l'augmentation du stress. Cette diminution est maximale à la concentration 200 mM dans les parties aériennes d'où la valeur enregistrée (180 mg) par rapport à celle du témoin non traité (692,21 mg). Quant aux parties racinaires, la valeur enregistrée à la même concentration est de 26,66m g contre 49,99 mg pour l'échantillon non traité.

D'après **Demirkiran et al. (2013)**, et **Dogru et al. (2019)**, l'effet du stress salin sur la croissance et le développement des variétés d'orge se traduit par une réduction de la biomasse fraîche, cette réduction s'accroît avec l'augmentation du stress.

L'étude statistique ANOVA à un seul critère de classification a révélé un effet concentrations non significatif ($p > 0,05$) pour le poids sec de la partie aérienne et souterraine ($p = 0,087$) ($p = 0,401$) (**Annexe 13,15**).

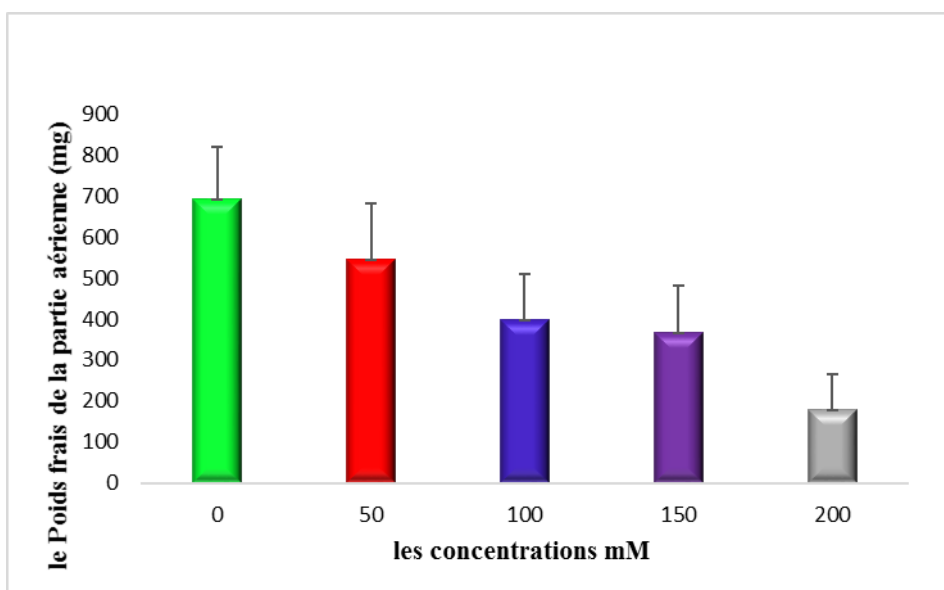


Figure 13 : Le poids frais de la partie aérienne (mg) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

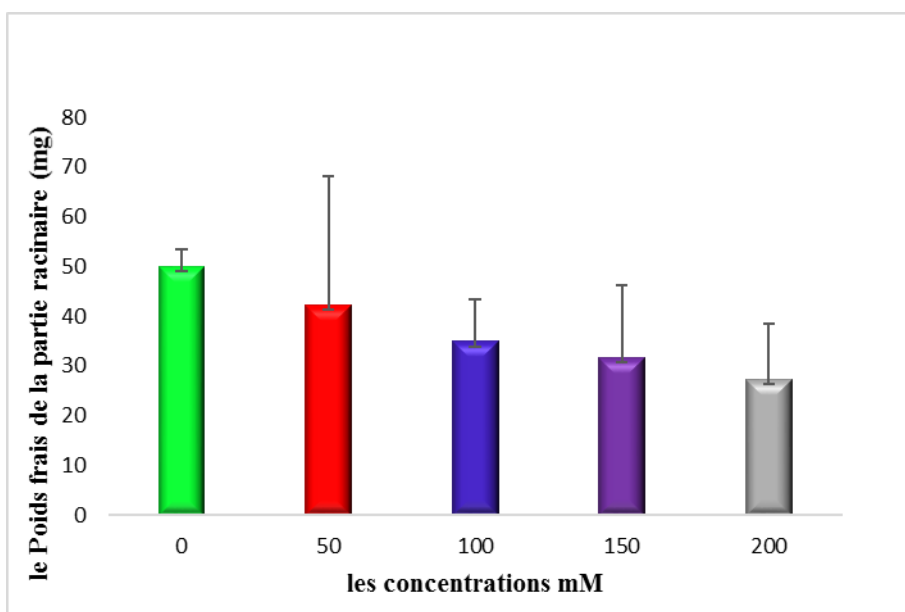


Figure 14: Le poids frais de la partie racinaire (mg) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

2.2.5. Le poids sec des parties aériennes et souterraines

Les résultats des figures 15 et 16 montrent que le développement de la matière sèche dans les parties aérienne et racinaire est inversement proportionnel aux différentes

Chapitre II : Résultats et discussion

concentrations de sel dans le milieu, où la valeur la plus faible a été enregistrée pour la matière sèche aérienne (48,81 mg) à la concentration la plus élevée (200 mM) par rapport à la valeur du témoin non traité (82,42 mg). Quant à la matière sèche racinaire, la valeur moyenne enregistrée à la même concentration est de 10,12 mg contre 13,64 mg pour les plantes non stressées.

Ces résultats sont similaires à ceux de **Maaouia et al. (2011)**, sur le piment. Ces auteurs rapportent que la production moyenne de biomasse sèche aérienne est considérablement réduite sous l'effet de la contrainte saline et que ces réductions sont plus importantes à des concentrations de sel les plus élevées par rapport aux témoins. Le même résultat a été signalé par **El goumi et al. (2013)**, sur l'orge, où une diminution a été enregistrée dans la biomasse sèche racinaire et aérienne, et cette diminution était en fonction des niveaux de sel élevés, où la valeur moyenne la plus faible a été enregistrée à la concentration la plus élevée par rapport au témoin.

L'analyse de la variance ANOVA a montré un effet concentrations non significatif ($p > 0,05$) pour le poids sec des parties aériennes ($p = 0,33$) et souterraines ($p = 0,468$) (**Annexe 17 et 19**).

