

UNIVERSITE DE BLIDA 1
Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie
Département de Biotechnologies

THESE DE DOCTORAT
en Sciences Agronomiques
Spécialité : Agro-ressources

IMPACT DE LA SALINITE DES EAUX NON CONVENTIONNELLES
SUR LE COMPORTEMENT ECO-PHYSIOLOGIQUE DE DEUX
VARIETES DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.)

Par

Mohamed ABBAD

Devant le jury composé de :

M. BENMOUSSA	Professeur, U. de Blida 1	Président
S.A. SNOUSSI	Professeur, U. de Blida 1	Directeur de thèse
M.S. BRADEA	Maitre de conférences, U. de Blida 1	Examinatrice
A. BENAZIZA	Professeur, U. de Biskra	Examineur
M. MEFTI	Maitre de conférences, ENSA El Harrach	Examineur
M. LAZALI	Maitre de conférences, U. Khemis Miliana	Examineur

Blida, Mai 2018

RESUME

La tomate est l'une des cultures importantes en termes de consommation humaine. Elle est cultivée dans de nombreuses régions à savoir les zones arides et semi-arides. Dans ces zones, la salinité est l'un des facteurs limitant la productivité agricole. En Algérie, la majorité des eaux d'irrigation utilisées dans ces régions est d'origine souterraine et fréquemment riches en sels

Le présent travail a consisté d'évaluer le comportement morpho-physiologique des deux variétés de tomate (Marmande et Saint-Pierre), pendant 20, 65 et 110 jours de stress, soumises à différents types de sels dont les concentrations testées sont les mêmes trouvées dans l'eau de la source de Gassi Touil.

L'examen des paramètres de croissance a montré une dépression plus marquée chez la variété Marmande que la variété Saint-Pierre pendant 20 et 65 jours de stress et que les milieux enrichis en NaCl et MgSO₄ sont plus nocifs que la présence du Na₂SO₄ et MgCl₂.

Les résultats physiologiques montrent que le stress salin appliqué provoque un déséquilibre physiologique et diminue la teneur des feuilles en chlorophylle. En revanche, une accumulation accrue de la proline a été établie chez les deux variétés étudiées. La réaction de la variété Marmande à travers la teneur des feuilles en chlorophylle (a), (b) et la teneur en proline en présence de MgSO₄ est plus remarquable que celle en présence de MgCl₂, alors qu'en présence du Na₂SO₄, la variété Saint-Pierre semble être plus sensible qu'en présence du NaCl dans le milieu nutritif de cette variété comparativement à la variété Marmande. Toutefois les deux variétés ont pu maintenir une alimentation hydrique adéquate par un ajustement osmotique partiellement réalisé par l'accumulation de la proline sous l'effet de MgCl₂ que de MgSO₄ chez la variété Marmande que la variété Saint-Pierre.

Concernant les paramètres de production, il apparaît que la variété Marmande est plus productive que la variété Saint-Pierre quel que soit la composition du milieu nutritif, alors que le Na₂SO₄ et le MgSO₄ sont plus nocifs chez cette dernière.

Mots clés : tomate, salinité, stress, paramètres de croissance, chlorophylle, proline

SUMMARY

Tomato is one of the most important vegetable in terms of human consumption. It is cultivated in many areas of the arid and semi-arid regions. In these zones, salinity is one of the limiting factor affecting the agricultural productivity. In Algeria, the majority of underground water, which used in irrigation, are frequently rich in salts.

This work consisted to evaluate the morpho-physiological behavior of the two varieties of tomato (Marmande and Saint-Pierre), during 20,65 and 110 days of stress, subjected to different types of salts whose concentrations tested are the same ones found in spring water of Gassi Touil.

The examined growth parameters showed a depression more marked at the Marmande variety than the Saint-Pierre variety during 20 and 65 days of stress and then the nouveau riches mediums out of NaCl and MgSO₄ are more harmful than the presence of Na₂SO₄ and MgCl₂.

The physiological results showed that the saline stress applied cause a physiological imbalance and decrease in content of the sheets chlorophyll. On the other hand, an increased accumulation of the proline was established at the two studied varieties. The reaction of the Marmande variety through the content of the sheets chlorophyll (A), (b) and proline in the presence of MgSO₄ is more remarkable than that in the presence of MgCl₂. Whereas in the presence of Na₂SO₄, the Saint-Pierre variety seems to be more sensitive than the presence of NaCl in the nutritive medium of this variety compared to the Marmande variety. However the two varieties could maintain a food hydrous adequate by an osmotic adjustment partially realized by accumulation of the proline under the effect MgCl₂ that of MgSO₄ at the Marmande variety that the Saint-Pierre variety.

The concerning parameters of production, it appears that the Marmande variety is more productive than the variety Saint-Pierre whatever the composition of the nutritive medium, whereas Na₂SO₄ and MgSO₄ are more harmful in the latter.

Key words: tomato, salinity, stress, parameters of growth, chlorophyll, proline

ملخص

تعتبر الطماطم من اهم المزروعات التي يعتمد عليها الانسان في غذائه، لذا تزرع في عدة مناطق ذات مناخات مختلفة كالشبه الجافة والجافة. هذه الاخيرة تتميز بمعدلات مرتفعة من نسب الملوحة مما يعيق الانتاج الفلاحي بها. تزرع الجزائر بارتفاع منسوب المياه الجوفية في هذه المناطق، لكنها غالبا ذات تراكيز عالية من الملوحة.

يهدف العمل المنجز الى ابراز السلوك المرفولوجي وكذا الفيزيولوجي لصفين من نبات الطماطم وهما تواليا (المارموند وسان بيير) خلال مدة 20، 65 و110 يوم تحت اجهاض ملحي وهذا باستعمال انواع مختلفة من الملح وذلك بنفس التراكيز الموجودة في الماء الجوفي المستخرج من منطقة قاسي الطويل (ورقلة) ذات طابع جاف.

فحص المؤشرات المرفولوجية اثبت تراجع ملحوظ لصفة المارموند مقارنة بصنف السان بيير خلال مدتي 20 و65 يوم من الاجهاض الملحي. كما تبين ان المحاليل المحتوية على ملح NaCl و $MgSO_4$ تمارس ضغطا معتبرا مقارنة بالمحاليل المتكونة اساسا من ملحي Na_2SO_4 و $MgCl_2$.

كما اثبتت النتائج المتحصل عليها عموما ان الاجهاض الملحي قام بإخلال السلوك الفيزيولوجي للصفين المدروسين لنبات الطماطم ويتجلى ذلك بتراجع في نسب تراكيز اليخضور بنوعيه في الاوراق. موازاة مع ذلك، تم تسجيل نسب مرتفعة للحمض الاميني الايضي (البرولين). فحص صنف المارموند اثبت مقاومته لملاح $MgSO_4$ مقارنة بملاح $MgCl_2$. بالمقابل، صف السان بيير ابدى هشاشته للمحلول الملحي المكون اساسا من Na_2SO_4 وتصديه لملاح NaCl وذلك بقياس نسب اليخضور والحمض الاميني الايضي. يجدر بالذكر ان الصفين المدروسين قاما بتحسين امتصاص الماء نسبيا في هذه الاوساط الملحية وذلك راجع الى اعتمادهما على رفع الضغط الأيضي الداخلي بإنتاج ملحوظ للأحماض الامينية اللازمة لذلك ومن اهمها البرولين خاصة في الاوساط المشبعة ب $MgSO_4$ و $MgCl_2$ لصفة المارموند مقارنة بصنف السان بيير تواليا.

