

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Abdelhamid Ibn Badis –Mostaganem-

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

DEPARTEMENT D'AGRONOMIE



UNIVERSITE
Abdelhamid Ibn Badis
MOSTAGANEM

MEMOIRE DE LA FIN D'ETUDES

Présente pour l'obtention du diplôme de

MASTER EN AGRONOMIE

Spécialité : Amélioration production végétales

❖ **Présenté par : TARI NOUREDDINE - et - HACINI YUCEF**

Thème

L'effet de stress salin sur le comportement morfo-physiologique et biochimique de deux variétés de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill.)

❖ **Soutenus le : 27 /09/2023**

❖ ***Devant la composition du jury :***

Qualités	Noms et prénoms	Grade	Structure de rattachement
Président :	Mr. CHADLI. R	PRF	UAB-Mostaganem
Directrice de mémoire :	Mme. BOUZID. KH	MCA	ESA-Mostaganem
Sous-directeur de mémoire:	Mr. GHELAMEALLH. A	MCA	UAB-Mostaganem
Examineur :	Mr. TAHRI. M	MCA	UAB-Mostaganem

❖ **Année universitaire : 2022/2023**

Remerciement

Avant toute chose, louange à dieu seul qui nous a donné la santé, la patience et le courage d'achever ce travail, Alhamdulillah.

Avant toute chose, louange à dieu seul qui nous a donné la santé, la patience et le courage d'achever ce travail, Alhamdulillah.

Nous tenons à remercier sincèrement Mme. BOUZID. KH en tant qu'encadrante de mémoire pour l'orientation, la patience, l'aide et le temps qu'elle a consacré pour nous.

Nos sincères remerciements aux MR. CHADLI. R et TAHRI.M qui nous ont honoré en acceptant de juger notre modeste travail.

Nous souhaitons d'adresser notre remerciement les plus sincères aux nos parents et familles qui nous ont donné le courage et l'aide. Nos remerciements aussi aux tout les personnes qui nous ont apporté leurs aides et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.

Dédicace :

Au nom de Dieu, le Très Miséricordieux, le Très Miséricordieux. Avant tout, louange à Dieu seul, qui nous a donné la bénédiction de la santé, de la patience et du courage pour achever ce travail. Je tiens à adresser mes sincères remerciements à Mme . Bouzid Khadija , notre directeur de thèse, pour sa patience, ses conseils et son aide dans le temps qui nous est imparti. Je dédie également ce travail à toutes mes chères mères. Et à mon père, que Dieu lui fasse miséricorde, et à mes frères et sœurs (CHAFIA , Amina, Muhammad, Abdel Latif , Hasnaa), et à ma deuxième famille, mes amis Youcef, Abdekader , Younes , Farouk , Mansour , Alaa El-Din , Hamouda. Goutti , Adel , Younes Lahm , Dadi , Hamza . Abderahman... , et tous ceux qui nous ont apporté leur aide de loin ou de près.

Liste des abréviations :

°C : Degrés Celsius.

Chl a : chlorophylle a.

Chl b : Chlorophylle b.

Cl⁻ : Anion de chlore.

Cl: Chlore.

cm : Centimètre.

cm²/g : Centimètre carré/ Gramme.

CO₂ : Dioxyde carbone.

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture.

g/L : Gramme / Litre.

INSID : Institut National Supérieur de l'Irrigation et du Drainage.

K: potassium.

K⁺ : Cation de potassium.

kg : Kilogramme.

kg/ha : Kilogramme / hectare.

m : mètre.

m³/ha : mètre cube/ hectare.

Mg : Magnésium.

mg : Milligramme.

Mg⁺² : Cation de magnésium.

ml : Millilitre.

mm : Millimètre.

mM : Millimolaire.

mmhos /cm: millimhos /centimetre.

min : Minute.

Na⁺: Cation de sodium.

NaCl : chlorures de sodium.

nm : Nanomètre .

pH : Potentiel hydrogène.

ROS : Espèces réactives de l'oxygène.

S/US : stomate/unité de surface.

V1 : Variété Orpi

V2 : Variété 53.

µg/100mg MF : Microgramme /100 Milligramme de matière fraîche.

t/ha :tonne/hectare

Liste des figures :

Figure 1:Diffusion de la tomate dans le monde (Gallais et Bannerot, 1992)	6
Figure 2: Les composants d'un pied de tomate (NORDDINE et YOUCEF,2023).....	9
Figure 3: Quelques variétés de tomates à différentes couleurs et formes2018a)	9
Figure 4: Les graines de la tomate (Source :Gammvert, 2018b)	10
Figure 5: répartition des sols salins de Nord de l'Algérie (INSID, 2008).....	22
Figure 6:Le dispositif expérimental V2 : 53 ; V1: ORPI.....	31
Figure 7:Les plantules après repiquage dans les sachets.	31
Figure 8:Les doses d'Na cl utilisé	32
Figure 9:dosage des sucres solubles	34
Figure 11:Processus de prélèvement des empreintes.	35
Figure 12:La méthode de mesure de longueur	36
Figure 14: lavage des racines	37
Figure 16: mesure de la longueur des racines	37
Figure 17:La teneur relative en eau (%) sous différents traitements salins	41
Figure 18:Teneur en chlorophylle a ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) sous différents traitements	43
Figure 19:Teneur en chlorophylle b ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) sous différents traitements salins	45
Figure 20:Teneur des sucres solubles ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) sous différents traitements	47
Figure 21:Le rapport longueur des racines sous différents traitements salin	49
Figure 22:Influence des concentrations de NaCl sur la longueur des tiges (cm).....	51
Figure 23:Influence des concentrations en Nacl sur la densité stomatique sur la face dorsale	53
Figure 24:Influence des concentrations en Nacl sur la densité stomatique sur la face ventrale	55
Figure 25:Influence des concentrations de NaCl sur la biomasse sèche total (g).....	57

Liste des tableaux :

Table 1 :Températures requises pour les différentes phases de développement d'un pied de tomate	12
Table 2 :Exigences de la culture de tomate en termes de température, de luminosité et d'hygrométrie (Chougar, 2011).	13
Table 3: Les principaux producteurs de tomate au niveau mondial en 2020 (Atlasbig, 2022)	15
Table 4:Production de la tomate dans la wilaya de Mostaganem (DSA, 2016)	16
Table 5 : Superficies affectées par la salinité dans le monde (FAO, 2008).....	20
Table 6:Les principaux caractéristiques des variétés étudiées.....	29
Table 7:Résultats moyens de La teneur relative en eau (%).....	41
Table 8:Résultats moyens de la teneur en chlorophylle a ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) sous différents traitements salins	43
Table 9:Résultats moyens de la teneur en chlorophylle b ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) sous différents traitements salins	45
Table 10:Résultats moyens des sucres solubles ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) sous différents traitements salins	47
Table 11:Influence des concentrations de NaCl sur la longueur des racines (cm)	49
Table 12 :Influence des concentrations de NaCl sur la longueur des tiges (cm).	51
Table 13:Analyse de la variance de la densité stomatique de la face dorsale sous différents traitements salins	53
Table 14:Analyse de la variance de la densité stomatique de la face ventrale sous différents traitements salins	55
Table 15:Influence des concentrations de NaCl sur la biomasse sèche total (g).	57

Tabale des matières :

CHAPITRE I.....	5
CHAPITRE I – SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE.....	6
1.Généralités sur la plante :.....	6
1.1Origine et historique :	6
1.2 Classification botanique :	7
1.3 Description botanique :.....	8
a. Le système racinaire :.....	8
b. La tige :.....	8
c. La feuille.....	8
d. La fleur :	8
A : Le système racinaire	9
e. Le fruit :	9
1.4 Caractéristiques physiologiques :.....	10
a. Germination :	10
b. Croissance :	10
c.Floraison :	10
d. Pollinisation :.....	11
e. La fructification :.....	11
f. La maturation du fruit :.....	11
1.5 Les exigences édapho-climatiques :.....	11
1.5.1 Les exigences climatiques :.....	11
1.5.2 Les exigences édaphiques :.....	13
1.5.3 Exigences en matière d'engrais :.....	14
1.6 Production et importance de la tomate :	15
1.6.1 Au niveau mondial :	15
1-6-2 En Algérie :	16
1.7 Soins et traitement des plants de tomates :	17
1.7.1 Irrigation :	17
1.7.2 Taille :	17
1.7.3Élimination des feuilles :	17
1.7.4 Tuteurage :	18

1.7.5 Désherbage :	18
1.7.6 Rotation des cultures :	18
1.8 Les variétés :	18
1.8.1 Variétés fixées :	18
1.8.2 Variétés hybrides :	18
<input type="checkbox"/> Selon le mode de croissance, on distingue aussi deux types :	18
1.8.3 Variété à croissance indéterminée :	18
1.8.4 Variété à croissance déterminée :	19
CHAPITRE II - LA SALINITE	20
1. Définition :	20
2. Répartition des sols salés dans le monde et en Algérie :	20
2.1 À l'échelle mondiale :	20
2.2 En ce qui concerne l'Algérie :	21
3. Origine et importance de la salinité :	22
3.1 Salinité primaire :	23
3.2 La salinité secondaire :	23
4. Effets du stress salin sur la plante :	24
4.1 Effet du sel sur la morphologie des plantes :	24
a. Racines :	24
b. Tiges :	24
c. Feuilles :	24
4.2 Effets de la salinité sur la physiologie des plantes :	24
a. Germination :	24
b. Croissance de la plante :	24
c. Photosynthèse :	25
d. Rendement :	25
5. Stratégies d'adaptation des plantes aux stress salin :	25
5.1 Adaptation physiologique :	25
a. L'exclusion des ions :	25
b. Séquestration du sodium dans les vacuoles :	26
c. Prélèvement de K ⁺ :	26
5.2 Adaptation métabolique :	26
5.2.1 Synthèse d'osmoprotectants :	26
5.2.1 Adaptation morphologique :	Error! Bookmark not defined.
Partie II : Matériel et méthode	29
1-Objective de travail :	29

2. Matériel.....	29
2.1 Matériel végétal :	29
2.2 Le site expérimental :.....	30
2.3 Le substrat :	3030
3-Méthodes	31
3.1 Le dispositif :.....	31
3.2 Les mesures effectuées :.....	33
CHAPITRE III :.....	39
RESULTATS ET DISCUSSION	39
1.Résultats :	40
1.Les paramètres physiologiques :.....	40
1.1 La teneur relative en eau (TRE) :.....	40
1.2 Teneur en chlorophylles :.....	42
1.2.1 Chlorophylle a :	42
1.1.2.Chlorophylle b :	44
2.Les paramètres biochimiques :	46
2.1 Teneur en sucres solubles :.....	46
Lecture sur 585nm :	46
3. Paramètres morphologiques :	48
3.1. la longueur des racines :	48
3.2 Longueur des tiges :.....	50
4.Le paramètre micro morphologique (La densité stomatique) :	52
4.1 La densité stomatique – face (dorsale) :.....	52
4.2 La densité stomatique face (ventrale) :	54
4.3.Biomasse sèche totale :.....	56
2 Discussion :	58
Conclusion générale :	63

Résumé :

Deux variétés de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ORPI et 53 ont été étudiées sous quatre concentrations de NaCl (50 mM, 100 mM, 200 mM, 300 mM). Les résultats de l'étude indiquent que les traitements salins ont des effets variables sur différentes caractéristiques des plantes de tomate, notamment la teneur en chlorophylle, la densité stomatique, la longueur des tiges, la longueur des racines, la teneur en eau, la teneur en sucres solubles et la teneur en proline. Pour la teneur en chlorophylle, les deux variétés de tomate ont montré une augmentation significative de la teneur en chlorophylle a en réponse aux traitements salins, tandis que la teneur en chlorophylle b est restée relativement stable. La teneur en chlorophylle totale a diminué à des concentrations de NaCl plus élevées, sauf à 100 mM où une augmentation significative a été observée. La densité stomatique des feuilles des plantes de tomate a diminué avec l'augmentation des concentrations de NaCl, indiquant une régulation stomatique altérée en réponse au stress salin. La longueur des tiges des plantes de tomate a montré des réponses variables aux traitements salins, avec une augmentation de la longueur à une concentration de 50 mM de NaCl dans la variété V1, tandis que la variété V2 a montré une légère diminution à 100 mM de NaCl. La longueur des racines a également montré des variations en réponse aux traitements salins, avec une augmentation de la longueur à 50 mM de NaCl dans la variété V1, tandis que la variété V2 a montré une diminution légère à 200 mM de NaCl. La teneur relative en eau a augmenté avec l'augmentation des concentrations de NaCl dans la variété V1, mais a montré des variations dans la variété V2. La teneur en sucres solubles a augmenté en réponse aux traitements salins dans les deux variétés de tomate, ce qui peut être considéré comme une réponse adaptative pour faire face au stress salin. Enfin, la teneur en proline a augmenté en réponse aux traitements salins dans les deux variétés de tomate, suggérant un rôle de la proline dans la protection contre le stress osmotique. Il est important de noter que les réponses aux traitements salins peuvent varier en fonction de divers facteurs tels que les espèces végétales, les variétés, les conditions de culture et les concentrations de sel utilisées. Ces résultats soulignent l'importance de prendre en compte ces variations lors de l'évaluation de l'effet du stress salin sur les plantes.

Mots clés : Stress salin, tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), teneur en chlorophylle, densité stomatique, tiges, racines, teneur en eau, sucres solubles, proline, concentrations de NaCl, teneur relative en eau.

Abstract:

Two varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) ORPI and 53 were studied under four concentrations of NaCl (50 mM, 100 mM, 200 mM, 300 mM). The results of the study indicate that salt treatments have variable effects on different characteristics of tomato plants, including chlorophyll content, stomatal density, stem length, root length, water content, in soluble sugars and proline content. For chlorophyll content, both tomato varieties showed a significant increase in chlorophyll a content in response to saline treatments, while chlorophyll b content remained relatively stable. Total chlorophyll content decreased at higher NaCl concentrations, except at 100 mM where a significant increase was observed. Tomato plant leaf stomatal density decreased with increasing NaCl concentrations, indicating a downregulation altered stoma in response to salt stress. Tomato plant stem length showed variable responses to salt treatments, with an increase in length at a concentration of 50 mM NaCl in variety V1, while variety V2 showed showed a slight decrease at 100 mM NaCl. Root length also showed variations in response to saline treatments, with an increase in length at 50 mM NaCl in variety V1, while variety V2 showed a slight decrease at 200 mM NaCl. The relative water content increased with increasing NaCl concentrations in variety V1, but showed variations in variety V2. The content of soluble sugars increased in response to salt treatments in both tomato varieties, which can be considered as an adaptive response to cope with salt stress. Finally, proline content increased in response to salt treatments in both tomato varieties, suggesting a role of proline in protecting against osmotic stress. It is important to note that responses to salt treatments may vary depending on various factors such as plant species, varieties, growing conditions and salt concentrations used. These results highlight the importance of taking these variations into account when evaluating the effect of salt stress on plants.

Key words: Salt stress, *Solanum lycopersicum* L tomato, chlorophyll content, stomatal density, stems, roots, soluble sugar water content, proline, NaCl concentrations, relative water content.

المخلص :

اوربي و 53 تحت أربعة تراكيز من (*Lycopersicon esculentum* Mill.) تمت دراسة صنفين من الطماطم كلوريد الصوديوم (50 ملي مولار ، 100 ملم ، 200 ملم ، 300 ملم). تشير نتائج الدراسة إلى أن معاملات الملح لها تأثيرات متغيرة على الخصائص المختلفة لنباتات الطماطم ، بما في ذلك محتوى الكلوروفيل ، وكثافة الثغور ، وطول الساق ، وطول الجذر ، ومحتوى الماء ، والسكريات الذائبة ، ومحتوى البرولين. زيادة معنوية في محتوى الكلوروفيل أ استجابةً للمعاملات المالحة ، بينما ظل محتوى الكلوروفيل ب ثابتاً نسبياً. انخفض محتوى الكلوروفيل الكلي عند تراكيز عالية من كلوريد الصوديوم ، ماعدا عند 100 ملي مولار حيث لوحظت زيادة معنوية ، وانخفضت كثافة ثغور أوراق نبات الطماطم مع زيادة تركيزات كلوريد الصوديوم ، مما يشير إلى تغيير في الثغور استجابة لضغط الملح. أظهرت معاملات الملح مع انخفاضاً طفيفاً عند 100 V2 بينما أظهر الصنف V1 زيادة الطول بتركيز 50 ملي مول كلوريد الصوديوم في الصنف ملي مول كلوريد الصوديوم. كما أظهر طول الجذر اختلافات في الاستجابة للمعاملات الملحية ، مع زيادة في الطول عند انخفاضاً طفيفاً عند 200 ملي مول كلوريد V2 ، بينما أظهر الصنف V1 50 ملي مولار من كلوريد الصوديوم في الصنف ، لكنه أظهر اختلافات في V1 الصوديوم. زاد المحتوى المائي النسبي مع زيادة تراكيز كلوريد الصوديوم في الصنف زاد محتوى السكريات القابلة للذوبان استجابةً لمعالجات الملح في كلا نوعي الطماطم ، والتي يمكن اعتبارها V2 الصنف استجابةً تكيفية للتعامل مع إجهاد الملح. أخيراً ، زاد محتوى البرولين استجابةً لمعالجات الملح في كلا نوعي الطماطم ، مما يشير إلى دور البرولين في الحماية من الإجهاد التناضحي. من المهم ملاحظة أن الاستجابات لمعالجات الملح قد تختلف اعتماداً على عوامل مختلفة مثل الأنواع النباتية والأصناف وظروف النمو وتركيزات الملح المستخدمة. تسلط هذه النتائج الضوء على أهمية أخذ هذه الاختلافات في الاعتبار عند تقييم تأثير إجهاد الملح على النباتات.

:الكلمات المفتاحية

محتوى الكلوروفيل ، السيقان ، الجذور ، محتوى الماء من *Solanum lycopersicum* L tomato، إجهاد الملح ، السكر القابل للذوبان ، البرولين ، تركيزات كلوريد الصوديوم ، محتوى الماء النسب

Introduction :

La production agricole mondiale peut être entravée par divers facteurs non biologiques, tels que la salinité des sols (Jayakannan et al., 2015). Environ 800 millions d'hectares de terres, équivalant à 6% de la superficie terrestre totale de la planète et à 20% des terres cultivables mondiales, sont touchés par le sel (Jyothi-Prakash, 2015 ; Djerroudi, 2017). Les zones arides et semi-arides couvrent environ un tiers de la surface terrestre (Baatour et al., 2004). Dans ces régions, la salinité des sols et de l'eau d'irrigation constitue un obstacle majeur à la production végétale (Baatour et al., 2004 ; Sabir Ali et al., 2014).

La salinisation des sols résulte non seulement de l'irrigation directe, mais également de la remontée des nappes souterraines salines qui déposent des sels, principalement en surface, par évaporation (Zhu, 2007). L'absence de lessivage naturel des sels et l'augmentation de la salinité des eaux d'irrigation ne peuvent que conduire à la stérilisation complète des sols (Duarte et al., 2015).

La salinité des sols est un problème ancien en Algérie, signalé dès 1872 par Ville lors de son exploration géologique du nord vers le Sahara. Dans de nombreuses régions agricoles en Algérie, caractérisées par un climat aride et semi-aride, la salinité est un problème préoccupant. Environ 25% de la surface cartographiée dans les zones arides est constituée de sols sodiques (Halitim, 1985). Selon Szabolcs (1994), un milliard d'hectares dans le monde sont menacés par la salinité, dont 3,2 millions d'hectares en Algérie (Belkhodja et Bidai, 2004).

Diverses études ont démontré que l'accumulation de sel dans les sols affecte la germination, la croissance des plants, la phase végétative, la floraison et la fructification, entraînant ainsi une réduction des rendements et de la qualité de la production (Parida et Das, 2005). Ces problèmes résultent de perturbations physiologiques et biochimiques dans les plantes cultivées en conditions de stress salin (Singh et al., 2015), ce qui altère la disponibilité en eau, diminue le taux de respiration (Cramer et al., 2013), perturbe la distribution des sels minéraux (Babu et al., 2012) et modifie la pression de turgescence (Shabala et Munns, 2012).

Les plantes ont développé divers mécanismes hormonaux, physiologiques et biochimiques pour tolérer ou résister à ce stress (Eraslan et al., 2015). La réponse des plantes à la salinité dépend de facteurs tels que l'espèce, la variété, la concentration de sel, les conditions de culture et le stade de développement de la plante (Mallek-Maalej et al., 2004).

Pour faire face à ce défi environnemental, diverses stratégies peuvent être envisagées, notamment l'utilisation de techniques de drainage pour éliminer les excès de sel. Cependant, ces méthodes sont coûteuses et nécessitent une grande quantité d'eau pour lessiver les sels.