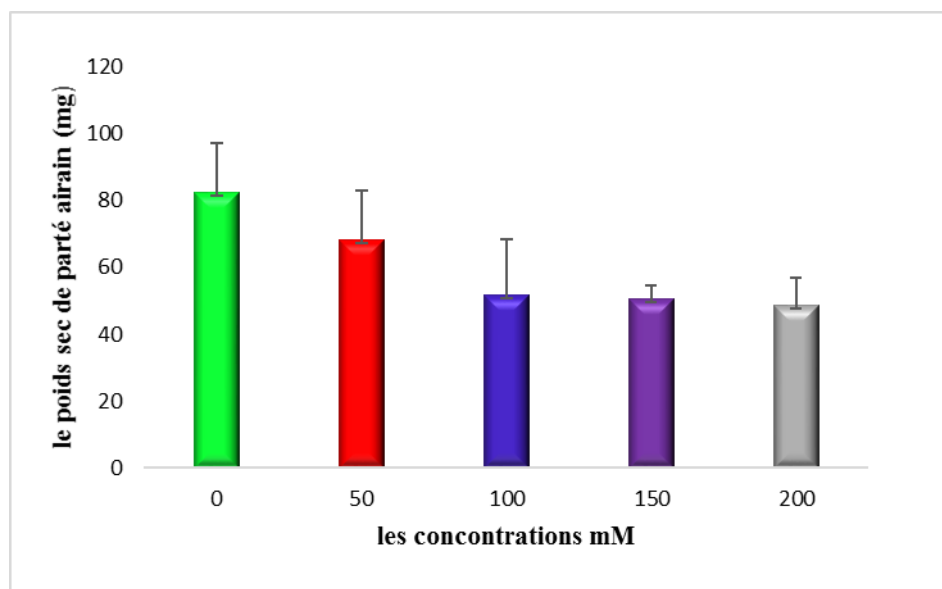


Figure 15 : Le poids sec de la partie aérienne (mg) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

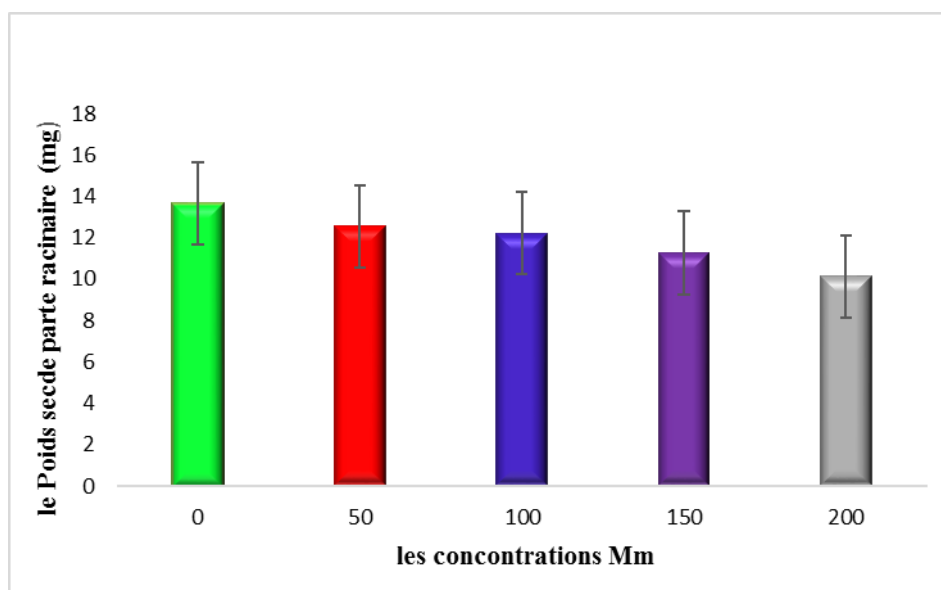


Figure 16 : Le poids sec de la partie racinaire (mg) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM)

2.2.6. La teneur en chlorophylle totale

Les résultats obtenus pour ce paramètre (**Fig. 17**) indiquent que la teneur totale en chlorophylle sous différentes doses de chlorure de sodium a diminué progressivement en accentuant le stress dans le milieu. Le taux de chlorophylle le plus élevé a été enregistré dans la solution non traitée avec une valeur moyenne de 13,22 $\mu\text{g}/\text{mg}$ MF. En présence de 100 mM de chlorure de sodium, une diminution de la teneur en chlorophylle totale a été observée pour laquelle nous avons noté la moyenne de 11,21 $\mu\text{g}/\text{mg}$ MF par rapport le traitement sans sel (13,22 $\mu\text{g}/\text{mg}$ MF), et cette diminution s'est poursuivie jusqu'à atteindre la valeur 8,55 $\mu\text{g}/\text{mg}$ MF à la concentration 200 mM de NaCl.

Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par des études menées précédemment par **Bendaraji (2013)**, sur le blé et **Abdi et al. (2016)**, sur l'orge. Ces auteurs ont révélé une nette diminution de la teneur en chlorophylle totale des variétés étudiées sous pression saline, ce qui endommage grandement l'activité photosynthétique. La diminution de la teneur en pigments chlorophylliens sous contrainte saline a été également signalée par d'autres auteurs dont **Larribi et al. (2009)**, qui ont rapporté que la salinité réduit la teneur en pigments photosynthétiques chez les plantes de carvi (*Carum carvi* L.) soumises à un stress salin, qu'il soit modéré ou sévère en comparaison avec celles des plantes témoins, et cette diminution est d'autant plus marquée avec la sévérité de la contrainte saline. De même, **Koubaa (2019)**, a

Chapitre II : Résultats et discussion

étudié l'effet de la salinité sur le blé dur et a montré que cette contrainte cause le plus souvent une perte progressive de la chlorophylle, conduisant à la réduction de l'absorption de la lumière par les feuilles.

L'analyse de la variance ANOVA à un critère de classification ($p > 0,05$) montre qu'il y a une différence non significative ($p = 0,094$) entre les différents traitements (**Annexe 21**).

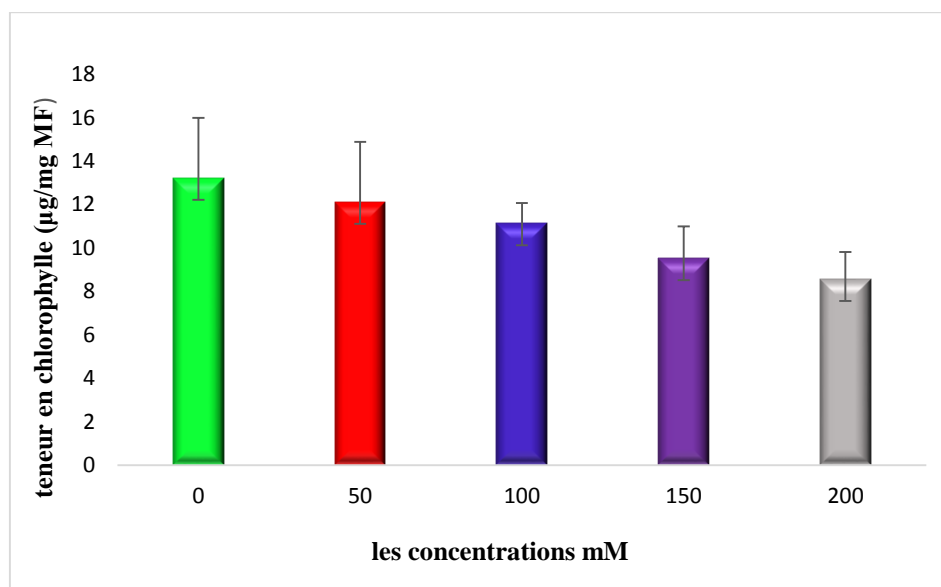


Figure 17 : La teneur en chlorophylle totale ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de NaCl (mM).

