

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

Effet de la contrainte saline sur la croissance et la physiologie de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Cascais F1)

Présenté par :

❖ **Lmouaci Anissa**

Devant le jury :

Présidente : Ouchtati Nadia

M.C.A

Université de Guelma

Examineur : Zitouni Ali

M.C.B

Université de Guelma

Encadrant : Chahat Nora

M.C.B

Université de Guelma

2024/2025

Remerciements

Avant toute chose, je remercie Dieu le tout puissant, pour le courage et la force qu'il m'a donné pour mener ce travail jusqu' à la fin.

Je voudrais exprimer ma profonde reconnaissance, et mes remerciements les plus chaleureux à ma promotrice **Mme. Chahat Nora** ce qui a dirigé ce travail, pour tous ces conseils précieux, sa patience, et le soutien qu'elle n'a pas manqué de me témoigner lors de la réalisation de ce travail.

Mes remerciements les plus chaleureux vont à **Mme. Ouchtati Nadia** qui m'a fait l'honneur de présider le jury et qui m'a fait bénéficier de ses vastes connaissances et ses précieux conseils.

C'est avec beaucoup de gratitude que je remercie **M. Zitouni Ali** qui m'a fait l'honneur d'examiner ce travail et pour son aide précieuse lors de l'étude statistique.

Mes vifs remerciements vont également aux ingénieurs des laboratoires de la faculté SNVSTU qui ont mis à notre disposition les produits et le matériel nécessaire pour la réalisation de ce travail.

Merci à vous tous

TABLE DES MATIÈRES

Table des matières	I
Liste des tableaux	II
Liste des figures	III
Liste des abréviations	VI
Introduction générale.....	01

Chapitre 1 : Matériel et méthodes

1.1. Objectif de l'essai	07
1.2. Présentation du site de l'essai	07
1.3. Matériel végétal utilisé	07
1.3.1. Le semi.....	08
1.3.2. Conduite du stress et application des traitements.....	08
1.3.3. Les solutions salines	09
1.4. Caractéristiques du substrat de culture.....	10
1.5. L'irrigation.....	10
1.6. Mesures effectuées.....	10
1.6.1. Hauteur des plantes	10
1.6.2. Longueur de la racine principale	10
1.6.3. Surface foliaire (SF).....	10
1.6.4. Détermination de la biomasse aérienne et souterraine	11
1.6.5. Nombre de feuilles	11
1.6.6. La teneur en chlorophylle totale.....	11
1.6.7. La teneur en sucres solubles.....	13
1.7. Traitement statistique des résultats.....	14

Chapitre 2 : Résultats et discussion

2.1. Essai de croissance et de développement des plantules dans les pots	16
2.1.1. Hauteur des plantes	16
2.1.2. Longueur de la racine principale.	17
2.1.3. La surface foliaire.....	18
2.1.4. Le poids frais de la partie aérienne et souterraine.....	19
2.1.5. Le poids sec de la partie aérienne et souterraine.....	20
2.1.6. Nombre de feuilles.....	22
2.1.7. La teneur en chlorophylle totale.....	23
2.1.8. Dosage des sucres solubles.....	24
Conclusion	26
Résumés	29
Références bibliographiques	33
Annexes	41

Liste des tableaux

N	Titre	Page
1	Principales caractéristiques de la variété étudiée	08

Liste des figures

N	Titre	Page
1	La serre de l'université (site de l'essai)	07
2	Essai de croissance dans les pots.	09
3	Description du dispositif expérimentale de l'essai de croissance dans les pots et sous serre d'université	09
4	Etapes de dosage de la chlorophylle totale	12
5	Etapes de dosage des sucres solubles	14
6	Hauteur des plantes (cm) de tomate (var. <i>Cascais F1</i>) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	16
7	Longueur de la racine principale (cm) des plantes de tomate (var. <i>Cascais F1</i>) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	17
8	La surface foliaire (cm ²) des plantes de tomate (var. <i>Cascais F1</i>) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	18
9	Le poids frais de la partie aérienne (g) des plantes de tomate (var. <i>Cascais F1</i>) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	19
10	Le poids frais de la partie racinaire (g) des plantes de tomate (var. <i>Cascais F1</i>) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	20
11	Le poids sec de la partie aérienne (g) des plantes de tomate (var. <i>Cascais F1</i>) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	21
12	Le poids sec de la partie racinaire (g) des plantes de tomate (var. <i>Cascais F1</i>) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	21
13	Nombre de feuilles des plantes de tomate (var. <i>Cascais F1</i>) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	22
14	La teneur en chlorophylle totale (µg/mg de MF) des plantes de tomate (var. <i>Cascais F1</i>) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	23
15	La teneur en sucres solubles (µg/mg de MF) des plantes de tomate (var. <i>Cascais F1</i>) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)	24

Liste des abréviations

Chl a+b : Chlorophylle a+b

D.O : Densité Optique

FAO : Food and Agriculture Organisation

Fig : Figure

MF : Matière Fraiche

NaCl : Chlorure de Sodium

SF : La surface foliaire

µg : Micro gramme

µm : Micromètre

mM : Milli-molaire

nm : Nanomètre

Introduction

Générale

Introduction générale

La réduction progressive du couvert végétal dans les régions arides et semi arides, sous l'effet de la désertification et l'érosion du sol devient de plus en plus un problème majeur dans les écosystèmes de ces régions **(Martinez et al., 2005)**, affectant grandement la fertilité des sols. La dégradation des sols se traduit par différents phénomènes, souvent combinés, tels que la détérioration de leur structure entraînant une diminution de la porosité et de la capacité de rétention d'eau, de même qu'un déséquilibre en nutriments essentiels tels que l'azote, le potassium et le phosphore, mais aussi des perturbations dans les communautés microbiennes **(FAO, 2015)**, d'autre part, l'exposition permanente aux pressions environnementales constitue un danger menaçant la croissance des plantes et leur production agricole **(Ansari, 2018)**.

Les stress abiotiques auxquels les plantes sont confrontées sont dus principalement à des facteurs environnementaux comme la sécheresse, les températures extrêmes, excès d'eau et la salinité des eaux et des sols. Plus récemment, la pollution du sol, de l'eau et de l'air, due à l'activité de l'homme est venue s'ajouter à la liste des facteurs de l'environnement dont les plantes sont exposées **(Hopkins, 2003)**. Les plantes dans les milieux contraints rencontrent des difficultés dans leur croissance, leur développement et leur production en grains et en fruit.

Le stress chez les végétaux a été défini comme tout facteur externe qui influence négativement la croissance, la productivité, la capacité de reproduction ou la survie des plantes **[1]**.

Les conditions qui génèrent des stress sont créées, lorsque les paramètres environnementaux atteignent des valeurs extrêmes et peuvent exercer des impacts importants sur la physiologie, le développement et la survie des plantes. Par exemple, les espèces cultivées peuvent connaître de longues périodes de sécheresse ou leurs racines se trouver dans des conditions de forte salinité dans le sol **(Hopkins, 2003)**.

La salinité-sodicité des sols est l'un des plus grands défis mondiaux dans les régions arides et semi-arides, qui affecte gravement la production agricole. 20 % du total des terres cultivées et 33 % des terres agricoles irriguées dans le monde en sont touchés. Environ 1 milliard d'hectares de la surface terrestre mondiale sont touchés par la salinisation, ce qui représente autour de 7 % de la surface terrestre de la planète **[2]**.

En Afrique du nord et au Moyen-Orient, elle couvre près de 15 millions d'hectares, dont 15% sont dépourvus de toute végétation **(Le Houerou, 1986)**. En Algérie seule 3,2 millions

d'hectares sont affectés par la teneur excessive en sel (**Sheng et al., 2008**), dont une grande partie se situe dans des régions à un climat aride et semi-aride (**Hamdy, 1999**).

La salinisation implique une accumulation de sels par des processus naturels du fait d'une forte teneur en sel du matériau parent ou des nappes souterraines riches en sels. Celles-ci peuvent s'orienter vers la surface ou vers des couches au-dessus du niveau de la nappe phréatique. De même, l'infiltration des eaux souterraines dans des zones se trouvant en-dessous du niveau de la mer [3].

Le processus de salinisation des sols se produit lorsque la minéralisation de la solution du sol dépasse un certain seuil sous l'influence d'un mécanisme physique (évaporation, drainage interne insuffisant, altération de minéraux et accumulation).

La sodisation se manifeste lorsque le complexe organo-minéral d'échange est progressivement saturé par l'ion Na^+ . Les agrégats deviennent instables à partir d'un certain seuil et la dégradation des propriétés physiques du sol est potentielle. Les cations présents en solution dans le sol s'échangent sur le complexe organo-minéral (**Montoroi, 2018**).

La salinisation des sols est également liée à l'activité humaine qui, pour des raisons économiques, a développé une agriculture intensive souvent mal contrôlée. Le fort ensoleillement et la faible pluviométrie ont obligé les agriculteurs à irriguer en quantité importante et, souvent avec une eau saumâtre. Les sels se sont accumulés au cours des ans à la surface des sols sans pouvoir être lessivés par les rares eaux de pluie rendant ainsi peu à peu les terres impropres à la culture ((**Levigneron et al., 1995**).

De plus, la fertilisation et l'irrigation très localisés notamment pour les cultures sous abris conduisent à élever exagérément la concentration de sels dans les supports de cultures même pour l'agriculture moderne (**Boyer, 1982**).

La salinisation engendre une diminution du potentiel osmotique, induisant un stress similaire à la sécheresse, et une toxicité par les ions salins. Ces deux facteurs entraînent des dysfonctionnements pour les organismes vivants dans le sol y compris les végétaux. Il en découle une diminution de la productivité végétale, une altération de la diversité et de l'activité de la communauté microbienne ainsi que des enzymes extracellulaires (**Haj-Amor et al., 2022**).

La préservation des sols contre la salinisation et la valorisation des milieux salins, est donc une préoccupation majeure dans la recherche agronomique (**Ben Bessis et al., 2020**). Dans

cette optique, de nombreuses méthodes ont été développées afin de maintenir la fertilité des sols salins et de les rendre productives.

L'élimination des sels en excès dans le sol constitue l'étape essentielle dans la gestion des sols salins, il s'agira 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. Des apports déficitaires en eau limitent la lixiviation des sels et augmentent la dégradation du sol (**Momtoroi, 2018**).