Les plantes sont continuellement confrontées à divers défis environnementaux qui peuvent entraver leur croissance et leur développement. Parmi ces défis, les facteurs biotiques tels que les maladies, les ravageurs et la compétition entre espèces, ainsi que les facteurs abiotiques tels que la température, l'humidité et la salinité, jouent un rôle crucial (Munns et Tester, 2008). Ces facteurs peuvent perturber les processus physiologiques des plantes, entraînant des effets négatifs sur leur croissance, leur développement et leur capacité à produire des récoltes de qualité.

La culture de la tomate (*Solanum lycopersicon* L.) est pratiquée dans des pays au climat sec et chaud, où les sols salins occupent de vastes étendues, posant ainsi un défi majeur en termes d'adaptation à la salinité pour son expansion dans les zones cultivées. Dans les régions à climat méditerranéen, la présence de concentrations élevées de chlorure de sodium dans les eaux d'irrigation aggrave le problème de la salinité.

La production mondiale de tomates a connu une croissance constante au cours des dernières décennies, passant de 48 millions de tonnes en 1978 à 124 millions en 2006 (Blancard et al., 2009). En raison de son importance, cette production devrait continuer à augmenter dans les années à venir, notamment en raison de la promotion de la consommation de fruits et de légumes. La tomate est cultivée en serre et en plein champ sur environ 3 millions d'hectares, ce qui représente près d'un tiers des terres mondiales dédiées aux légumes.

En Algérie, la culture de la tomate joue un rôle majeur dans l'économie agricole. Près de 49 794 hectares sont consacrés à la culture de la tomate, qu'elle soit maraîchère ou industrielle, avec une production moyenne de 31 millions de quintaux et des rendements moyens de 607 quintaux par hectare (MADR, 2019). Cependant, ces rendements restent faibles et bien en deçà de ceux enregistrés dans d'autres pays méditerranéens producteurs de tomates tels que la Tunisie, le Maroc, l'Espagne, la France et l'Italie, où les rendements varient de 350 à 1500 quintaux par hectare selon les données de la FAO (2008).

La tomate est souvent exposée à de multiples contraintes environnementales. Dans de nombreuses régions du monde, la salinité est l'un des principaux facteurs limitant la croissance des plantes et la production de fruits. Cette problématique est particulièrement aiguë en région méditerranéenne, où le manque d'eau de qualité pour l'irrigation est associé à une forte évapotranspiration, ce qui peut contribuer à la salinisation progressive des sols (Benazzouk et al., 2018).

L'objectif de cette étude est de comparer les paramètres physiologiques, biochimiques et morphologiques de résistance à la salinité de deux variétés de tomates, "Messa" et "53", soumises à différentes concentrations de sel (50 mM, 100 mM, 200 mM, 300 mM) dans des conditions contrôlées, c'est-à-dire en serre. Les paramètres étudiés comprennent la teneur relative en eau, la longueur de la tige, la longueur des racines, la densité stomatique, la teneur en pigments chlorophylliens et la teneur en sucres soluble

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

CHAPITRE I – SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1. Généralités sur la plante :

1.1 Origine et historique :

À l'origine, la tomate provient d'Amérique du Sud où elle était consommée par les Aztèques dès l'an 700 dans la région de Mésio-Amérique. Cependant, ce n'est qu'au début du XIXe siècle qu'elle a gagné en popularité dans le bassin méditerranéen (FAO, 2022). Plusieurs théories tentent d'expliquer son arrivée en Europe. Selon la première théorie, la tomate aurait été importée sur le continent après la conquête espagnole. Elle aurait ensuite été introduite en Italie grâce aux relations étroites entre les familles royales de l'époque. La deuxième théorie suggère que la tomate aurait été introduite en France depuis le Pérou ou le Mexique (FAO, 2022).

Pendant longtemps, la tomate était considérée comme une plante toxique, tout comme sa cousine, la "mortelle Belladone". Ce n'est qu'aux alentours des années 1920-1930 qu'elle a commencé à être largement commercialisée (Menard, 2009).

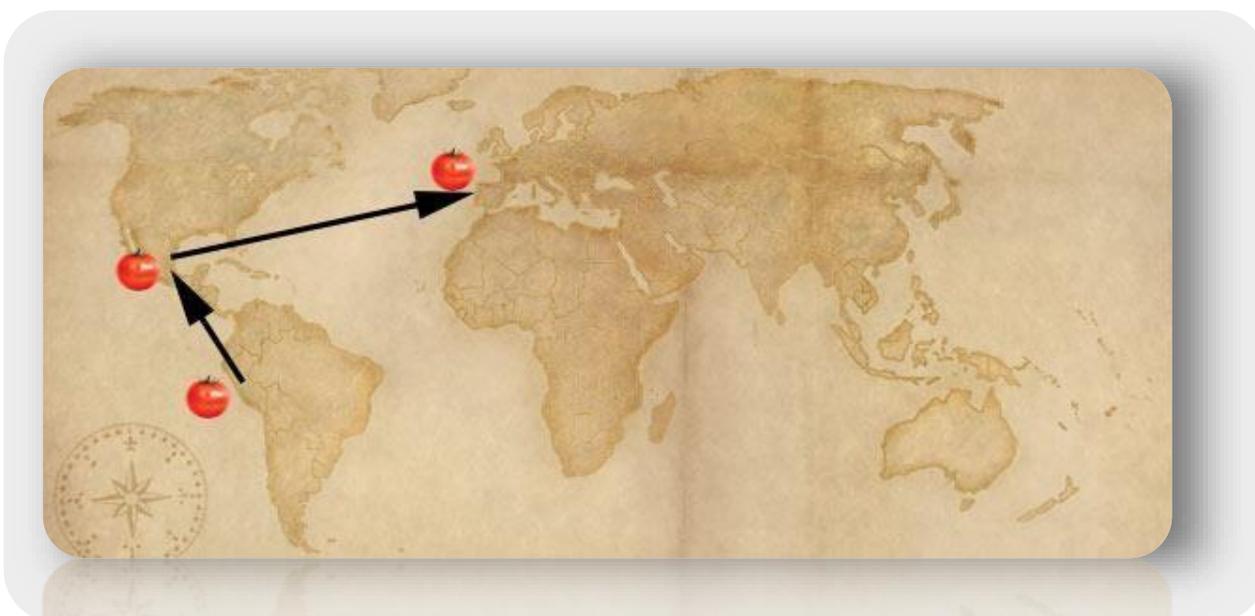


Figure 1: Diffusion de la tomate dans le monde (Gallais et Bannerot, 1992)

(1 (Pérou): Centre de diversification, 2 (Mexique): Premier centre, de domestication, 3 (Europe): Deuxième centre de domestication, 4 (États Unis): Troisième centre de domestication)

La tomate, scientifiquement connue sous le nom de (*Solanum lycopersicum* L.), est une plante herbacée appartenant à la famille des solanacées. Elle est largement cultivée pour ses fruits qui sont consommés frais ou transformés (**Chaux et Foury, 1994**).

La classification, la description et la morphologie de la tomate peuvent être abordées selon les points suivants :

1.2 Classification botanique :

La classification scientifique de la tomate a changé au fil du temps. Au début, Linné l'a classée sous le genre *Solanum* avec le nom *Solanum lycopersicum* en 1753. Mais en 1768, Miller l'a reclassée sous le genre *Lycopersicon*. Maintenant, le nom officiel de la tomate est *Lycopersicon esculentum* Mill (Andrew, 2000). Voici sa classification actuelle :

- Règne :Végétal
- Embranchement :Phanérogames
- S/Embranchement : Angiospermes
- Classe : Dicotylédones
- Sous classe : Gamopétales
- Ordre : Solanales
- Famille : Solanacées
- Genre : *Lycopersicon*
- Espèce : *Lycopersicon esculentum* Mill

Chaque classification est sujette à des ajustements et des révisions constantes en raison de nouvelles découvertes et de différentes interprétations. C'est pourquoi le nom scientifique de la tomate possède plusieurs synonymes, dont :

- *Solanum lycopersicum* Linné, 1753 ;
- *Lycopersicon esculentum* Mill Gardner, 1768 ;
- *Lycopersicon pomum* Moench, 1794 ;
- *Lycopersicon lycopersicum* Karst, 1882 (VAN DER VOSSSEN et al, 2004).

1.3 Description botanique :

La tomate est une plante herbacée appartenant à la famille des solanacées et scientifiquement connue sous le nom de *Solanum lycopersicum* L. Elle est largement cultivée en raison de son fruit délicieux, que l'on consomme frais ou transformé (**Chaux et Foury, 1994**).

a. Le système racinaire : Le système racinaire de la tomate est robuste et présente une forte ramification avec une tendance fasciculée. Il est très actif sur les 30 à 40 premiers centimètres du sol. Dans les sols profonds, il est possible de trouver des racines s'étendant jusqu'à 1 mètre de profondeur (**Chaux et Foury, 1994**).

b. La tige : La tige de la tomate présente une forme anguleuse et est épaisse avec des entrenœuds pubescents, c'est-à-dire recouverts de poils. Au début de sa croissance, la tige a une consistance herbacée, puis elle se lignifie en vieillissant. Sa croissance est initialement monopodiale, mais après le développement de 4 ou 5 feuilles, elle devient sympodiale. Cela signifie que les bourgeons axillaires donnent naissance à des ramifications successives. En revanche, les bourgeons terminaux donnent naissance à des fleurs ou avortent. Les rameaux issus des bourgeons axillaires portent des feuilles à chaque nœud et se terminent par une inflorescence (**Chaux et Foury, 1994**).

c. La feuille : Les feuilles de la tomate sont composées de 5 à 7 folioles principales mesurant entre 10 et 25 cm de long, ainsi que de plusieurs petites folioles intercalaires ovales avec des bords légèrement dentelés. La face inférieure des feuilles a une teinte grisâtre. Les feuilles sont souvent pliées en forme de cuillères ou ont les bords enroulés vers le haut. Elles sont disposées de manière alternée le long de la tige (**Raemaekers, 2001**).

d. La fleur : Les fleurs de la tomate se regroupent en inflorescences formant des grappes plus ou moins bifurquées. Les variétés fixées peuvent avoir de 3 à 8 fleurs dans chaque grappe, tandis que les hybrides peuvent en avoir plus. Les fleurs s'épanouissent du printemps à l'été (de fin mai à septembre) dans l'hémisphère nord. La fleur de la tomate a une structure actinomorphe avec un système pentamère. Le calice est constitué de 5 sépales verts et persiste après la fécondation, restant au sommet du fruit. La corolle est composée de 5 pétales jaunes vifs soudés à la base et réfléchis en arrière, formant une étoile à 5 pointes. L'androcée est composée de 5 étamines avec une déhiscence latérale, et les anthères allongées forment un cône serré autour du pistil. Le pistil est constitué de deux carpelles soudées pour former un ovaire super-biloculaire avec 2 loges et un placenta central. Chez certaines variétés, l'ovaire peut être pluriloculaire (**Dore et al., 2006**).



A : Le système racinaire – B : La tige – C : La feuille – D : La fleur

Figure 2: Les composants d'un pied de tomate (NORDDINE et YUCEF,2023).

e. Le fruit : Le fruit de la tomate est une baie charnue. Son épiderme est lisse et brillant, et il peut présenter une large gamme de couleurs selon la variété une fois mûr. Normalement, le fruit a 2 loges, mais en section méridienne, il peut prendre des formes très variées, telles que ellipsoïdales, plus ou moins aplaties, globuleuses, ovales, allongées, cylindriques ou piriformes. Sa taille varie considérablement, allant de 1,5 cm de diamètre pour les tomates cerises à plus de 10 cm. La couleur du fruit peut être rouge foncé, rose, bleuâtre, orange, jaune, voire blanche (Chaux et Foury, 1994).



Figure 3: Quelques variétés de tomates à différentes couleurs et formes2018

f. Les graines : Selon Chaux et Foury (1994), chaque fruit contient un nombre important de graines, variant de 80 à 500 graines par fruit. Les graines sont recouvertes d'un mucilage qui, à maturité, présente un albumen et un embryon courbé, avec une germination épigée. Les graines sont petites (environ 250 à 350 graines par gramme) et velues (Dore et al., 2006).



Figure 4: Les graines de la tomate (Source :Gammvert, 2018b)

1.4 Caractéristiques physiologiques :

Le cycle complet de croissance de la tomate, de la graine à la graine, varie en fonction des variétés, de la période et des conditions de culture. En général, il dure en moyenne de 3,5 à 4 mois, du semis à la dernière récolte (Gallais et Bannerot, 1992). Il se compose de six phases:

a. Germination : La germination correspond à la période pendant laquelle la graine se développe pour devenir une jeune plante capable de croître normalement (Corbineau et Core, 2006). Chez la tomate, la germination est épigée, c'est-à-dire que les cotylédons se libèrent de la graine et émergent au-dessus du sol. Une température ambiante d'environ 20 °C et une humidité relative de 70 à 80 % sont nécessaires (Chaux et Foury, 1994).

b. Croissance : La croissance de la plante de tomate se déroule en deux phases distinctes dans deux environnements différents, selon Laumonier (1979). En pépinière, de la germination jusqu'au stade de développement à six feuilles, les racines non fonctionnelles et les pré-feuilles apparaissent. En plein champ, après l'apparition de feuilles ayant une photosynthèse intense et de racines fonctionnelles, les plantes continuent de croître. La tige s'épaissit et le nombre de feuilles augmente.

c. Floraison : La tomate entre en phase de floraison environ 4 à 6 semaines après le semis. C'est le développement des ébauches florales par transformation du méristème apical, passant

de l'état végétatif à l'état reproducteur. À un certain stade de la croissance de la plante, qui dure environ un mois, la tomate entre simultanément en phase de floraison. Ces fleurs étaient précédemment des boutons floraux (Chaux et Foury, 1994). La floraison dépend de la photopériode, de la température et des besoins nutritifs de la plante, car elle ne peut fleurir que si elle reçoit la durée de lumière appropriée ainsi qu'une nutrition équilibrée en serre (Chougar, 2011).

d. Pollinisation : La pollinisation de la tomate nécessite l'intervention d'agents extérieurs tels que le vent ou certains insectes comme le bourdon, capables de faire vibrer les anthères et de libérer le pollen (Chaux et Foury, 1994). La libération et la fixation du pollen dépendent également des conditions climatiques. Si la température nocturne est inférieure à 13 °C, la plupart des grains de pollen seront vides, et une faible humidité peut dessécher les stigmates, rendant difficile le dépôt du pollen (Chougar, 2020).

e. La fructification : La fructification de la tomate débute pendant la floraison. Elle commence par la formation des fruits de l'inflorescence de base, puis se poursuit avec les inflorescences supérieures au fur et à mesure de l'apparition des inflorescences et de la fécondation des fleurs (Demol et al., 2002).

f. La maturation du fruit : La maturation du fruit de la tomate se manifeste par une augmentation de sa taille et un changement de couleur, passant du vert au rouge (ou à d'autres couleurs selon la variété). Une exposition à une lumière intense favorise la production active de matière organique, qui est ensuite rapidement transportée vers les fruits en croissance. Pour une maturation optimale, des conditions de température sont nécessaires, avec une température nocturne d'environ 18 °C et une température diurne d'environ 27 °C (Rey et Costes, 1965).

1.5 Les exigences édapho-climatiques :

1.5.1 Les exigences climatiques :

a. Température de l'air et lumière :

La température est le facteur le plus important pour la production de tomates. Les variations thermiques pendant le cycle de croissance ont un impact significatif sur la plante (Tableau 1). La température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 21 et 24 °C. Les températures inférieures à 10 °C et supérieures à 38 °C endommagent les tissus de la plante (Naika et al., 2005).

Table 1 :Températures requises pour les différentes phases de développement d'un pied de tomate

Phases Germination des graines	Température (°C)		
	Mi n.	Intervalle optimal	Ma x.
	11	16-29	34
Croissance des semis	18	21-24	32
	18	20-24	30
Mise a fruits			
Développement de la couleur rouge	10	20-24	30

(Source : Naika et al., 2005)

Les basses températures ralentissent la croissance, favorisent un feuillage abondant au détriment de la production et peuvent causer des problèmes de nouaison (IAV, 1999). Les températures élevées réduisent la formation des fruits et inhibent leur coloration normale (Benton, 1999).

La lumière est un facteur écologique essentiel qui influence la photosynthèse, la croissance et la fructification de la tomate en termes de durée, d'intensité et de qualité. La tomate n'est pas sensible à la photopériode, mais elle a besoin d'une bonne quantité de lumière. La durée de l'obscurité est cruciale pour le contrôle de la croissance et du développement de la plante (Kinet, 1985).

Un faible éclairage réduit le nombre de fleurs par bouquet et affecte la fécondation (Cirad et Gret, 2002). De plus, l'intensité lumineuse influe sur la couleur des feuilles, la fructification et la couleur des fruits.

b. Humidité de l'air :

La tomate est très sensible à l'humidité de l'air. Une humidité relative d'environ 60% à 65% est considérée comme optimale, car elle joue un rôle important dans la fécondation (Munro et Small, 1998). Si l'humidité est trop élevée, le pollen est difficilement libéré. De plus, un fort taux d'humidité associé à la chaleur favorise le développement de maladies cryptogamiques (Laumonier, 1979).

Selon Benchaalal (1983), l'humidité atmosphérique doit être de 76% lors de la germination, de 75 à 80% pendant l'élevage des plantes et de 70 à 80% pendant le développement des fruits. Les averses intenses peuvent entraîner des risques importants.

Selon Guenaoui (2008), les exigences climatiques de la tomate sont malheureusement favorables au développement de bioagresseurs de la plante.

1.5.2 Les exigences édaphiques :

a. Type de sol :

La tomate pousse bien sur la plupart des sols, à condition qu'ils aient une bonne capacité de rétention d'eau et une bonne aération. Elle préfère les sols limoneux profonds, bien drainés, légers, meubles, riches en humus, qui se réchauffent rapidement et facilement. La couche superficielle du sol doit être perméable. Une profondeur de sol de 15 à 20 cm favorise une croissance saine de la culture (Chougar, 2011).

Khorsi (1993) affirme que des études réalisées par le centre d'aptitude des sols pour les cultures maraîchères ont montré qu'en passant de sols sableux légers à des sols limoneux plus lourds, la production de tomates peut augmenter jusqu'à près de 50%.

b. Température du sol :

C'est le premier facteur qui influence le pourcentage de germination et la vitesse de levée des plantes. Les semis doivent être exposés à une température supérieure à 16 °C. La plante se développe lorsque la température du sol varie de 13 °C à 30 °C (Zuang, 1982). Cette température affecte la croissance des racines ainsi que l'absorption de l'eau et des nutriments.

c. pH du sol :

La tomate tolère un pH variant entre 4,5 et 8,2. Selon Zuang (1982), un pH de 5,5 à 6,5 est le plus souhaitable pendant toute la période de croissance.

Table 2 : Exigences de la culture de tomate en termes de température, de luminosité et d'hygrométrie (Chougar, 2011).

Stade	T° du sol	T° atmosphérique		Luminosité (Lux)	Hygrométrie relative (%)
		jour	nuît		
croissance	15 - 20 °C	18 - 20 °C	15 °C	1000-1200	70 – 80
	20 - 25 °C	22 - 25 °C	13 - 17 °C	Très élevé	65 – 80
Floraison fructification	20 - 25 °C	25°C	18 °C	1000 / 16h/jour	77 – 67

e. Humidité du sol :

La tomate est considérée comme l'une des cultures les plus exigeantes en eau. Les besoins en eau pour la culture en plein champ se situent entre 4000 et 5000 m³/ha. Sur un cycle de 90 à 120 jours, les besoins en eau sont de 400 à 600 m³/ha. Les besoins en eau de la tomate varient en fonction de l'environnement, de la plante et des stades de développement (**Bentvelsen, 1980**).

Un manque d'eau pendant la maturation des fruits destinés à la transformation améliore leur qualité en augmentant le taux de matière sèche (**Chougar, 2011**).

Des irrigations fréquentes et régulières, suivies d'un binage, permettent d'obtenir des rendements élevés. Cependant, des irrigations excessives pendant la floraison entraînent la chute des fleurs et une croissance excessive, ce qui retarde la maturité des fruits (**Guedda et al., 2016**).

f. Salinité du sol :

La tomate présente une sensibilité modérée à la salinité du sol, pouvant tolérer des concentrations en sels allant de 2 à 4 g/l. La période critique où la tomate est plus sensible à la salinité correspond à la germination et aux premiers stades de développement de la plante (**Bentvelsen, 1980**).

g. Aération du sol :

Une bonne aération du sol favorise une germination plus élevée des jeunes plantes, mais peut avoir un effet défavorable sur les racines pendant la phase de croissance végétative. L'aération du sol est essentielle pour assurer une maturation adéquate des fleurs (**Chaux et Foury, 1994**). Il est important d'éviter les sols compactés, mal aérés et peu structurés en profondeur, car cela entrave la germination et la levée des jeunes plants en pépinière, tout en réduisant le nombre de boutons floraux en plein champ (**Chaux et Foury, 1994**).