2.2.7. Dosage des sucres solubles

Les résultats des dosages des sucres solubles (**Fig. 18**) nous ont permis de noter des valeurs élevées enregistrées chez les plantes traitées par les différentes concentrations en NaCl comparativement à celles non traitées.

Concernant ce paramètre, la teneur en sucres solubles enregistrée chez les plantes témoins est de $44,92 \mu\text{g}/\text{mg}$ de MF. Cette quantité augmente ensuite sous l'effet du stress salin pour atteindre $261,71 \mu\text{g}/\text{mg}$ de MF chez les plantes soumises à un stress modéré (100 mM). La valeur moyenne la plus élevée est de $354,27 \mu\text{g}/\text{mg}$ MF a été enregistrée sous contrainte sévère (200 mM) par rapport la valeur enregistrée en l'absence de stress ($44,92 \mu\text{g}/\text{mg}$ de MF).

Chapitre II : Résultats et discussion

L'accumulation des sucres solubles chez les plantes exposées à un stress salin a été signalée par de nombreux auteurs comme un indice de tolérance à la salinité (Hoekstra et al., 2001 ; Phillips et al., 2002 cité in Hanana et al., 20011 ; Achour et al., 2015). Ces composés sont considérés comme des osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence (El Midaoui et al., 2007). De nombreuses études dont celles de Khosravenenejad et al. (2009), sur l'orge et de Lepengue et al. (2012), sur le maïs exposés à des niveaux différents de salinité, ont signalé une augmentation de la teneur en sucres solubles en réponse au stress salin, en particulier à des niveaux élevés en sels. La même tendance a été constatée par Achour et al. (2015), sur le gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) stressé avec différentes concentrations de NaCl. Ces auteurs ont montré que le traitement salin a conduit à une augmentation de la teneur en sucres solubles au niveau des feuilles et des racines. L'augmentation de la teneur en sucres solubles, en présence d'une contrainte saline, a été également observée par Rathert (1984), sur le riz et Ouazzani et Moustaghfir (2020), sur le tournesol.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification ($p < 0,05$) a révélé un effet concentrations significatif ($p < 0,000$) (Annexe 23).

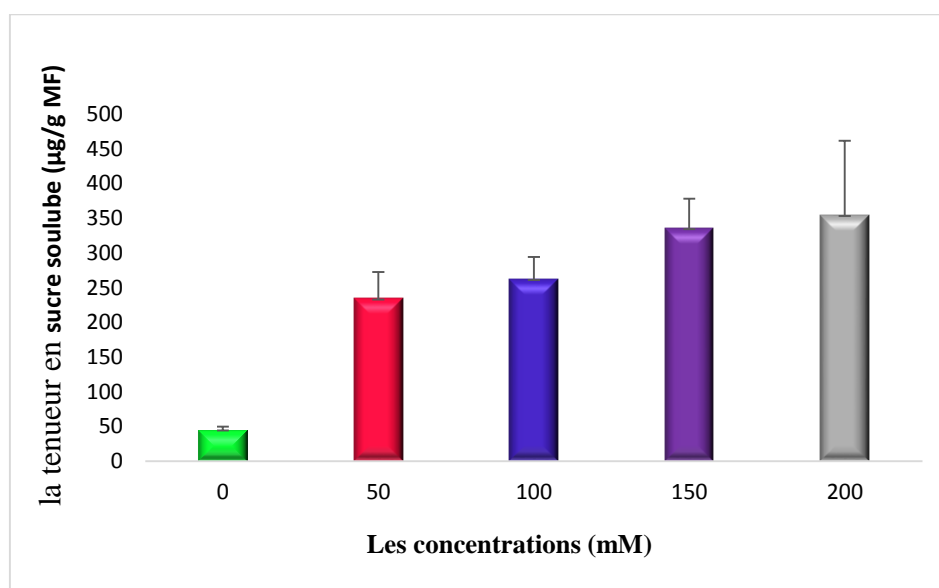


Figure 18 : La teneur en sucres solubles ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Conclusion

Conclusion

Cette étude expérimentale a été entreprise dans le but d'étudier les différents effets du stress salin sur les paramètres physiologiques, morphologiques et biochimiques, d'une variété d'orge (Saïda 183) soumise à des concentrations croissantes de NaCl à savoir : 0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM durant les deux phases, germination et croissance. D'une manière générale, les résultats obtenus font ressortir que le stress salin exerce un effet dépressif sur tous les paramètres étudiés et le degré d'affection et en fonction du niveau du stress appliqué.

Au stade germination, nos résultats ont montré que le stress salin appliqué a affecté la germination des graines de la variété testée. Le taux de germination des graines stressées est inférieur à celui des graines non contraintes et l'effet du stress devient plus prononcé à mesure que la concentration en sel augmente dans le milieu. Le taux final de germination est maximal (100%) pour les graines imbibées par de l'eau distillé non additionnée de sel, puis il diminue progressivement jusqu'à atteindre la valeur moyenne de 23,80 % à la concentration 200 mM de NaCl. On note aussi le même effet pour la longueur de la coléoptile et la longueur de la racine d'où les réductions enregistrées notamment aux fortes concentrations. Signalons en outre, qu'à la plus forte concentration (200 mM), la croissance de la coléoptile est complètement inhibée.

Les résultats du développement des plantules indiquent que la longueur des racines est réduite à mesure que le degré de stress salin augmente en intensité. Les moyennes passent de 10,82 cm en l'absence de stress à 6,96 cm en présence de 200 mM de NaCl. La hauteur des plantes a été également affectée par la salinité et l'impact du stress était plus important pour les concentrations élevées. En est de même pour la surface foliaire, d'où les réductions enregistrées sous l'effet des traitements salins, surtout aux niveaux élevés du stress. D'autre part, le suivi de la matière fraîche et sèche des tiges et des racines nous indique que le stress salin réduit graduellement le taux des matières fraîches et sèches des tiges et des racines en fonction de l'intensité du stress.

Nous constatons également une diminution progressive de la teneur en chlorophylle en fonction du traitement salin. Par contre, les sucres solubles s'accumulent et évoluent progressivement avec l'augmentation de la concentration en sels. Les teneurs passent de 44,92 µg/mg de MF chez le témoin à 354.271 µg/mg de MF chez les plantes soumises au niveau élevé du stress salin.

Conclusion

A partir des résultats obtenus de cette étude, on peut conclure que la variété d'orge testée a montré une sensibilité vis-à-vis des concentrations de NaCl utilisées, et cette sensibilité s'est traduite par leurs modifications physiologiques et biochimiques durant les deux phases germination et croissance.