ختاما، لقد تحصلنا على انتاج مقبول من الطماطم لدى صنف المارموند مقارنة بصنف السان بيير وذلك في الاوساط الغذائية المجربة، كما سجلنا اجهاضا كبيرا للصفة الاخير بوجود ملحي $MgSO_4$ و Na_2SO_4 في الوسط الغذائي.

الكلمات الدالة: الطماطم، الملوحة، اجهاض ملحي، المؤشرات المرفولوجية، اليخضور، الحمض

الاميني الايضي (البرولين).

REMERCIEMENTS

En premier lieu, je remercie Dieu le tout puissant de m'avoir accordé le courage, la volonté, la santé et la force de mener à bien ce modeste travail.

Tous mes remerciements vont d'abord à Monsieur le Professeur **SNOUSSI Sid Ahmed** pour avoir accepté de diriger ce travail, qu'il trouve ici, l'expression de ma profonde reconnaissance, mon immense gratitude et mon grand respect, pour son aide, sa disponibilité, sa confiance, ses conseils judicieux, sa gentillesse et pour m'avoir guidé dans ce travail et de n'avoir ménagé ni son temps ni son savoir, ni sa patience pour que ce travail arrive à son terme.

J'adresse également mes remerciements les plus sincères et mon grand respect aux membres du jury, qui m'ont honoré par l'examen de mon travail malgré leurs charges et occupations, qu'ils trouvent ici ma plus profonde gratitude.

Au président du jury : *Mr. Mebrouk BENMOUSSA* ; Professeur à l'Université de Blida 1. Je tiens monsieur à vous remercier d'avoir accepté de présider mon jury ; je profite l'occasion pour vous remercier pour l'enseignement que vous m'avez assuré, vous étiez toujours un modèle de l'enseignant rayonnant, je vous remercie pour toutes les acquisitions que j'ai eu à vos côtés, pour votre bon sens et générosité.

A mes examinateurs : *Mr. Abdelaziz Benaziza*, Professeur à l'Université de Biskra ; *Mme. Bradea Maria Stella*, Maître de conférences (a) à l'université de Blida1 ; *Mr. Mohamed Mefti*, Maître de conférences (a) à l'ENSA et *Mr. Mohamed Lazali*, Maître de conférences (a) à l'université de Khemis Miliana. Je vous remercie madame et messieurs de m'avoir consacré du temps pour examiner ma thèse. Je vous remercie pour votre gentillesse, votre sympathie et vos encouragements, que vous trouvez ici ma profonde gratitude.

Mes vifs remerciements, ma profonde reconnaissance et gratitude s'adressent tout particulièrement à **Mme. Guendouz-Benrima A** ; Doyenne de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Blida 1, pour son aide et sa gentillesse. Je remercie aussi **Mr. Djazouli Z.E.D** ; Professeur à la Faculté des

sciences de la Nature et de vie, université de Blida 1, pour ses conseils, son orientation, sa générosité et son savoir qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Je remercie également **Mme. Ghanem Boughanmi Néziha**, Professeur à la Faculté des Sciences de Bizerte. Université de Carthage, Tunisie pour ses conseils, son aide et sa gentillesse et son savoir qui ont contribué à la réalisation de ce travail.

Je remercie **Mr. Zouaoui A**, Maitre de conférences (b) ; chef de département de Biotechnologies à l'Université de Blida 1.

Il m'est agréable d'exprimer mes remerciements à tous mes amis qui m'ont aidé pour le bon achèvement de ce travail. Je ne peux clore ces remerciements sans adresser toute mon affection et ma reconnaissance à ma famille qui m'a soutenu et encouragée. Merci à mes frères pour leur soutien et leur présence. Un grand merci pour ma femme qui m'a encouragé depuis cinq ans. Merci à m'a fille Nouha et mon fils Saad ; ma source de joie dans la vie.

Dédicace

À la mémoire de Mes chers parents,

TABLE DES MATIERES

RESUME	
REMERCIEMENTS	
TABLE DES MATIERES	
LISTE DES ILLUSTRATIONS, GRAPHIQUES ET TABLEAUX	
INTRODUCTION	13
Chapitre 1 : ASPECTS GENERAUX SUR LA SALINITE	15
1. Le stress : concept et définitions	15
1.1. Concept	15
1.2. Catégories de stress	16
2. La salinisation	17
2.1. Définition	17
2.2. Mesure de la salinité	17
2.3. Origines et causes de la salinisation des sols	19
2.4. Importance de la salinité	20
3. Caractères des sels	21
3.1. Solubilité des sels	21
3.2. Genèse de conditions salines et /ou sodique	21
4. Répartition géographique des sols affectés par la salinité	22
4.1. Dans le monde	22
4.2. Salinité en Algérie	23
5. Mise en valeur des sols salés	23
6. Classification des sols salés	23
6.1. Sols à complexe sodique ou sols alcalins (les solonetz)	24
6.2. Sols salins à complexe calcique (Solontcheks)	24
7. Effet de la salinité sur le sol	25
8. Effet de la salinité sur la plante	26
8.1. Effet de la salinité sur la germination et la levée	26
8.2. Effet de la salinité sur l'absorption hydrique et la transpiration	27
8.3. Effet de la salinité sur la croissance et le développement	28
8.4. Effet de la salinité sur la photosynthèse	28
8.5. Effet de la salinité sur la chlorophylle	29
8.6. Effet de la salinité sur le comportement biochimique de la plante	29

8.7. Effet de la salinité sur les lipides	30
8.8. Effet de la salinité sur le taux des ions	30
8.9. Effet de la salinité sur le métabolisme de l'azote	31
9. Mécanismes de tolérance à la salinité	31
9.1. Homéostasie cellulaire	31
9.2. Séquestration du sodium dans des vacuoles	31
9.3. Prélèvement de K ⁺	31
9.4. Biosynthèse d'osmoprotectants	32
9.5. Synthèse de protéines induites par le sel	32
9.6. Synthèse d'antioxydants	32
9.7. Régulation de croissance	33
9.8. La tolérance à la salinité par ajustement osmotique	33
9.8.1. Accumulation de la proline sous stress	34
9.8.2. Accumulation des sucres solubles sous stress	35
10. Mise en valeur des sols et des eaux salines	36
10.1. Mise en valeur des sols	36
10.2. Mise en valeur des eaux salines	36
10.3. Dessalement des eaux saumâtres	36
10.4. Drainage profond	37
10.5. Lutte contre les remontées capillaires	37
10.6. Lutte contre la concentration des sels	38
10.7. Eviter les apports d'eau excessifs	38
10.8. Réduire l'évaporation	38
10.9. Utilisation de variétés tolérantes à la salinité	38
10.10. La phyto remédiation	39
Chapitre 2 : GENERALITE SUR LA CULTURE DE TOMATE	40
2.1. Généralités botaniques	40
2.2. Origine de la culture de tomate	41
2.3. Description botanique de la tomate	43
2.4. Les variétés de tomate	43
2.4.1. Les tiges à croissance déterminée	43
2.4.2. Les tiges à croissance indéterminée	43
2.5. Structure et développement du fruit de tomate	45
2.5.1. Structure de la fleur	45