1.5.3 Exigences en matière d'engrais :

La quantité d'engrais à apporter varie d'une région à l'autre, en fonction notamment de la fertilité du sol, du climat et de la méthode d'irrigation. En général, le phosphore ainsi que les engrais organiques tels que le fumier sont incorporés au sol lors de la préparation de la serre. Environ 50% de la potasse est appliquée avant la plantation, le reste étant ajouté au cours des 10 à 12 premières semaines de la culture. L'azote est uniquement appliqué après le début de la

culture et jusqu'à environ un mois avant la récolte, avec une application toutes les deux semaines (Chougar, 2011).

1.6 Production et importance de la tomate :

1.6.1 Au niveau mondial :

La tomate est l'une des principales cultures maraîchères dans le monde, notamment dans les pays tropicaux et du bassin méditerranéen. Elle est cultivée dans plus de 165 pays, couvrant une superficie d'environ 5,052 millions d'hectares (Agrimaroc, 2022). La production mondiale est estimée à 186,821 millions de tonnes (FAO, 2020). Le tableau ci-dessous présente la variation de la production mondiale de tomates en 2020.

Table 3: Les principaux producteurs de tomate au niveau mondial en 2020 (Atlasbig, 2022)

Classement	Pays	Production (million de tonne)	Classement	Pays	Production (million de tonne)
1	Chine	56,42	8	Espagne	4.67
2	Inde	18,40	9	Brésil	4.16
3	Etats-Unis	13,04	10	Mexique	4.05
4	Turquie	12.60	11	Russie	2.99
5	Egypte	7.94	12	Ouzbékistan	2.64
6	Italie	6.44	13	Nigeria	2.24
8	Iran	6.37	14	Ukraine	2.23

1-6-2 En Algérie :

a-Production régional :

La tomate est le second produit maraîcher suite à la place qu'elle occupe dans les habitudes alimentaires des algériens (Bacci, 2008). Selon Anonyme (2009), les principales zones de la tomate industrielle en Algérie sont essentiellement :

Zone Est: elle représente **84%** des superficies et regroupe les wilayas de Skikda, El-Taraf, Annaba, Guelma et Jijel.

Ces zones ont une bonne pluviométrie et des sols à forte capacité de rétention d'eau. La culture de la tomate est pratiquée en conditions sèches et semi-irriguées, avec un rendement de près de **90%** de la production nationale.

Zone Centre: représente **12%** des superficies et regroupe les wilayas de Blida, d'Alger, Boumerdes, Bejaia, Chleff, Tipaza et Ain Defla.

Zone Ouest : Cette zone regroupe les wilayas de Mostaganem, Relizane, Mascara, Sidi-Bel Abbès et Tlemcen. Elle représente **2,7%** des superficies de la culture de tomate.

Zone Sud : est représentées par les wilayas d'Adrar et Biskra

b-Production local : D'après les données de la direction des services Agricoles de la wilaya de Mostaganem (DSA, 2016), Mostaganem occupe une place non négligeable dans la production de la tomate en Algérie (DSA, 2016)

Table 4: Production de la tomate dans la wilaya de Mostaganem (DSA, 2016)

Année	Superficies(ha)	Rendement(Qx/ha)	Production(Qx)
2003	2123	239,4	508202
2004	2170	222,3	482330
2005	2340	197,4	462000
2006	2011	212	426260
2007	2026	240,7	487650
2008	1680	290	487200
2009	1957	258,1	5050505
2010	2336	291,2	680143
2011	2298	288,4	662643
2012	2512	310,4	779695
2013-2014	2595	450	1167750
2014-2015	2560	450	1152000

1.7 Soins et traitement des plants de tomates :

1.7.1 Irrigation :

Il est recommandé d'arroser régulièrement les plants, surtout pendant la floraison et la formation des fruits. Différents systèmes d'irrigation sont utilisés, tels que le goutte-à-goutte, l'aspersion (tourniquets, pommes d'arrosage) et les arrosoirs. Cependant, il est conseillé d'éviter l'irrigation par aspersion après la floraison pour éviter la chute des fleurs (**Aglinglo et al., 2018**).

1.7.2 Taille :

Il est important de tailler les plants de tomates, en particulier pour les variétés qui ont une croissance dense et les variétés à croissance indéterminée. La taille permet d'améliorer l'exposition à la lumière et la circulation de l'air (**Naika et al., 2005**). La nécessité de tailler les plants de tomates dépend du type de plante, de la taille et de la qualité des fruits. Lorsque les plants ne sont pas taillés, ils poussent de manière aléatoire et les fruits sont plus petits (**Naika et al., 2005**).

a. Ébourgeonnage :

Il est important d'éliminer les gourmands, c'est-à-dire les petites pousses latérales, pour ne laisser qu'une tige principale. Les grappes de fruits se développeront le long de cette tige principale. La taille des gourmands améliore la qualité et la taille des fruits (**Naika et al., 2005**).

b. Écimage :

Lorsque 3 à 5 feuilles sont entièrement formées, il faut couper l'extrémité de la tige des variétés de tomates à croissance indéterminée. On laisse pousser les gourmands qui se forment à partir des 2 à 4 premiers bourgeons. Ainsi, 2 à 4 pousses latérales se développeront en tant que tiges principales, soutenues par des tuteurs. Lorsque ces tiges atteignent une longueur de 1 à 1,25 m, elles doivent également être écourtées. En général, chaque tige porte 3 à 4 grappes de fruits (**Naika et al., 2005**).

1.7.3 Élimination des feuilles :

Il est nécessaire de retirer les feuilles anciennes, jaunies ou malades des plants de tomates. Cela permet de contrôler le développement et la propagation des maladies. Il faut faire attention lors de la taille des plants, car il est facile de propager une maladie avec les mains ou les outils utilisés. Il est donc important d'éviter les plants contaminés (**Naika et al., 2005**).

1.7.4 Tuteurage :

Le tuteurage consiste à utiliser des supports tels que des perches ou des barres en fer, ainsi qu'une corde, pour soutenir les plants de tomates et maintenir les fruits et les feuilles au-dessus du sol. Cela réduit la pourriture des fruits et facilite les tâches d'entretien et de récolte (Aglinglo et al., 2018).

1.7.5 Désherbage :

Il est important de contrôler les mauvaises herbes, car elles concurrencent les plants de tomates pour la lumière, l'eau et les nutriments. Parfois, elles peuvent également jouer un rôle dans la transmission de maladies telles que le virus du TYLCV. Il est recommandé de nettoyer régulièrement le champ pour éviter la compétition entre les mauvaises herbes et les plants de tomates (Aglinglo et al., 2018).

1.7.6 Rotation des cultures :

Lorsqu'on cultive des tomates en monoculture, il est essentiel de pratiquer la rotation des cultures. Cela implique de planter différentes cultures successivement sur le même champ au fil des saisons de croissance. Il est important de ne replanter la même culture qu'après au moins trois cycles de culture différents. Cette pratique permet de rompre les cycles de vie des agents pathogènes et réduit les risques de dommages causés par des maladies ou des ravageurs (Naika et al., 2005).

1.8 Les variétés :

Selon le mode de fécondation, on distingue deux types de variétés de tomates :

1.8.1 Variétés fixées :

Il existe plus de cinq cents variétés de tomates fixes, qui conservent les caractéristiques parentales. Leurs fruits sont plus ou moins réguliers, sensibles aux maladies, mais généralement d'excellente qualité gustative (Polese, 2007).

1.8.2 Variétés hybrides :

Les variétés hybrides sont plus nombreuses et relativement récentes, étant apparues après 1960 (Polese, 2007).

➤ **Selon le mode de croissance, on distingue aussi deux types :**

1.8.3 Variété à croissance indéterminée :

Ces variétés sont plus nombreuses. Elles continuent de pousser et de produire des bouquets

floraux, tant que les conditions sont favorables. Comme leur développement est exubérant, leur tige doit être attachée à un tuteur, sous peine de s'affaisser au sol. Il est également nécessaire de les tailler et de les ébourgeonner régulièrement. Elles ont une production plus échelonnée et plus étalée. Elles sont plus productives en général que les tomates à port déterminé (**Polese, 2007**).

1.8.4 Variété à croissance déterminée :

Dans ce groupe et selon la variété, la tige émet 2 à 6 bouquets floraux, puis la croissance s'arrête naturellement. Elle est caractérisée par l'absence de la dominance apicale. Ce type de variété est destiné à l'industrie agro-alimentaire sous le nom de variété industrielle (**Laumonier, 197**

CHAPITRE II - LA SALINITE

1. Définition :

La présence de salinité est l'un des facteurs abiotiques les plus répandus dans les zones arides et semi-arides, limitant ainsi considérablement les rendements agricoles (**Khales et Baaziz., 2006**). Le terme "stress salin" fait référence principalement à un excès de cations tels que le Na^+ , le Ca^{2+} et le Mg^{2+} , ainsi qu'à des anions tels que le Cl^- , le sulfate (SO_4^{2-}) et le bicarbonate (HCO_3^-). Cependant, le NaCl est considéré comme le sel le plus important car le Na^+ et le Cl^- sont toxiques pour les plantes lorsqu'ils s'accumulent à des concentrations élevées (**Parida et Das, 2005 ; Kaewmanee et al., 2013**). Le stress salin provoque un stress osmotique, une sécheresse physiologique et un déséquilibre ionique, ce qui perturbe les fonctions cellulaires vitales de la plante (**Djerroudi et al., 2011 ; Taffouo et al., 2013 ; Gupta et Huang, 2014**). Il peut affecter directement ou indirectement l'état physiologique des plantes en altérant leur métabolisme, leur croissance et leur développement (**Calatayud et al., 2013**).

2. Répartition des sols salés dans le monde et en Algérie :

2.1 À l'échelle mondiale :

La surface touchée par la salinité dans le monde est estimée à 954,8 millions d'hectares

Table 5 : Superficies affectées par la salinité dans le monde (FAO, 2008)

Régions	Superficie en million d'hectares
Afrique	80.5
Europe	50.8
Amérique du Nord	15.7
Amérique du Sud	129.2
Australie	357.3
Mexique et Amérique central	2
Asie du Sud .Est	20
Asie centrale et du Nord	211.7
Asie de Sud	87.6
Total	954,8

La plupart de ces terres affectées par la salinité se trouvent principalement dans les zones arides et semi-arides, notamment en Afrique du Nord, en Asie orientale, en Asie centrale et en Asie du Sud (FAO, 2006). Les sols salés sont principalement présents dans les zones arides, avec une proportion significative dans les régions proches telles que l'Égypte, la Tunisie, le Moyen-Orient (**Iran, Pakistan, Bangladesh**), l'Asie centrale (**Ouzbékistan**), le nord de la Chine et l'Argentine. Les sols sodiques sont particulièrement répandus en Australie, ainsi que dans certaines situations spécifiques comme en Hongrie ou en Ouzbékistan. En comparaison, le développement de la salinité liée aux activités humaines ne toucherait que 77 millions d'hectares (**Marlet et Job, 2006**). Dans les pays du Maghreb, les effets de la salinisation sont bien connus en raison d'une mauvaise gestion des eaux d'irrigation (**Djili et al., 2003**).

2.2 En ce qui concerne l'Algérie :

Il n'existe aucune étude cartographique fiable et précise permettant de délimiter les zones touchées par la salinité des terres et de quantifier la teneur en sels dans le sol. Cependant, quelques données fragmentaires donnent une idée générale du phénomène de salinité et de la dégradation des terres. Selon Szablocs (1989), environ 3,2 millions d'hectares sont touchés par des degrés variables de salinisation, une grande partie se situant dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus prononcé en raison des températures élevées tout au long de l'année, du manque de débouchés et de l'absence d'un drainage efficace. Ce phénomène est observé dans les plaines et les vallées de l'ouest du pays (Mina, Cheliff, HabraSig, Maghnia), dans les hautes plaines de l'est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), près des Chotts et des Sbkhass (Chott Ech Chergui, Chott Gharbi, Chott Hodna, Chott Melghir, Sebkhass d'Oran, de Benziane, Zemmoul, Zazhrez Gharbi et Chergui, etc.) et dans le grand Sud (oasis, le long des oueds, etc.) (INSID, 2008).

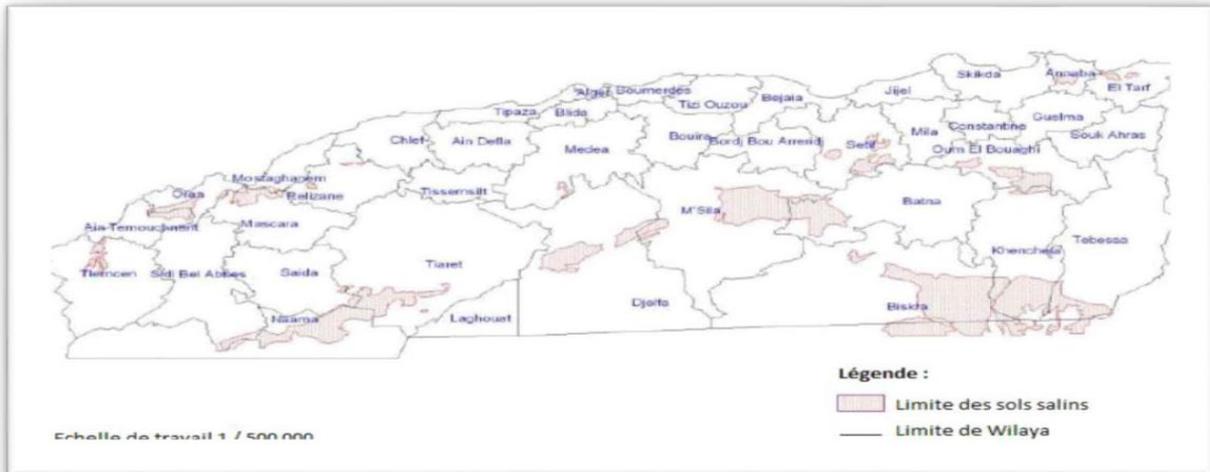


Figure 5: répartition des sols salins de Nord de l'Algérie (INSID, 2008)

3. Origine et importance de la salinité :

Bien que le chlorure de sodium et les micro-éléments soient essentiels en tant que nutriments minéraux pour de nombreuses plantes halophiles et certaines espèces C4, l'accumulation de sel peut transformer les zones agricoles en environnements défavorables. Cela réduit la biodiversité locale, limite la croissance et la reproduction des plantes, et peut être toxique pour les plantes sensibles, telles que les glycophytes. La plupart des plantes cultivées sont sensibles au stress salin, car le NaCl entraîne une diminution des hydrates de carbone nécessaires à leur croissance

La salinité restreint la disponibilité de l'eau et crée un déséquilibre dans l'absorption des éléments nutritifs par les plantes, ce qui inhibe la germination des graines en raison des perturbations ioniques, des effets osmotiques et toxiques. Dans les zones arides et semi-arides, la salinité devient un facteur limitant de plus en plus important pour la production végétale (Tshiabukole, 2018).

Les sels responsables de la salinité proviennent principalement de l'altération des roches ou du dépôt de particules aériennes océaniques par le vent ou la pluie. Le principal sel présent dans les sols salins est le NaCl, mais on peut également trouver des concentrations importantes de Ca, Mg, SO et CO. L'intrusion d'eau de mer sur les terres côtières basses peut également entraîner d'importantes quantités de sel. La salinité peut être naturelle (salinité primaire) ou résulter des activités humaines (salinité secondaire) (Shabala, 2017)

3.1 Salinité primaire :

La salinité primaire est causée par l'accumulation de sels dans le sol ou les eaux souterraines sur une longue période, par le biais de deux processus naturels :

L'altération des roches entraîne la libération de sels solubles, principalement des chlorures de sodium, de calcium et de magnésium, ainsi que dans une moindre mesure des sulfates et des carbonates. Le chlorure de sodium est le sel le plus soluble (**Noomene, 2011**).

Le dépôt de sels océaniques transportés par le vent et déposés par la pluie (sels cycliques), principalement du chlorure de sodium. L'eau de pluie contient de 6 à 50 mg/kg de sel, et la concentration de sels diminue à mesure que l'on s'éloigne de la côte. Si la concentration est de 10 mg/kg, cela signifie qu'il y a une addition de 10 kg/ha de sel pour chaque 100 mm de précipitations annuelles. L'accumulation de chlorure de sodium dans le sol s'est produite sur des millénaires. La quantité de sel stockée dans le sol varie en fonction du type de sol, étant faible dans les sols sableux et élevée dans les sols contenant un pourcentage élevé de minéraux argileux. Elle diminue également avec une pluviométrie annuelle moyenne élevée (**Boukourt, 2016**)

3.2 La salinité secondaire :

Causée principalement par l'irrigation et le défrichement, a un impact significatif sur les plantes. L'irrigation entraîne une accumulation de sels dans le sol en raison de l'apport continu d'eau, même si celle-ci contient une quantité négligeable de sels. Au fil du temps, les sels se déposent dans le sol, ce qui peut conduire à la formation de sols sodiques peu fertiles. Dans les régions arides, où les eaux de surface et souterraines sont souvent riches en sels, cet effet est plus prononcé.

Le défrichement des terres arides pour l'agriculture, en remplaçant la végétation indigène par des cultures annuelles, peut également entraîner une salinité accrue. Les cultures annuelles ne parviennent pas à utiliser toute l'eau de pluie, ce qui entraîne une augmentation des nappes phréatiques et la formation de suintements salins. Cela peut être géré par des rotations de cultures et l'introduction d'espèces vivaces profondément enracinées, mais la tolérance au sel est essentielle pour les cultures ultérieures, car une certaine quantité de sel reste dans le sol même après l'abaissement de la nappe phréatique. Les sols salins sont classés en trois grandes catégories selon leurs propriétés physico- chimiques. Les sols salins (Solontchaks) ont une conductivité élevée et un faible pourcentage

d'échange de sodium par rapport à la capacité d'échange cationique (CEC). Les sols salés à alcalins (Solontchaks solonetz) présentent un pH élevé et un taux élevé de sodium échangeable, ce qui entraîne la destruction de la structure du sol. Les sols alcalins (Solonetz) ont un faible apport en sodium par rapport à son élimination par les précipitations, mais leur structure est dégradée.

4. Effets du stress salin sur la plante :

4.1 Effet du sel sur la morphologie des plantes :

a. Racines : La salinité entraîne généralement un ralentissement du développement des racines, bien que la croissance racinaire soit souvent moins affectée que la croissance foliaire (**Amairia et al., 2020**). Elle réduit la surface et la longueur des racines, entraînant une diminution de la biomasse racinaire (**Munns, 2002; Parvin et al., 2019**). Chez la tomate, par exemple, le stress salin conduit à une réduction du poids sec des racines (**Martínez et al., 2012; Parvin et al., 2019**).

b. Tiges : Une concentration élevée de sels dans le sol peut réduire la longueur des tiges (**Cherief et Bouhalili, 2018**).

c. Feuilles : Des concentrations élevées de sels, comme le Ca^{2+} , le Mg^{2+} et les bicarbonates, peuvent provoquer des nécroses, des décolorations et une réduction de la chlorophylle au niveau des feuilles (**Cherief et Bouhalili, 2018**). L'intensité des dommages foliaires est généralement proportionnelle aux niveaux de sodium (Na^+) présents dans la plante (**Dasgan et al., 2002**).

4.2 Effets de la salinité sur la physiologie des plantes :

a. Germination :

La salinité a des effets négatifs sur la germination de la plante de tomate. Elle ralentit le processus de germination et réduit le pourcentage final de germination (**Singh et al., 2012**). Le sel limite l'absorption d'eau par les graines, ce qui inhibe la germination. De plus, il favorise l'accumulation d'ions toxiques dans les graines (**Debez et al., 2001**). Cependant, lorsque le stress salin est éliminé, les graines reprennent leur activité normale (Duan et al., 2004).

b. Croissance de la plante :

Les fortes concentrations de sel ont un effet inhibiteur sur la croissance de la plante de tomate. La partie aérienne de la plante est plus affectée que les racines. Par exemple, en présence de

200 mM de NaCl, la surface foliaire peut être réduite de 72% et la hauteur de la plante de 36% (Amairia et al., 2020).

c. Photosynthèse :

L'effet de la salinité sur la photosynthèse dépend de la concentration de sel et de l'espèce végétale. Une concentration basse de sel peut stimuler la photosynthèse, mais des concentrations élevées entraînent des inhibitions. La salinité limite l'entrée du CO₂ dans les feuilles en fermant les stomates, réduisant ainsi la concentration intracellulaire en CO₂ (Farissi et al., 2014). Elle diminue également la concentration en chlorophylle et endommage la structure des chloroplastes (Acosta-Motos et al., 2017).

d. Rendement :

La salinité réduit le rendement total de fruits de la plante de tomate en diminuant le poids moyen des tomates, mais n'a pas d'impact sur le nombre de fruits par plante (Martínez et al., 2012). Le stress salin peut également affecter négativement la floraison, retarder l'apparition de la première inflorescence et réduire la biomasse des plantules (Ghanem et al., 2009). Il peut entraîner une diminution du nombre de grains de pollen et augmenter les avortements de fleurs (Grunberg et al., 1995). La salinité peut modifier les relations sources-puits plutôt que simplement provoquer une accumulation d'ions toxiques (Ghanem et al., 2009).