Comme perspective à cette étude préliminaire, il semble important de vérifier les résultats obtenus par d'autres études complémentaires, afin de confirmer la véritable tolérance ou sensibilité de cette variété au stress salin, pour orienter les agriculteurs vers les variétés qui montrent plus de tolérance vis-à-vis ce type de stress. De même, il est intéressant de suivre la cinétique de croissance pendant tout le cycle de développement de la plante pour déterminer les effets du stress sur le rendement.

Résumés

Cette étude a été portée sur une variété d'orge (Saïda 183) soumise à des doses croissantes de NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM) afin d'évaluer leur tolérance vis-à-vis le stress appliqué. Pour ce faire, un essai de germination des grains a été réalisé dans des boîtes de pétri au niveau de laboratoire et un essai de croissance dans une serre et sous serre semi contrôlée, en estimant quelques paramètres liés à la germination des graines et à la croissance des plantules.

Les résultats obtenus montrent que les paramètres de germination (le taux de germination des graines, longueur des coléoptiles et longueur des racicules) ont été affectés par le stress salin, en est de même pour les paramètres des plantules (surface foliaire, hauteur des plantes, longueur de la racine principale, le poids frais et sec des parties aériennes et souterraines) d'où les réductions enregistrées entre le témoin et les différentes concentrations salines. La même tendance a été observée pour la teneur en chlorophylle totale. D'autre part, une accumulation des sucres solubles foliaires a été enregistrée notamment aux fortes concentrations de sel. Généralement, l'ensemble des résultats obtenus ont montré un effet négatif du stress salin sur tous les paramètres mesurés, et l'effet de sel est d'autant plus important que l'intensité du stress appliqué est plus élevée.

Mots clés : Orge, stress salin, tolérance, germination, croissance.

Abstract :

The study aimed to evaluate the tolerance threshold of NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM, and 200 mM) by examining their effect on stress tolerance. To achieve this, a seed germination trial was conducted in laboratory petri dishes, and a growth trial was carried out in PVC pots under greenhouse conditions, assessing various parameters related to seed germination and seedling growth. The obtained results showed that germination parameters (seed germination rate, coleoptile length, and radicle length) were affected by salt stress, as were the parameters of the seedlings (leaf surface area, plant height, primary root length, fresh and dry weight of aerial and underground parts), resulting in reductions compared to the control group at different salt concentrations. The same trend was observed for total chlorophyll content. Additionally, an accumulation of soluble leaf sugars was recorded, particularly at high salt concentrations. Overall, the results demonstrated a negative effect of salt stress on all measured parameters, with the salt's impact becoming more pronounced at higher stress intensities.

Keywords: Barley, salt stress, tolerance, germination, growth.

الملخص

تمت دراسة تحمل الاجهاد الملحي على صنف من الشعير وهذا من اجل تقييم مدى تأثير هذا الاجهاد على بعض الخصائص الفيزيولوجية والبيوكيماوية لهذا الصنف المدروس، تمت المعاملة بأربعة تركيزات مختلفة من كلوريد الصوديوم (50 مم 100 مم 150 مم 200 مم) مع وجود شاهد بدون معاملة. وقد اجريت التجربة على مستويين تجربة الانبات داخل علب بتري على مستوى مخبر الكلية وتجربة النمو داخل اصص وتمت على مستوى البيت البلاستيكي، وتم تقدير المعايير البذور ونمو النباتات الخاصة بانبات

بينت نتائج هذه الدراسة ان للاجهاد الملحي تأثير سلبي على انبات البذور و نمو النبات ويزداد هذا التأثير بزيادة شدة الاجهاد حيث تم تسجيل انخفاض في نسبة اللانبات، طول الجذر الرئيسي وطول الساق ولوحظ نفس الانخفاض بالنسبة لمعايير تجربة النمو، حيث اثر الاجهاد الملحي على طول الجذر ومساحة الورقة و الوزن الطري و الجاف للجزء الهوائي و الترابي، و المحتوى الكلي للكوروفيل وكمية السكريات الذائبة مقارنة بالنباتات الغير مجهدة مما يدل على ان صنف سعيدة المدروس حساس للتراكيز العالية من كلوريد الصوديوم. عموما النتائج المحصل عليها تظهر التأثير السلبي للاجهاد الملحي على كل المعايير المدروسة ويكون تأثير الاجهاد اكبر كلما زاد تركيز الملح في الوسط.

الكلمات المفتاحية: الشعير، إجهاد الملح، تحمل، انبات، نمو.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

Abdely, C. 2006. Bioremédiation / Phytoremédiation. Université de Tunis - Institut supérieur de l'éducation et de la formation continue, 32p. SN 232.

Abdi, N. Wasti, S. Amour, S. Ben Salem, S. Faleh, M. E. And Maaleg, M. E. 2016. Comparative Study of Salinity Effect on Some Tunisian Barley Cultivars at Germination and Early Seedling Growth Stages. *J. Plant Physiol Pathol*, 4 (3): 1-9.

Achour, A. Bidai, Y. et Belkhodja, M. 2015. Impact de la salinité sur le comportement hydrique et métabolique d'une variété de Gombo (*Abelmoschus esculentus* L.). *International Journal of Innovation and Applied Studies* ; Rabat, 12(4): 943-953.

Ashraf, M.A. Ashraf, M. and Shahbaz, M. 2012. Growth stage-based modulation in antioxidant defense system and proline accumulation in two hexaploid wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars differing in salinity tolerance. *Flora morphology, distribution functional, Ecology of plants*, 207(5):388-397.

Adjel, F. 2017. *Analyse de la tolérance de l'orge (Hordeum vulgare L.) au stress salin*, thèse de doctorat en Biologie végétale. Université Ferhat Abbas, Sétif 1, 84p.

Akbar, H. 2021. Plant stress physiology. Ed. United Kingdom interchopen, Croatia, 55p.

Alam, S.M. 1999. Nutrient uptake by plants under stress conditions. Ed. Nuclear Institute of Agriculture, Pakistan, 314p.

Al-karaki-Ghazi, N. 2001. Germination sodium and potassium concentrations of barley seeds as influenced by salinity. *Journal of plant nutrition*, 24(3):511-522.

Ansari, M.I. 2018. Plant microbiome and its functional mechanism in response to environmental stress. *International Journal of Green Pharmacy*, 12(1): 81-91.

Ansari, M.R. 2022. Current Trends in Wheat Research. Éd. United Kingdom interchopen, London, 94p.

Askri, H. Rejab, S. Jebari, H. Nahdi, H. et Rejeb, M. N. 2015. Effet du chlorure sodium sur la germination des graines de trois variétés de pastèque (*Citrus lanatus* L.). *Sècheresse* 18(1): 51-55.