En outre, les amendements gypseux ou calcaires enrichissent en Ca^{2+} échangeable les argiles sodiques, et favorisent la structure du sol par floculation et agrégation (**Qadir et al., 2001**), tandis que les amendements organiques peuvent améliorer les propriétés physiques des sols et produisent du CO_2 aux effets bénéfiques sur le pH des sols et la sodicité (**Marlet et Job, 2006**).

Les technologies modernes tendent à privilégier la technique de phytoremédiation comme méthode de dépollution, qui consiste à utiliser des plantes remédiantes dans la désalinisation des sols salins et la préservation des sols non dégradés contre la salinisation (**Ben Bessis et al., (2020)**). Cette nouvelle approche a suscité un grand intérêt ces dernières années pour la réhabilitation des sols salins. Elle pourrait probablement être intégrée à la technique de phytoextraction, car elle implique l'utilisation d'halophytes accumulant du sodium des sols dans les différentes parties de la plante (**Manousaki and Kalogerakis, 2011**). Cette méthode permet l'absorption de sels et la réduction progressive de la salinité, tout en stabilisant les sols et en améliorant la santé générale de l'écosystème (**Sas, 2024**).

De nombreuses études dont celle de **Ben Bessis et al. (2020)**, ont démontré la capacité de certaines espèces remédiantes dans le processus de phytodessalement, en diminuant la conductivité électrique de la solution du sol et en abaissant la concentration des sels dissouts totaux. Ces auteurs ont testé le chou fourrager (*Brassica napus* L.) comme plante de dessalement d'un sol salin et ont rapporté la capacité de cette espèce à accumuler dans ses parties végétatives des éléments minéraux, à savoir le chlorure, le calcium, le sodium le potassium et le magnésium, ce qui prouve que cette plante a potentiellement le pouvoir de désalinisation des sols salins.

La salinité est le stress abiotique le plus pénible ayant un effet néfaste prononcé sur les caractéristiques physiologiques, morphologiques et biochimiques des plantes cultivées en diminuant leur productivité (**Serrano et al., 1999**).

Afin de survivre dans les milieux salins, les plantes mettent en œuvre des stratégies d'adaptation et de défense aux stress (**Netting, 1993**). Pour cela elles possèdent des mécanismes de perception et de signalisation complexes leur permettant de produire une réponse plus ou moins spécifique face au stress salin (**Jacquard, 2007**), tel que la synthèse des composés organiques ou osmoprotectants, celle-ci est une des stratégies déployées pour atténuer l'effet de la salinité. De même, les protéines, les sucres solubles, les acides aminés et plus particulièrement la proline sont produites suite à un stress salin. La tolérance des plantes au sel, dépend de leur maintien d'une absorption suffisante de nutriments essentiels, tel que K^+ , P notamment en présence d'un excès de Na^+ (**Shabala et al., 2005**). Parmi les autres stratégies utilisées, l'exclusion des sels permettant aux plantes de survivre sous conditions de stress salin. Elle consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique. La compartimentation vacuolaire consiste à expulser les ions Na^+ en excès du cytoplasme vers la vacuole afin d'éluder leur effet toxique et leur action inhibitrice à l'encontre des processus enzymatiques (**Hanana et al., 2011**).

Les cultures maraichères constituent un appoint non négligeable dans l'alimentation humaine des pays du monde entier, et jouent un rôle prépondérant dans l'équilibre de la sécurité alimentaire en contribuant au développement socioéconomique des populations. Le maraichage est défini comme une agriculture fortement spécialisée et considéré comme l'un des systèmes agricoles les plus productifs en Afrique (**FAO, 2012**).

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.), est l'une des espèces maraichères les plus cultivées au monde et considérée comme culture précieuse du point de vue économique. Elle est sensible à des concentrations modérées de sels dans le sol. Mais plusieurs auteurs révèlent une grande variabilité parmi les génotypes de tomate dans leur réponse à la salinité (**Cuartero et Fernandez-Munez, 1999 ; Manaa et al., 2011 ; Ould mohamdi, 2011**).

De nombreux chercheurs ont axé leurs travaux de recherches sur la sélection des variétés adaptées à la salinité (**Arbaoui, 2016**), afin de minimiser les effets néfastes de cette contrainte sur le développement et le rendement des cultures (**Levigneron, 1995**), soit par une

amélioration génétique qui reste, sans doute le moyen le plus accessible ou par une étude approfondie des différents mécanismes d'adaptation (**Arbaoui, 2016**).

L'amélioration de la tolérance à la salinité serait d'une grande valeur pour une culture modérassent sensible comme la tomate, quand elle est cultivée sur des sols qui ont des problèmes de salinité. Dans les dernières décennies, des progrès considérables ont abouti à la recherche de plantes tolérantes à la salinité par la sélection conventionnelle et les techniques de sélection (**Arbaoui, 2016**).

Le présent travail a pour objectif de suivre, l'effet du stress salin (NaCl) sur la croissance et la physiologie de la tomate variété *Cascais F1* à travers la mesure de certains paramètres biométriques et physiologiques, au stade végétatif afin d'évaluer son degré de sensibilité ou de tolérance face à la contrainte saline.

Chapitre I

Matériel et méthodes

1.1. Objectif de l'essai

La présente étude se fixe pour objectif de déterminer l'effet du stress salin sur la croissance et la physiologie d'une variété de tomate (*Cascais F1*). Pour ce faire, différents niveaux de stress salin ont été appliqués sur la variété examinée (50 mM, 100 mM, 150 mM, 200 mM, et un témoin n'ayant pas reçu de NaCl (0 mM), et différents paramètres biométriques et physiologiques ont été évalués.

1.2. Présentation du site de l'essai

L'expérimentation a été conduite au laboratoire de botanique et sous serre 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 mais 1945 de Guelma dans des conditions semi contrôlées (**Fig. 1**).



Figure 1: La serre de l'université (site de l'essai) photo personnelle

1.3. Le matériel végétal utilisé

Le matériel végétal faisant l'objet de cette étude a été composé d'une seule variété de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) *Cascais F1* destinée pour la production du double concentré de tomate. Les plantules utilisées dans cette expérimentation (âgés de 1 mois) ont été fournies par un agriculteur privé. Les caractéristiques de la variété testée sont données dans le tableau 1.

Tableau 1: Principales caractéristiques de la variété étudiée [4]

Variété	<i>Cascais F1</i>
Espèce	<i>Solanum lycopersicum</i> L.
Genre	<i>Solanum</i>
Famille	Solanaceae
Grains	- Germination : 99% - Pureté : 99% - Année de récolte : 2019 - Pays d'origine : la Chine
Plante	- Moyen et fort - De 1.5m d' hauteur - Cultivé en plein champ ou sous serres
Rendement	- Elevé
Saison	- Printemps - Eté
Fruit	- Poids de 90 à 100 g - Couleur : rouge - Forme : ovale

1.3.1. Le semis

Le semis est effectué en pépinière privée. Les graines de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) sont mises en germination dans des alvéoles en plastique remplies de la tourbe et sous serre durant 1 mois. Au début, l'arrosage des graines et des jeunes plantules est effectué à l'eau de robinet à raison d'une fois par jour et en fonction de la capacité au champ du substrat de culture.

1.3.2. Conduite du stress et application des traitements

Les plantules obtenues sont alors transférées dans des pots de 19 cm de hauteur et 14 cm de diamètre contenant de la tourbe de sphagnum, à raison de deux plantules par pot. Chaque traitement a été représenté par cinq répétitions (**Fig. 2 et 3**). Les échantillons sont mis en culture sous serre dans des conditions semi contrôlées. Les différents traitements salins ont été appliqués sur des plantules de tomate âgées de 1 mois, en utilisant des solutions salines à base de NaCl. Quatre doses ont été appliquées (50, 100, 150 et 200 mM), en plus d'un traitement non additionné de sel (0 mM). L'essai a duré 45 jours.



Figure 2: Essai de croissance des plantules de tomate dans les pots et sous serre

(Photo personnelle)

C0	C1	C2	C3	C4
R3	R3	R5	R4	R2
R1	R2	R3	R5	R4
R4	R5	R1	R2	R3
R2	R1	R4	R3	R1
R5	R4	R2	R1	R5

Les concentrations : C0: 0 mM, C1: 50 mM, C2: 100 mM, C3: 150 mM, C4: 200 mM

Les répétitions : R1, R2, R3, R4, R5

Figure 3: Description du dispositif expérimentale de l'essai de croissance dans les pots et sous serre de l'université

1.3. 3. Les solutions salines

Les plantules de tomate sont soumises à des niveaux croissants de stress salin (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM, 200 mM de NaCl), durant toute la période de l'expérimentation. Les concentrations utilisées ont fait l'objet de nombreux travaux de recherche (Alem, et al., 2000 ; Benderradji et al., 2010 ; Mguis et al., 2013 ; Bacha et al., 2015 et Hamza, 2020).

1.4. Caractéristiques du substrat de culture

La tourbe de sphaigne utilisée (substrat de base) est caractérisée par :

- ✓ pH (H₂O) : 5,8- 6,8
- ✓ Rétention en eau : 80%
- ✓ Résistivité : 25000 Ohm/Cm
- ✓ Un taux de matière organique et de matière sèche exprimée en pourcentage en masse de produit brute, 35% pour chaque matière.

1.5. L'irrigation

Durant toute la période de l'essai (plantules âgées de 1 mois jusqu'à la fin de l'expérimentation), et afin d'éviter que l'eau ne soit un facteur limitant, le substrat de culture est maintenu à la capacité au champ qui est déterminée par la différence entre la quantité d'eau de saturation du substrat et la quantité d'eau récupérée après 24 heures de décantation (la quantité d'eau retenu par le substrat). L'irrigation par les solutions contenant ou non de sels a été effectuée tous les 2 jours pendant toute la période de l'exposition au stress.

1.6. Mesures effectuées

Plusieurs paramètres ont été évalués au cours de cette étude

1.6.1. Hauteur des plantes

La hauteur des plantes a été déterminée à partir du collet de la plante jusqu'au bourgeon terminal. Les mesures (cm) ont été effectuées à l'aide d'une règle graduée.

1.6.2. Longueur de la racine principale

La longueur de la racine la plus développée a été mesurée à la fin de l'expérimentation pour chaque traitement, à l'aide d'une règle graduée, à partir du collet jusqu'à son extrémité inférieure, exprimée en cm.

1.6.3. Surface foliaire (SF)

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

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

L : Longueur moyenne des limbes des 10 feuilles.

I : Largueur 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).