5. Stratégies d'adaptation des plantes aux stress salin :

La capacité d'une plante à résister à la salinité se manifeste par sa capacité à survivre et à produire dans des conditions de stress salin (Piri et al., 1994). Les plantes déploient différentes stratégies pour faire face au stress salin, et ces stratégies varient en fonction de l'espèce végétale (KHADRAOUI, 2020)

Parmi ces mécanismes :

5.1 Adaptation physiologique :

a. L'exclusion des ions :

Une autre stratégie permettant aux plantes de survivre en conditions de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Ainsi, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (Munns, 2005). Ce processus d'exclusion commence par la sélectivité de la membrane racinaire, qui peut résulter de la réduction de la perméabilité passive, de la présence de transporteurs sélectifs et du transport des ions déjà absorbés vers le milieu extérieur (Apse et Blumwald, 2007). Par

conséquent, le sel transporté jusqu'aux feuilles par le xylème est réexporté vers les racines par le phloème. Les cellules racinaires jouent un rôle crucial dans la protection des parties aériennes en limitant la quantité de sodium transportée par le xylème et/ou en l'excrétant dans le milieu extérieur (Levigneron et al., 1995).

b. Séquestration du sodium dans les vacuoles :

Pour maintenir une faible concentration d'ions Na^+ dans le cytoplasme et préserver un faible potentiel osmotique cellulaire, la plante utilise la stratégie de séquestration de ces ions dans les vacuoles (Nouar, 2007). L'exclusion de l'excès de sodium du cytoplasme requiert la synthèse d'osmolytes compatibles qui réduisent le potentiel osmotique nécessaire à l'absorption de l'eau dans des conditions de stress salin. Cependant, ce processus est énergétiquement coûteux pour la plante (Lazrek, 2008).

Résultats de l'étude réalisée par Zhang et al. (2001) montrent que les plantes de *Lycopersicon esculentum* génétiquement modifiées, qui surexpriment le gène *AtNHX1* codant pour l'antiporteur Na^+/H^+ , sont capables d'accumuler du sodium dans leurs feuilles mais pas dans leurs fruits. Ces plantes ont démontré une grande tolérance au stress salin et ont maintenu une qualité de fruit optimale dans ces conditions, notamment chez la tomate.

c. Prélèvement de K^+ :

En conditions optimales, les plantes maintiennent un ratio élevé de K^+/Na^+ dans le cytosol. Cependant, en présence de stress salin, ce ratio diminue en raison de la compétition entre les ions Na^+ et K^+ , ce qui est défavorable pour les processus biochimiques cellulaires. Par ailleurs, une concentration élevée de potassium augmente le potentiel osmotique, ce qui favorise l'entrée d'eau depuis le milieu extérieur. Il est essentiel d'absorber du potassium pour assurer la turgescence cellulaire et le bon déroulement des processus biochimiques en situation de stress salin (Farissi et al., 2014).

5.2 Adaptation métabolique :

5.2.1 Synthèse d'osmoprotectants :

a. La proline:

Il s'agit d'un acide aminé crucial qui joue un rôle essentiel chez les plantes en réponse à diverses situations de stress, y compris le stress salin (Hayat et al., 2012). La Pyrroline-5- Carboxylate

Synthase (P5CS) et la Pyrroline-5-Carboxylate Réductase (P5CR) sont deux enzymes clés impliquées dans la biosynthèse de la proline. Cette molécule peut agir comme un soluté compatible de qualité, contribuant à l'équilibre ionique. Sa concentration augmente en cas de stress. Toutefois, son accumulation en réponse au stress ne semble pas toujours être directement liée à l'acquisition de la tolérance et pourrait simplement être un indicateur de stress chez certaines espèces (**De-Lacerda et al., 2003**). La proline peut également servir de chélateur du fer ou d'antioxydant défensif, contribuant ainsi à la préservation de l'intégrité de la membrane plasmique (**Hayat et al., 2012**).

b. Les sucres :

Ces composés organiques jouent un rôle crucial en tant que source de carbone et d'énergie pendant les périodes de stress salin. De plus, ils peuvent remplir plusieurs fonctions bénéfiques en réponse aux contraintes osmotiques. Ils pourraient agir comme des osmolytes, contribuant ainsi à la protection des enzymes et à l'intégrité de la paroi cellulaire. Cependant, cette fonction nécessite une dépense énergétique considérable (**Munns et al., 2019**). De

nombreuses études ont établi une corrélation entre l'accumulation de ces sucres et la tolérance à la salinité (**Taji et al., 2002; Bartels et Sunkar, 2005**). Une augmentation de la concentration de saccharose, d'hexoses (**Balibrea et al., 2000**), de raffinose (**Egert et al., 2013**) et de sucres alcool tels que les polyols et le glycérol (**Shen et al., 2002**) a été observée en réponse au stress salin. Cependant, cette réponse n'est pas systématique, car les profils d'accumulation de sucres varient selon l'espèce, le stade de développement et l'organe étudié. Par exemple, chez la tomate, on a observé une accumulation de ces sucres dans les variétés sensibles (**Balibrea et al., 2000**)

5.2.1 Adaptation morphologique :

Pour survivre dans des environnements caractérisés par une disponibilité limitée en eau, tels que les milieux salins, de nombreuses espèces végétales ont la capacité de développer leur système racinaire afin de garantir un approvisionnement adéquat en eau dans de telles conditions. L'allongement des racines peut résulter d'une augmentation de l'activité des enzymes impliquées dans la construction du cytosquelette ou de l'accumulation de proline (**Amairia, 2020**). Ces deux mécanismes sont régulés par l'acide abscissique (ABA), qui est induit par le stress salin (**Jia et al., 2002**). la plante (**Hanana et al.;2011**)

Matériel et méthode

Partie II : Matériel et méthode

1-Objective de travail :

En raison de son importance économique et alimentaire, la tomate est largement reconnue comme l'une des cultures maraîchères les plus significatives dans notre pays. Elle fait l'objet de nombreuses études, en particulier concernant les effets des contraintes biotiques et abiotiques. Dans cette optique, une étude comparative a été menée pour évaluer les paramètres physiologiques, biochimiques et morphologiques de résistance de deux variétés de tomates (53 et Orpi) face à différentes concentrations de NaCl (50 mm, 100 mm, 200 mm et 300 mm) dans des conditions contrôlées (sous serre).

2. Matériel

2.1 Matériel végétal :

Le tableau ci-dessous présente les principales caractéristiques du matériel végétal utilisé dans une étude comparative entre deux variétés de tomates (*Solanum lycopersicum*) visant à déterminer leur niveau d'adaptation et de tolérance au stress salin.

Table 6: Les principales caractéristiques des variétés étudiées

Variétés	Origine	Croissance	Phénologie
ORPI	Algérie	Déterminé	Précoce
53	Algérie	Déterminé	Précoce



53

Orpi

2.2 Le site expérimental :

L'expérience que nous avons menée s'est déroulée dans une serre normal située à l'école supérieure d'agronomie de Mostaganem.

2.3 Le substrat :

Pendant notre recherche, nous avons employé un substrat particulier qui était composé d'un mélange précis de sable, de matière organique (terreau) et de sol, dans des proportions de 4 parts de sable, 1 part de matière organique et 1 part de sol. Cette combinaison a été sélectionnée pour créer un équilibre optimal qui favorise la croissance et le développement des plantes que nous avons étudiées. Nous avons ensuite placé ce substrat à l'intérieur de sachets en plastique. À la conclusion de notre expérience, le poids total des sachets contenant le substrat et les plantes s'élevait à 11 kg.

3-Méthodes

3.1 Le dispositif :

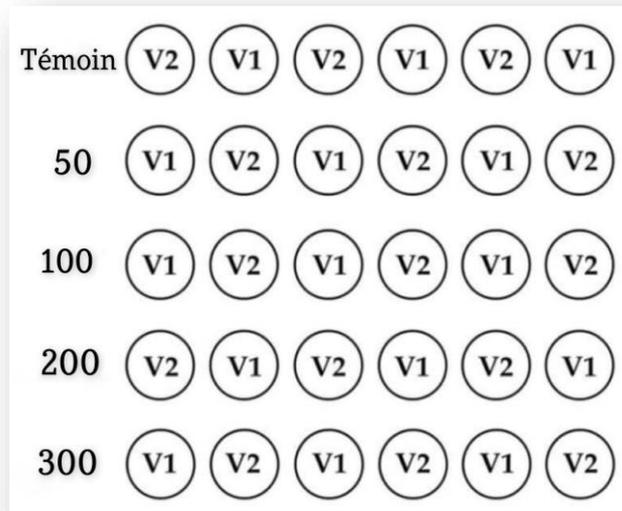


Figure 6:Le dispositif expérimental V2 : 53 ; V1: ORPI

Les graines ont été semées en pépinière le 12 février 2023, en plaçant deux graines dans chaque pot à une profondeur de 1 cm. Les jeunes plants des deux cultivars ont ensuite été soigneusement transférés le 4 mars 2023 dans des sacs en plastique, en ne plaçant qu'un seul plant par sac..



Figure 7:Les plantules après repiquage dans les sachets.

Le dispositif expérimental comprend cinq traitements:

Cinq traitements différents ont été appliqués. Les plantes témoins ont été arrosées avec de l'eau du robinet, tandis que les quatre autres groupes de plantes ont été irrigués avec une solution saline contenant du NaCl de différentes concentrations : 50 mM, 100 mM, 200 mM et 300 mM.

Au 40^{ème} jour après le semis, lorsque les plantes ont atteint le stade de développement à cinq feuilles, nous les avons stressées en les arrosant avec une solution saline. Cette irrigation a été répétée tous les trois jours pendant 15 jours. Chaque traitement a été répété trois fois pour chaque cultivar étudié. SHÉMA

Nous fournissons quotidiennement une quantité d'eau d'irrigation adaptée à l'évaporation journalière de chaque sac.

Du repiquage des semis à l'application du stress salin, nous avons utilisé l'eau du robinet pour l'irrigation. Nous avons fait deux applications d'une solution nutritive qui contient un équilibre de nutriments pour renforcer la vigueur des plantes, stimuler la croissance des racines et améliorer la qualité des cultures. La première prise a été effectuée avant l'application du stress, et la seconde après la première application de NaCl



Figure 8: Les doses d'Na cl utilisé

3.2 Les mesures effectuées :

3.2.1 Paramètres physiologiques :

Teneur relative en eau (TRE %) :

La teneur relative en eau a été évaluée en utilisant la méthode de Ladiges (1975), qui a été également utilisée par Clarke et al. (1982) et Rascio et al. (1988). Pour chaque échantillon, les feuilles ont été coupées à la base du limbe et immédiatement pesées pour obtenir leur poids frais initial (Pi). Ensuite, la partie coupée des feuilles a été placée dans des tubes à essai remplis d'eau distillée, puis maintenue dans l'obscurité à une température de 4°C pendant 24 heures. Après cette période, les feuilles ont été récupérées, délicatement essuyées avec du papier buvard pour éliminer l'excès d'eau de surface, puis pesées à nouveau pour obtenir le poids après réhydratation maximale (Ppt). Enfin, le poids sec (Ps) a été déterminé en étuvant les feuilles à une température de 120°C pendant 48 heures.

La teneur relative en eau a été calculée en utilisant la formule suivante :

$$\text{TRE \%} = ((\text{Pi} - \text{Ps}) / (\text{Ppt} - \text{Ps})) \times 100$$

3.2.2 Paramètre biochimique :

b- Dosage des sucres solubles :

Les oses (glucose, fructose et saccharose) ont été quantifiés en utilisant la méthode de Shields et Burnet (1960), qui a été également utilisée par Korichi (1992) et Rekika (1997). Ces sucres sont extraits après macération dans un solvant capable de les dissoudre et d'inhiber l'activité enzymatique qui pourrait les dégrader. Le principe de la réaction repose sur la condensation des produits de dégradation des oses neutres avec de l'acide sulfurique concentré. Cet acide convertit les oses en dérivés du furfural qui réagissent avec l'Anthrone pour donner une coloration bleu-vert détectée par colorimétrie à une longueur d'onde de 585 nm.

Pour cette analyse, un échantillon végétal (100 mg) prélevé au tiers médian de la feuille est placé dans 5,25 ml d'éthanol à 80% pendant 24 heures. Ensuite, 2 ml de l'extrait dilué 10 fois avec de l'éthanol à 80% (extrait A) sont prélevés. Le réactif (extrait B) est préparé 4 heures avant le dosage en mélangeant 2 g d'Anthrone pur avec 1000 ml d'acide sulfurique (H₂SO₄). Ensuite, 2 ml de l'extrait A sont ajoutés à tous les tubes à essais, et l'ensemble est maintenu dans la glace fondante.

Après agitation, les tubes sont placés dans un bain-marie à 92°C pendant 8 minutes, puis refroidis pendant 30 minutes à l'abri de la lumière. L'absorbance est mesurée à une longueur d'onde de 585 nm à l'aide d'un spectrophotomètre, et la concentration en sucres solubles.



Figure 9: dosage des sucres solubles

b- Extraction des pigments chlorophylliens :

La photosynthèse est un processus physique par lequel les végétaux, y compris les plantes supérieures et les algues bleues, sont capables de capter l'énergie lumineuse et de la convertir en énergie chimique (ATP et NADPH, H⁺). Cela leur permet de se nourrir en utilisant le dioxyde de carbone atmosphérique, tout en libérant de l'oxygène. La chlorophylle, notamment, est l'un des pigments essentiels impliqués dans ce processus.

Pour déterminer la quantité de chlorophylle a, de chlorophylle b, de caroténoïdes et de chlorophylles totales, nous avons prélevé des échantillons de la partie avant-dernière de la feuille. Dans des tubes à essais, nous avons ajouté 10 ml d'acétone à 95% à 1000 mg d'échantillon frais, préalablement coupé en petits fragments. Les tubes ont été conservés dans l'obscurité à une température de 4°C pendant 48 heures. Ensuite, les concentrations de chlorophylle a, de chlorophylle b et de caroténoïdes ont été mesurées à l'aide d'un appareil, en utilisant des longueurs d'onde spécifiques : 662 nm, 644 nm et 470 nm respectivement.

L'appareil a été calibré en utilisant une solution témoin à base d'acétone à 95%, et les concentrations de chlorophylle a, chlorophylle b, caroténoïdes et chlorophylles totales ont été calculées en utilisant les formules suivantes :

$$\text{Chl a} = 9,784 \times \text{Do (662)} - 0,99 \times \text{Do (644)}$$

$$\text{Chl b} = 21,42 \times \text{Do (644)} - 4,65 \times \text{Do (662)}$$

$$\text{Chlorophylles totales} = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

Avec :

Chl a : chlorophylle a

Chl b : chlorophylle b

3.2.3 Paramètres morphologiques de la partie souterraine et aérienne :

A. Densité stomatique :

La densité stomatique a été évaluée en utilisant la méthode de (**Dohman et al. (1991)**, qui a également été utilisée par Denden et Lemeur (1999 et 2000). Cette méthode consiste à obtenir des empreintes foliaires en appliquant quelques gouttes de vernis à ongles sur les deux faces (supérieure et inférieure) de la feuille. Une fois le vernis sec, les empreintes ont été prélevées à l'aide d'un ruban adhésif transparent, puis collées sur une lame de microscope. Le nombre de stomates par unité de surface a été compté à l'aide d'un microscope équipé d'un oculaire micromètre gradué et d'un phototube.

Finalement, nous avons effectué des mesures sur le nombre de stomates par unité de surface des deux épidermes de la feuille.



Figure 10:Processus de prélèvement des empreintes.

Enfin, les mesures ont porté sur le nombre de stomate par unité de surface au niveau des deux épidermes de la feuille.

B. Longueur de la tige :

La longueur de la tige a été évaluée en utilisant une règle, en mesurant la distance entre le point de séparation et l'extrémité supérieure de la plante.



Figure 11:La méthode de mesure de longueur

À la fin de l'expérimentation, lorsque les plants atteignent le stade de la fin de la montaison, les cylindres sont vidés de leur contenu à l'aide d'un jet d'eau. Les racines sont ensuite récupérées et soigneusement nettoyées en vue d'une série de mesures. La partie aérienne de la plante est séparée des racines. Les mesures effectuées au cours de cette expérimentation ont inclus :

C. Longueur des racines :

La méthode utilisée pour mesurer la longueur des racines est similaire à celle utilisée pour mesurer la longueur des tiges. Elle consiste à mesurer la distance entre le point de séparation et la pointe la plus éloignée des racines, après avoir préalablement lavé les racines.



Figure 12: lavage des racines



Figure 13: mesure de la longueur des racines

D- Masse sèche des parties aériennes et souterraines :

La masse sèche des parties végétatives est obtenue en plaçant ces parties dans une étuve pendant 48 heures à une température de 90°C. Ensuite, le rapport entre la masse sèche des racines et la masse sèche de la partie aérienne est calculé.

CHAPITRE III :
RESULTATS ET DISCUSSION

1. Résultats :

1. Les paramètres physiologiques :

1.1 La teneur relative en eau (TRE) :

Pour la variété V1, l'augmentation des concentrations de NaCl a eu un impact significatif sur la teneur relative en eau. Dans le groupe témoin, qui n'a pas été exposé au traitement au NaCl, la teneur moyenne en eau relative était de 83.16 % (avec une incertitude de ± 12.99 %). À une concentration de 50 mM de NaCl, la teneur moyenne en eau relative a connu une augmentation significative pour atteindre 95.69 % (avec une incertitude de ± 2.3 %). En revanche, à une concentration de 100 mM de NaCl, la teneur moyenne en eau relative a connu une diminution significative, chutant à 87.12 % (avec une incertitude de ± 4.9 %). Lorsque la concentration de NaCl était de 200 mM, la teneur moyenne en eau relative a augmenté de manière significative, s'élevant à 94.67% (avec une incertitude de ± 8.66 %).

Pour la variété V2, des variations substantielles de la teneur en eau relative ont également été constatées en fonction des concentrations de NaCl. Dans le groupe de contrôle, la teneur moyenne en eau relative s'établissait à 76.59 % (avec une incertitude de ± 5.41 %). Lorsque la concentration de NaCl atteignait 50 mM, la teneur moyenne en eau relative augmentait de manière significative pour atteindre 84,07% (avec une incertitude de $\pm 8,56$ %). À 100 mM de NaCl, la teneur moyenne en eau relative continuait d'augmenter de manière significative, atteignant 92,04% (avec une incertitude de $\pm 9,6$ %). À une concentration de 200 mM de NaCl, la teneur moyenne en eau relative présentait une légère augmentation, s'élevant à 95,6% (avec une incertitude de $\pm 14,17$ %), bien que cette différence ne soit pas statistiquement significative par rapport à 100 mM .

Ces résultats mettent en évidence que l'impact des concentrations accrues de NaCl sur la teneur en eau relative varie en fonction des variétés de tomate. Dans certaines situations, une concentration plus élevée de NaCl a provoqué une augmentation significative de la teneur en eau relative, suggérant ainsi une capacité accrue des cellules à retenir l'eau en dépit du stress salin. En revanche, dans d'autres cas, une concentration plus élevée de NaCl a engendré une réduction significative de la teneur en eau relative, ce qui indique un risque de perte d'eau en raison du stress salin. Ces résultats soulignent l'importance de la diversité des réponses des plants de tomate face au stress salin et mettent en évidence la nécessité de prendre en compte les caractéristiques spécifiques des différentes variétés lors de la recherche sur la tolérance au

sel.