Auguste, P. et Drapiez, J. 2009. Dictionnaire classique des sciences naturelles : présentant la définition, l'analyse et l'histoire de tous les êtres qui composent les trois règnes, leur application générale aux arts, à l'agriculture à la médecine, à l'économie domestique. Ets, résumant les travaux de Buffon, 746p.

Averina, N.G. Gritskevich, E. R. Vershilovskaya, I.V. Usatov, A.V. and Yaronskaya, E.B. 2010. Mechanisms of Salt Stress Tolerance Development in Barley Plants under the Influence of 5 Aminolevulinic Acid. *Russian journal of plant physiologie*, (57) :792-798.

Azzam, R.C. Safi, N. S. Z. Bamagoos, A. A. Rady, M. and Alharby, F. H. 2022. Soaking maize seeds in zeatin-type cytokinin biostimulators improves salt tolerance by Enhancing the antioxidant system and photosynthetic efficiency. *National library of medicine plant basel*, 11(8):1004.

Références bibliographiques

Bakht, J. Shafi, M. Jamel, Y. and Sher, H. 2011. Response of maize (*zea maise* L) to seed priming with NaCl and salinity stress. *Spanich journal of agricultural resarch*, 9(1):252-261.

Bauci, S. A. Ekiz, H. and Yilmaz, A. 2003. Determination of the Salt Tolerance of Some Barley Genotypes and the Characteristics Affecting Tolerance. *Turk J. Agric For*, 5(27):253-260.

Bchini, H. Sebei, A. Bahrouni, H. Sayar, R. et Medani, Z. 2019. Effet de salinité sur le comportement du system racinaire et sur la production en grains d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Annales de l'INRA*, (92): 43-54.

Ben Ahmed, H. Arafet, M. et Zid, E. 2008. Tolérance à la salinité d'une Poaceae à cycle court : la sétaria (*Setaria verticillata* L.). *C. R. Biologies*, (331):164-170.

Benderradji, I. 2013. *Selection in vitro pour la tolerance aux stress salin et thermique chez le ble tendre (Triticum aestivum L.)*. Thèse de doctorat en Biologie et Ecologie Végétale, Université Constantine -1, 141p.

Benmahiou, B. Daguin, F. et Kaid-harache, M. 2009. Effet du stress Salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). *C. R. Biologies* (332): 752–758.

Benzahra, S. et Snoussi, S.A. 2018. Impact du potentiel hydrogène d'une eau saline non conventionnelle sur la nutrition minérale du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivé en hors-sol. *revue agrobiologia*, 8(1): 786-791.

Bliss, R. D. Platt-Aloria K. A. and Thomson w. w. 1986. Osmotic sensitivité in relation to sensitivituy in germination barley seeds. *Plant cell and Env*, (9): 721-725.

Boualla, N. Benziane, A. et EL Derrich, Z. 2012. Origine de la salinisation des sols de la Plaine de M'léta. Oran, Algérie. *Journal of application biosciences*, (53) : 3787-3796.

Bouatrous, Y. 2013. *Effet du stress salin et l'haplodiploidisation chez le blé dur (Triticum durum desf)*. Thèse de doctorat en biologie végétale, université de Constantine, 44p.

Chabane, M. et Boussard, J. M. 2012. La production céréalière en Algérie: Des réalités d'aujourd'hui aux perspectives stratégiques de demain. *Sciences Hal*, 04-20.

Chaker-haddadj, A. 2015. *Evaluation de la tolérance à la contrainte saline chez quelques variétés de fève (Vicia faba L. minor) cultivées en Algérie: aspects morpho-physiologiques, biochimique et symbiotique*. Thèse de doctorat en Sciences Agronomiques, Ecole Supérieure d'Agronomie, université El Harrach-Alger, 175p.

Cheikh, O. S. Dethie, W. Elhadji, F. et Diaw, M.M. 2020. Effet du stress salin sur la croissance de quatre provenances d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) en milieu semi-contrôlé. *Journal sciences de l'environnement*, 22(3): 4-37.

Chen, D. Wang, S. Yin, L. and Deng, X. 2018. How does silicon Mediate plant water uptake and loss under water deficiency ? *front plant science*, (9), 2531-2535.

Come, D. 1970. Les obstacles à la germination, Ed. Société linnéenne de Lyon, 108p.

Références bibliographiques

- Demirkiran, A. Marakli, S. Temel, A. and Gozukirmizi, N. 2013.** Genetic and epigenetic effects of salinity in vitro growth of barley. *Plant genetics*, 36(4): 566-570.
- Djerah, A. et Oudjehih, B. 2016.** Effet du stress salin sur la germination de seize variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Courrier du Savoir*, (20): 47-56.
- Djermoun, A. 2009.** La production céréalière en Algérie. *Les principales Caractéristiques Nature et Technologie*, (01): 45-53.
- Dođru, A. Yılmaz, K.M. 2019.** A preliminary study on salt tolerance of Some barley genotypes. *Sakarya Journal of Science*, 23(5):755-762.
- Dubois, M. Gilles, K. A. Hamilton, J. K. Rebers, P.A. et Smith, F. 1956.** Colorimetric method for determination of sugars and related substance. *Anal Chem*, (28):350-356.
- El Goumi, Y. Fakiri, M. Lamsaouri, O. and Benchekroun, M. 2013.** Salt stress effect on seed germination and some physiological traits in three Moroccan barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivars. *J. Mater. Environ. Sci*, 5(2):625-632.
- El madidi, S. El baroudi, b. Bani aameur, F. 2004.** Effects of Salinity on Germination and Early Growth of Barley (*Hordeum vulgare* L.) Cultivars. *Int. J. Agri. Biol*, 5(6):767-770.
- El-Mokh, F. et Negaz, K. 2015.** Irrigation déficitaires à l'eau salée de l'orge en milieu aride. Ed. Université Européenne, Tunisie, 95p.
- El Midaoui, M. Benbella, M. Aït Houssa, A. Ibriz, M. et Talouizte, A. 2007.** Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.). *Journal HTE*, (136): 29-34.
- Essington, M.E. 2004.** The Soil mineralogy of lead at horace's villa Soil. *Science society of amrica journal*, 68(3): 979.
- FAO. 2010.** The state of food and agriculture, climate change, agriculture and food security, 30-90p.
- FAO., 2021.** Climat et environnement. <http://news.un.org/fr/story/2021/10/1106672>
- Farhan, A. Singh, A. and Kamal, A. 2020.** Osmoprotective rol of sugar in plante, productive chiminal agents in the Amelioration of plante abiotic stress. *Biochemical and Molecular Perspectives*, p53-70.
- Fleurance, J. 2022.** Les algues en agrobiologie bilan et perspectives. Ed. Iste, London, 206 p.
- Flowers, T.J. Garcia, A. Koyama, M. and Yeo. A.R. 1997.** Breeding for salt tolerance in crop plants the role of molecular biology. *Acta physiological Plantarium*, 19(4): 427-433.
- Fred, C. 2009.** Des connaissances au politique: Tirer la meilleure partie possible de la recherche en développement. Ed. Centre de recherche internationale, Canada, 191p.
- Garg, B.K. Gupta, I.C. 2019.** Salinity Tolerance in Plants : Méthodes, Mechanisms and Management. Ed. Revised and Enlarged, India, 435p.