2.5.2. Structure du fruit	46
2.5.3. Développement du fruit de tomate	47
2.5.3.1. La mise à fruit	47
2.5.3.2. La phase de division cellulaire	48
2.5.3.3. La phase d'expansion cellulaire	49
2.5.3.4. La phase de maturation	50
2.6. Importance de la tomate	52
2.6.1. Importance économique dans le monde	52
2.6.2. Importance économique en Algérie	54
2.7. Importance nutritionnelle	54
2.8. Exigences pédoclimatiques de la culture de tomate	56
2.8.1. Les exigences climatiques	56
2.8.2. Les exigences édaphiques	58
CHAPITRE 3 : MATERIELS ET METHODES	59
3.1. Objectif de l'expérimentation	59
3.2. Matériel végétal et systèmes de culture	60
3.2.1. Matériel végétal testé	60
3.2.2. Procédés de culture de la tomate	60
3.3. Lieu de l'expérience	61
3.4. Culture de la tomate en system hydroponique	62
3.5. Transplantation de plants de tomate	62
3.6. Dispositif expérimental	63
3.7. Mode d'application de stress aux plantules de tomate	63
3.8. Techniques de préparation des différents traitements	64
3.9. Estimation des besoins hydrominéraux journaliers des plantes	76
3.10. Analyses morphologiques	77
3.11. Analyses physiologiques	78
3.11.1. Teneur des feuilles en pigments chlorophylliens	78
3.11.2. Détermination des teneurs en proline	78
3.12. Analyses statistiques	79
CHAPITRE 4 : RESULTATS ET DISCUSSIONS	80
4.1. Effet de la salinité sur le bilan d'absorption hydrominéral	80
4.2. Effet de la salinité sur les paramètres de croissance	86
4.2.1. Effet sur la croissance en longueur	86

4.2.2. Effet sur le diamètre des tiges	88
4.2.3. Effet sur le nombre de feuilles par plante	90
4.2.4. Effet sur la biomasse fraîche totale de la partie aérienne	92
4.2.5. Effet sur la biomasse fraîche des racines	95
4.2.6. Effet sur la biomasse sèche totale de la partie aérienne	98
4.2.7. Effet sur la biomasse sèche des racines	100
4.2.8. Effet sur la matière sèche totale de la partie aérienne	103
4.2.9. Effet sur la matière sèche de la partie souterraine	105
4.3. Effet de la salinité sur les paramètres physiologiques	112
4.3.1. Effet sur la teneur en chlorophylle (A)	112
4.3.2. Effet sur la teneur en chlorophylle (B)	114
4.3.3. Effet sur la teneur en proline dans racines	116
4.3.4. Effet sur la teneur des tiges en proline	118
4.3.5. Effet sur la teneur en proline dans les feuilles basales	120
4.3.6. Effet sur la teneur en proline dans les feuilles médianes	123
4.3.7. Effet sur la teneur en proline dans les feuilles apicales	125
4.4. Effet de la salinité sur les paramètres de productions	132
4.4.1. Effet sur le nombre de fleurs par plante	132
4.4.2. Effet sur le nombre de fruits par plante	133
4.4.3. Effet sur le nombre de fleurs avortées par plantes	135
4.4.4. Effet sur la production de fruits par plante	137
CONCLUSION	142
REFERENCES	

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1. Gammes de concentrations et terminologie	18
Figure 2.2. Histoire hypothétique de la domestication de la tomate	42
Figure 2.3. Comparaison de l'architecture des parties aériennes et des bouquets de plantes de tomate à croissance indéterminée et déterminée	44
Figure 2.4. Coupe longitudinale d'une fleur de tomate montrant les différentes structures telles que l'ovaire, les étamines, le pistil, les pétales et les sépales	45
Figure 2.5. Coupe transversale d'un fruit de tomate cerise (<i>Solanum lycopersicum</i> Mill. Var <i>cerasiformae</i>)	46
Figure 2.6. Développement du fruit de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> var. <i>cerasiformae</i>)	49
Figure 2.7. Différentes formes de tomate utilisées pour décrire une variété	51
Figure 2.8. Paramètres économiques de la production mondiale de tomates	53
Figure 2.9. Production de la de tomates en Algérie depuis 1962 jusqu'à 2010	54
Figure 2.10 Répartition du rayonnement incident sur une feuille de tomate	58
Figure 3.11. Graines de tomate mises en germination à 25C°dans les boites de Pétri	61
Figure 3.12. Localisation géographique de lieu de culture	61
Figure 3.13. Différentes étapes de la culture de tomate réalisées	62
Figure 3.14. Schéma de dispositif expérimental adopté	63

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1. Superficie affectée par la salinité en millions d'hectares	22
Tableau 2.2. Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate	55
Tableau 3.3 Eau saline naturelle de Gassi Touil reconstituée avec l'eau de Blida	65
Tableau 3.4. Eau saline corrigée de Gassi Touil reconstituée avec l'eau de Blida	66
Tableau 3.5. Eau de Blida enrichie en NaCl	67
Tableau 3.6. Eau de Blida enrichie en Na ₂ SO ₄	68
Tableau 3.7. Eau de Blida enrichie en MgSO ₄	69
Tableau 3.8. Eau de Blida enrichie en MgCl ₂	70
Tableau 3.9. Eau de Blida enrichie en NaCl et Na ₂ SO ₄	71
Tableau 3.10. Eau de Blida enrichie en MgSO ₄ et MgCl ₂	72
Tableau 3.11. Eau de Blida enrichie en Na ₂ SO ₄ +CaCl ₂	73
Tableau 3.12. Eau de Blida enrichie en MgSO ₄ + CaCl ₂	74
Tableau 3.13. Composition générale des différents traitements testés durant notre expérimentation	75
Tableau 3.14. Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B	76
Tableau 3.15. Doses et fréquence des irrigations	77
Tableau 4.16. Bilan d'absorption hydrominérale des deux variétés de tomate cultivées	81
Tableau 4.17. Hauteur finale des tiges (cm) des deux variétés de tomate cultivées	86
Tableau 4.18. Diamètre des tiges (cm)	89
Tableau 4.19. Nombre de feuille par plante	91
Tableau 4.20 : Biomasse fraîche totale de la partie aérienne (g)	93
Tableau 4.21. Biomasse fraîche des racines (g)	95
Tableau 4.22. Biomasse sèche totale de la partie aérienne (g)	98
Tableau 4.23. Biomasse sèche des racines (g)	101
Tableau 4.24. Matière sèche de la partie aérienne (%)	104
Tableau 4.25. Matière sèche des racines (%)	106
Tableau 4.26. Teneur des feuilles en chlorophylle (A) (µg.g ⁻¹ MF)	112
Tableau 4.27. Teneur des feuilles en chlorophylle (B) (µg.g ⁻¹ MF)	115
Tableau 4.28. Teneur de proline dans les racines (µg.g ⁻¹ MF)	117
Tableau 4.29. Teneur en proline dans les tiges (µg.g ⁻¹ MF)	119