1.6.4. Détermination de la biomasse aérienne et souterraine

A la fin de l'expérimentation, les plants de tomate sont dépotés soigneusement pour garder le maximum de masse racinaire, on lave la partie racinaire pour éliminer les particules indésirables puis la sèche avec un papier absorbant. La partie aérienne est séparée du système racinaire à l'aide d'une lame au niveau du collet.

- ✓ **Le Poids frais** : on pèse la partie aérienne puis la partie racinaire des plantules de tomates témoins et celles cultivées sous l'environnement salin à l'aide d'une balance de précision (Karoune et al., 2016).
- ✓ **Le poids sec** est déterminé après passage à l'étuve à 105°C pendant 24 heures.

1.6.5. Nombre de feuilles

Le nombre de feuilles a été comptabilisé pour chaque traitement y compris le traitement sans sel, après 45 jours de l'application du stress.

1.6.6. La 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 carbonates de calcium (CaCO_3) pour neutraliser l'acidité 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 photooxydation. 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. 4**).

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

Chl a+b = 8,02 (DO 663) + 20,20 (DO 645)



A: Mensuration de 100 mg de feuilles, **B:** Extraction des pigments chlorophylliens,

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

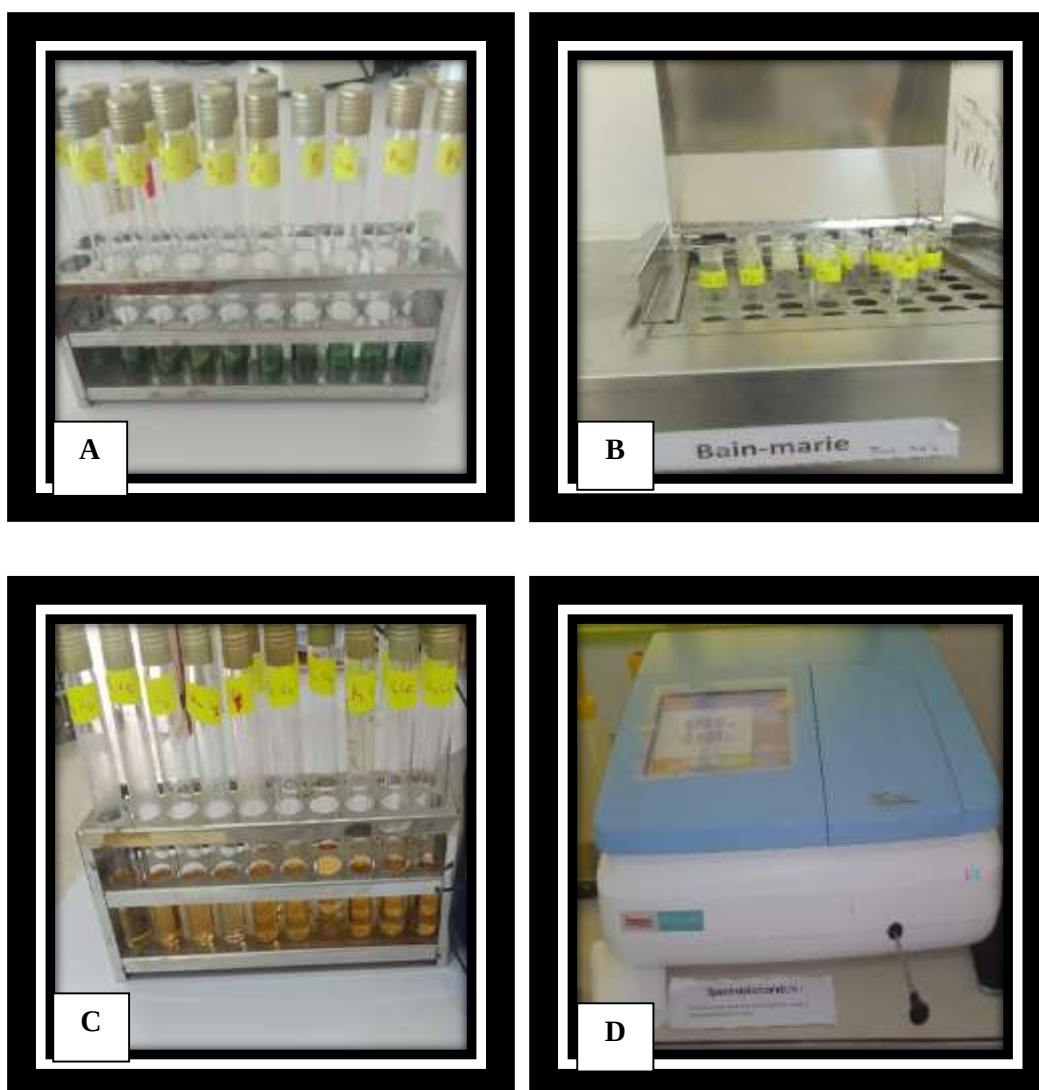
Figure 4 (A.B.C.D): Etapes de dosage de la chlorophylle totale (photos personnelles)

1.6.7. La 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 10 mn 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. 5**).

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: 100mg de feuilles fraîches + 2ml d'Ethanol (80%), **B:** Evaporation de l'alcool dans un bain marie, **C:** Ajout de 5 ml d'acide sulfurique, **D:** lecture spectrophotométrique.

Figure 5 (A.B.C.D.): Etapes de dosage des sucres solubles (photos personnelles)

1.7. 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

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

2.1.1. Hauteur des plantes

Les résultats illustrés dans la figure 6 relatif à ce paramètre indiquent un effet négatif du sel sur la hauteur des plantes. Cet effet est plus prononcé chez les plantules traitées par les concentrations 150 et 200 mM de NaCl, d'où les valeurs enregistrées sont de l'ordre de 15 et 14.43 cm respectivement par rapport à celle notée en absence de sel (20,16 cm). Cette diminution a été rapportée par plusieurs auteurs dont **Atak et al. (2006)**, dans leurs travaux sur les céréales et **Ould Mohamdi et al. (2011)**, sur la tomate. Ces auteurs avaient signalé que les concentrations salines croissantes dans le milieu, induisent sensiblement des réductions dans la longueur de la tige. Ce résultat a été également affirmé par **Bouزيد (2010)**, et **Faye et al. (2021)**, qui ont aussi souligné que les concentrations élevées en sels ont des effets néfastes sur la hauteur des plantes.

Selon **Zhu (2001)**, la réduction de croissance de l'appareil végétatif aérien est une capacité adaptative nécessaire à la survie des plantes exposées à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles.

Le traitement statistique à l'aide de l'analyse de la variance ANOVA à un seul critère de classification au seuil de 5%, révèle qu'il y a une différence non significative entre les traitements ($P=0,133$) (Annexe 01).

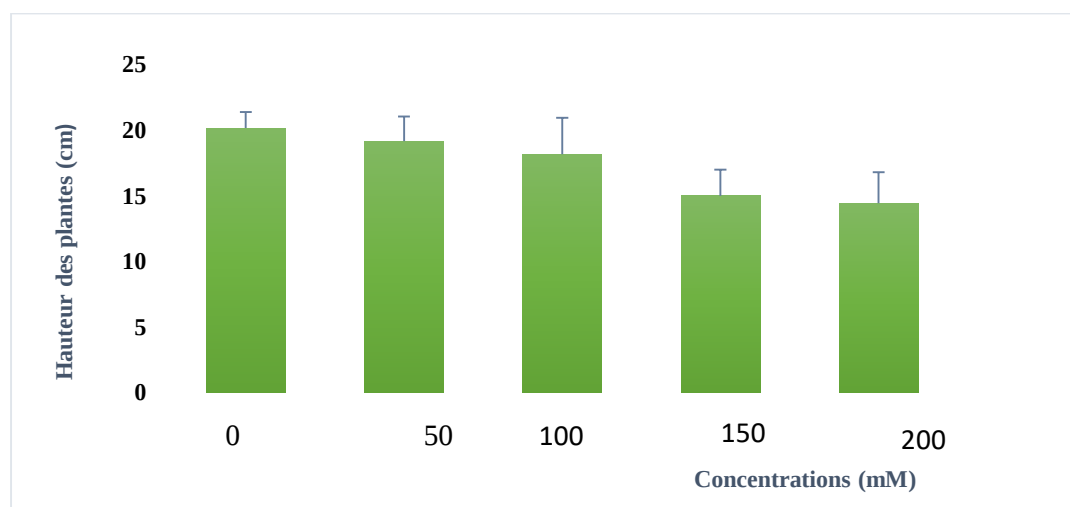


Figure 6 : Hauteur des plantes (cm) de tomate (Var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

2.1.2. Longueur de la racine principale

Selon les résultats de la figure 7, le stress salin est à l'origine d'une diminution non significative de la longueur de la racine des plantules de tomate soumises à la contrainte saline. En effet, on observe des réductions de la longueur de la partie racinaire à partir de la concentration 100 mM avec une moyenne de 11.83 cm. Cette baisse se poursuit jusqu'à atteindre 9,33 cm à la concentration 200 mM. Alors qu'elle a atteint une valeur moyenne de 12 cm chez les plantules non traitées. Notons qu'à la concentration 50 mM une augmentation de la longueur de la racine a été observée (14,66 cm) par apport à la valeur moyenne enregistrée pour l'échantillon non traité (12 cm). Ceci peut être s'expliquer par une stimulation de la croissance causée par les faibles concentrations salines.

Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus par **Bauci et al. (2003)**, sur l'orge et **Kinsou et al. (2020)**, sur la tomate. Ces auteurs ont révélé une diminution de la longueur de la racine en fonction des concentrations salines.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification au seuil de 5% ,révèle qu'il y'a une différence non significative entre les traitements ($P=0.149$) (Annexe 03).