Références bibliographiques

- Gomes, F.E. Prisco, J.T. Campos, F.A.P. and Fliho, E.J. 1983.** Effects of NaCl salinity in vivo and in vitro ribonuclease activity of *Vigna unguiculata* cotyledons during germination. *Plants physiol*, (59):183-188.
- Hamon, S. 2001.** Des modèles biologiques à l'amélioration des plantes. Ed. Institut de recherche pour le développement, Paris, 726p.
- Hamdy, A. 1999.** Saline irrigation and management for a sustainable use. In : Advanced Short Course on Saline Irrigation. Proceeding, Agadir, p152-227.
- Hanana, M. Hamrouni, L. Cagnac, O. et Blumwald, E. 2011.** Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Environmental reviews*, (19): 121-140.
- Hoekstra, F.A. Golovina, E.A. and Buitink, J. 2001.** Mechanisms of plant desiccation tolerance. *Trends Plant Sci.* 6(9): 431-438.
- Kadri, K. Maalam, S. Cheikh, M. H. Benabdallah, A. Rahmoun, C. et Ben Naceur. M. 2009.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques accessions tunisiennes d'orge (*Hordeum vulgare* L.). *Science and Technologie*, (29):72-79.
- Khosravinejad, F. Heydari, R. and Farboodnia, T. 2009.** Effect of salinity on organic solutes contents in barley. *Pakistan journal of biological sciences*, 2(12):158-162.
- Kloppmann, W. Bourhane, A. Asfirane, F. 2011.** Méthodologie de diagnostic de l'origine de la salinité des masses d'eau : Emploi des outils géochimiques, isotopiques et géophysiques. BRGM/RP-60026-FR.
- Koubaa, S. 2019.** *Etude Structurale et Fonctionnelle d'une Protéine LEA du groupe 3 impliquée dans la tolérance au stress abiotiques et biotiques chez le blé dur.* Thèse de doctorat en Génie biologique, Université de Sfax, Tunisie, 143p.
- Laribi, B. Bettaieb, I. Kouki, K. Sahli, Mougou, A. Marzouk, B. 2009.** Water deficit effects on caraway (*carum carvi* L) growth essential oil and fatty acid composition. *Crop prod*, (30): 372-379.
- Lepengue, A. N. Mouraradjja, I. Mulowaykalenda, A. Ake, S. et M'batchi, B. 2012.** Influence du chlorure de sodium sur la production de biomasse de la Roselle (*Hibiscus sabdariffa*, L. var. *sabdariffa*), au Gabon, *chemistry* 2(23):103-109.
- Levigneron, A. Lopez, F. Vansuyt, G. Berthomieu, P. Fourcroy, P. and Casse-Delbart, F. 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agricultures*, 4(4): 263-273.
- Luo, Y. Liang, J. Guangming, Z. Chen, M. Dan, M. Guoxue, Li. And Zahng, D. 2018.** Seed germination test for toxicity evaluation of compost : Its roles, problems and prospects. *Waste management*, (17): 109-114.
- Maaouia-Houimli, S. Denden, M. Dridi, B. M. et Gueddes, S. B. 2011.** Caractéristiques de la croissance et de la production en fruits chez trois variétés de piment (*Capsicum annuum* L.) sous stress salin. *Tropicultura*, 29(2):75-81.

Références bibliographiques

- Malki, M. et Hamadache, A. 2002.** Pratique céréalière et savoir traditionnel en Algérie : analyse du proverbe populaire relatif à la pratique céréalière à lumière des sciences agronomiques moderne. I.T.G.C., 65p.
- Marlet, S. et Job, J.O. 2006.** Processus et gestion de la salinité des sols : In Traité d'Irrigation. 2 ème ed. Ed. Tec et Doc- Lavoisier, Paris, p: 797-822.
- Martirosyan, D. 2005.** Functional Foods for Cardiovascular Diseases : Functional Foods Can Help Reduce the Risks of Cardiovascular Diseases. Ed. D et A Incorporated, America, 267p.
- Martinez, P.J. Lutt, S. Schanck, A. Bajji, M. Kinet, J.M. 2004.** Is osmotic adjustment required for water stress resistance in the Mediterranean shrub *Atriplex halimus* L?. *journal of plant physiology*, 161(9): 1041-1051
- Mefti, M. Bouzerzour, H. Abdlguerfi, A. et Nouar, H. 2008.** Morphological and growth characteristics of Perennail Grass, cultivars grown under semi-arid conditions of the Algerian high plateaus. *Journal of Agronomy*, 7(2): 138-147.
- Metternich, G. and Zinck, A. 2008.** Remote Sensing of soils salinization impact on land management. Ed. CRC, Press, 147p.
- Menad, A. Meziani, N. Bouzerzour, H. et Benmahammed, A. 2011.** Analyse de l'interaction génotype X milieux du rendement d'Orge (*Hordeum vulgare* L.): application des modèles AMMI et la régression conjointe. *Nature et Technologie*, (5): 99-106.
- Michael, A. M. 2017.** Encyclopedia of deserts. University of Oklahoma Press, 1999 - 654 pages.
- Miguel, J.R. Papageoriou, M. and Rakszegi, M. 2023.** Developing sustainable and health-promoting cereals and pseudo cereals. Ed. United kingdom, India, 506p.
- Montoroi, J.P. 2018.** Soil salinization and management of salty soils. Soils as a Key Component of the Critical Zone 5. Degradation and Rehabilitation, 1sted. Ed. ISTE Ltd, London, 120p.
- Munns, R. James, R. A. and Lauchli, A. 2006.** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57 (5): 1025-1043.
- Faye, O. Gueye, T. et Dieng, A. 2017.** Effets de la salinité sur différentes variétés de riz durant leur phase végétative. *Afrique Science*, 13(1): 101-117.
- Ouazzani, C. et Moustaghfir, A. 2020.** Accumulation des sucres dans les tiges et les feuilles de différentes variétés de tournesol exposées à l'environnement salin. *Journal of Applied Biosciences*, (154): 159-180.
- Ouhaddach, M. ElYacoubi, V. Douaik, A. Hmouni, D. and Rochdi, A. 2016.** Réponse à la salinité de quelques paramètres physiologiques et biochimiques du blé (*Triticum aestivum* L.) au stade montaison. *J. Mater. Environ. Sci*,7(9): 3084 -3099.
- Phillips, J.R. Oliver, M.J. et Bartels, D. 2002.** Molecular genetics of desiccation and tolerant systems. In Desiccation and survival in plants: Drying without dying. CAB International, Mol. Gen. Genet. P: 319–341.