Tableau 4.30. Teneur en proline dans feuilles basales ($\mu\text{g.g}^{-1}$ MF)	121
Tableau 4.31. Teneur en proline dans les feuilles médianes ($\mu\text{g.g}^{-1}$ MF)	123
Tableau 4.32. Teneur en proline dans les feuilles apicales ($\mu\text{g.g}^{-1}$ MF)	126
Tableau 4.33. Nombre de fleur par plante	132
Tableau 4.34. Nombre de fruits par plante	134
Tableau 4.35. Taux d'avortement des fleurs par plant (%)	136
Tableau 4.36. Estimation de la production de fruits par plante (g)	137
Tableau 4.37. Les accroissements enregistrés chez les deux variétés de tomate cultivées	141

INTRODUCTION

Selon [1], sur environ 800 millions de ha de terres et 32 millions d'hectares de terres agricoles sont affectés par la salinité. Il y a lieu de noter également que 45 millions d'hectares (20%) de terres irriguées sont affectés par ce phénomène [2]. Ces zones se caractérisent par une diminution marquée des précipitations, une forte évaporation de l'eau du sol et une augmentation de l'extension des activités agricoles et pastorales avec l'irrigation à l'eau salée [3].

Les plantes sont exposées à des changements dans leur comportement morphologique et physiologique en présence de la salinité [4], [5] et [6]. Par conséquent, une meilleure compréhension des variations structurelles, la répartition des ions dans les plantes cultivées induites par la salinité devrait faciliter l'identification des mécanismes de la tolérance saline [7]. La capacité des cellules végétales à réaliser un ajustement osmotique et à s'accumuler à travers les solutés compatibles est le facteur principal des mécanismes de tolérance au sel. L'accumulation d'osmolytes clés tels que la proline peut fournir un marqueur du degré de tolérance au stress induit par l'osmorgulation. C'est l'un des principaux antioxydants non enzymatiques que les plantes ont besoin pour contrer les effets inhibiteurs du stress salin [8].

La tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) est l'une des cultures les plus importantes dans le monde. Sa production a augmenté continuellement atteignant près de 160 millions de tonnes de fruits frais dans le monde [9]. Elle est consommée comme fruit frais ou transformé en raison de ses excellentes propriétés nutritionnelles. En outre, c'est une source riche en vitamines, hydrates de carbone, protéines, nutriments minéraux et d'autres produits chimiques importants : les caroténoïdes (lycopène, b-carotène et lutéine), les tocophérols et les polyphénols [10]. La tomate est considérée comme un système de modèle de fruit idéal, car elle peut être facilement cultivée dans des conditions différentes. Elle a un cycle de vie court et une génétique simple en raison du génome relativement petit [11]. En outre, les connaissances en biologie des tomates peuvent être facilement transférées à d'autres espèces de *Solanaceae* économiquement importantes [12]. Malgré la pertinence économique de cette culture, les mécanismes sous-jacents à sa réponse aux contraintes abiotiques ne sont pas

encore entièrement clarifiés et peu d'informations sont actuellement disponibles sur le rôle clé des gènes sensibles au stress [13] et [14]. Étant donné que la salinité constitue une contrainte majeure qui affecte la productivité des cultures, y compris les légumes. Elle est fréquemment répondue dans la nature et c'est l'une des contraintes environnementales les plus négatives pour les plantes et la tomate en particulier [15] et [16].

Bien que le NaCl soit le sel le plus commun dans les sols salins, le Na₂SO₄ et le MgSO₄ peuvent également être trouvés à des concentrations élevées dans ces sols. En outre, le MgCl₂ s'accumule dans des sols extrêmement salés, où Na⁺ est échangé contre Mg²⁺. Aucune étude n'a examiné les effets spécifiques des sels autres que le NaCl sur la croissance et la physiologie de la tomate. L'étude de la réponse spécifique de ces sels pourrait s'avérer intéressante [17].

Le but de ce travail s'inscrit dans le cadre de la gestion et la valorisation des eaux salines d'origines souterraines des régions semi-arides et arides utilisées dans l'irrigation des cultures. La majorité de ces eaux sont fréquemment riches en sels avec une salinité dépassant généralement les 3 g/L. Pour cela, une eau de la région de Gassi Touil (Wilayat de Ouargla) a été choisie comme eau saline de départ pour notre expérimentation.

Le premier volet du travail consiste à analyser l'eau de Gassi Touil, puis de la reconstituée avec l'eau de Blida au niveau du site d'expérience compte tenu d'une part l'impossibilité de l'approvisionnement de cette eau durant toute la durée de notre expérience et aussi en raison des besoins élevés en eau des plantes en cours de culture de l'autre part. Cette reconstitution était réalisée dans un premier lieu avec le choix de sels appropriés afin qu'un total anions et cations soit le plus proche possible de l'analyse initiale.

Le deuxième volet de notre travail consiste à élaborer des solutions d'irrigation dont la concentration en sel est plus ou moins identique que celle de Gassi Touil et ce dans le but d'identifier le sel qui manifeste l'agressivité la plus accrue vis-à-vis des deux variétés de tomate testées. Les éléments sodium et magnésium soit testés séparément puis en combinaison avec les sulfates et les chlorures.

Enfin, nous terminons notre travail par une conclusion générale

CHAPITRE 1

ASPECTS GENERAUX SUR LA SALINITE

1. Le stress : concept et définitions

1.1. Concept

Dans un environnement variable où les stimuli et les agressions imprévisibles sont des risques constants, le bon fonctionnement des organismes repose sur leur capacité à s'adapter rapidement et efficacement afin de gérer une situation de stress. Ce mot se rencontre au début du XX^{ème} siècle dans le domaine de la psychologie et de la physiologie, mais la première définition du stress donnée par Hans Selye (1936), est l'ensemble des réactions de l'organisme (positives ou négatives) à une demande d'adaptation. Pour [18], Le stress est l'état physiologique modifié ou le changement d'état physiologique d'un système biologique en réponse à une demande environnementale. D'une façon générale, on peut dire qu'au niveau cellulaire, un stress est causé par la variation d'un paramètre environnemental qui entraîne la mise en place des mécanismes de régulation de l'homéostasie. Lorsque les conditions environnementales sont susceptibles de provoquer chez une espèce végétale une réduction de la croissance des individus ou une augmentation du taux de mortalité de la population, ces conditions peuvent être assimilées à des conditions stressantes [19].

Le stress peut être induit par une substance chimique ou une contrainte physique, de manière réversible ou permanente, selon que les altérations provoquées dans ces conditions disparaissent ou non, après retour à des conditions de croissance normale [20].

1.2. Catégories de stress

[21] et [22] ont montré que, les organismes sont en générale soumis à deux types de stress :

1.2.1. Stress biotique : (**bios = vie** en grec), il est causé par une agression d'un organisme vivant (insectes, herbivores, virus, bactéries, etc.) ;

1.2.2. Stress abiotique : il est dû principalement à des facteurs environnementaux comme la sécheresse, la température extrême, la salinité, le manque de luminosité et un excès d'eau (asphyxie racinaire). Ils affectent la croissance et le rendement des plantes contrairement aux animaux qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie deviennent défavorables. Les plantes ont développées des stratégies d'adaptations pour répondre aux chocs chimiques ou physiques engendrés par l'environnement en contrôlant et en ajustant leur système métabolique [23] et [24]. Il est divisé en :

✓ Stress salin

Il est défini selon [25] comme une brusque augmentation de la concentration en sels qui conduit d'une part, à un afflux plus élevé d'ions particulièrement Na^+ et Cl^- dans la cellule suite à la chute de la concentration du milieu externe et d'autre part, à une perte d'eau par voie osmotique.