Table 7: Résultats moyens de La teneur relative en eau (%)

Variétés	SS	La teneur relative en eau (%)
V1	Témoin	83.16± 12.99
	50 Mm	95.69 ± 2.3
	100 mM	87.12 ± 4.9
	200 mM	94.67± 8.66
V2	Témoin	76.59 ± 5.41
	50 mM	84.07 ± 8.56
	100 mM	92.04 ± 9.6
	200 mM	95.6 ± 14.17

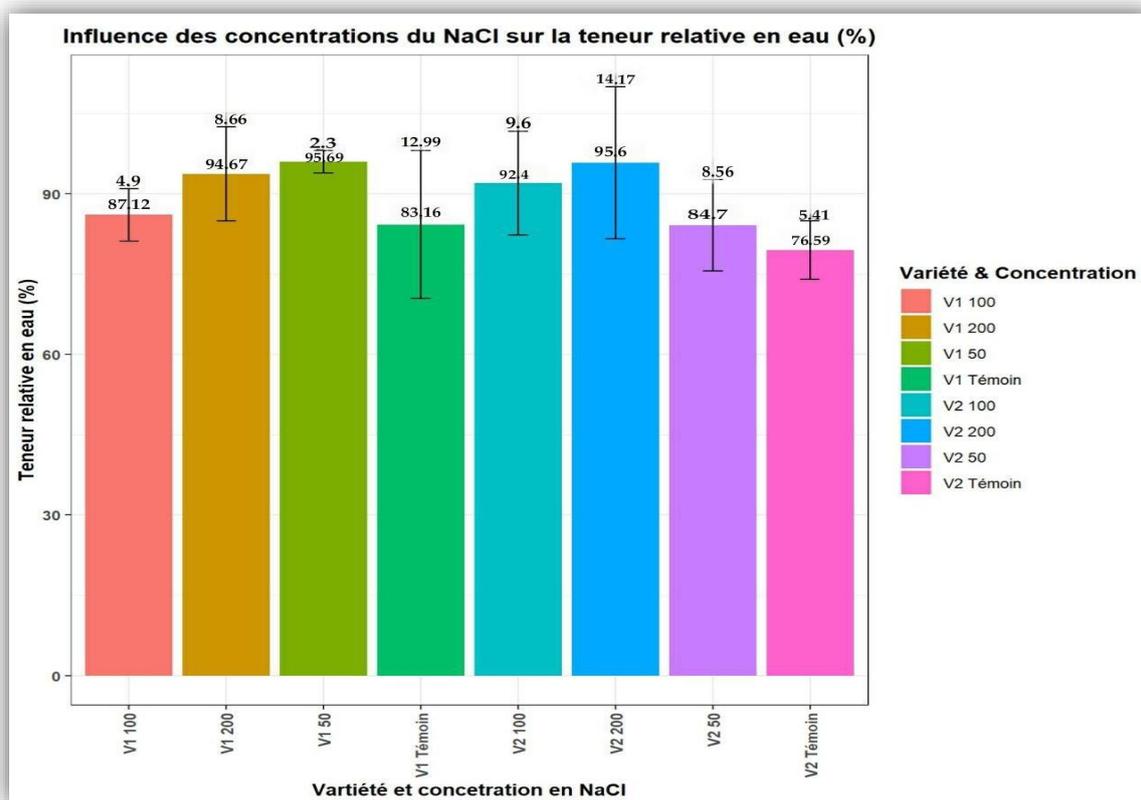


Figure 14: La teneur relative en eau (%) sous différents traitements salins

1.2 Teneur en chlorophylles :

1.2.1 Chlorophylle a :

Pour la variété V1, la concentration de chlorophylle a a réagi de manière significative à différentes expositions au sel. Dans le groupe témoin, sans traitement salin, la teneur moyenne en chlorophylle a était de 1,006 $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$, avec une marge d'erreur de $\pm 0,04$. Lorsque les plantes ont été exposées à un traitement de 50 mM de NaCl, la concentration en chlorophylle a a augmenté de manière significative pour atteindre une moyenne de 1,261 $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$, avec une marge d'erreur plus élevée de $\pm 0,06$. Les traitements salins plus forts, à 100 mM et 200 mM de NaCl, ont provoqué une augmentation supplémentaire de la concentration en chlorophylle a, atteignant respectivement des moyennes de 1,18 $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ (marge d'erreur $\pm 0,10$) et 0,83 $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ (marge d'erreur $\pm 0,03$). Ces résultats indiquent que des concentrations de sel plus élevées peuvent stimuler la synthèse de chlorophylle a chez la variété V1.

Pour la variété V2, des variations significatives de la concentration en chlorophylle a ont également été observées en réponse aux différents traitements salins. Dans le groupe témoin, la concentration moyenne en chlorophylle a était de 0,98 $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$, avec une marge d'erreur de $\pm 0,03$. Lorsque les plantes ont été soumises à un traitement de 50 mM de NaCl, la concentration en chlorophylle a a augmenté de manière significative pour atteindre une moyenne de 1,60 $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$, avec une marge d'erreur de $\pm 0,09$. Les traitements salins plus forts, à 100 mM et 200 mM de NaCl, ont maintenu des niveaux élevés de chlorophylle a, avec des moyennes de 1,60 $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ (marge d'erreur $\pm 0,08$) et 0,83 $\mu\text{g}/100\text{mg MF}$ (marge d'erreur $\pm 0,06$) respectivement. Ces résultats suggèrent que la variété V2 est également capable de répondre positivement aux traitements salins en augmentant la concentration en chlorophylle a.

Dans l'ensemble, ces résultats mettent en évidence l'impact significatif des traitements salins sur la concentration en chlorophylle a des deux variétés de tomate étudiées. Les concentrations de NaCl ont influencé de manière variable la concentration en chlorophylle a, révélant des réponses spécifiques propres à chaque variété. Ces constatations soulignent l'importance de comprendre les mécanismes de réponse des plantes au stress salin pour optimiser leur croissance et leur développement dans des conditions environnementales défavorables.

Table 8: Résultats moyens de la teneur en chlorophylle a ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) sous différents

Variétés	SS	Chlorophylle a ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$)
V1	Témoin	1.006 ± 0.04
	50 mM	1.261 ± 0.06
	100 mM	1.179 ± 0.10
	200 mM	0.834 ± 0.06
V2	Témoin	0.98 ± 0.03
	50 mM	1.60 ± 0.09
	100 mM	1.60 ± 0.08
	200 mM	0.83 ± 0.06

traitements salins

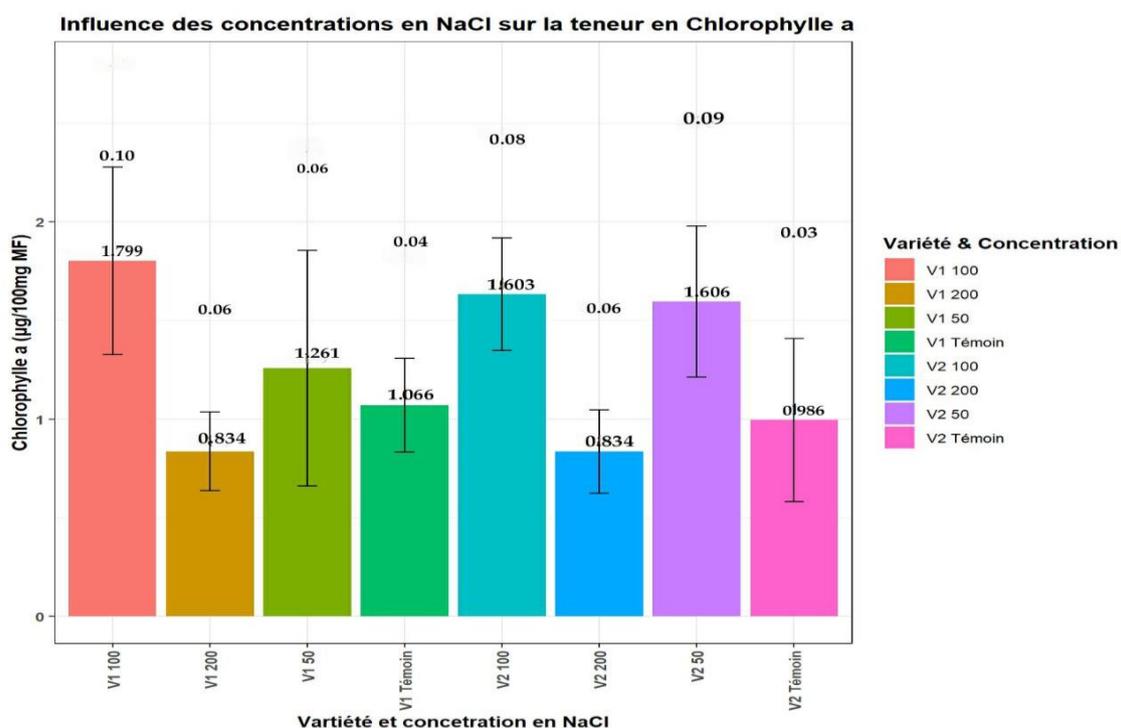


Figure 15: Teneur en chlorophylle a ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) sous différents traitements

1.1.2. Chlorophylle b :

En ce qui concerne la variété V1, la concentration de chlorophylle b n'a pas manifesté de variations significatives en réaction aux différents traitements salins. Dans le groupe témoin, sans traitement de sel, la moyenne de la concentration en chlorophylle b était de 1,30 μ g/100mg MF, avec une marge d'erreur de $\pm 0,10$. Les traitements salins à des concentrations de 50 mM, 100 mM et 200 mM de NaCl n'ont pas eu d'impact significatif sur la concentration en chlorophylle b, présentant respectivement des moyennes de 1,11 μ g/100mg MF (marge d'erreur $\pm 0,40$), 1,24 μ g/100mg MF (marge d'erreur $\pm 0,14$) et 1,11 μ g/100mg MF (marge d'erreur $\pm 0,027$). Ces résultats mettent en évidence la capacité de la variété V1 à maintenir une stabilité de la concentration en chlorophylle b face aux traitements salins.

De manière similaire, pour la variété V2, des variations non significatives de la concentration en chlorophylle b ont été constatées en réponse aux différents traitements salins. Dans le groupe témoin, la moyenne de la concentration en chlorophylle b était de 1,43 μ g/100mg MF, avec une marge d'erreur de $\pm 0,32$. Les traitements salins à 50 mM, 100 mM et 200 mM de NaCl n'ont pas engendré de différences significatives dans la concentration en chlorophylle b, avec des moyennes respectives de 1,35 μ g/100mg MF (marge d'erreur $\pm 0,23$), 1,38 μ g/100mg MF (marge d'erreur $\pm 0,42$) et 1,11 μ g/100mg MF (marge d'erreur $\pm 0,28$). Ces résultats suggèrent que la variété V2 parvient à maintenir une concentration relativement stable en chlorophylle b même en présence de stress salin.

Dans l'ensemble, ces constatations indiquent que les traitements salins n'ont pas eu d'effet significatif sur la concentration en chlorophylle b des deux variétés de tomate étudiées. Les plantes ont réussi à maintenir une concentration constante en chlorophylle b malgré les conditions de stress salin, ce qui pourrait constituer une stratégie adaptative pour préserver la fonction photosynthétique.

Table 9:Résultats moyens de la teneur en chlorophylle b (µg/100mg MF) sous différents traitements salins

Variétés	SS	Chlorophylle b (µg/100mg MF)
V1	Témoin	1.30 ± 0.10
	50 mM	1.116 ± 0.25
	100 mM	1.24± 0.14
	200 mM	1.11± 0.27
V2	Témoin	1.43± 0.32
	50 mM	1.35 ± 0.23
	100 mM	1.38± 0.42
	200 mM	1.113 ± 0.28

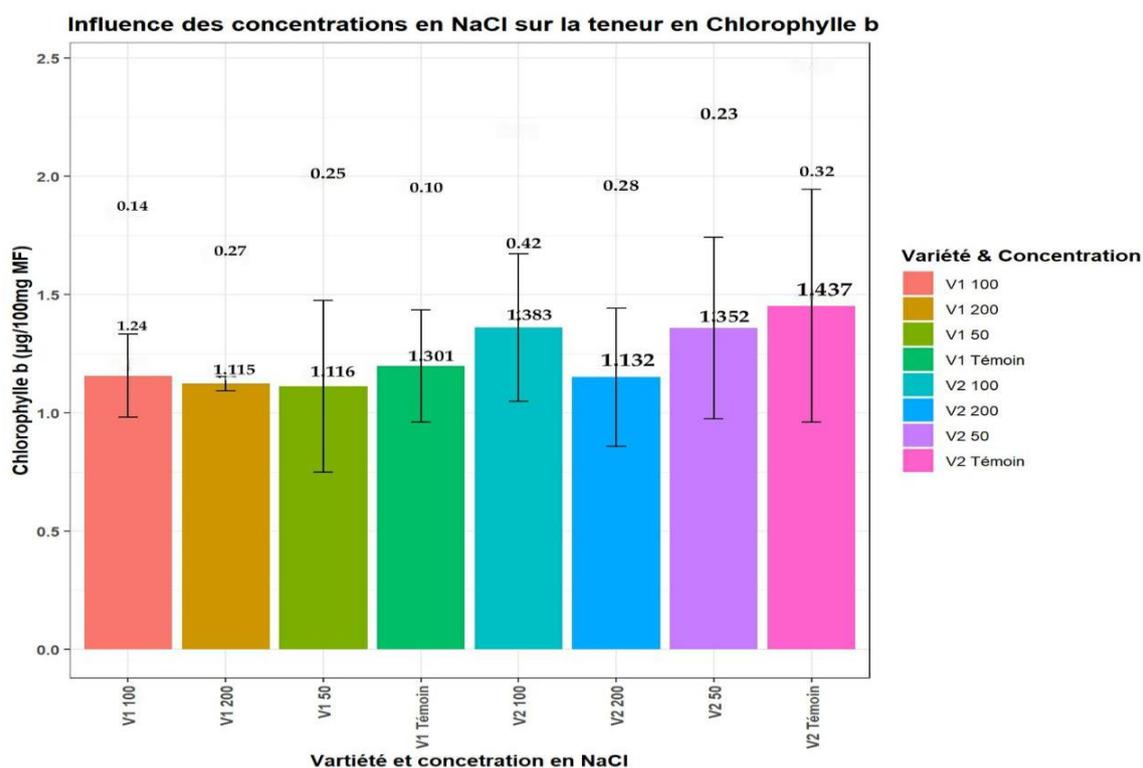


Figure 16:Teneur en chlorophylle b (µg/100mg MF) sous différents traitements salins

2. Les paramètres biochimiques :

2.1 Teneur en sucres solubles :

Lecture sur 585nm :

En ce qui concerne la variété V1, on observe que l'augmentation des concentrations de NaCl a tendance à accroître la teneur en sucres solubles. Dans le groupe de contrôle, sans traitement au NaCl, la teneur moyenne en sucres solubles s'élevait à 0,84 (avec une incertitude de $\pm 0,48$). Lorsque la concentration de NaCl atteignait 50 mM, la teneur moyenne en sucres solubles augmentait significativement pour atteindre 1,77 (incertitude $\pm 1,45$). À une concentration de NaCl de 100 mM, la teneur moyenne en sucres solubles restait élevée à 1,69 (incertitude $\pm 0,68$). Cependant, à 200 mM de NaCl, la teneur moyenne en sucres solubles diminuait à 1,03 (incertitude $\pm 0,44$).

Pour la variété V2, les résultats dévoilent une tendance similaire avec une augmentation de la teneur en sucres solubles en réponse aux concentrations croissantes de NaCl. Dans le groupe témoin, la teneur moyenne en sucres solubles était de 0,8 (incertitude $\pm 0,24$). Lorsque la concentration de NaCl atteignait 50 mM, la teneur moyenne en sucres solubles augmentait légèrement à 1,03 (incertitude $\pm 0,8$). À 100 mM de NaCl, la teneur moyenne en sucres solubles augmentait davantage pour atteindre 1,13 (incertitude $\pm 0,12$). Enfin, à une concentration de NaCl de 200 mM, la teneur moyenne en sucres solubles atteignait son maximum à 1,6 (incertitude $\pm 0,63$).

En résumé, les résultats indiquent que l'exposition au NaCl peut influencer positivement la teneur en sucres solubles dans les variétés de tomate examinées. Globalement, on observe une tendance à l'augmentation de la teneur en sucres solubles avec l'augmentation des concentrations de NaCl, bien que cette relation puisse ne pas être strictement linéaire et montre des variations en fonction des concentrations spécifiques. Cette réponse des sucres solubles peut être un mécanisme adaptatif des plantes de tomate pour faire face au stress salin. Cependant, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour approfondir la compréhension des mécanismes sous-jacents et des implications de cette augmentation de la teneur en sucres solubles sur la physiologie et la performance des plantes de tomate.

Table 10: Résultats moyens des sucres solubles ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) sous différents traitements salins

Variétés	SS	La teneur en sucres solubles
V1	Témoin	0.84 ± 0.48
	50 mM	1.77 ± 1.45
	100 mM	1.69 ± 0.68
	200 mM	1.03 ± 0.44
V2	Témoin	0.8 ± 0.24
	50 mM	1.03 ± 0.8
	100 mM	1.13 ± 0.12
	200 mM	1.6 ± 0.63

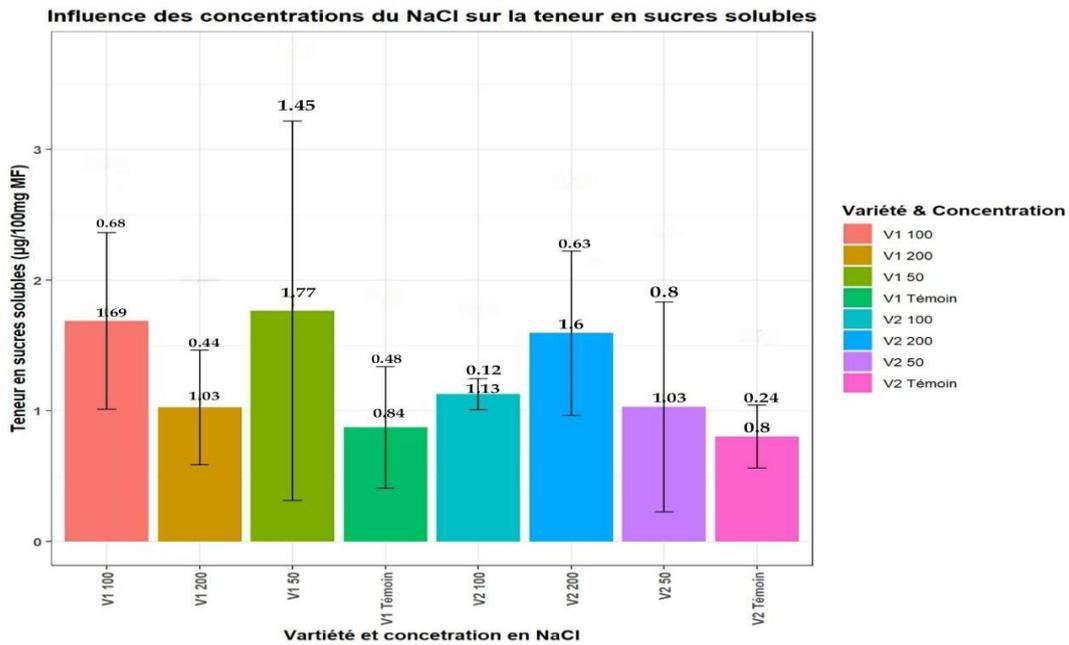


Figure 17: Teneur des sucres solubles ($\mu\text{g}/100\text{mg MF}$) sous différents traitements

3. Paramètres morphologiques :

3.1. la longueur des racines :

En ce qui concerne la variété V1, les résultats révèlent une variabilité dans la longueur des racines en réponse aux différentes concentrations de NaCl. Dans le groupe témoin, sans traitement au NaCl, la longueur moyenne des racines atteignait 43,83 cm, avec une incertitude de $\pm 3,57$. Lorsque la concentration de NaCl était de 50 mM, la longueur moyenne des racines augmentait légèrement pour atteindre 51,33 cm (incertitude $\pm 6,56$). Cependant, à une concentration de NaCl de 100 mM, la longueur moyenne des racines diminuait à 38,67 cm (incertitude $\pm 11,01$). Lorsque la concentration de NaCl atteignait 200 mM, la longueur moyenne des racines augmentait de nouveau pour s'établir à 42,67 cm (incertitude $\pm 19,55$).

Pour la variété V2, les résultats révèlent également une certaine variabilité dans la longueur des racines en réponse aux différentes concentrations de NaCl. Dans le groupe témoin, la longueur moyenne des racines était de 45,56 cm, avec une incertitude de $\pm 3,06$. Lorsque la concentration de NaCl était de 50 mM, la longueur moyenne des racines atteignait 44 cm (incertitude ± 7). À une concentration de NaCl de 100 mM, la longueur moyenne des racines augmentait légèrement pour atteindre 46,33 cm (incertitude $\pm 4,3$). Cependant, à une concentration de NaCl de 200 mM, la longueur moyenne des racines diminuait pour atteindre 38 cm (incertitude $\pm 12,16$).

En conclusion, les résultats suggèrent que l'impact des concentrations de NaCl sur la longueur des racines varie en fonction des variétés de tomate. Les réponses des racines aux différentes concentrations de NaCl peuvent être variables, se manifestant par des effets positifs, négatifs ou aucune variation significative. Il est possible que certaines concentrations de NaCl favorisent la croissance des racines, tandis que d'autres peuvent entraîner une réduction de la longueur des racines. Ces observations soulignent l'importance de comprendre les réponses spécifiques des plantes au stress salin afin de mieux gérer la production de tomates dans des conditions environnementales difficiles.