Références bibliographiques

- Qadir, M. Oster, J. Schubert, S. and Murtaza, G. 2007.** Vegetative Bioremediation of Sodic and Saline-Sodic Soils for Productivity Enhancement and Environment Conservation. *Biosaline Agriculture and Salinity Tolerance in Plants*, 137-146.
- Radhouane, L. 2008.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance, et la production en grain chez quelques écotypes de mil (*pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) autochtones de Tunisie, *comptes rendus biologies* (331): 278-286.
- Rahal-Bouziane, H. 2015.** L'orge en Algérie: passé, présent et importance pour la sécurité alimentaire, face aux nouveaux défis. *Recherche Agronomique*, 17(27):1-24.
- Rao, D.N. Le BLanc, B.F. 1956.** Effects of sulfur dioxide on the lichen alga, with special reference to chlorophyll. *Environmental science. The Bryologist*, (69): 69-75.
- Rathert, G. 1984.** Sucrose and starch content of plant parts as a possible indicator for salt tolerance. *Australian Journal of Plant Physiology*, 11(6): 491-495.
- Robert, N. Carrow, R. Ronny, and Duncan, 2011.** Best Management Practices for Saline and SodicTurfgrass Soils : Assessment and Reclamation. Ed. Crc Press, London, 456p.
- Shafaqat, A. Zohaib, A. Selemina, F. M. Rizwan, M. Yavas, I. Bushra, A. A. Shami, A. Hasnuzzaman M. and Kalderis, D. 2020.** Glycine betaine Accumulation, significance and interests for heavy metal tolérance in plants. *Journal list - plante basel*, 9(7): 896-907.
- Silva-Ortega, O.C. Ochoa-Alfaro, A.E. Reyes-Aguero, J.A. Gerardo, A. Aguado-Santacruz, C. and Jimenez-Bremont, J.F. 2008.** Salt stress increases the expression of p5cs gene and induces proline accumulation in *Cactus pear*. *Plant Physiology and Biochemistry*, (46):82-92.
- Simmons, S. R. Oelke, E. A. and Anderson, P.M. (1995).** Growth and development guide for spring wheat. University of Minnesota. Agricultural Extension Service. Folder AG-FO-2547.
- Speer, M. Kaiser, W. M. 1991.** Ion relations of symplastic and apoplastic space in leaves from (*Spinacia oleracea*. L), and (*Pisum sativum* L.) under salinity. *Plant physiology*, (97): 990-997.
- Steppuhn, H. and Wall, K.G. 1996.** Grain yields from spring-sown Canadian wheats grown in saline rooting media, *Can. J. Plant Sci.* p116-162.
- Szablocks, I. 1989.** Salt affected Soils. CRC Press Inc, Boca raton, Florida, 274p.
- USDA. 2019.** Foreign Agricultural Service, Office of Global Analysis. Didponible sur: <https://apps.fas.usda.gov/psdonline/circulars/grain.pdf>.
- Vahidreza, J. Kapourchal, S. A. 2020.** Assessing four different macroscopic watter uptake models for maize plant (*Zea mays* L.) under salinity stress. *Irrigation and drainage*, 70(1): 70-83.
- Valentin, K. 2018.** Les sols au coeur de la zone critique 5. Dégradation et réhabilitation, Edition ISTE, Londres, 260p.
- Van hoorn, J.W. 1991.** Development of soil salinity during germination and early seedling growth and its effect on several crops. *Agricultural water mangement*, (20):17-28.

Références bibliographiques

Wang, L. Feng, L.C.K. Liu, F. Xianghong, D. Tong, W. Xiaojun, N. Wanquan, J. and Son, W. 2015. Global identification of microRNAs and their targets in barley under salinity stress. *Plos One*, 10(9): 3-20.

Willey, N. 2015. Environmental plant physiology. Ed. Garian Science, New York, 400p.

Xue, Z. Y. Zhi, Y. D. Xue, P. G. Zhang, H. Zhao, X. Y. and Xia, M. G. 2004. Enhanced salt tolerance of transgeniques wheat (*Tritivum aestivum* L) expressing a vacuolair Na⁺/ H⁺ antiporter gene with improved grain yields in saline soils in the field and a reduced level of leaf Na⁺. *Journal Plant science*, (167):849-859.

Yancey, P.H. Clark, M.E. Hand, S.C. Bowlus, R.D. and Somero, G.N. 1982. Living with water stress : evolution of osmolyte systems. *Science*, 217(456): 1214-1222.

Zaman, M. Shabbir, A. Shahid, and Heng, L. 2018. Salinity and sodicity adaptation and mitigation options. Guideline for salinity assessment, mitigation and adaptation using nuclear and related techniques. Ed. International atomic energy agency, Australia, 168p.

Zerrounda, M. 2012. Approches physiologi et métaboliques pour la sélection de variétés d'orge tolérantes au stress salin. Ecole Nationale supérieure Agronomique, El Harrach, Algérie, 100p.

Zhang, G. et Chengdao, L. 2022. Exploration, identification and utilisation of barley Germplasm. Ed. Quae, paris, 304p.

Site internet

1. <https://agronomie.info/fr/mise-en-valeur-des-sols-sales/> 23/4/2023.
2. <https://www.encyclopedie-environnement.org/zoom/biotechnologie-tolerance-salinite-plantes-cultivees/> 27/4/202

Annexes

Annexes

Tableau 01 : Taux de germination (%) des grains d'orge soumis aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Percent Ge germination %	100	80,94	71,42	52,37	23,80

Tableau 02 : Longueur de la racicule (cm) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
La longueur de la racicule (cm)	5,81	5,07	3,94	2,77	0,51

Tableau 03 : Longueur de la tigelle (cm) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
La longueur de la tigelle (cm)	5,83	4,26	2,28	1,44	0,00

Tableau 04 : Hauteur des plantes (cm) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
La hauteur des plantes (cm)	34,66	26,27	23,84	22,63	15,09

Tableau 05 : Longueur de la racine principale (cm) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
La longueur de racine (cm)	10,82	8,55	8,18	7,66	6,96

Annexes

Tableau 06: La surface foliaire (cm²) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
La surface foliaire (cm ²)	6,21	5,68	5,08	4,85	2,95

Tableau 07 : Le poids frais de la partie aérienne (mg) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Le poids frais de la partie aérienne (mg)	692,21	545,55	397,77	366,66	180

Tableau 08: Le poids frais de la partie racinaire (mg) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Le poids frais de la partie racinaire (mg)	49,99	42,11	34,92	31	26,66

Tableau 09 : Le poids sec de la partie aérienne (mg) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Le poids sec de la partie aérienne (g)	82,42	68,14	51,85	50,41	48,81

Tableau 10 : Le poids sec de la partie racinaire (mg) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Le poids sec de la partie racinaire (mg)	13,64	12,54	12,22	11,25	10,12

Tableau 11 : La teneur en chlorophylle totale (µg/mg de MF) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
La teneur en chlorophylle (µg/mg de MF)	13,22	12,11	11,21	9,51	8,55

Annexes

Tableau 12 : La teneur en sucres solubles ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF) de la variété d'orge testée soumise aux différentes concentrations de Na Cl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
La teneur du dosage de sucre ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF)	44,926	233,835	261,711	338,969	354,271

Annexe 01 : Analyse de la variance de pourcentage de germination (%)

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de P
Répétition	4	10124	2530,9	12,40	0,001
Erreur	10	2041	204,1		
Total	14	12164			

Annexe 02 : Résultats des tests de Dunnett pour le taux de germination (%).