✓ Stress hydrique

[26] a montré qu'une forte concentration saline dans le sol provoque une importante diminution en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire. Lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules ce qui provoque un déficit hydrique et une perte de turgescence.

✓ Stress ionique

Les travaux de même auteur ont montré que, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe les activités métaboliques de la plante comme l'absorption hydrominérale, l'ajustement osmotique, la synthèse de protéines et d'acides nucléiques, l'accumulation de solutés organiques, la respiration et la photosynthèse. En outre, le stress salin peut induire un stress oxydatif se traduit par une production excessive de radicaux libres d'oxygène y compris l'anion superoxyde (O_2^-), le peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) et les radicaux hydroxyles (OH^-). Ces espèces réactives causent des dysfonctionnements intra membranaires et par conséquent la mort cellulaire [27].

✓ Stress nutritionnel

Selon [28] et [29], l'augmentation en sel dans le milieu provoque une altération de la nutrition minérale. L'accumulation des ions de Na^+ dans la plante limite l'absorption de cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible de la réduction de croissance en présence du sel lorsque des ions essentiels comme K^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- deviennent limitant.

2. La salinisation

2.1. Définition

La salinisation est un processus d'accumulation des sels minéraux solubles dans le sol à des niveaux nuisibles pour les plantes. Ces sels dissous sont considérés d'un mélange de cations (Na^+ , K^+ , Mg^{+2} , Ca^{2+}) et des anions (Cl^- , SO_4^- , CO_3^- , HCO_3^-) [30] et [31].

2.2. Mesure de la salinité

Par le terme minéralisation, on désigne la concentration des solides totaux dissous (CTD), ou charge totale dissoute (CTD). Le terme correspondant dans la littérature internationale est TDS, l'abréviation anglaise de Total Dissolved Solids. Le terme salinité est synonyme de TDS et s'exprime généralement en mg/l ou g/l.

La salinité peut se mesurer de deux façons, soit par **les matières dissoutes totales** (TDS) exprimé en mg/l ou, plus couramment, par **la conductivité électrique** qui peut être exprimée en plusieurs manières, en millimhos par centimètre (mmhos/cm) à 25°C, en milligramme par litre (mg/l), ou partie par million (ppm), en milliequivalent (meq/l), ou par la pression osmotique (bars) :

$$1 \text{ mmhos/cm} = 10 \text{ mg/l}$$

$$1 \text{ mq/l} = 640 \text{ mg/l}$$

$$1 \text{ mq/l} = \text{masse de l'équivalent gramme} \times 1 \text{ mg/l}$$

$$1 \text{ mmhos/cm} = (-0,36) \text{ bars}$$

Un sol considère salin lorsque sa connectivité électrique (CE) est supérieur à 4 déci Siemens par mètre (ds/m). Cette valeur correspond à 40 mM de NaCl (2,4 g/l) (Hiller, 2005). Usuellement, on considère en fonction de leur salinité, les eaux douces, saumâtres, salines et les saumures [32].

- Eau douce : eau dont la salinité est inférieure à 1 g/l.
- Eau saline : eau dont la salinité est comprise entre 1 g/l et 35 g/l.
- Saumure : eau dont la valeur de salinité est supérieure à la valeur moyenne de celle de l'eau de mer, c'est-à-dire plus de 35 g/l TDS (3.5×10^4 mg/l TDS).

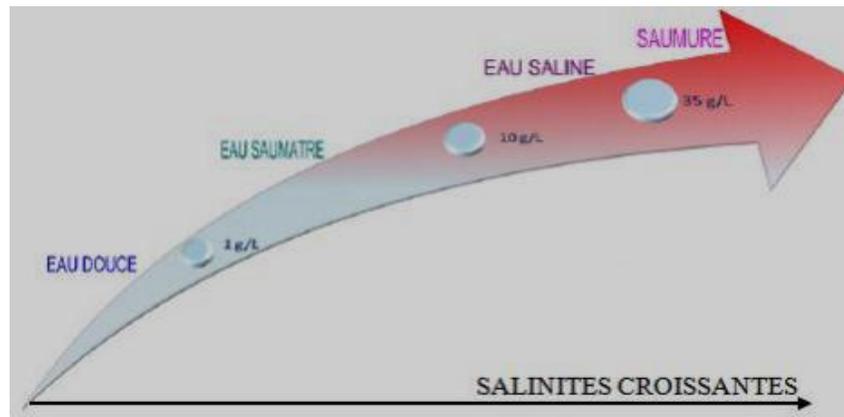


Figure 1.1 : Gammes de concentrations et terminologie [32].

2.3. Origines et causes de la salinisation des sols

La salinisation est identifiée comme une cause majeure de la dégradation des terres, particulièrement dans les régions arides et semi arides qui se caractérisent par la présence des eaux salines natives, l'irrigation par ces eaux, la remonté d'eau et l'absence de drainage. Le fort éclaircissement et les rares précipitations [33], [34], [35] et [36]. Cependant, le critère d'identification pour chaque mode de salinisation est évidemment son origine. En effet, la connaissance de l'origine de la salure, du dynamisme de cette salure dans le sol et de la nature des composés chimiques qui la constituent, restent nécessaires pour l'amélioration des terrains salés. Elle peut être causée soit par des processus naturels, **salinisation primaire**, ou être induite par des activités humaines, **salinisation secondaire** [37].

La première est le résultat d'une accumulation progressive des ions nécessaires à la formation des sels solubles. Ces ions sont libérés suite à une altération de certaines roches sédimentaires, volcaniques et hydrothermales [38]. Les travaux de [39] ont révélés que 80% des terres salinisées ont une origine naturelle qui se forment lors de cette l'altération ou à des apports naturels externes. La migration et le dépôt des sels solubles dépendent de l'intensité et de la répartition de précipitations, du degré de porosité du sol et autres caractéristiques du milieu naturel. Ils peuvent aussi être libérés à partir d'accumulations salines anciennes [26]. L'intrusion d'eaux marines dans les zones côtières est une autre source. Les sels libérés sont transportés par des eaux souterraines. Ils sont accumulés à la surface des zones basses où le taux d'évapotranspiration est élevé [40].

La seconde est le résultat d'accumulation des sels apportés par l'eau supplémentaire induite par des activités humaines et fréquemment liée à des pratiques agricoles [41]. Les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sel dans les sols [37]. L'irrigation des terres cultivées conduit à la salinisation de beaucoup de sols, en particulier dans les régions arides et semi-arides [26]. Les travaux de [39] ont montrés que 20% des terres salinisées, soit près de 15 Mha sur le continent Africain, ont une origine "anthropique". Dans les sols

irrigués, elle s'explique par irrigation avec une eau de mauvaise qualité, un lessivage insuffisant, un drainage déficient, des infiltrations à partir des canaux et des zones adjacentes, la présence d'un niveau phréatique élevé et un taux d'évapotranspiration importante. Donc elle est souvent due à l'irrigation, soit que le plan phréatique remonte au-dessus du seuil minimum, soit que l'on ait mal utilisée une eau saline [42].