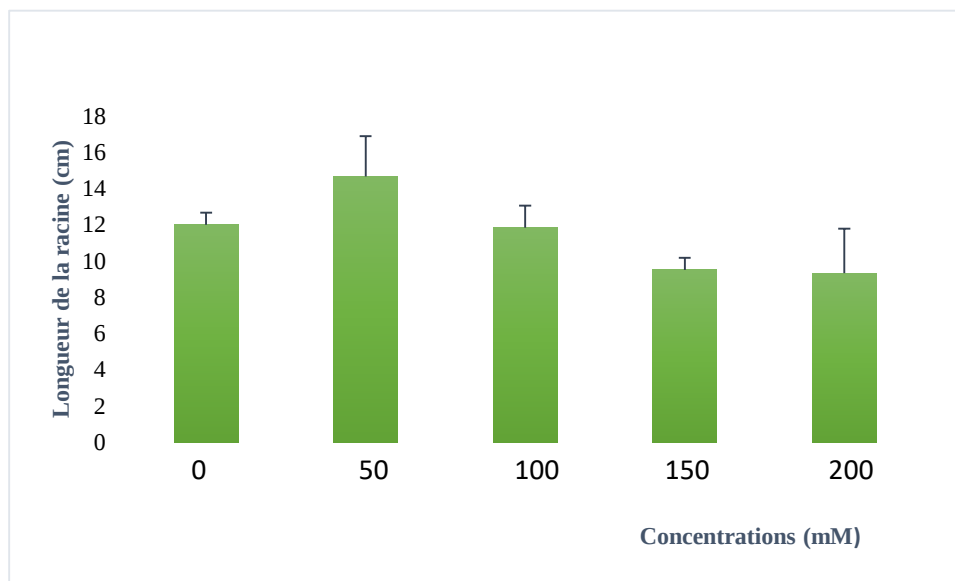


Figure 7 : Longueur de la racine principale (cm) des plantes de tomate (Var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

2.1.3. La surface foliaire

D'après les résultats de la figure 8, la surface foliaire est très affectée par le stress salin. En effet, la présence de sel dans le milieu a provoqué des diminutions progressives pour ce paramètre, chez les plantules de tomates soumises à des niveaux différents de stress salin par rapport à celles non stressées. Les valeurs moyennes enregistrées sont passées de 13.13 cm² en absence de sel à 5,07 cm² à la concentration 150 mM et 1.26 cm² à la concentration maximale (200 mM).

Des études antérieures, comme celles de **Laribi et al. (2016)**, sur le blé et **Mouhdi et al. (2022)**, sur la betterave à sucre ont mentionné des réductions considérables dans la surface foliaires sous l'effet de la salinité. Cette réduction a été considérée comme un processus d'adaptation à travers une meilleure efficacité d'utilisation de l'eau face à une contrainte de salinité (**Kirst, 1990**). D'autres part, **Benmahioul et al., (2009)**, ont rapporté que le pistachier réduit rapidement son expansion foliaire et sa croissance aérienne en réponse au sel tout en maintenant le développement de son système racinaire.

L'étude statistique ANOVA à un seul critère de classification au seuil de 5%, sur la surface foliaire indique une différence significative entre les traitements ($P=0.004$) (Annexe 05).

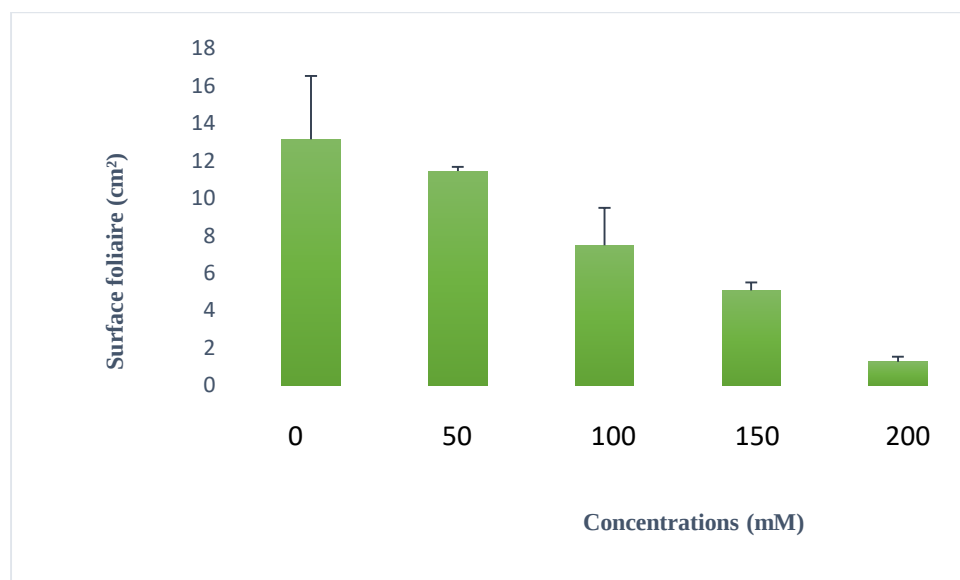


Figure 08: La surface foliaire (cm²) des plantes de tomate (Var. *Cascais F1*)
soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

2.1.4. Poids frais des parties aériennes et racinaires

L'application des différentes concentrations de NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM) sur les plantules de tomate montre qu'à la concentration 50 mM, les plantules testées présentent un meilleur développement des parties aériennes avec une valeur moyenne enregistrée de 10,36 g par apport à celle du témoin non traité (9,08 g) (**Fig. 9**). Tandis que la concentration en sel s'élève, la biomasse fraîche des parties aériennes diminue jusqu'à atteindre à la concentration la plus élevée (200 mM) la valeur moyenne de 5,13 g. Selon **Radouane (2008)**, l'eau modérément salée favorise, la croissance et le rendement du mil. Quant à la biomasse fraîche de la partie souterraine (**Fig. 10**), cette dernière subit des réductions à partir de la concentration 50 Mm. Cette réduction devient plus remarquable avec l'accentuation du stress d'où la valeur moyenne enregistrée à la concentration 200 mM est de 0,21 g par apport à celle de l'échantillon non traité (0 ,92 g). Des résultats similaires ont été signalés par de nombreux auteurs dont **Benmahioul (2009)**, sur le pistachier et **Wang et al. (2015)**, sur la tomate.

L'étude statistique à l'aide de l'analyse de la variance ANOVA à un seul critère de classification au seuil de 5%, révèle qu'il y a une différence non significative entre les traitements, $P=0.237$ pour le poids frais de la partie aérienne, $P=0,082$ pour le poids frais de la partie racinaire (Annexe 07et 09).

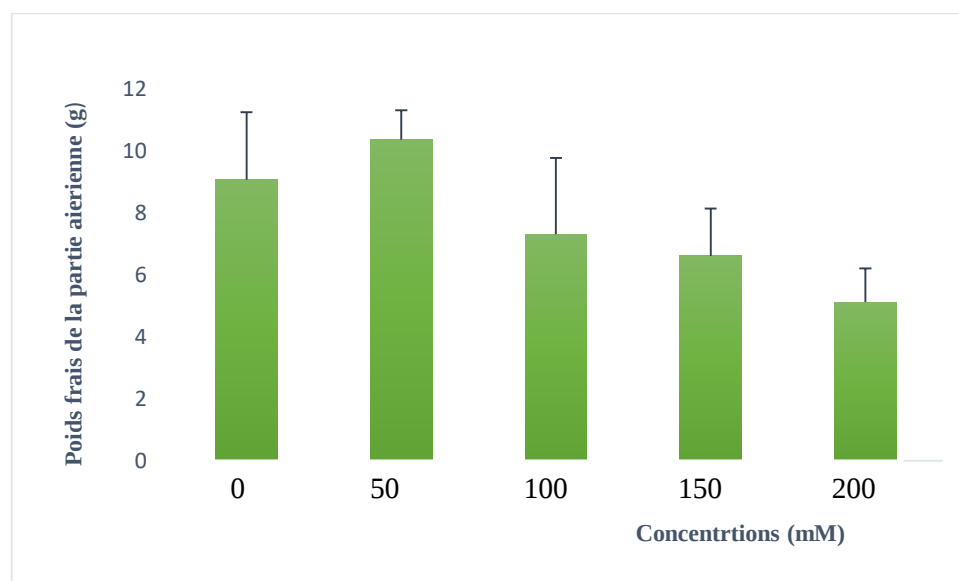


Figure 9: Le poids frais de la partie aérienne (g) des plantes de tomate (Var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

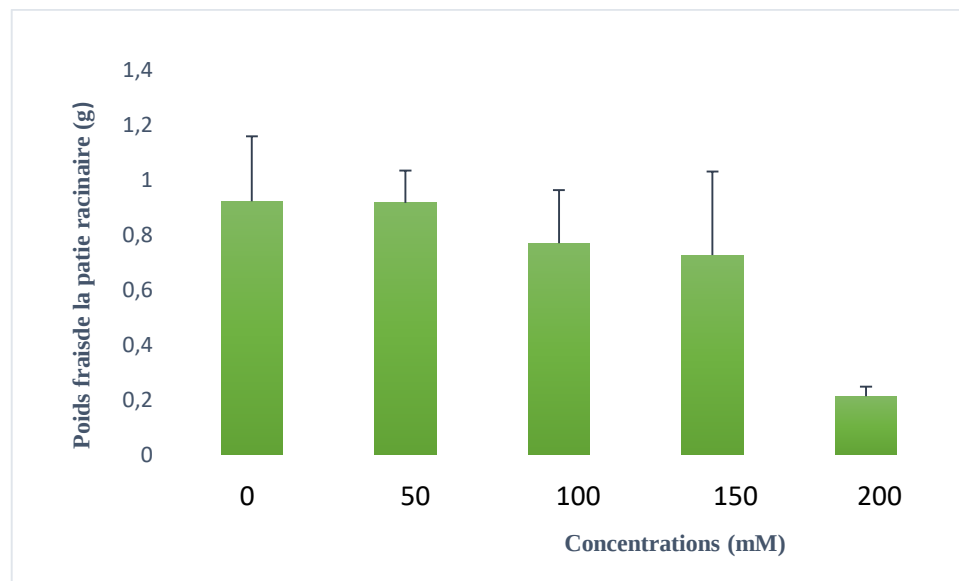


Figure 10: Le poids frais de la partie racinaire (g) des plantes de tomate (Var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

2.1.5. Poids sec des parties aériennes et racinaires

Au niveau de la biomasse sèche des parties aériennes et racinaires (**Fig. 11 et 12**), le stress salin a induit une diminution non significative dans ce paramètre chez la variété examinée, d'où les valeurs moyennes enregistrées chez les plantules stressées comparativement à celles cultivées dans un milieu non salé. Cette diminution est plus remarquable aux fortes concentrations de NaCl. En effet, les valeurs enregistrées sont passées de 1.18 g chez le témoin à 0.55 g à la concentration extrême (200 mM) pour la partie aérienne, et de 0,17 g en absence de sel à 0,03 g à la concentration 200 mM pour la partie racinaire. Il a été noté une légère augmentation dans la biomasse sèche de la partie aérienne à la concentration 50 mM (1,21 g) en comparaison avec celle du témoin (1.18 g), ce qui peut affirmer l'effet stimulant des concentrations modérées en sels sur la croissance. De nombreuses études effectuées sur différentes espèces végétales (la sétaire, le piment et la betterave à sucre) ont montré que la salinité affecte négativement la croissance des plantes qui se manifeste par une réduction de la production de la matière sèche des différentes parties des plantes (**Ben Ahmed et al., 2008 ; Maaouia et al., 2011 et Mouhdi, 2022**)

L'étude statistique à l'aide de l'analyse de la variance ANOVA à un seul critère de classification au seuil de 5%, révèle qu'il y a une différence non significative entre les

traitements pour le poids sec des parties aériennes et racinaires ($P=0.098$ et $P=0,074$ respectivement) (Annexe 11et 13).