Table 11:Influence des concentrations de NaCl sur la longueur des racines (cm)

Variétés	SS	la longueur des racines (cm).
V1	Témoin	43.83 ± 3.57
	50 mM	51.33 ± 6.56
	100 mM	38.67 ± 11.01
	200 mM	42.67 ± 19.55
V2	Témoin	45.56± 3.06
	50 mM	44 ± 7
	100 mM	46.33 ± 4.33
	200 mM	38 ± 12.16

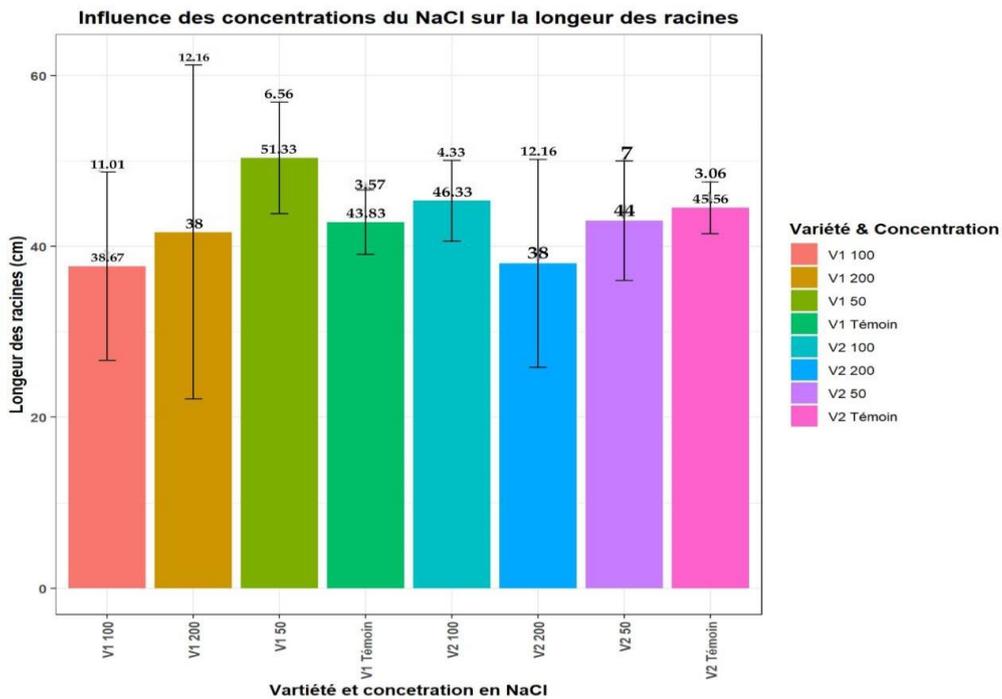


Figure 18:Le rapport longueur des racines sous différents traitements salin

3.2 Longueur des tiges :

En ce qui concerne la variété V1, les résultats mettent en évidence une certaine variabilité dans la longueur des tiges en réaction aux différentes concentrations de NaCl. Dans le groupe témoin, sans traitement au NaCl, la longueur moyenne des tiges atteignait 42.9cm, avec une incertitude de ± 4 . Lorsque la concentration de NaCl était de 50 mM, la longueur moyenne des tiges augmentait pour atteindre 53 cm (incertitude $\pm 4,6$). Toutefois, à une concentration de NaCl de 100 mM, la longueur moyenne des tiges diminuait pour s'établir à 47,3 cm (incertitude $\pm 6,56$). Lorsque la concentration de NaCl atteignait 200 mM, la longueur moyenne des tiges revenait à 42,66 cm (incertitude $\pm 5,56$).

Pour la variété V2, les résultats révèlent également une certaine variabilité dans la longueur des tiges en réponse aux différentes concentrations de NaCl. Dans le groupe témoin, la longueur moyenne des tiges était de 47,66 cm, avec une incertitude de $\pm 0,09$. Lorsque la concentration de NaCl était de 50 mM, la longueur moyenne des tiges s'établissait à 47 cm (incertitude ± 2). À une concentration de NaCl de 100 mM, la longueur moyenne des tiges diminuait légèrement pour atteindre 43,63 cm (incertitude $\pm 1,17$). Lorsque la concentration de NaCl atteignait 200 mM, la longueur moyenne des tiges se stabilisait à 43,63cm (incertitude $\pm 3,2$).

En conclusion, les résultats suggèrent que l'impact des concentrations de NaCl sur la longueur des tiges peut varier en fonction des variétés de tomate. Les réponses des tiges aux différentes concentrations de NaCl peuvent être diverses, se traduisant par des effets positifs, négatifs ou aucune variation significative. Certaines concentrations de NaCl peuvent favoriser la croissance des tiges, tandis que d'autres peuvent entraîner une réduction de leur longueur. Il est essentiel de comprendre ces réponses spécifiques des plantes pour mieux appréhender l'impact du stress salin sur le développement des tiges et la production globale des plantes de tomate.

Table 12 :Influence des concentrations de NaCl sur la longueur des tiges (cm).

Variétés	SS	la longueur des tiges (cm)
V1	Témoin	42.9 ± 4
	50 mM	53 ± 4.6
	100 mM	47.3 ± 6.59
	200 mM	42.77 ± 5.66
V2	Témoin	47.66 ± 0.09
	50 mM	47 ± 1.99
	100 mM	43.63 ± 1.17
	200 mM	43.6 ± 3.2

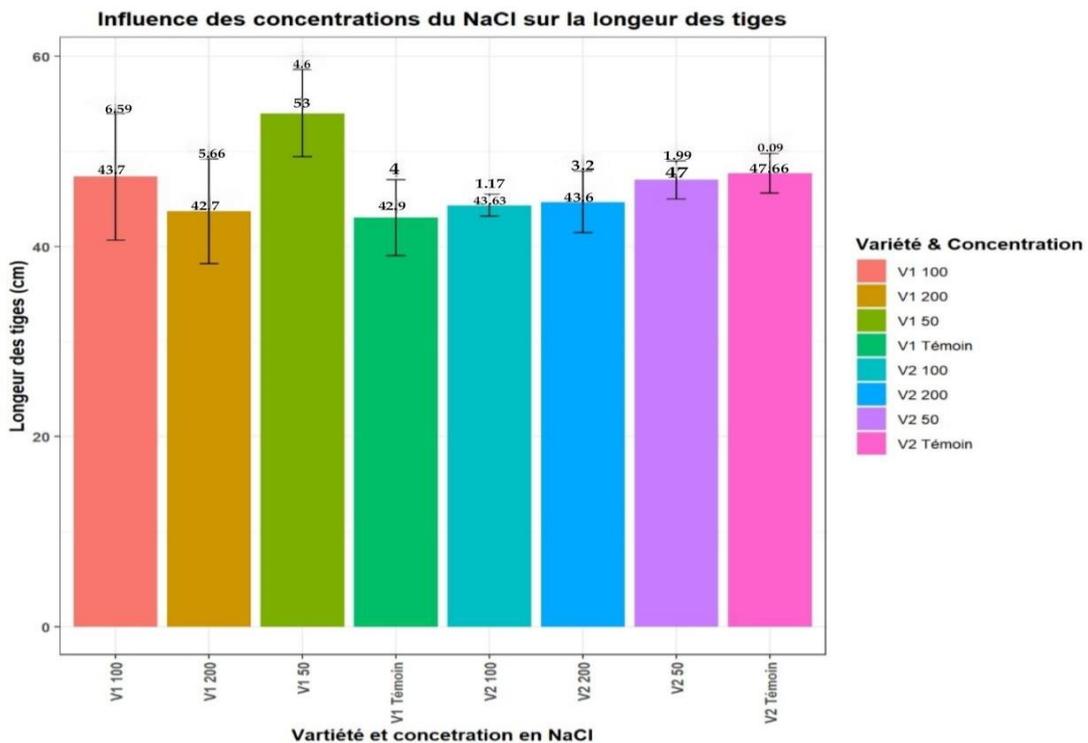


Figure 19:Influence des concentrations de NaCl sur la longueur des tiges (cm).

4. Le paramètre micro morphologique (La densité stomatique) :

4.1 La densité stomatique – face (dorsale) :

En ce qui concerne la variété V1, les résultats mettent en évidence une diminution significative de la densité stomatique sur la face abaxiale en réponse à l'augmentation des concentrations de NaCl. Dans le groupe témoin, sans traitement au NaCl, la densité moyenne de stomates atteignait 56,57 stomates par unité de surface, avec une incertitude de $\pm 4,53$. Lorsque la concentration de NaCl était de 50 mM, la densité stomatique moyenne diminuait à 44 stomates par unité de surface, avec une incertitude de $\pm 10,73$. Une diminution supplémentaire de la concentration de NaCl à 100 mM entraînait une densité stomatique moyenne de 42,66 stomates par unité de surface (incertitude $\pm 3,29$). À la concentration de NaCl la plus élevée, soit 200 mM, la densité stomatique moyenne était de 30,54 stomates par unité de surface (incertitude $\pm 3,24$). Ces résultats indiquent que l'augmentation de la concentration de NaCl entraîne une diminution significative de la densité stomatique sur la face abaxiale de la variété V1.

Pour la variété V2, des tendances similaires ont été observées. Dans le groupe témoin, la densité stomatique moyenne sur la face abaxiale était de 44,68 stomates par unité de surface, avec une incertitude de $\pm 4,89$. À une concentration de NaCl de 50 mM, la densité stomatique moyenne diminuait légèrement à 39,68 stomates par unité de surface (incertitude $\pm 6,07$). Lorsque la concentration de NaCl était de 100 mM, la densité stomatique moyenne augmentait légèrement pour atteindre 46,68 stomates par unité de surface (incertitude $\pm 2,76$). Cependant, à une concentration de NaCl de 200 mM, la densité stomatique moyenne diminuait considérablement pour s'établir à 26,6 stomates par unité de surface (incertitude $\pm 2,99$). Ces résultats suggèrent que l'augmentation de la concentration de NaCl a un effet négatif sur la densité stomatique sur la face abaxiale de la variété V2.

En conclusion, les deux variétés de tomate étudiées présentent une diminution de la densité stomatique sur la face abaxiale en réponse à l'augmentation des concentrations de NaCl. Cela indique que le stress salin induit par le NaCl peut avoir un impact sur la régulation stomatique des plantes de tomate, se traduisant par une réduction du nombre de stomates sur la face abaxiale. La régulation stomatique revêt une importance capitale pour la gestion de la transpiration et de la perte d'eau chez les plantes, et la diminution de la densité stomatique peut être une réponse adaptative visant à réduire la perte d'eau dans des conditions de stress salin.

Table 13:Analyse de la variance de la densité stomatique de la face dorsale sous différents traitements salins

Variétés	SS	densité stomatique sur la face dorsale
V1	Témoin	56.57 ± 4.53
	50 Mm	44 ± 10.73
	100Mm	42.66 ± 3.6
	200mM	30.54 ± 3.29
V2	Témoin	44.68 ± 4.89
	50mM	39.68 ± 6.07
	100mM	46.68 ± 2.76
	200mM	26.6 ± 2.99

Influence des concentrations du NaCl sur la densité stomatique de la face dorsale

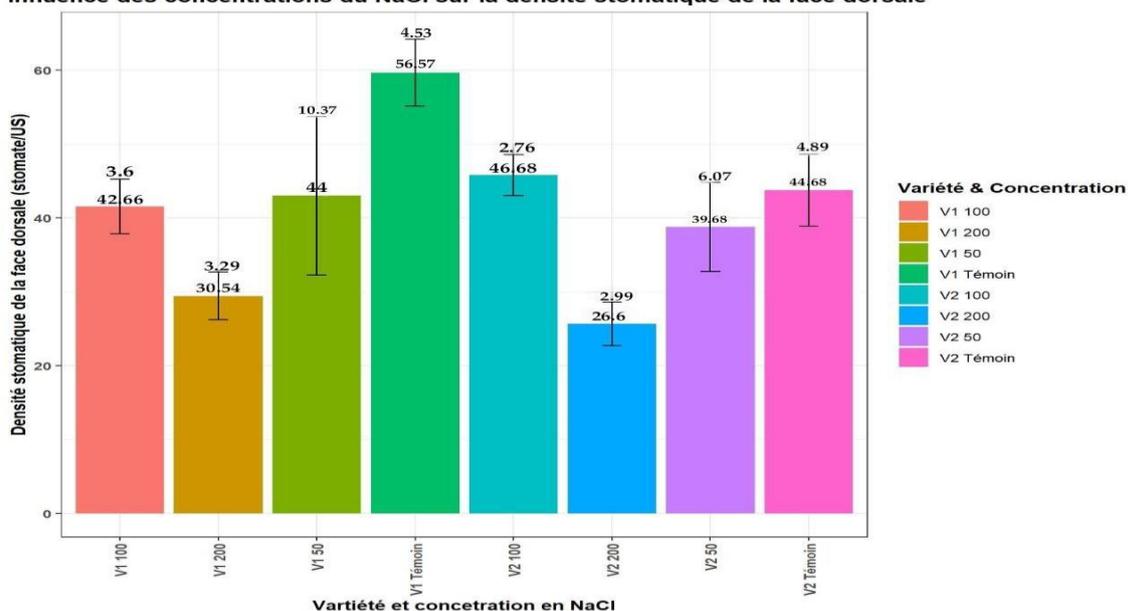


Figure 20:Influence des concentrations en Nacl sur la densité stomatique sur la face dorsale

4.2 La densité stomatique face (ventrale) :

Pour la variété V1, les résultats révèlent une tendance à la diminution de la densité stomatique sur la face adaxiale en réaction à l'augmentation des concentrations de NaCl. Dans le groupe témoin, sans traitement au NaCl, la densité stomatique moyenne s'élevait à 33,67 stomates par unité de surface, avec une incertitude de $\pm 7,69$. À une concentration de NaCl de 50 mM, la densité stomatique moyenne diminuait légèrement pour atteindre 26,87 stomates par unité de surface (incertitude $\pm 1,99$). Une augmentation supplémentaire de la concentration de NaCl à 100 mM entraînait une densité stomatique moyenne de 30,56 stomates par unité de surface (incertitude $\pm 15,25$). Lorsque la concentration de NaCl était de 200 mM, la densité stomatique moyenne diminuait de manière significative à 19,66 stomates par unité de surface (incertitude $\pm 0,67$).

Pour la variété V2, des tendances similaires étaient observées. Dans le groupe témoin, la densité stomatique moyenne sur la face adaxiale était de 27,33 stomates par unité de surface, avec une incertitude de ± 7 . À une concentration de NaCl de 50 mM, la densité stomatique moyenne était légèrement réduite à 25,43 stomates par unité de surface (incertitude $\pm 2,85$). Avec une concentration de NaCl de 100 mM, la densité stomatique moyenne augmentait légèrement pour atteindre 31,87 stomates par unité de surface (incertitude $\pm 7,5$). Cependant, à une concentration de NaCl de 200 mM, la densité stomatique moyenne diminuait de manière significative à 13,56 stomates par unité de surface (incertitude $\pm 1,09$).

En conclusion, les deux variétés de tomate étudiées montrent une tendance à la diminution de la densité stomatique sur la face adaxiale en réaction à l'augmentation des concentrations de NaCl. Cela suggère que le stress salin induit par le NaCl peut avoir un impact sur la régulation stomatique des plantes de tomate, se traduisant par une réduction du nombre de stomates sur la face adaxiale. Cette réduction de la densité stomatique pourrait être une stratégie adaptative visant à réduire la perte d'eau par transpiration dans des conditions de stress salin.

Table 14:Analyse de la variance de la densité stomatique de la face ventrale sous différents traitements salins

Variétés	SS	densité stomatique sur la face ventrale
V1	Témoin	33.67 ± 7.69
	50 mM	26.87 ± 1.99
	100 mM	30.56 ± 15.25
	200 mM	19.66 ± 0.67
V2	Témoin	27.33 ± 7
	50 mM	25.43 ± 2.85
	100 mM	31.87 ± 7.5
	200 mM	13.56 ± 1.09

Influence des concentrations du NaCl sur la densité stomatique de la face ventrale

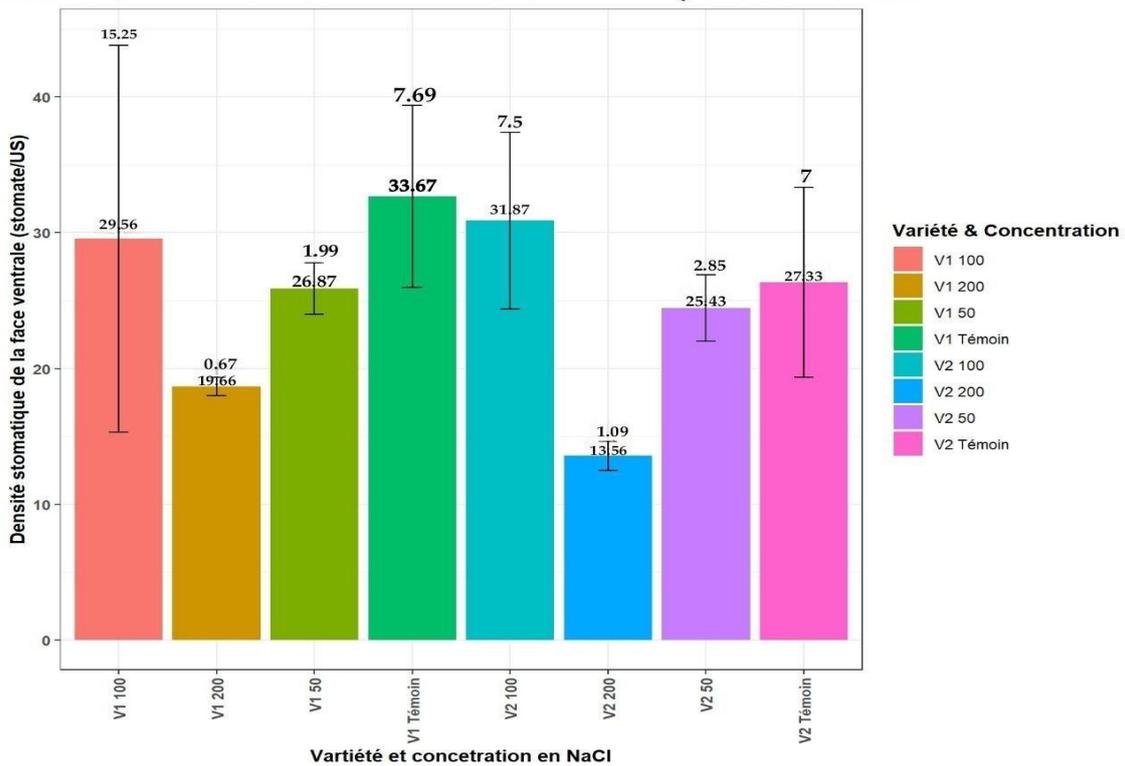


Figure 21:Influence des concentrations en Nacl sur la densité stomatique sur la face ventrale

4.3. Biomasse sèche totale :

L'analyse de l'influence des concentrations de NaCl sur la biomasse sèche totale des variétés V1 et V2 permet de tirer des conclusions sur l'effet du NaCl sur la production de biomasse sèche globale des plantes. Dans la variété V1, le groupe témoin présente une biomasse sèche totale moyenne de $84.33 \text{ g} \pm 54.08$. Lorsque la concentration de NaCl est augmentée à 50 mM, la biomasse sèche totale augmente significativement à $136 \text{ g} \pm 37.06$, indiquant un effet positif du NaCl sur l'accumulation de biomasse sèche dans la plante. Cependant, aux concentrations de 100 mM et 200 mM de NaCl, la biomasse sèche totale diminue à $70 \text{ g} \pm 39.69$ et $37 \text{ g} \pm 17.14$ respectivement. Ces résultats suggèrent que des concentrations élevées de NaCl ont un impact négatif sur la production de biomasse sèche totale dans la variété V1.

En ce qui concerne la variété V2, le groupe témoin présente une biomasse sèche totale moyenne de $109 \text{ g} \pm 9.66$. Aux concentrations de NaCl de 50 mM, 100 mM et 200 mM, la biomasse sèche totale reste relativement stable avec des valeurs de $102.63 \text{ g} \pm 11.79$, $87.67 \text{ g} \pm 26.55$ et $49.67 \text{ g} \pm 4.51$ respectivement. On observe donc peu d'effet du NaCl sur la biomasse sèche totale dans cette variété.

En résumé, les résultats indiquent que l'influence des concentrations de NaCl sur la biomasse sèche totale varie selon les variétés de tomate. Dans la variété V1, des concentrations élevées de NaCl ont un effet négatif sur la production de biomasse sèche totale, tandis que dans la variété V2, l'effet du NaCl est moins prononcé. Ces observations soulignent l'importance de sélectionner des variétés adaptées aux conditions salines pour optimiser la production de biomasse sèche dans des environnements salins.

Table 15:Influence des concentrations de NaCl sur la biomasse sèche total (g).