Ce type de salinisation peut être aussi induit par la création de barrages, les engrais ou les épandages d'effluents agricoles ou urbains, les implantations de serre, etc. [38]. Elle est généralement à l'origine de la diminution de la productivité de la terre car la forte concentration de sel dans le sol s'oppose à la bonne production. Par conséquent, les terres cultivées affectées par le NaCl perdent progressivement leurs fertilités.

2.4. Importance de la salinité

La teneur en sels est le critère le plus important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Cette teneur peut être exprimée en termes de conductivité électrique ou en ppm ou meq/l. La concentration totale est plus importante car la plupart des cultures répondent à la concentration ionique totale du milieu de croissance (effet osmotique) plutôt qu'à un ion spécifique. Généralement, une augmentation de la teneur en sels dans l'eau d'irrigation résultera dans une augmentation de la salinité de la solution du sol. Selon [43], La vitesse et le degré de cette augmentation dépendront de :

- Lessivage, c'est-à-dire la quantité d'eau apportée par irrigation ou par des pluies en besoins de la culture et l'efficience du lessivage ;
- Composition ionique de l'eau d'irrigation et la tendance de quelques ions, tels que Ca^{+2} , HCO_3^- , SO_4^{-2} , à précipiter après l'extraction de l'eau du sol ;
- Propriétés physiques du sol tel que l'infiltration, les caractéristiques hydriques et le drainage.

La salinité peut suivant la dose de sel avoir un effet stimulateur sur la croissance et le développement de la plante. Cet effet stimulateur a été démontré par [44]. La salinité présente des effets bénéfiques sur la germination et la croissance de quelques espèces à des niveaux très faibles (bien que non quantifiés par les auteurs) de Na_2SO_4 , de NaCl , de MgSO_4 et de NaCO_3 [45].

3. Caractères des sels

3.1. Solubilité des sels

Les sels dans le sol peuvent se déplacer d'un horizon à un autre sous l'action de divers facteurs et ils n'ont pas la même solubilité [46]. Il en ressort que les chlorures sont les plus solubles. Les sulfates, les carbonates et les bicarbonates sont moyennement soluble. Lorsque les sulfates et les carbonates sont associés au calcium, ils deviennent presque insolubles. La solubilité des sels varie selon les facteurs suivants :

- La composition de la solution
- Le pH
- La température
- de sa texture

3.2. Genèse de conditions salines et /ou sodique

La formation d'un sol salin ou sodique résulte généralement de l'accumulation des sels dans les horizons de surface [47]. Ce processus dépend essentiellement du régime hydrique du sol et des sources de sel. Lorsque le climat est chaud et sec, entraînés par les eaux capillaires suivant le flux d'évaporation, les sels sont accumulés en surface. Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , et aux anions Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , NO_3^- . D'autres sels moins courants et plus toxiques à faibles concentrations sont également à considérer. Ces éléments traces sont le bore, le sélénium, l'arsenic et le molybdène [48]. De façon analogue à la formation d'un sol salin, un sol devient sodique lorsque la proportion d'ions Na^+ dépasse celles des autres électrolytes de plusieurs ordres de grandeur [49]. Cela dépend de la source de sels mais aussi des

conditions physico-chimiques du sol. [50] montrent que la salinité se produit si :

$CE_i \times Q_i > CE_d \times Q_d$, avec

- CE_i : conductivité électrique moyenne de l'eau d'irrigation.
- Q_i : quantité d'eau d'irrigation.
- CE_d : conductivité électrique moyenne de l'eau de drainage.
- Q_d : quantité d'eau de drainage.

4. Répartition géographique des sols affectés par la salinité

4.1. Dans le monde

La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe (Tableau 01). [51] estiment d'environ 15% (soit 227 millions d'hectares) des terres cultivables sont affectés par la salinité et 0,5% à 1% des cultures sont délaissées chaque année. La zone aride occupe environ le 1/3 de la surface terrestre et se trouve surtout concentrée en Afrique, en Asie et en Australie. (Halitim, 1988). En Afrique du nord et au Moyen-Orient, la salinité couvre près de 15 millions d'hectares, dont 15% sont dépourvus de toute végétation [52].

Tableau 1.1 : Superficie affectée par la salinité en millions [53].

Régions	Sols salins		
	Surface totale	millions d'hectares	%
Afrique	1899	39	20
Asie, Australie	3107	195	6.3
Europe	2011	07	0.3
Amérique latin	2039	61	3.0
Moyen orient	1802	92	5.1
Amérique du nord	1924	05	0.2
Total	12781	382	3.1

4.2. Salinité en Algérie

Les dommages de la salinité sont connus dans les pays du Maghreb, à cause de la mauvaise gestion des eaux d'irrigation. D'après [54], l'Algérie fait partie des pays méditerranéens où la sécheresse observée depuis longtemps, a mené à la salinisation des sols sur environ 25% de la surface soit 3,2 millions d'hectares de terres. La rareté de la pluie (<100 mm/an), en zones semi-arides et arides qui couvrent près de 95% du territoire, a contraint les agriculteurs à utiliser les eaux des nappes phréatiques qui sont fortement minéralisées [55]. Ce phénomène se rencontrent dans les basses plaines et vallées d'Oranie, vallée de la Mina, près de Relizane par exemple, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bou agui, aux bords de certains chotts comme le Chott Melghir. Ils ont aussi une grande extension dans les régions Sahariennes au Sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla [56].

5. Mise en valeur des sols salés

[57] ont montré qu'une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite :

- L'élimination des excès en sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée). Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne qualité.
- L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.
- La reconstitution de la fertilité par des amendements qui enrichissent les argiles en calcium échangeable.
- Des pratiques culturales particulières, labour de défoncement, ratissage des sels en surface.

6. Classification des sols salés

La formation des sols salés est en relation étroite avec la présence de l'ion sodium Na^+ sous l'une ou l'autre de ses formes : saline (NaCl , Na_2SO_4) ou échangeable, parfois les deux. Les sols salés sont riches en sels solubles (Sols

salins) ou en sodium adsorbé (sols sodiques ou alcalins). Selon [58], deux sous classes de sols halomorphes sont distinguées :

6.1. Sols à complexe sodique ou sols alcalins (les solonetz)

Ces sols sont caractérisés par une saturation marquée en Na^+ qui dépasse les 15% de la capacité d'échange cationique (C.E.C). En revanche, ils sont pauvres en sels alcalins solubles en profondeur qui se trouvent plutôt dans les zones subhumides et semi-aride [59].

Le même auteur ajoute que, la relative abondance de l'ion sodium dans la garniture ionique adsorbant, peut avoir deux origines distinctes :

- Elle peut provenir du sodium libéré par l'altération de certains minéraux alcalins.
- Elle peut résulter d'une saturation progressive du complexe en sodium, aux dépens d'une solution saline.