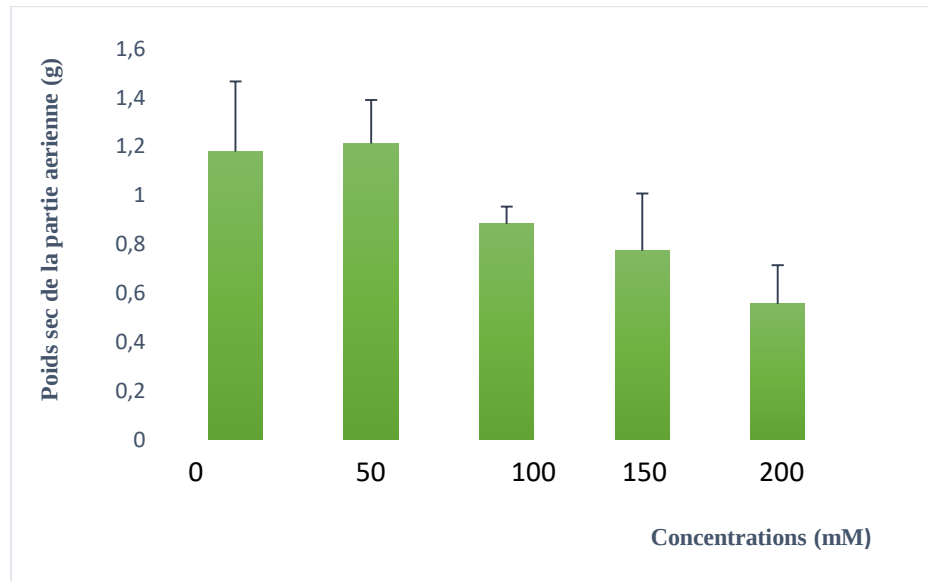


Figure 11: Le poids sec de la partie aérienne (g) des plantes de tomate (Var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

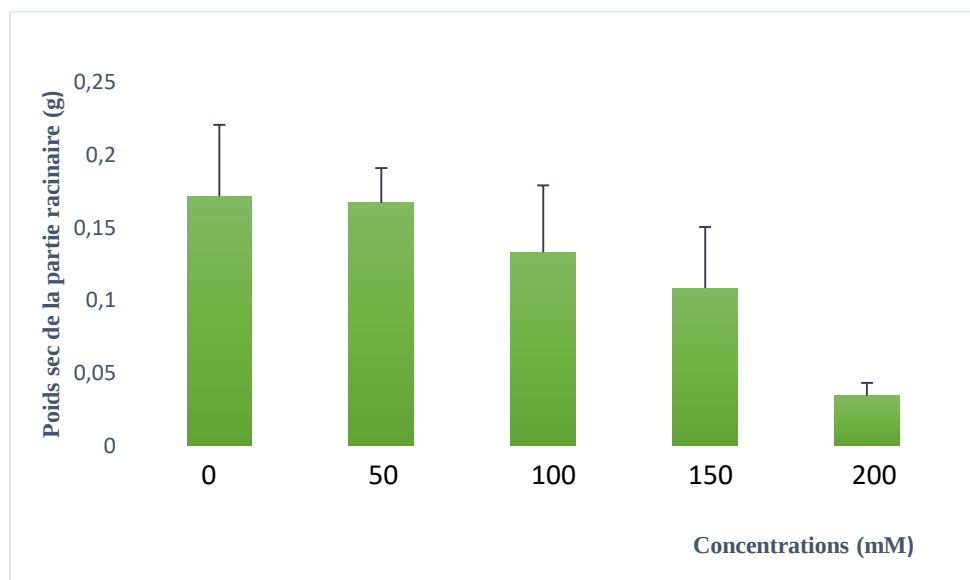


Figure 12: Le poids sec de la partie racinaire (g) des plantes de tomate (Var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

2.1.6. Nombre de feuilles

En ce qui concerne ce paramètre, les résultats présentés sur la figure 13 mettent en évidence une réponse négative des plantules vis-à-vis les différentes concentrations de NaCl. Cependant le nombre de feuilles à la concentration 50 mM est plus élevé (14 feuilles) que celui du témoin (12 feuilles), ce qui nous laisse constaté que les concentrations faibles en sels favorisent la croissance végétative. En effet, le nombre de feuilles a connu des diminutions sous l'effet de la contrainte saline à partir de la concentration 100 mM, cette diminution a atteint aux niveaux élevés du stress salin (150 mM et 200 mM) 10 et 9 feuilles successivement comparativement au témoin non traité (12 feuilles).

L'étude de **Snoussi, (2001)**, menée sur le comportement de la tomate en milieu salin et celle de **Ouhaddache et al. (2015)**, sur le blé ont rapporté une réduction du nombre de feuilles des plantes étudiées en présence de sel dans leur environnement.

Les résultats vérifiés par le test statistique ANOVA à un seul critère de classification au seuil de 5% sur le nombre de feuilles, montrent qu'il y a une différence non significative entre les traitements ($P=0.409$) (Annexe15).

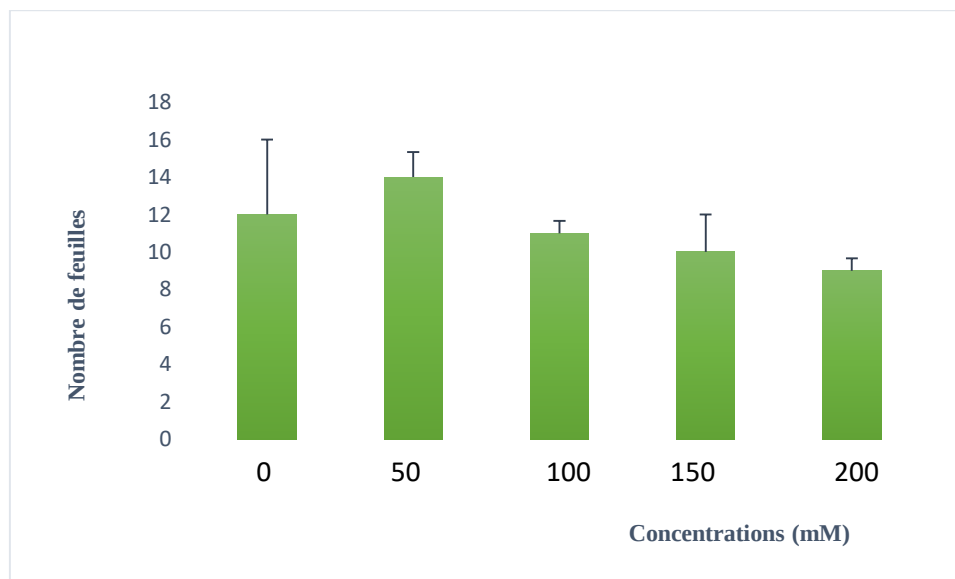


Figure 13: Nombre de feuilles des plantes de tomate (Var. *Cascais F1*)
Soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

2.1.7. La teneur en chlorophylle totale

Selon les résultats illustrés sur la figure 14, la teneur en chlorophylle totale a été significativement réduite par l'effet de la salinité. Ainsi chez l'échantillon non traité, la teneur en chlorophylle totale restée plus importante (16,34 $\mu\text{g}/\text{mg}$ MF) comparativement aux celles dosées chez les plantules traitées par les différentes concentrations de NaCl (100 mM, 150 mM et 200 mM). En général, l'effet du sel s'est traduit par une chute marquée de la teneur en chlorophylle au fur à mesure que le niveau du stress augmente dans le milieu, et la réduction la plus importante a été notée en présence de 200 mM de NaCl (7,60 $\mu\text{g}/\text{mg}$ MF) en comparaison avec la valeur du témoin (de 16,34 $\mu\text{g}/\text{mg}$ MF).

La diminution de la teneur en chlorophylle totale a été rapportée par plusieurs auteurs dont **Abdi et al. (2016)**, dans leurs travaux sur l'orge et **Bouassaba et Chougui (2018)**, sur le piment. Ces auteurs avaient signalé que des concentrations salines croissantes dans le milieu, induisent des réductions dans la teneur en chlorophylle totale ce qui affecte considérablement la fonction de la photosynthèse. Notons qu'une légère augmentation de la teneur en chlorophylle totale (18,07 $\mu\text{g}/\text{mg}$ MF) a été observée chez les plantules soumises à un niveau faible de salinité (50 mM) en comparaison avec le témoin (16,34 $\mu\text{g}/\text{mg}$ MF). Ce résultat rejoint ceux de **Sharaf et al. (1990)**, sur la tomate. Ces derniers rapportent qu'une salinité modérée augmente la quantité de la chlorophylle a et de la chlorophylle totale.

Le traitement statistique ANOVA à un seul critère de classification au seuil de 5%, révèle qu'il y a une différence significative entre les traitements ($P=0.000$) (Annexe 017).