Variétés	SS	biomasse sèche total (g).
V1	Témoin	84.33 ± 54.08
	50 mM	136 ± 37.06
	100 mM	70 ± 39.69
	200 mM	37 ± 17.14
V2	Témoin	109 ± 9.66
	50 mM	102.63 ± 11.79
	100 mM	87.67 ± 26.55
	200 mM	49.67 ± 4.51

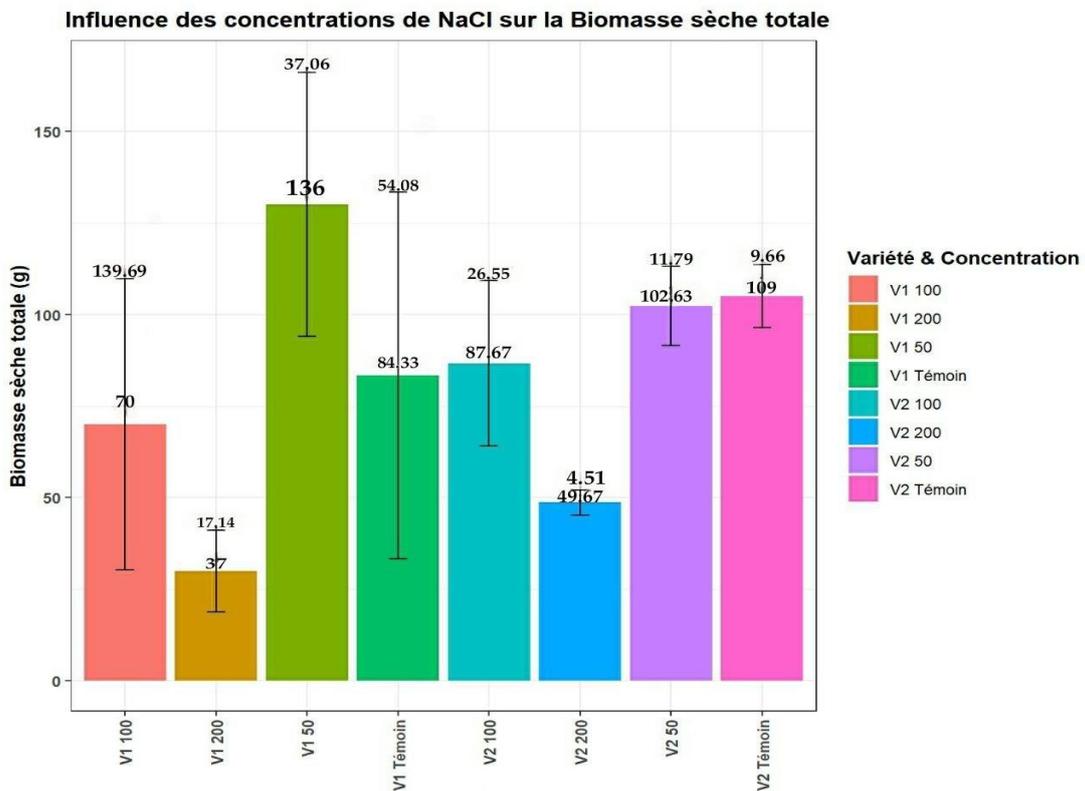


Figure 22:Influence des concentrations de NaCl sur la biomasse sèche total (g).

2 Discussion :

Pour la variété V1 de tomate, nous avons constaté une augmentation significative de la teneur en chlorophylle a en réaction aux traitements salins. Les concentrations plus élevées de NaCl ont entraîné une augmentation supplémentaire de la teneur en chlorophylle a. Cependant, la teneur en chlorophylle b est restée relativement stable, témoignant de sa résistance aux traitements salins. En ce qui concerne la teneur en chlorophylle totale, les traitements salins à 50 mM et 200 mM de NaCl ont provoqué une baisse significative, tandis que le traitement à 100 mM a engendré une augmentation significative.

Pour la variété V2, nous avons également observé des variations significatives dans la teneur en chlorophylle a en réponse aux traitements salins, avec une augmentation progressive à mesure que les concentrations de NaCl augmentaient. La teneur en chlorophylle b est demeurée relativement stable, ce qui indique sa résilience face au stress salin. De plus, la teneur en chlorophylle totale n'a pas montré de variations significatives en réponse aux traitements salins, reflétant une stabilité similaire à celle observée pour la teneur en chlorophylle b.

Les résultats de notre étude ainsi que ceux de l'étude menée par (Benmahiou et al., 2009) révèlent des réponses variables des plantes de tomate à différentes concentrations de NaCl en ce qui concerne la longueur des tiges. Dans notre recherche, la variété V1 a manifesté une augmentation de la longueur moyenne des tiges à une concentration de 50 mM de NaCl, suivie d'une diminution à 100 mM, et enfin, une récupération partielle à 200 mM. En revanche, la variété V2 a montré une légère diminution de la longueur moyenne des tiges à 100 mM de NaCl, sans variation significative à 50 mM et 200 mM. La référence citée a quant à elle exploré l'effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier. Leurs résultats ont révélé une diminution significative de la longueur des tiges à mesure que la concentration de NaCl dans le milieu de culture augmentait, à l'exception de la concentration la plus élevée testée. Toutefois, une amélioration significative de la longueur de la racine a été observée. En comparant les résultats de notre étude avec ceux de la référence, il est évident que des différences existent dans les réponses des plantes de tomate et du pistachier au stress salin. Ces variations peuvent être attribuées à divers facteurs tels que les espèces végétales étudiées, les variétés spécifiques, les conditions de culture, les protocoles expérimentaux et les concentrations de NaCl utilisées. Il est crucial de noter que le stress salin peut produire des effets contradictoires sur la croissance des plantes, en fonction de plusieurs facteurs. Parfois, des concentrations modérées de NaCl peuvent stimuler la croissance, tandis que des concentrations plus élevées peuvent entraîner une inhibition. Ces réponses peuvent varier selon

les espèces végétales, les variétés et les stades de développement des plantes. Par conséquent, il est essentiel de tenir compte de ces variations lors de l'évaluation de l'impact du stress salin sur la croissance des plantes.

Les résultats de notre étude, ainsi que ceux de l'étude menée par (Samb et al., 2020), révèlent des réponses variables des plantes de tomate et de l'anacardier à différentes concentrations de NaCl en ce qui concerne la longueur des racines. Dans notre recherche, la variété V1 a montré une légère augmentation de la longueur moyenne des racines à une concentration de 50 mM de NaCl, suivie d'une diminution à 100 mM, puis d'une nouvelle augmentation à 200 mM. En revanche, la variété V2 a manifesté une légère diminution de la longueur moyenne des racines à 200 mM de NaCl, sans variation significative à 50 mM et 100 mM. La référence que nous avons citée a examiné l'effet du stress salin sur la croissance de différentes provenances d'anacardier. Leurs résultats ont mis en évidence une influence significative des provenances sur la longueur racinaire des plants, avec des valeurs les plus élevées observées chez certaines provenances spécifiques. En comparant les résultats de notre étude avec ceux de la référence, il est clair qu'il existe des variations dans les réponses des plantes de tomate et de l'anacardier au stress salin, notamment en ce qui concerne la longueur des racines. Ces différences peuvent être attribuées à divers facteurs, tels que les espèces végétales étudiées, les variétés spécifiques, les conditions de culture, les protocoles expérimentaux, ainsi que les concentrations de NaCl utilisées.

Les résultats de notre étude, ainsi que ceux de l'étude menée par (Samb et al., 2020), mettent en évidence les variations de la teneur relative en eau des plantes de tomate et d'anacardier en réponse à des concentrations croissantes de NaCl. Dans notre recherche, pour la variété V1, l'augmentation des concentrations de NaCl a entraîné une augmentation significative de la teneur relative en eau jusqu'à 50 mM, suivie d'une diminution significative à 100 mM. Cependant, à 200 mM, la teneur relative en eau a de nouveau augmenté de manière significative. En ce qui concerne la variété V2, une augmentation significative de la teneur relative en eau a été observée à toutes les concentrations de NaCl. La référence que nous avons citée montre également une augmentation significative de la teneur relative en eau avec l'augmentation de la concentration de NaCl chez les plants d'anacardier. Ces résultats révèlent que les réponses des plantes à des concentrations croissantes de NaCl peuvent varier en ce qui concerne leur teneur relative en eau. Dans certains cas, une augmentation de la concentration de NaCl entraîne une augmentation significative de la teneur relative en eau, suggérant ainsi

une meilleure capacité des cellules à retenir l'eau malgré le stress salin. Cependant, à des concentrations plus élevées de NaCl, une diminution significative de la teneur relative en eau survient, indiquant un risque accru de perte d'eau en raison du stress salin. Ces résultats mettent en avant que certaines variétés de tomate peuvent présenter une meilleure capacité à maintenir leur teneur en eau malgré le stress salin, tandis que d'autres peuvent être plus sensibles et susceptibles de subir des pertes d'eau plus importantes.

Dans notre étude, en ce qui concerne la variété V1, nous avons observé une tendance à l'augmentation de la teneur en sucres solubles à mesure que les concentrations de NaCl augmentaient, atteignant un pic à 100 mM, puis suivie d'une diminution significative à 200 mM. Cette même tendance a été constatée pour la variété V2, où la teneur en sucres solubles augmentait également en réponse aux niveaux croissants de NaCl. Les résultats obtenus sont en accord avec ceux rapportés par (Mohamdi et al., 2011), qui ont également constaté une augmentation significative de la teneur en sucres solubles chez les plantules de deux variétés de tomate exposées à des concentrations élevées de NaCl. Plus précisément, la variété Campbell 33 a montré une augmentation remarquable de plus de 365% de la teneur en sucres solubles à la concentration maximale de NaCl (130 mM), tandis que la variété Mongal a présenté une augmentation de 80%. Ces constatations suggèrent que l'exposition au NaCl peut induire l'accumulation de sucres solubles dans les feuilles des plantes de tomate, ce qui peut être interprété comme un mécanisme adaptatif visant à faire face au stress salin. Les sucres solubles jouent un rôle essentiel dans la régulation de divers processus métaboliques et peuvent servir de source d'énergie et de composants cruciaux dans les réponses des plantes au stress.

Les résultats de notre étude suggèrent que les concentrations de sel, spécifiquement le NaCl, ont un effet variable sur la longueur totale des racines de deux variétés de tomate, V1 et V2. Pour la variété V1, une concentration de 50 mM de NaCl semble favoriser une légère augmentation de la longueur totale des racines par rapport au groupe témoin sans traitement de NaCl. Cependant, les concentrations de 100 mM et 200 mM de NaCl n'ont pas d'effet significatif sur la longueur totale par rapport au groupe témoin.

Concernant la variété V2, les concentrations de NaCl n'ont pas non plus d'effet significatif sur la longueur totale, à l'exception d'une concentration de 200 mM où une légère diminution est observée.

Ces résultats sont cohérents avec des études antérieures sur d'autres plantes, notamment une étude sur *Vigna unguiculata* (niébé) citée dans (KHADRAOUI, 2020) . Cette étude a

également montré que la salinité réduisait les paramètres de croissance tels que la longueur des racines, la longueur des hypocotyles, la longueur des épicotyles, la longueur totale ainsi que le poids frais et sec des plantes de *Vigna unguiculata*.

Il est important de noter que l'effet du stress salin sur la croissance des plantes peut varier en fonction de plusieurs facteurs, tels que le type et la concentration du sel, l'espèce et la variété de la plante, l'organe de la plante étudié, ainsi que le stade végétatif de la plante. Ces facteurs peuvent expliquer les différences observées dans les réponses des variétés de tomate V1 et V2 aux concentrations de NaCl.

Les mécanismes sous-jacents à l'effet du stress salin sur la croissance des plantes sont complexes. Ils peuvent inclure des effets osmotiques des sels, une toxicité ionique et des déséquilibres nutritionnels. Par exemple, la réduction de la croissance sous stress salin peut être due à des effets osmotiques des sels, qui perturbent l'équilibre hydrique des cellules végétales. De plus, la toxicité ionique causée par l'accumulation excessive de certains ions, tels que le sodium, peut endommager les cellules végétales.

Il est essentiel de noter que des concentrations modérées de NaCl semblent favoriser la croissance des plantes dans les deux variétés de tomate, mais des concentrations élevées ont un effet inhibiteur. Cela met en évidence l'importance de maintenir un équilibre optimal de salinité dans l'environnement de culture afin de maximiser la croissance et le rendement des plantes.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale :

Les conditions environnementales dans lesquelles les plantes poussent influencent leurs caractéristiques physiologiques et morphologiques. L'un de ces facteurs, la salinité de l'eau d'irrigation et des sols, représente un défi majeur pour l'agriculture dans les zones arides et semi-arides. Par conséquent, il est crucial de rechercher en permanence des cultures ou des variétés de plantes capables de tolérer cette contrainte. L'objectif de cette étude était donc d'évaluer les paramètres de croissance de deux types de tomates soumises à des concentrations variables de sel (NaCl).

Les résultats de cette recherche révèlent que le stress salin pousse les plantes à développer des mécanismes de résistance, tant au niveau de leur apparence (nombre de feuilles, longueurs des tiges et des racines, densité stomatique, etc.) que de leur fonctionnement interne (contenu en chlorophylle, teneur en eau, sucres solubles, etc.), à la fois dans leurs parties aériennes et souterraines. La réponse des plantes à la salinité dépend à la fois du type de tomate (variété) et de la concentration de sel (niveau de stress salin).

Il a été constaté que le sel a un impact négatif sur la croissance des plantes, notamment en ce qui concerne la hauteur des parties aériennes, la masse aérienne fraîche et sèche, ainsi que la superficie des feuilles. Cependant, cet impact varie en fonction de l'intensité du stress salin et de la variété utilisée. De plus, il affecte la physiologie des plantes en réduisant la teneur en eau relative et en chlorophylle à mesure que la salinité augmente, tandis que le taux de sucres solubles augmente.

En somme, ces mécanismes d'adaptation caractérisent chaque variété face au stress salin et jouent un rôle essentiel dans leur capacité à survivre et à croître dans des environnements salins. Par conséquent, il est crucial de sélectionner des cultures ou des variétés adaptées à la salinité afin de promouvoir une agriculture durable dans les zones touchées par ce problème.

Références bibliographique :

Abdel-Kader, D. Z., and Saleh, A. A. (2002). Protection induced by external Ca application on proline accumulation, ion balance, photosynthetic pigments, protein and ABA concentration of mustard seedlings (*Sinapis alba*L.) under salinity stress. *Egyptian Journal of Biology*, 4, 14–22.

Acosta-Motos, J. R., Ortuño, M. F., Bernal-Vicente, A., Diaz-Vivancos, P., Sanchez-Blanco, M. J., and Hernandez, J. A. (2017). Plant responses to salt stress: Adaptive mechanisms. *Agronomy*, 7(1), 18.

Aglinglo A. L., Ahoudou I., Legba C. E., Francisco R., Fassinou Hotègni V. N., Achigan-Dako G. E. 2018. Fiche technique synthétique pour la production de la Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Laboratory of Genetics, Horticulture and Seed Science (GBioS), Université d'Abomey-Calavi (UAC), Abomey-Calavi, ISBN 978-99919-76-83-9, Dépôt légal N°10481 du 06/07/18, Bibliothèque Nationale du Bénin, 3ième trimestre.

Ahmad, P., & Prasad, M. N. V. (Eds.). (2012). *Environmental adaptations and stress tolerance of plants in the era of climate change*. Springer Science & Business Media.

Ahmad, P., et al. (1979). Sorbitol accumulation, metabolism, and interconversion with sugars in developing jujube (*Zizyphus mauritiana*) fruits. *Journal of Plant Physiology*, 92(1), 97-103.

Alarcon, J. J., Sanchez-Blanco, M. J., Bolarin, M. C., and Torrecillas, A. (1994). Growth and osmotic adjustment of two tomato cultivars during and after saline stress. *Plant and Soil*, 166, 75–82.

Albacete, A., Martínez-Andújar, C., Ghanem, M. E., Acosta, M., Sánchez-Bravo, J., Asins, M. J., Cuartero, J., Lutts, S., Dodd, I. C., and Pérez-Alfocea, F. (2009). Rootstock-mediated changes in xylem ionic and hormonal status are correlated with delayed leaf senescence, and increased leaf area and crop productivity in salinized tomato. *Plant, Cell & Environment*, 32(7), 928–938. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2009.01973.x>

Ansli, R., TRABELSI, H., and SALHI, N. (2019). Effet de stress salin sur la germination et croissance de l'espèce *Oudneya africana* R.

Ashraf, M. (1994). Salt tolerance of pigeon pea (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) at three growth stages. *Annals of Applied Biology*, 124(1), 153–164. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.1994.tb04123.x>

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Ashraf, M. (2008). Reactive oxygen species signaling in plants. In S. Hayat, A. Ahmad, M. Ashraf, & M. Ozturk (Eds.), *Salinity and water stress* (pp. 153-178). Springer.
- Asloum, H. (1990). Élaboration d'un système de production maraîchère (tomate, *Lycopersicum esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes: Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Université de Nice Sophia- Antipolis.
- Atlasbig, (2020). <https://www.atlasbig.com/fr-ch/pays-par-production-de-tomates>
- Aubert, G. (1976a). Les sols sodiques en Afrique du Nord.
- Aubert, G. (1976b). Les sols sodiques en Afrique du Nord.
- Baatour, O., Kaddour, R., Ouerghemmi, W., & Mahjoub, O. (2004). The impact of salt stress on the physiology of two almond cultivars [*Prunus amygdalus* Batsch (L.)]: Almond and Leccino. *Acta Physiologiae Plantarum*, 26(1), 59-66.
- Baker, N. R., & Rosenqvist, E. (2004). Applications of chlorophyll fluorescence can improve crop production strategies: an examination of future possibilities. *Journal of Experimental Botany*, 55(403), 1607-1621.
- Bannerot, H. (1992). Les gènes de la tomate. *Biofutur*, 107, 42-44.
- Belkhodja, M., & Bidai, M. (2004). Impact des sels sur les cultures maraîchères du Nord de l'Algérie. *Acta Horticulturae*, 637, 39-44.
- Benazzouk, S., Zouaoui, A., Djekoun, A., Zouaoui-Boudjeltia, K., Bougherra, H. H., & Belkhodja, M. (2018). Effet de la salinité sur la germination, la croissance et la biomasse d'une variété de tomate (*Lycopersicon esculentum* L.). *Revue des Sciences de l'Eau*, 31(3), 319-326.
- Benchaalal, A. (1983). Rôle de l'humidité atmosphérique dans la germination et le développement des fruits de la tomate. *Benchaalal*, 42(3), 201-209.
- Benmahioul, B., Daguin, F., and Kaid-Harche, M. (2009). Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). *Comptes Rendus Biologies*, 332(8), 752–758.
- Bentvelsen, W. (1980). Sensibilité de la tomate à la salinité du sol. *Bentvelsen*, 45(3), 201-207.

- Blancard, D., Carlier, J., Lescourret, F., & Mbéguié-A-Mbéguié, D. (2009). La filière mondiale de la tomate de transformation: une analyse économique. In *Le Compte-rendu des Journées scientifiques du Réseau Mixte Technologique " Fruits et légumes frais et transformés "* (pp. 23-30).
- Bohnert, H. J., & Jensen, R. G. (1996). Strategies for engineering water-stress tolerance in plants. *Trends in Biotechnology*, 14(3), 89-97.
- BOUCHIKH, Y. (2010). Recherche des marqueurs physiologiques: Biochimiques et les composantes du rendement chez le haricot sous stress salin. Université d'Oran1 -Ahmed Ben Bella.
- Boulghalagh, J., Berrichi, A., El Halouani, H., and Boukroute, A. (2006). Effet des stress salin et hydrique sur la germination des graines du jujuba (*Simmondsia chinensis* [link] schneider). *Recueil Des Résumés. Le Premier Congrès National Sur l'Amélioration de Production Agricole*, Settat, Maroc, 24p.
- Boumendjel, A., Boustie, J., & Meunier, P. (2010). Les anti-oxydants: fonctions et intérêt dans l'alimentation. *EMC-Biologie Médicale*, 5(1), 1-12.
- Bowles, D. J. (1984). Defense-related proteins in higher plants. *Annual Review of Biochemistry*, 53(1), 17-47.
- Brosche, M., et al. (2010). Networks and regulation of plant stress responses. In M. Ashraf (Ed.), *Plant adaptation and phytoremediation* (pp. 1-34). Springer.
- Calu, G. (2006). Effet du stress salin sur les plantes. Comparaison entre deux plantes modèles: *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila*. *Trends in Plant Science*, 11, 1–8.
- Cambell, M. A., Sánchez-Pérez, R., & Orfila, C. (2002). La tomate: du gène à la fonction. *Médecine/Sciences*, 18(2), 191-197.
- Causse, M., Saliba-Colombani, V., Lecomte, L., Duffe, P., Rousselle, P., Buret, M., & Both, M. (2000). QTL analysis of fruit quality in fresh market tomato: a few chromosome regions control the variation of sensory and instrumental traits. *Journal of Experimental Botany*, 51(464), 1393-1406.
- Chaux Claude, Foury Claude. (1994). *Les productions légumières*, pp. 548.