Dans ces sols, la conductivité électrique (C.E) ne dépasse pas 4 ds/m à 25°C et le pH est supérieur à 8,5 [60]. Ces sols ont un profil peu stable en raison de la grande facilité de dispersion des argiles. Ils sont asphyxiants plutôt que physiologiquement secs.

6.2. Sols salins à complexe calcique (Solontcheks)

Ils sont principalement caractérisés par leurs richesses en sels solubles en surface (chlorure de Sodium, sulfate de sodium) mais contenant également des quantités appréciables d'ions chlorites et de sulfates de sodium, calcium et magnésium. Ces sols sont généralement dominants dans les zones à climat sec (arides et semi-arides) [59]. Ils se caractérisent par un pH généralement y compris entre (7 et 8,5) et le sodium n'y forme pas plus de 50% des cations en solution [60]. La conductivité électrique de l'extrait aqueux à saturation, est supérieur à 4,5 ds/m à 25°C dans les horizons de surface (25 cm) ; 15ds/m dans les horizons inférieurs (suivant la texture), avec un taux de sodium échangeable inférieur à 15% de la C.E.C du sol [60] et [61]. Ces sols présentent une structure non dégradée, caractérisés par

une richesse en sels solubles, tels qu'ils inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées [57].

7. Effet de la salinité sur le sol

Les principaux facteurs qui contribuent au développement du phénomène de salinisation sont : la rareté en précipitations accompagnée par de forte évaporation, l'irrigation avec de l'eau saline et des pratiques culturales non adaptées. Ces facteurs caractérisent les régions semi-arides et arides et accentuent les processus de salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures [33].

Une grande quantité de sels solubles peut affecter les propriétés pédologiques, notamment la dispersion des colloïdes, la stabilité structurale et la chute de la conductivité hydraulique [62]. Les mêmes auteurs signalent que lorsque la solution du sol contient des quantités importantes de sels solubles, le sol demeure imperméable, et son pH est supérieur à 8,5. C'est le cas des sols sodiques qui contiennent des quantités excessives en Na^+ échangeable. Dans ce cas, la matière colloïdale se disperse en provoquant un colmatage des pores, ce qui entraîne une forte chute de la perméabilité intrinsèque du sol et donc de son aération [63].

L'étude de l'interaction entre la salinité et la fertilité du sol montre que de fortes concentrations en sels, autres que le Na^+ , affectent particulièrement la croissance et le développement des plantes via le substrat dans lequel elles se développent. C'est les sels de Na^+ qui affectent les propriétés physiques du sol et en particulier sa stabilité structurale. Dans ce cas, le sol entre dans un processus de dégradation sous l'effet de la sodicité qui peut l'entraîner à des états de détérioration irréversible [64].

8. Effet de la salinité sur la plante

La salinité constitue un facteur limitant non négligeable pour l'agriculture mondiale [65]. Elle se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de la croissance et le développement [66]. Cet effet néfaste se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance et la productivité végétale [67].

8.1. Effet de la salinité sur la germination et la levée

La germination des graines est une étape importante et vulnérable pour le cycle de développement des angiospermes terrestres et de déterminer l'établissement du semi et la croissance des plantes. Elle correspond à l'entrée de la semence en vie active (absorption des premiers éléments minéraux) et au début de croissance de l'embryon (premières modifications structurales). [68] in [69]. Malgré l'importance de la germination des graines sous stress salin [70], le mécanisme de la tolérance à la salinité chez les graines est relativement mal compris, en particulier en comparaison avec la quantité d'information actuellement disponible sur la physiologie et la biochimie des végétaux de la tolérance à la salinité [71] et [72]. Elle est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et, en particulier, par la disponibilité de l'eau dans le sol [73]. Bien que, la salinité des sols constitue un facteur limitant en agriculture, car elle inhibe la germination et le développement de la plantule. Le chlorure de sodium présent dans le sol retarde la germination des graines [74]. La présence de NaCl dans la solution nutritive freine la germination d'autant plus que la concentration saline est élevée [75].

A titre d'exemple ; le taux de germination du cotonnier chute de 70% en présence de 12 g/l de chlorure de sodium (NaCl) et la germination des tubercules de pomme de terre peut être retardée de 3 à 7 jours selon le degré de salinité du sol [28]. La luzerne qui voit sa germination affectée négativement par la présence du sel et peut être inhibée complètement à des concentrations supérieures à 15 g/l de NaCl [76]. D'autres travaux montrent que l'effet du stress salin sur la germination peut être attribué soit à un effet osmotique et/ou une toxicité des ions spécifiques à

l'émergence de la radicule ou le développement des semis [77]. Ainsi, la germination, la levée et la survie précoce sont particulièrement sensibles à la salinité du substrat, cependant, la réussite du semis dépend de la fréquence et la quantité des précipitations ainsi que sur la capacité de la semence à germer et de lever, tandis qu'il y a une diminution de l'humidité du sol et du potentiel osmotique [78].

8.2. Effet de la salinité sur l'absorption hydrique et la transpiration

La salinité élevée provoque deux effets du stress : **hyper-ionique** et **hyper-osmotique**. Par conséquent, le bilan hydrique de la plante est donc affecté et cause probablement la réduction initiale de la croissance [79]. En effet, l'état hydrique de la feuille est perturbé par la présence des sels minéraux à fortes concentrations dans la solution nutritive. De même, les potentiels hydrique et osmotique sont cependant abaissés [80]. Cette diminution est observée chez diverses espèces : *Hordeum vulgare* [81], *Oryzasativa* [82], *Lycopersicum esculantum* L. [71], *Durum Wheat* [83].

Lors d'un déficit hydrique, l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse et la conductance stomatique sont affectées, car, la photosynthèse, avec la croissance cellulaire, sont parmi les principaux processus touchés par la salinité [79]. Cependant, la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui dépend à la fois de la fermeture des stomates, avec pour conséquence une diminution de la conductance et la diffusion du CO₂ et d'une limitation biochimique du chloroplaste à fixer le CO₂ [84]. Le contrôle de la régulation stomatique fait intervenir la turgescence cellulaire mais également des messagers racinaires, comme l'acide abscissique (ABA). Dans une telle situation, l'altération de l'état hydrique de la feuille peut conduire à augmenter la sensibilité des stomates à l'ABA [85]. Toutefois, le potentiel osmotique ne suffirait pas à lui seul à caractériser l'état hydrique des plantes soumises au sel, la connaissance de la turgescence s'impose pour établir le bilan hydrique, pour le contrôle de la résistance stomatique et de la transpiration [86].

8.3. Effet de la salinité sur la croissance et le développement

Le stress salin entraîne des modifications morphologiques, mais c'est le poids de la matière végétale sèche et la longueur des tiges qui rendent compte du milieu de la tolérance ou de sensibilité des plantes au sel [73].

[28], montrent qu'une augmentation brutale de la salinité du sol se traduit par une réduction immédiate de la croissance foliaire. Un retard de croissance important est signalé chez la plupart des glycophytes des 50mM de NaCl dans la solution du sol. Par contre chez les halophytes leur croissance ne semble diminuer que pour des concentrations beaucoup plus élevées ; par exemple chez *Atriplex halimus* L. c'est à partir de 480 mM de NaCl que sa production diminue.