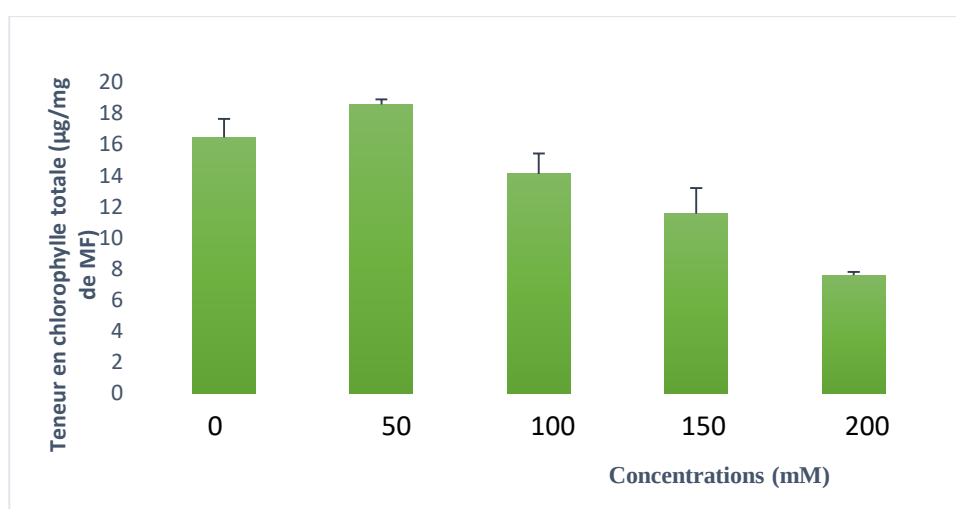


Figure 14: teneur en chlorophylle totale des plantes de tomate (Var. *Cascais F1*) Soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

2.1.8. Dosage des sucres solubles

Les résultats de la figure 15 indiquent que l'application des différents niveaux du stress salin provoque une augmentation de la teneur en sucres solubles chez les plantules stressées comparativement à celles non traitées. La teneur la plus faible a été notée chez les plantules arrosées à l'eau distillée avec une valeur moyenne de 0,425 $\mu\text{g}/\text{mg}$ MF. Cette valeur a augmenté considérablement avec l'augmentation du niveau de salinité dans l'environnement de la plante jusqu'à atteindre 0,975 $\mu\text{g}/\text{mg}$ MF au niveau le plus élevé du stress salin (200 mM).

Des résultats similaires ont été constatés par **khosravenenejad et al. (2009)**, sur l'orge, **Lepengue et al. (2012)**, sur le maïs et **Achour et al. (2015)**, sur le gombo. Ces auteurs ont rapporté que le traitement salin a conduit à une augmentation de la teneur en sucres solubles. Ces composés sont considérés comme des osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence (**Elmidaoui et al., 2007**).

L'étude statistique à l'aide de l'analyse de la variance ANOVA à un seul critère de classification au seuil de 5%, révèle qu'il y a une différence significative entre les traitements ($P=0.000$) (Annexe19).

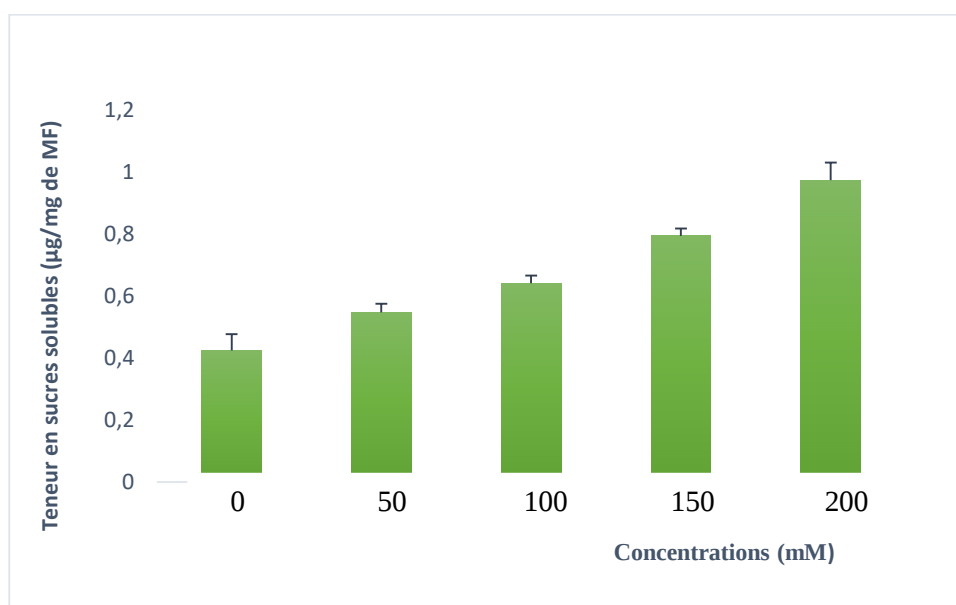


Figure 15: teneur en sucres solubles ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF) des plantes de tomate (Var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM)

Conclusion

Conclusion

La tomate (*Solanum lycopersicum* L.), est l'une des cultures marichaires les plus répandues et les plus consommées dans le monde. Cette étude expérimentale a été entreprise dans le but de déterminer les effets du stress salin sur les paramètres morphophysologiques et biochimiques d'une variété de tomate (*Cascais F1*) soumise à des niveaux croissants de NaCl à savoir : 0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM et 200 mM durant le stade végétatif.

Les résultats obtenus nous indiquent que l'application du stress salin à des doses croissantes affecte négativement la croissance des plantules à travers les paramètres mesurés, surtout pour les concentrations élevées. Le stress appliqué induit une réduction de la hauteur des plantes de tomate où les moyennes passent de 20,16 cm en l'absence de stress à 14,43 cm à la concentration la plus élevée (200 mM). La longueur des racines a été également affectée par la salinité et l'effet est plus prononcé 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. En est de même pour le nombre de feuilles et la surface foliaire, d'où les réductions enregistrées sous l'effet des traitements salins.

Nous constatons également qu'en fonction de traitements salins la teneur en chlorophylle totale est diminuée progressivement en accentuant le stress dans le milieu, les valeurs obtenues passent de 16,34 µg/mg de MF chez le témoin à 7,60 µg/mg de MF chez les plantes soumises à la concentration la plus élevée (200 mM). Quant à l'accumulation des sucres solubles, elle est proportionnelle avec l'augmentation de la concentration saline.

Cependant, l'effet du stress sur les la plus part des paramètres estimés (hauteur des plantes, longueur de la racine principale, poids frais et sec des parties aériennes et racinaires, et le nombre de feuilles) était moins dépressif d'où la non significativité des résultats obtenus.

D'autre part, il a été observé que la salinité modérée qui ne dépasse pas les 50 mM a un effet stimulateur sur la croissance de la racine, la biomasse fraîche et sèche aérienne, le nombre de feuilles et l'accumulation de la chlorophylle totale.

L'analyse globale des résultats obtenus nous ont permis de conclure que la variété de tomate testée (*Cascais F1*) a montré une tolérance vis-à-vis le stress salin appliqué et ce à travers les mesures effectuées.

Conclusion

Comme perspective à cette étude, il semble important de tester d'autres paramètres comme la proline, dosage des ions ou par des études anatomiques complémentaires, et en suivant la cinétique de croissance durant tout le cycle de développement de la plante afin de confirmer la véritable tolérance de cette variété face au stress salin.

Résumés

Résumé

La présente étude a été portée sur l'effet du stress salin sur quelques paramètres morphophysiologiques et biochimiques de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) variété *Cascais F1* durant la phase végétative. Le matériel végétal utilisé correspond à des plantules de tomate âgées de 30 jours obtenus à partir de la germination des graines de la variété examinée. Les plantules de tomate ont été stressées avec des niveaux croissant de NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM, 200 mM) pendant 45 jours et plusieurs paramètres ont été estimés (hauteur des plantes, longueur de la racine principale, la biomasse fraîche et sèche des parties aériennes et souterraines, surface foliaire, nombre de feuilles, teneur en chlorophylle totale et teneur en sucres solubles). Les résultats obtenus montrent que l'application de ces traitements salins cause un stress aux plantules de tomate qui s'exprime par une diminution non significative de la plus part des paramètres mesurés. D'autre part, le stress appliqué a entraîné une diminution significative dans la teneur en chlorophylle totale et la surface foliaire et une augmentation significative dans la teneur en sucre solubles foliaire. Il est à noter qu'à la concentration 50 mM, une stimulation de la croissance des plantules a été observée pour la longueur de la racine principale, la biomasse fraîche et sèche des parties aériennes, nombre de feuilles et teneur en chlorophylle totale. A partir des résultats obtenus, nous pouvons conclure que cette variété s'est montrée tolérante vis-à-vis le stress salin appliqué et qu'elle a de l'importance dans l'agriculture et la valorisation des sols salins.

Mots clés : Tomate (*Solanum lycopersicum* L.), stress salin, tolérance, croissance.

Abstract

This study focused on the effect of salt stress on certain morphophysiological and biochemical parameters of tomato (*Solanum lycopersicum* L.), variety *Cascais F1*, during the vegetative phase. The plant material used consisted of 30-day-old tomato seedlings obtained from the germination of seeds of the examined variety. The tomato seedlings were subjected to increasing levels of NaCl (0 mM, 50 mM, 100 mM, 150 mM, 200 mM) for 45 days, and several parameters were measured, including plant height, primary root length, fresh and dry biomass of aerial and root parts, leaf area, number of leaves, total chlorophyll content, and soluble sugar content. The results showed that the application of these saline treatments induced stress in the tomato seedlings, which were reflect by a non-significant decrease in most of the measured parameters. However, the applied stress led to a significant decrease in total chlorophyll content and leaf area, and a significant increase in foliar soluble sugar content. It is noteworthy that at a concentration of 50 mM, a stimulation of seedling growth was observe in terms of primary root length, fresh and dry biomass of aerial parts, number of leaves, and total chlorophyll content. Based on the results obtained, we can conclude that this variety demonstrated tolerance to the applied salt stress and holds potential value for agriculture and the enhancement of saline soils.

Keywords: Tomato (*Solanum lycopersicum* L.), salt stress, tolerance, growth.

الملخص

تناولت هذه الدراسة التركيز على تأثير الاجهاد الملحي على بعض المعايير المورفولوجية والبيوكيميائية لنبات الطماطم (*Solanum lycopersicum* L.) للصف (Cascais F1) خلال المرحلة الخضرية. أجريت هذه الدراسة على شتلات الطماطم التي يبلغ عمرها 30 يوما تم الحصول عليها بعد اجراء عملية انبات البذور للصف المدروس.

عرضت نباتات الطماطم المدروسة الى تراكيز متصاعدة من كلور الصوديوم NaCl (0 ملي مول، 50 ملي مول، 100 ملي مول، 150 ملي مول و 200 ملي مول) خلال 45 يوم. وتم قياس العديد من معايير النمو (طول النبتة، طول الجذور، الكتلة الحية الطازجة والجافة للأجزاء الهوائية والترابية للنبتة، مساحة الورقة، عدد الأوراق، كمية الكلوروفيل، كمية السكريات الذائبة في الأوراق).