Concentration	N	Moyenne	Groupement
C0	3	100,0	A
C1	3	80,95	A
C2	3	71,42	A
C3	3	52,4	
C4	3	23,80	

Annexe 03 : Analyse de la variance de la longueur de la racicule (cm).

Source	DL	SomCar	CMajust	Valeur F	Valeur de P
Répétition	4	55,449	13,8622	49,11	0,000
Erreur	10	2,823	0,2823		
Total	14	58,272			

Annexe 04 : Résultats des tests de Dunnett pour de la longueur de la racicule (cm).

Concentrions	N	Moyen	Groupement
C0	3	5,810	A

Annexes

C1	3	5,073	A
C2	3	3,943	
C3	3	2,773	
C4	3	0,340	

Annexe 05 : Analyse de la variance de la longueur de la tige (cm)

Source	DL	SomCar	Cmajust	Valeur F	Valeur de P
Concentration	4	63,807	15,9517	61,35	0,000
Erreur	10	2,600	0,2600		
Total	14	66,407			

Annexe 06 : Résultats des tests de Dunnett pour de la longueur de la tige (cm)

Concentrions	N	Moyen	Groupement
C0	3	5,830	A
C1	3	4,263	
C2	3	2,287	
C3	3	1,440	
C4	3	0,000000	

Annexe 07: Analyse de la variance de la hauteur des plantes (cm)

Source	DL	SomCar	Cmajust	Valeur F	Valeur P
Concentration	4	552,6	138,14	11,51	0,001
Erreur	10	120,0	12,00		
Total	14	672,6			

Annexe 08 : Résultats des tests de Dunnett pour de la hauteur des plantes (cm)

Répétition	N	Moyen	Groupement
C0	3	34,66	A
C1	3	26,28	

Annexes

C2	3	23,84	
C3	3	22,63	
C4	3	15,90	

Annexe 09 : Analyse de la variance de la longueur de la racine (cm).

Source	DL	SomCar	Cmajuste	Valeur F	Valeur de P
Répétition	4	25,62	6,406	2,50	0,109
Erreur	10	25,63	2,563		
Total	14	51,26			

Annexe 10 : Résultats des tests de Dunnett pour de la racine (cm)

Concentration	N	Moyen	Groupement
C0	3	10,827	A
C1	3	8,55	A
C2	3	8,19	A
C3	3	7,667	A
C4	3	6,967	

Annexe 11 : Analyse de la variance de la surface foliaire (cm²).

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Répétition	4	18,38	4,594	4,54	0,024
Erreur	10	10,13	1,013		
Total	14	28,50			

Annexe 12 : Résultats des tests de Dunnett pour de la surface foliaire (cm²)

Concentration	N	Moyen	Groupement
---------------	---	-------	------------

Annexes

C0	3	6,212	A
C1	3	5,680	A
C2	3	5,080	A
C3	3	4,857	A
C4	3	2,957	

Annexe 13 : Analyse de la variance du poids frais de la partie aérienne (g).

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Répétition	4	237424	59356	2,77	0,087
Erreur	10	214155	21415		
Total	14	451579			

Annexe 14 : Résultat des tests de Dunnett pour le poids frais de la partie aérienne (g).

Concentration	N	Moyen	Groupement
C0	3	492	A
C1	3	545,6	A
C2	3	397,8	A
C3	3	366,7	A
C4	3	180,0	A

Annexe 15 : Analyse de la variance du poids frais de la partie souterraine (g).

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur P
Répétition	4	965,8	241,5	1,12	0,401
Erreur	10	2161,0	216,1		
Total	14	3126,8			

Annexe 16 : Résultat des tests de Denet pour le poids frais de la partie souterraine (g).

Concentration	N	Moyen	Groupement
C0	3	50,00	A
C1	3	42,2	A

Annexes

C2	3	34,92	A
C3	3	31,67	A
C4	3	27,34	A

Annexe 17 : Analyse de la variance le poids sec de la partie aérienne (g).

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
concentration	4	2556	639,0	4,04	0,033
Erreur	10	1580	158,0		
Total	14	4136			

Annexe 18 : Résultat des tests de Dunnett pour poids sec de la partie aérienne (g).

Concentration	N	Moyen	Groupement
C0	3	82,42	A
C1	3	68,14	A
C2	3	51,85	
C3	3	50,42	
C4	3	48,81	

Annexe 19 : Analyse de la variance du poids sec de la partie souterraine (g).

Source	DL	SomCar	CM ajust	Valeur F	Valeur de p
Concentration	4	21,41	5,353	0,96	0,468
Erreur	10	55,50	5,550		
Total	14	76,91			

Annexe 20 : Résultats des tests de Dunnette pour du poids sec de partie souterraine (g).

Concentration	N	Moyen	Groupement
C0	3	13,647	A
C1	3	12,55	A

Annexes

C2	3	12,22	A
C3	3	11,257	A
C4	3	10,120	A

Annexe 21 : Analyse de la variance de la tenure en chlorophylle ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF).

Source	DL	SomCar	Cmajuste	Valeur F	Valeur de P
Répétition	4	42,97	10,743	2,68	0,094
Erreur	10	40,11	4,011		
Total	14	83,08			

Annexe 22 : Résultats des tests de Dunnette pour de la tenure en chlorophylle ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF).

Concentration	N	Moyen	Groupement
C0	3	13,22	A
C1	3	12,11	A
C2	3	11,122	A
C3	3	9,510	A
C4	3	8,557	A

Annexe 23 : Analyse de la variance de la tenure en sucre soluble ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF).

Source	DL	SomCar	Cmajuste	Valeur F	Valeur de P
Répétition	4	181582	45396	14,29	0,000
Erreur	10	31760	3176		
Total	14	213343			

Annexe 24 : Résultats des tests de Dunnette pour de tenure en sucre soluble ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF).

Concentration	N	Moyen	Groupement
C0	3	44,93	A

Annexes

C1	3	354,3	
C2	3	335,3	
C3	3	261,7	
C4	3	233,8	