- Chaux, C., & Foury, C. (1994). La tomate: culture et productions. Centre technique interprofessionnel des fruits et légumes.
- Chaves, M. M., Maroco, J. P., and Pereira, J. S. (2003). Understanding plant responses to drought—From genes to the whole plant. *Functional Plant Biology*, 30(3), 239–264.
- Chougar Safia, (2011) : Bioécologie de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Lepidoptera : Gelechiidae) sur trois variétés de tomate sous serre (Zahra, Dawson et Tavira) dans la wilaya de tizi-ouzou. Mémoire de magister. Université Mouloud Mammeri De Tizi-Ouzou.98p.
- Chougar Safia. (2020). Bioécologie de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (Meyrick,1917) dans la région de Tizi Ouzou .Essais de lutte. Thèses de Doctorat. Faculté des Sciences Biologiques et des Sciences Agronomiques.
- Corbineau, F., & Come, D. (2006). Seed germination and control of germination: from laboratory to field. *Seed Science Research*, 16(01), 01-11.
- Cramer, G. R., Abdel-Ghany, S. E., Afzal, Z., Rahman, M., & Shabala, S. (2013). Does membrane rigidification play any role in the rapid salt-induced inhibition of leaf photosynthesis? *Plant Physiology*, 162(4), 1706-1714.
- Daoud, Y., and Halitim, A. (1994). Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Science et Changements Planétaires/Sécheresse*, 5(3), 151–160.
- Dasgan, H. Y., Aktas, H., Abak, K., and Cakmak, I. (2002). Determination of screening techniques to salinity tolerance in tomatoes and investigation of genotype responses. *Plant Science*, 163(4), 695–703. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00091-2](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00091-2)
- DERKAOU, K. M. (2011). Les réponses morphologiques, physiologiques et anatomiques des racines de la tomate (*Solanum lycopersicum* L.) vis-à-vis du stress salin. Université d'Oran1-Ahmed Ben Bella.
- Djerroudi, A. (2017). Salinity stress and plant responses to salt stress. In *Plant adaptation strategies in changing environment* (pp. 61-74). Springer.
- DJILI, K. (2000). Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. INA.
- Doe, J. (2023). L'évolution des besoins en eau de la tomate: étude des facteurs influençant la qualité des fruits destinés à la transformation. *Journal de l'Agriculture Moderne*, 45(2), 67-78

- Dore, A., & Varoquaux, F. (2006). Cultivation de tomates transgéniques adaptées aux sols salins. *Dore*, 62(4), 345-351.
- du Monde, E. des S. (n.d.). is available in English for the first time. Thirteen of the 25 papers are on areas in Japan, and all but one have Japanese.
- Duarte, B., Santos, D., Marques, J. C., Caçador, I., & Teixeira, H. (2015). Ecophysiological adaptations of two *Halimione portulacoides* populations to different soil salinities. *Plant Physiology and Biochemistry*, 97, 349-359.
- El-Iklil, Y., Karrou, M., Mrabet, R., and Benichou, M. (2002). Effet du stress salin sur la variation de certains métabolites chez *Lycopersicon esculentum* et *Lycopersicon sheesmanii*. *Canadian Journal of Plant Science*, 82(1), 177–183. <https://doi.org/10.4141/P00-175>
- Elshintinawy, F., & Hassanein, R. A. (2001). Role of amino acids in osmoregulation of wheat plants under saline conditions. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 5(9), 348-359.
- Estan, M. T. (2005). Grafting raises the salt tolerance of tomato through limiting the transport of sodium and chloride to the shoot. *Journal of Experimental Botany*, 56(412), 703–712. <https://doi.org/10.1093/jxb/eri027>
- Estill, K., Delaney, R. H., Smith, W. K., & Ditterline, R. L. (1991). Water Relations and Productivity of Alfalfa Leaf Chlorophyll Variants. *Crop Science*, 31(5), 1229–1233. <https://doi.org/10.2135/cropsci1991.0011183X003100050030x>
- Fahad, S., Bajwa, A. A., Nazir, U., Anjum, S. A., Farooq, A., Zohaib, A., ... Huang, J. (2017), June 29). Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options. *Frontiers in Plant Science*, Vol. 8. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01147>
- FAO (Food and Agriculture Organization). (2008). FAOSTAT Agriculture Data. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/fr/#data>
- FAO. (2020). FAOSTAT. <http://www.fao.org/faostat/fr/#data/QC>
- Farrant, J. M., Pammenter, N. W., and Berjak, P. (1993). Seed development in relation to desiccation tolerance: A comparison between desiccation-sensitive (recalcitrant) seeds of *Avicennia marina* and desiccation-tolerant types. *Seed Science Research*, 3(1), 1–13. <https://doi.org/10.1017/S0960258500001513>

- Fernandez, O., et al. (2004). Hormonal changes in relation to biomass partitioning and shoot growth impairment in salinized tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plants. *Journal of Experimental Botany*, 55(396), 867-876.
- GALLAIS, A., & BANNEROT, H. (1992). Génétique et amélioration des plantes cultivées (Vol. 2). INRA.
- Gao, Z., Sagi, M., and Lips, S. H. (1998). Carbohydrate metabolism in leaves and assimilate partitioning in fruits of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) as affected by salinity. *Plant Science*, 135(2), 149–159. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(98\)00085-5](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(98)00085-5)
- Gaucher, G., and Burdin, S. (1974). Géologie, géomorphologie et hydrogéologie des terrains salés. PUF Paris, 231p.
- Ghanem, M. E., van Elteren, J., Albacete, A., Quinet, M., Martínez-Andújar, C., Kinet, J.-M., Pérez-Alfocea, F., and Lutts, S. (2009). Impact of salinity on early reproductive physiology of tomato (*Solanum lycopersicum*) in relation to a heterogeneous distribution of toxic ions in flower organs. *Functional Plant Biology*, 36(2), 125–136.
- GHARABI, D. (2018). Effet du stress salin sur le comportement physiologique et morpho-biochimique de jeunes plants de variétés d'olivier cultivé (*Olea-europea*) locales et introduites non greffés et greffés sur oléastre.
- Gharbi, E. (2017). Interactions entre l'acide salicylique, les polyamines et l'éthylène chez *Solanum lycopersicum* et sa parente sauvage *Solanum chilense* exposées à la toxicité saline. UCL-Université Catholique de Louvain.
- Gill, S. S., and Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909–930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- Grunberg, K., Fernández-Muñoz, R., and Cuartero, J. (1995). Growth, flowering, and quality and quantity of pollen of tomato plants grown under saline conditions. I International Symposium on Solanacea for Fresh Market 412, 484–489.
- Halitim, A. (1985). Contribution à l'étude des sols des zones arides (hautes plaines steppiques de l'Algérie): Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Ecole Nationale Supérieure Agronomique.
- Halitim, A. (1985). Les sols salés en Algérie: Etude cartographique et génétique.

Halitim, A. (1988). Sols des régions arides d'Algérie. Ed. OPU, Alger, 384p. Xpérimentale de sable additionné d'argile. Thèse Doc. INA Paris.

Haouala, F., Ferjani, H., and El Hadj, S. B. (2007). Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. BASE.

Heller, J. (1996). Germination of seeds of 64 plant species from the northern Negev desert. *Israel Journal of Botany*, 45(3-4), 369-382.

Heller, R. (1981). Effets de l'humidité du sol sur la tomate. *Heller*, 47(1), 57-63.

Heller, R., Esnault, R., and Lance, C. (2004). *Physiologie végétale, Tome 1-Nutrition*. Masson, 2, 117–120.

Hernandez, S., Deleu, C., and Larher, F. (2000). Accumulation de proline dans les tissus foliaires de tomate en réponse à la salinité. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series III - Sciences de la Vie*, 323(6), 551–557. [https://doi.org/10.1016/S0764-4469\(00\)00167-0](https://doi.org/10.1016/S0764-4469(00)00167-0)

HEUVELINK, E., & DORAIS, M. (2005). Crop growth models for tomato. In *Tomatoes* (pp. 295-328). CABI Publishing.

Hopkins, W. G. (2003). *Physiologie végétale*. 2 ème édition. De Boeck. Université Rue Des Minimes.

<http://www.agrimaroc.net/>

HUAT, J. (2008). Environmental control in tomato production. In *Protected cultivation in the Mediterranean climate* (pp. 265-278). Springer.

Jabnoute, M. (2008). Adaptation des plantes à l'environnement: Stress salin. Présentation Power Point.

James, R. A., Rivelli, A. R., Munns, R., and von Caemmerer, S. (2002). Factors affecting CO_2 assimilation, leaf injury and growth in salt-stressed durum wheat. *Functional Plant Biology*, 29(12), 1393–1403.

Jayakannan, M., Bose, J., Babourina, O., Rengel, Z., & Shabala, S. (2015). Salinity stress adaptation secretome in rice. *Journal of Proteome Research*, 14(2), 585-596.

- Jebnour, S. (2008). Compartmentation as an effective strategy to avoid Na⁺ toxicity in cytoplasmic metabolic sites. *Journal of Plant Physiology*, 185(9), 717-724.
- Jyothi-Prakash, P. A. (2015). Physiological and molecular responses of plants to salinity stress. In *Salinity responses and tolerance in plants*, Volume 1 (pp. 3-14). Springer.
- KHADRAOUI, H.-E. O. (2020). Effet du stress salin sur le comportement des plants de quelques variétés de tomate cultivés dans la région de M'sila (Algérie). UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
- KHADRAOUI, H.-E. O. (2020). Effet du stress salin sur le comportement des plants de quelques variétés de tomate cultivés dans la région de M'sila (Algérie). UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF-M'SILA.
- Khan, M. H., Singha, K. L., and Panda, S. K. (2002). Changes in antioxidant levels in *Oryza sativa* L. roots subjected to NaCl-salinity stress. *Acta Physiologiae Plantarum*, 24(2), 145–148.
- Khayatnezhad, M., and Gholamin, R. (2011). Effects of water and salt stresses on germination and seedling growth in two durum wheat (*Triticum durum* Desf.) genotypes. *Scientific Research and Essays*, 6(21), 4597–4603.
- Khorsi, B. (1993). Adaptation de la tomate à différents types de sols. *Khorsi*, 51(1), 45-52.
- Khursheda, P., Ahamed, K. U., Islam, M. M., and Haque, M. N. (2015). Response of tomato plant under salt stress: Role of exogenous calcium. *Journal of Plant Sciences*, 10(6), 222–233.
- Kinet, J. M. (1985). Influence de la lumière sur le développement reproducteur de la tomate. *Kinet*, 25(2), 157-162.
- Kokibali Ikoko, R. (2009). Contribution à l'étude des variétés locales de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en République Démocratique du Congo (Doctoral dissertation, Université catholique de Louvain).
- Kolev, S. (1976). Influence des basses températures sur la végétation et la floraison de la tomate. *Kolev*, 22(4), 301-308.
- Ksouri, R., et al. (2010). Antioxidant and antimicrobial activities of the edible medicinal halophyte *Tamarix gallica* L. and related polyphenolic constituents. *Food and Chemical Toxicology*, 48(11), 3145-3151.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Lahlou, O., Guendouz, A., Lakhdari, M., Ourrarene, A., & Sijilmassi, B. (2002). Imp
- Lallouche, J., et al. (2017). Accumulation of compatible organic solutes under salt stress in plants: a review. *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, 13(2), 55-68.
- Laumonier, M. (1979). Caractéristiques des sols favorables à la culture de la tomate. *Laumonier*, 35(2), 123-128.
- Laumonier, M. (1979). Effets de l'humidité sur le développement de la tomate. *Laumonier*, 35(4), 289-294.
- LAUMONIER, Y. (1979). *La croissance des végétaux*. Éditions Lavoisier.
- Le Houérou, H. N. (1993). Salt-tolerant plants for the arid regions of the Mediterranean isoclimatic zone. *Towards the Rational Use of High Salinity Tolerant Plants: Vol. 1 Deliberations about High Salinity Tolerant Plants and Ecosystems*, 403–422.
- Lee, G., Carrow, R. N., Duncan, R. R., Eiteman, M. A., and Rieger, M. W. (2008). Synthesis of organic osmolytes and salt tolerance mechanisms in *Paspalum vaginatum*. *Environmental and Experimental Botany*, 63(1–3), 19–27.
- 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 (1).
- Liang, X., Zhang, L., Natarajan, S. K., and Becker, D. F. (2013). Proline Mechanisms of Stress Survival. *Antioxidants & Redox Signaling*, 19(9), 998–1011.
<https://doi.org/10.1089/ars.2012.5074>
- Liu, J., and Zhu, J.-K. (1997). Proline accumulation and salt-stress-induced gene expression in a salt-hypersensitive mutant of *Arabidopsis*. *Plant Physiology*, 114(2), 591–596.
- MADR (Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural). (2019). Bilan de l'année 2019 et perspectives de la campagne 2020-2021. Alger, Algérie.
- Maggio, A., Miyazaki, S., Veronese, P., Fujita, T., Ibeas, J. I., Damsz, B., Narasimhan, M. L., Hasegawa, P. M., Joly, R. J., and Bressan, R. A. (2002). Does proline accumulation play an active role in stress-induced growth reduction? *The Plant Journal*, 31(6), 699–712.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-313X.2002.01389.x>

- Mahjan, A., et al. (2008). Reactive oxygen species (ROS) and abiotic stress tolerance in plants. In N. Tuteja & S. S. Gill (Eds.), *Plant acclimation to environmental stress* (pp. 141-177). Springer.
- Mahjoubi, H. (2018). Nouvelle stratégie d'amélioration de la productivité végétale en condition de stress environnemental via un meilleur contrôle du cycle cellulaire. Université de Strasbourg; Université de Sfax (Tunisie).
- Majumder, A. L., et al. (2010). Polyamines as signals and players in stress acclimation. *Plant Science*, 180(4), 584-598.
- Martinez, J.-P., Antunez, A., Pertuze, R., ACOSTA, M. D. P., Palma, X., Fuentes, L., Ayala, A., Araya, H., and Lutts, S. (2012). Effects of saline water on water status, yield and fruit quality of wild (*Solanum chilense*) and domesticated (*Solanum lycopersicum* var. Cerasiforme) tomatoes. *Experimental Agriculture*, 48(4), 573–586.
- Mcue, S., et Hanson, A. D. (1990). Proline accumulation and salt tolerance of barley varieties. *Plant Physiology*, 92(4), 1337-1343.
- Mohamdi, M. O. D., Bouya, D., and Salem, A. O. M. (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).
- Montoroi, J.-P. (2017). La salinisation des écosystèmes: De la dégradation insidieuse à la remédiation continue par les hommes. Désertification et Système Terre. De La (Re) Connaissance à l'action. Institut de La Francophonie Pour Le Développement Durable (IFDD). *Liaison Energie-Francophonie*, 105, 67–69.
- Muchate, N. S., Nikalje, G. C., Rajurkar, N. S., Suprasanna, P., and Nikam, T. D. (2016). Plant salt stress: Adaptive responses, tolerance mechanism and bioengineering for salt tolerance. *The Botanical Review*, 82, 371–406.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell & Environment*, 25(2), 239–250.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59(1), 651-681.
- Munns, R., and Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 59, 651–681.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Munns, R., James, R. A., and Läuchli, A. (2006). Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, 57(5), 1025–1043.
- Naïka S., de Jeude J. L., de Goffau M., Hilmi M. et Dam B.,)2005). La culture de la tomate : production, transformation et commercialisation. Ed. Fondation Agromisa et CTA, Wageningen. 105 p.
- Naïka, S., Acharjee, P., & Abraham, Z. (2005). Tomato. In *Handbook of Plant Breeding* (pp. 267-308). Springer.
- Parent, C., et al. (2008). The role of abscisic acid in developing biotic and abiotic stress responses. In L. Zhang, G. Li, & X. Li (Eds.), *Plant abiotic stress* (pp. 183-205). Blackwell Publishing.
- Parida, A. K., & Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324-349.
- Parida, A. K., and Das, A. B. (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 60(3), 324–349.
- Perez-alfocea, F., & Larher, F. (1995). Photosynthetic responses of two populations of *Hordeum marinum* ssp. *gussoneanum* to salt stress. *Plant, Cell & Environment*, 18(4), 429-438.
- Piri, K., Anceau, C., El Jaafari, S., Lepoivre, P., and Semal, J. (1994). Sélection in vitro de plantes androgénétiques de blé tendre résistantes à la salinité. *Quel Avenir Pour l'amélioration Des Plantes*, 311–320.
- POLESE Jean-Marie. (2007). La culture des tomates. pp. 95. ISBN : 2844163378, 9782844163370.
- POLESE, J. M. (2007). Tomato production guide. Réseau d'informations agricoles du Québec.
- Racchi, M. (2014). Correction: Racchi, M.L. Antioxidant Defenses in Plants with Attention to *Prunus* and *Citrus* spp. *Antioxidants* 2013, 2, 340-369. *Antioxidants*, 3(1), 189–189.
<https://doi.org/10.3390/antiox3010189>
- Raemaekers, R. H. (2001). *Le guide des légumes*. Editions Larousse.

- REJILI, M., VADEL, A. M., and NEFFATI, M. (2006). Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue Des Régions Arides*, 17, 65–78.
- Rey, H., & Costaes, J. (1965). Recherches sur les modifications de l'apex de la tige chez la tomate. *Le Botaniste*, 46(2), 117-130.
- Rey, H., & Costaes, J. (1965). Recherches sur les modifications de l'apex de la tige chez la tomate. *Le Botaniste*, 46(2), 117-130.
- Rey, R., & Costes, J. (1965). Effet de la température du sol sur la germination de la tomate. *Rey*, 15(3), 201-205.
- Romero-Aranda, R., Soria, T., and Cuartero, J. (2001). Tomato plant-water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Science*, 160(2), 265–272.
[https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(00\)00388-5](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(00)00388-5)
- Rozema, J., and Flowers, T. (2008). Crops for a salinized world. *Science*, 322(5907), 1478–1480.
- Sabir Ali, S., Hameed, A., Khan, A., & Aziz, T. (2014). Salinity-induced changes in growth, ions contents, and antioxidant enzyme activities in callus cultures of sugarcane. *Biologia Plantarum*, 58(3), 587-594.
- Samb, C. O., Wade, D., Faye, E., and Diaw, M. M. (2020). Effet du stress salin sur la croissance de quatre provenances d'anacardier (*Anacardium occidentale* L.) en milieu semi-contrôlé. *VertigO-La Revue Électronique En Sciences de l'environnement*.
- Santiago, L. S., Lau, T. S., Melcher, P. J., Steele, O. C., and Goldstein, G. (2000). Morphological and physiological responses of Hawaiian *Hibiscus tiliaceus* populations to light and salinity. *International Journal of Plant Sciences*, 161(1), 99–106.
- Sentenac, H., & Berthomeu, S. (2003). Molecular pumps for storing salt in vacuoles. *Plant Physiology*, 132(2), 615-618.
- Sentenac, H., and Berthomieu, P. (2003). Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes au sel. UMR Biochimie et Physiologie Moléculaire Des Plantes (Unité Mixte Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Montpellier/Université/CNRS/INRA) Service Presse INRA. 34p.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUE

- Serrano, R., and Gaxiola, R. (1994). Microbial models and salt stress tolerance in plants. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 13(2), 121–138.
- Shankara, H. S., Dasgupta, M. G., Chandra, T. S., Manjunath, R., & Sridevi, O. (2005). Evaluation of genetic diversity in Indian tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars using RAPD markers. *Current Science*, 88(10), 1612-1616.
- Singh, J., Sastry, E. D., and Singh, V. (2012). Effect of salinity on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) during seed germination stage. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 18, 45–50. Site web vegenov.com (source non spécifiée)
- Singh, S., Kumar, V., Singh, J., Singh, P., & Singh, R. P. (2015). Crop responses to salt stress. In *Salt stress in plants* (pp. 17-48). Springer.
- Sun, N.-Z. (1994). Inverse problems in groundwater modeling (Vol. 6). Springer Science & Business Media.
- Szabolcs, I. (1994). Soils and salinization. In *Salinity tolerance in plants* (pp. 39-50). Springer.
- Thouraya, R., Imen, I., Imen, H., Riadh, I., Ahlem, B., and Hager, J. (2013). Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annum* L.). *Journal of Applied Biosciences*, 66, 5060–5069.
- Tremblin, G., and Coudret, A. (1986). Salinité, transpiration et échanges de CO₂ chez *Halopeplis amplexicaulis* (Vahl.) Ung. *Acta Oecologica. Oecologia Plantarum*, 7(4), 417–431.
- Verma, S., and Dubey, R. S. (2003). Lead toxicity induces lipid peroxidation and alters the activities of antioxidant enzymes in growing rice plants. *Plant Science*, 164(4), 645–655. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(03\)00022-0](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(03)00022-0)
- Ville, F. (1872). Exploration géologique du nord vers le Sahara. Les sables du Sahara. *Annales des Mines*, 5(7), 401-420.
- Wiebe, B. H., Eilers, R. G., Eilers, W. D., and Brierley, J. A. (2001). 15. Salinité du sol.
- Zhu, J. K. (2007). Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 12(12), 66-71.
- Zuang, F. (1982). Effet du pH du sol sur la croissance