أوضحت النتائج المتحصل عليها ان تعرض نبات الطماطم لهذا الاجهاد الملحي يؤدي الى اضطراب في نمو النباتات الذي يترجم بنقص غير معتبر في معظم المعايير المدروسة. من جهة أخرى لاحظنا انخفاض ملحوظ في كمية الكلوروفيل ومساحة الورقة، وارتفاع محسوس في كمية السكريات الذائبة على مستوى الاوراق .

كما لاحظنا ان التركيز 50 ملي مول يؤدي الى تنشيط النمو من خلال ارتفاع طول الجذور، زيادة الوزن الطري والجاف للجزء الهوائي، عدد الأوراق وكمية الكلوروفيل.

من خلال النتائج المتحصل عليها نستطيع ان نستنتج ان هذا الصف (Cascais F1) من الطماطم يبدي مقاومة اتجاه التراكيز المستخدمة، مما يعطيه أهمية في مجال الزراعة وتأمين استغلال الترب الملحية.

الكلمات المفتاحية: الطماطم (*Solanum lycopersicum* L.) ، اجهاد ملحي ، تحمل، نمو

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

- 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.
- Alem, C. Idihia, F. Amri, A. et Filali Maltouf, A. 2000.** Rôle de la stabilité membranaire racinaire dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Al Awamia*, (102): 9-21.
- Atak, M. Kaya, M. D. Kaya, G. Cikili, Y. and Ciftci, C. Y. 2006.** Effects of NaCl on the germination, seedling growth and water uptake of triticale. *Turk J. Agric For*, (30): 39-47.
- Ansari, M. I. 2018.** Plant micro biome and its functional mechanism in response to environmental stress. *International Journal of Green Pharmacy*, 12(1): 81-91.
- Arbaoui, M. 2016.** Effet du stress salin sur des plantules de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) cultivées sur substrats sableux amendé en bentonite. Thèse de doctorat. Université d'Oran 1. Algérie. 168p.
- Bacha, H. Mansour, E. Guasmi, F. Triki, T. et Ferchichi, A. 2015.** Proline, glycine bêtaïne et composition minérale des plantes de *Solanum lycopersicum* L. (var. *Microtom*) sous stress salin. *Journal of new sciences, Agriculture and Biotechnology*, 22(3): 1007-1013.
- Bartels, D. et Sunkar, R. 2005.** Drought and salt tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, (24): 23-58.
- 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.
- Ben Ahmed, H. Arafat, M. et Zid, E. 2008.** Tolérance à la salinité d'une Poaceae à cycle court: la sétairie (*Setaria verticillata* L.). *C. R. Biologies*, (331): 164-170.
- Ben Bessis, Y. Halilat, M. T. Salhi, N. 2020.** Le chou fourrager (*Brassica napus* L.) solution pour la phytoremédiation et la conservation des sols salins. *Fourrages*, (243): 55-61.

Références bibliographiques

- Benderradji, L. Bouzerzour, H. Kellou, K. Ykhlef, N. Briniz, F. Masmoudi, K. et Djekoun, A. 2010.** Étude des mécanismes de tolérance à la salinité chez deux variétés de blé tendre (*Triticuma estivum* L.) soumises à un stress salin. *Sciences and Technologie*, (32): 23-30.
- Benmahioul, B. Daguin, F. et Kaid-harache, M. 2009.** Effet du stress Salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia verra* L.). *C. R. Biologies*, (332): 752-758.
- Ben Khaled, L. Ouarraqui, E. M et Zid, E. 2007.** Impact du NaCl sur la croissance et la nutrition de la variété de blé dur Massa cultivée en milieu hydroponique. *Acta Bot. Galicia*, 154(1): 101- 116.
- Bergougnot, V. 2014.** The history of tomato: From domestication to biopharming. *Biotechnolog Advances*, 32(1): 170-189.
- Boussaba, K et Chougui, S. 2018.** Effet du stress salin sur le comportement biochimique et anatomique chez deux variétés de piment (*Capsicum annum*. L). *European scientific journal*, 14(15): 159-174.
- Boumendjel, M. Houhamdi, M. Samar, M. F. Sabeg, H. Boutebba, A. et Soltane, M. 2012.** Effet des traitements thermiques d'appertisation sur la qualité biochimique, nutritionnelle et technologique du simple, double et triple concentré de tomate. *Sciences et Technologie. C, Biotechnologies*, (36): 51-59.
- Bouzig, S. 2010.** Étude de l'effet de la salinité et de la présence du molybdène sur le comportement écophysologique de deux variétés de plantes de l'espèce *Phaseolus vulgaris* L. Mémoire de master : <http://bu.umc.edu.dz/theses/biologie/BOU5611.pdf> le 28/11/2012.
- Boyer, J. S. 1982.** Plant Productivity and Environment. *Science*, 218(4571): 443-448.
- Cuartero, J. Fernandez-Munez, R. 1999.** Tomato and salinity. *Scientia. Hort.* (78): 83-125.
- 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.

Références bibliographiques

Elmidaoui, 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.

FAO, 2012. Growing greener cities in Africa. First status report on urban and peri-urban horticulture in Africa. Roma: FAO.

FAO, 2015. Status of the world's soil resources: Main report.

Faye, E. Sane, S.K.Ba, A. et Camara, B. 2021. Comportement sous serre de *Casuarina equisetifolia* L. *Gossypium hirsutum* L. et *Jatropha curcas* L. Soumis au stress salin, *J. Appl. Biosci.* (160): 16521- 16535.

Haj-Amor, Z. Araya, T. Kim, D. G. Bouri, S. Lee, J. Ghiloufi, W. Yang, Y. Kang, H. Jhariya, M. K. Banerjee, A. and Lal, R. 2022. Soil salinity and its associated effects on soil microorganisms, greenhouse gas emissions, crop yield, biodiversity and desertification, *Science of The Total Environment* (843): 156,946.

Hamdy, A. 1999: Saline irrigation and management for a sustainable use. In: Advanced Short Course on Saline Irrigation Proceeding, *Agadir*, 152- 227.

Hamza, N. 2020. *Potentiel de bioprotection et biofertilisation des mycorhizes à arbuscules dans quelques écosystèmes agricoles de l'est Algérien.* Thèse de doctorat. Université Annaba. P 107.

Hanana, M. Hamrouni, L. Cagnac, O. and Blumwald, E. 2011. Mécanismes et stratégies cellulaires de tolérance à la salinité (NaCl) chez les plantes. *Environnemental Review*, (19): 121-244.

Hopkins, W.G. 2003. Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck. Bruscelles, 476p.

Jacquard, A. 2007. Nouvelle petite philosophie. Paris: Livre de Poche, 256P.

Karoune, S. Mechebar, M. S. A. Halis, Y. Djellouli, A. and Rahmoune, C. 2017. Effet du stress salin sur la morphologie, la physiologie et la biochimie de l'Acacia albida. *Journal algérien des Régions Arides*,(14) :60-73.

Références bibliographiques

- 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.
- Kinsou, E. Mensah, A. Montcho, H. D. Zanklan, A. S. Wouyou, A. Kpinkoun, K. J. AssogbaKomlan, F. Gandonou, C. B. 2020.** Response of seven tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars produced in Benin to salinity stress at young plant stage. *Int J. Cur. Res. Biosci. Plant Biol*, 7(8): 1-11. DOI: <https://doi.org/10.20546/ijcrbp.2020.708.001>.
- Kirst, G. O. 1990.** Salinity Tolerance of Eukaryotic Marine Algae. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, (4): 21-53.
- Lachhab, L. Louahla, S. Laamarti, M. et Hammani, K. 2013.** Effet d'un stress salin sur la germination et l'activité enzymatique de deux genotypes de *Medicago sativa*. *International Journal of Innovation and Applied Studies*, 2(3): 511-516.
- Laribi, B. Gharbi, A. Kouki, K. Mhamdi, M. et Bettaieb, T. 2016.** Etude de la tolérance à la salinité chez une plante condimentaire: le carvi (*Caruma carvi* L.). *journal of new sciences*, 31(17): 1321-1327.
- Le Houerou, H. N. 1986.** Salt-tolerant plants of economic value in the Mediterranean Basin. *Reclamation and Revegetation Research* (5): 319-341.
- Lepengue, A. N. Mouaradjaja, I. Mulowaykalenda, A. Ake, S. et M'batchi, B. 2012.** Influence du chlorure de sodium sur la production de biomasse de la Rocelle (*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.
- 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.
- Manaa, A. Ben Ahmed, H. Valot, B. Bouchet, J. P. Aschi-Smiti, S. Causse, M. Faurobert, M. 2011.** Salt and genotype impact on plant physiology and root proteome variations in tomato. *J. Exp. Bot.*, (17): 1-17.

Références bibliographiques

- Manousaki, E. Kalogerakis, N. 2011.** Halophytes, an emerging trend in phytoremediation. *International Journal of Phytoremediation*, (13): 959- 969.
- 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, 797-822.
- Martinez, J. P. Kinet, J. M. Bajili, M. et Litts, S. 2005.** NaCl alleviates polyethylene glycol- induced water stress in the halophyte species *Atriplex halimus* L. *journal of Experimental botany*, (419): 2421-2431.
- 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.
- Mguis, K. Albouchi, A. Abassi, M. Khadhri, A. Ykoubi-Tej, M. Mahjoub, A. Ben Brahim, N. et Ouerghi, Z. 2013.** Responses of leaf growth and gas exchanges to salt stress during reproductive stage in wild wheat relative *Aegilops geniculata* Roth. and wheat (*Triticum durum* Desf.). *Acta Physiol Plant*. DOI: 10.1007/s11738-012-1185.
- 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, 120-134p.
- Mouhdi, K. Attaoui, A. Bouizgarne, B. Bakki, M. K. Azim, K. et Khallam, J. 2022.** Réponse de la betterave sucrière (*Beta vulgaris* L.) à l'eau d'irrigation saline sous le système de nano-irrigation. *Rev. Mar. Sci. Agron. Vét.*, 10(1): 60-67.
- Netting, R. M. 1993.** Smallholders, Householders: Farm Families and the Ecology of Intensive, Sustainable Agriculture. Stanford University Press, 416p.
- Ouhaddach, M. Mouhssine, F. Ech- chaddadi, S. Lakalai, F. El Yacoubi, H. Hmouni, D. Douaik, A. Zidane, L. and Rochdi, A. 2015.** Morpho-physiological Responses to Salt Stress in Wheat (*Triticum aestivum* L.) at the germination stage. *European journal of scientific research*, 133 (3): 240-252.

Références bibliographiques

- Ould Mohamdi, M. Bouya, D. et Ould Mohamed, S. 2011.** Etude de l'effet du stress salin (NaCl) chez deux variétés de tomate (*Campbell 33* et *Mongal*). *International journal of biological and chemical sciences*, 5(3): 860- 900.
- Qadir, M. Schubert, S. et Ghafoor, A. 2001.** Amelioration strategies for sodic soils. *Land Degradation Development*, (12): 357-386.
- Radhouane, L. 2008.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains chez quelques écotypes de mil (*Pennisetum glaucum* L.) Autochtones de Tunisie. *Comptes Rendus. Biologies*, 331(4): 278-286.
- Rao, D. N. et Blanc, B. F. 1956.** Effects of sulfur dioxide on the lichen alga, with special reference to chlorophyll. *Environmental science. The Bryologist*, (69): 69-75.
- Sas, E. 2024.** *Flexibilité métabolique du saule de la tolérance au stress salin à la bioraffinerie intégrée avec le traitement des eaux usées*. Thèse doctorat en sciences biologiques, Université de Montréal, 179p.
- Serrano, R. and Gaxiola, R. 1994.** Microbial Models and Salt Stress Tolerance in Plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, (13): 121- 138.
- Shabala, S. Shabala, L. Volkenburgh, E. and Newman, I. 2005.** Effect of divalent cations on ion fluxes and leaf photochemistry in salinized barley leaves. *J. Exp. Bot.*, 56 (415): 1369-1378.
- Sharaf, A. Labib, S. and El-Massry, R. 1999.** Effect of kinetin on the biochemical constituents of Tomato plants under different levels of salinity. *Zagazig Journal of Agricultural Research. Egypt*, (12): 417- 441.
- Sheng, M. Tang, M. Chan, H. Yang, B. Zhang, F. and Huang, Y. 2008.** Influence of arbuscular mycorrhiza on photosynthesis and water status of maize plants under salt stress. *Mycorrhiza*, (18): 287-296.
- Snoussi, S. A. 2001.** *Valorisation des eaux saline pour la nutrition des plantes cultivées*. Thèse de doctorat en sciences agronomiques. Institut National Agronomique, El Harrach, Algérie, 152p.

Références bibliographiques

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

Zhu, J. K. 2001. Plant salt tolerance. *Trends Plant Sci*, (6): 66-71.

Sites web:

- [1] <https://WWW.google.fr/Search?q=d%C3%A9finition+du+stress+chez+les+végétaux&scaesv=7b27f3c7f5bbf6&source=hp&el=UWFiaLDYLIG9hbIphd>.
- [2] <https://theconversation.com/la-salinisation-des-sols-un-defi-majeur-pour-la-securite-alimentaire-mondiale-170347>.
- [3] <https://www.doc-developpement-durable.org/file/Culture/Fertilisation-des-Terres-et-des-Sols/eaux-et-sols-salins/Salinisation%20et%20sodification.pdf>.
- [4] <https://www.bakkerbrothers.com/fr/produits/cascais-F1>.

Annexes

Tableau 01 : Hauteur des plantes (cm) de tomate (var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
La hauteur des plantes (cm)	20,16	19,16	18,16	15,00	14,43

Tableau 02 : Longueur de la racine principale (cm) des plantes de tomate (var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
La longueur de racine (cm)	12,00	14,66	11,83	9,5	9,33

Tableau 03 : La surface foliaire (cm²) des plantes de tomate (var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
La surface foliaire (cm ²)	13,13	11,45	7,47	5,07	1,26

Tableau 04 : Le poids frais de la partie racinaire (g) des plantes de tomate (var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Le poids frais de la partie racinaire (g)	0,92	0,91	0,77	0,72	0,21

Tableau 05 : Le poids frais de la partie aérienne (g) des plantes de tomate (var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Le poids frais de la partie aérienne (g)	9,08	10,36	7,31	6,62	5,13

Tableau 06 : Le poids sec de la partie racinaire (g) des plantes de tomate (var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Le poids sec de la partie racinaire (g)	0,171	0,167	0,133	0,110	0,034

Tableau 07 : Le poids sec de la partie aérienne (g) des plantes de tomate (var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Le poids sec de la partie aérienne (g)	1,18	1,21	0,88	0,77	0,55

Tableau 08 : Nombre de feuilles des plantes de tomate (var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
Nombre de feuilles	12	14	11	10	09

Tableau 09 : La teneur en chlorophylle totale (µg/mg de MF) des plantes de tomate (var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
La teneur en chlorophylle (µg/mg de MF)	16,34	18,57	14,11	11,55	7,60

Tableau 10 : La teneur en sucres solubles (µg/mg de MF) des plantes de tomate (var. *Cascais F1*) soumises aux différentes concentrations de NaCl (mM).

Concentration	0 mM	50 mM	100 mM	150 mM	200 mM
La teneur en sucres solubles (µg/mg de MF)	0,425	0,598	0 ,642	0 ,794	0,975

Annexes

Annexe 01 : Analyse de la variance de la hauteur des plantes (cm)

Source	Dl	SomCar	Cmajust	Valeur F	Valeur P
Concentration	5	91,61	18,322	2,29	0,133
Erreur	9	72,13	8,014		
total	14	163,73			

Annexe 02 : Résultats des tests de Dunnett pour de la hauteur des plantes (cm)

Répétition	N	Moyen	Groupe ment
C0	3	20,16	A
C1	2	17,75	A
C2	3	18,17	A
C3	3	15,00	A
C4	3	14,33	A

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

Source	Dl	SomCar	Cmajust	Valeur F	Valeur P
Concentration	5	57,90	11,580	2,16	0,149
Erreur	9	48,33	5,370		
total	14	106,23			

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

Répétions	N	Moyen	groupement
C0	3	12,00	A
C1	2	15,00	A
C2	3	11,83	A

Annexes

C3	3	9,500	A
C4	3	9,33	A

Annexe 05 : Analyse de la variance de la surface foliaire (cm²).

Source	Dl	SomCar	Cmajust	Valeur F	Valeur P
Concentration	5	276,21	55,241	7,90	0,004
Erreur	9	62,92	6,992		
total	14	339,13			

Annexe 06 : Résultats des tests de Dunnett pour de la surface foliaire (cm²)

Répétition	N	Moyen	Groupe
C0	3	13,14	A
C1	2	11,490	A
C2	3	7,48	A
C3	3	5,073	
C4	3	1,260	

Annexe 07 : Analyse de la variance du poids frais de la partie aérienne (g).

Source	Dl	SomCar	Cmajust	Valeur F	Valeur P
Concentration	5	52,66	10,532	1,67	0,237
Erreur	9	56,78	6,309		
total	14	109,44			

Annexes

Annexe 08 : Résultat des tests de Dunnett pour le poids frais de la partie aérienne (g).

Répétition	N	Moyen	Groupement
C0	3	9,08	A
C1	1	11,48	A
C2	3	7,32	A
C3	3	6,62	A
C4	3	5,130	A

Annexe 09 : Analyse de la variance du poids frais de la partie racinaire (g)

Source	Dl	SomCar	Cmajust	Valeur F	Valeur P
Concentration	5	1,061	0,212	2,85	0,082
Erreur	9	0,671	0,074		
total	14	1,732			

Annexe 10 : Résultat des tests de Dunnett pour le poids frais de la partie racinaire (g).

Répétition	N	Moyen	Groupement
C0	3	0,923	A
C1	2	0,830	A
C2	3	0,770	A
C3	3	0,727	A
C4	3	0,213	A

Annexe 11 : Analyse de la variance le poids sec de la partie aérienne (g).

Source	Dl	SomCar	Cmajust	Valeur F	Valeur P
Concentration	5	1 ,3661	0,2732	2,64	0,098

Annexes

Erreur	9	0,9319	0,1035		
total	14	2,2980			

Annexe 12 : Résultat des tests de Dunnett pour poids sec de la partie aérienne (g).

Répétition	N	Moyen	Groupement
C0	3	1,180	A
C1	2	1,345	A
C2	3	0,883	A
C3	3	0,773	A
C4	3	0,553	A

Annexe 13 : Analyse de la variance du poids sec de la partie racinaire(g).

Source	Dl	SomCar	Cmajust	Valeur F	Valeur P
Concentration	5	0 ,03854	0,007707	2,98	0,074
Erreur	9	0,02327	0,002585		
total	14	0,06181			

Annexe 14 : Résultats des tests de Dunnett pour du poids sec de partie racinaire (g).

Répétition	N	moyen	Groupement
C0	3	0,1717	A
C1	2	0,1805	A
C2	3	0,1330	A
C3	3	0,1083	A
C4	3	0,03433	

Annexe 15 : Analyse de la variance de nombre de feuilles

Source	Dl	SomCar	Cmajust	Valeur F	Valeur P
Concentration	5	50,40	10,080	1,30	0,409
Erreur	9	80,00	8,889		
total	14	130,40			

Annexe16 : Résultats des tests de Dunnett pour de nombre de feuilles

Répétition	N	moyen	Groupe ment
C0	3	12,00	A
C1	1	16,00	A
C2	3	11,00	A
C3	3	10,00	A
C4	3	9,00	A

Annexe 17 : Analyse de la variance de la teneur en chlorophylle totale ($\mu\text{g}^+/\text{mg}$ de MF)

Source	Dl	SomCar	Cmajust	Valeur F	Valeur P
Concentration	5	220 ,80	44,160	17,43	0,000
Erreur	9	22,81	2,534		
total	14	243,61			

Annexe 18 : Résultats des tests de Dunnett pour de la teneur en chlorophylle totale ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF).

Répétition	N	Moyen	groupement
C0	3	16,575	A
C1	2	18,575	A

Annexes

C2	3	14,41	A
C3	3	11,45	
C4	3	7,607	

Annexe 19 : Analyse de la variance de la teneur en sucre soluble ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF).

Source	Dl	SomCar	Cmajust	Valeur F	Valeur P
Concentration	5	0,53810	0,1076119	41,43	0,000
Erreur	9	0,02326	0,002585		
total	14	0,56136			

Annexe 20 : Résultats des tests de Dunnett pour de teneur en sucre soluble ($\mu\text{g}/\text{mg}$ de MF).

Répétition	N	Moyen	groupement
C0	3	0,4343	A
C1	2	0,5575	A
C2	3	0,6423	
C3	3	0,7943	
C4	3	0,9750	