8.4. Effet de la salinité sur la photosynthèse

La salinité réduit la photosynthèse de la plante. Cette réduction est due aux effets complexes d'interactions osmotiques, ioniques, et nutritionnelles [87]. La présence de NaCl dans le sol réduit l'intensité de la transpiration des glycophytes et de nombreux halophytes en l'absence de toute diminution de la turgescence. [88] suggèrent que la salinité affecte en premier lieu la croissance de la plante puis la photosynthèse, causant suite aux phénomènes de « feed-back » une réduction de la capacité photosynthétique.

Toutefois, comme cette croissance diminue plus tôt que la photosynthèse et, à long terme, elle décline davantage que cette dernière. Il est alors considéré que l'accumulation de carbone par les plantes serait affectée par la salinité à cause d'une réduction de l'indice foliaire plutôt que du taux de la photosynthèse. Le sel peut également provoquer la modification de la densité des stomates, du nombre et du diamètre des vaisseaux du xylème chez les halophytes, ou accélérer le cycle biologique avec changement de la voie métabolique de fixation du carbone [28].

Particulièrement chez les glycophytes, la présence continue de NaCl dans le milieu de culture entraîne une augmentation d'une part de l'épaisseur des limbes ce qui deviendrait un élément limitant dans la porosité stomatique et d'autre part des vitesses d'ouverture des stomates.

8.5. Effet de la salinité sur la chlorophylle

La salinité provoque la diminution de la teneur en chlorophylle [89]. Cette diminution est attribuée à l'augmentation de l'activité des enzymes catalytiques, les chlorophyllases [90]. Selon [91], les plants de cultivar de fraise soumis à une forte salinité présente une faible matière sèche, teneur en chlorophylle et du rendement par rapport aux plants témoins. L'accumulation des chlorophylles a, b et totale dans un milieu salin est inversement proportionnelle à l'enrichissement du milieu en sel ça est prouvé par [92] chez le tournesol ; [93] chez la luzerne ; [94] chez l'orge et le romarin. Cette réduction de la chlorophylle est peut être liée à la sensibilité de sa biosynthèse de NaCl. [28] ont rapporté que l'effet néfaste de la salinité sur les teneurs en pigments chlorophylliens est partiellement à l'origine de la diminution de synthèse des hydrates de carbone.

8.6. Effet de la salinité sur le comportement biochimique de la plante

Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de la membrane cellulaire, affectant ainsi sa stabilité. La présence du sel en forte concentration inhibe principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse [95].

Chez diverses espèces, plus ou moins résistantes, on a observé une augmentation des sucres totaux résultant d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolyse de l'amidon [45]. Selon [96], l'accumulation des sucres solubles est importante dans les feuilles des plantes soumises à un stress salin.

8.7. Effet de la salinité sur les lipides

Les lipides sont la source la plus efficace du stockage de l'énergie. Ils fonctionnent comme des isolateurs des hormones et organes délicats, et jouent un rôle important comme des constituants des structures de la plupart des cellules membranaires [97]. Ils ont aussi un rôle vital dans la tolérance à différents stress physiologiques chez une variété d'organismes comme les cyanobactéries. L'insaturation des acides gras empêche le stress salin ou hydrique.

[98], ont analysé le changement de la composition des lipides soumis à un stress salin dans la membrane plasmique des racines chez ***Spartina patens*** et ont rapporté que les pourcentages molaires des stérols et les phospholipides diminuent avec l'augmentation de la salinité, mais le ratio stérols/phospholipides n'est pas affecté par le NaCl.

8.8. Effet de la salinité sur le taux des ions

L'absorption des hautes concentrations de NaCl engendre une compétition avec l'absorption d'autres ions, spécialement le K^+ , ce qui conduit à une déficience en K^+ . Le traitement accru de NaCl induit une augmentation dans le taux du Na^+ et Cl^- et une diminution dans le taux du Ca^{+2} , K^+ et le Mg^{+2} chez de nombreuses plantes [99]. La salinité fait augmenter le contenu de Na^+ , Ca^{+2} et Cl^- chez ***Vicia faba*** et le rapport K^+/Na^+ diminue [100]. Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes : la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions.

8.9. Effet de la salinité sur le métabolisme de l'azote

L'activité du nitrate réductase (NRA) diminue dans les feuilles pendant le stress salin [101]. La première cause de la réduction de la NRA est un effet spécifique associé à la présence du Cl^- dans le milieu externe. Chez le Maïs (***Zea mays***), le taux des nitrates diminue dans les feuilles, mais augmente dans les racines sous le stress salin et la NRA des feuilles diminue aussi dans la salinité [102] in [27].

Cet effet dû à la réduction de l'absorption du NO_3^- [101]. L'exposition des racines nodulées à NaCl des légumineuses comme le soja et le haricot cause une réduction rapide de la croissance végétale [27]. L'activité de la nitrogénase diminue chez le haricot par une exposition à courte durée à la salinité.

9. Mécanismes de tolérance à la salinité

[103], a indiqué que les mécanismes de tolérance au sel chez les plantes peuvent être groupés en plusieurs mécanismes à savoir :

9.1. Homéostasie cellulaire

Selon [104], L'homéostasie ionique est atteinte sous stress salin par les stratégies suivantes :

- Exclusion des ions Na^+ des cellules par les canaux ioniques : antiport Na^+/H^+ , ou bien par la limitation d'entrée des ions Na^+ ,
- Compartimentation de Na^+ dans des vacuoles intracellulaires pour un ajustement osmotique,
- Sécrétion de Na^+ Ainsi la régulation du transport ionique joue un rôle fondamental pour la tolérance au sel chez les plantes.

9.2. Séquestration du sodium dans des vacuoles

La compartimentation de Na^+ dans des vacuoles est une stratégie très importante chez les plantes permettant de maintenir ces ions à une faible concentration dans le cytoplasme et conserver un faible potentiel osmotique cellulaire. L'exclusion de l'excès de sodium du cytoplasme nécessite la synthèse d'osmolytes compatibles avec la réduction du potentiel osmotique ; ce dernier est essentiel pour pouvoir prélever de l'eau dans des conditions de stress salin. Ce processus est coûteux en énergie pour la plante [105].

9.3. Prélèvement de K^+

Dans les conditions optimales, les plantes maintiennent un haut ratio cytosolique K^+/Na^+ . Le stress salin entraîne la diminution de ce ratio, du fait que les ions Na^+ sont

en concurrence avec les ions K^+ , ce qui est défavorable pour les processus biochimiques cellulaires. De même, une forte concentration de potassium augmente le potentiel osmotique qui entraîne une entrée d'eau à partir du milieu extérieur [106]. Le prélèvement de K^+ est essentiel pour la turgescence cellulaire et le déroulement des processus biochimiques sous stress salin [107].

9.4. Biosynthèse d'osmoprotectants

Les osmoprotectants compatibles pour différents solutés sous stress salin protègent les plantes par ajustement osmotique ce qui maintient la turgescence cellulaire, par détoxification des espèces réactives d'oxygène (ROS : Reactive Oxygen Species), et par stabilisation de la structure (quaternaire) des protéines. Chez des plantes transgéniques, il a été prouvé que l'accumulation de mannitol [108], glycine bêtaïne [109], et proline [110] améliorent leur tolérance au stress salin.

9.5. Synthèse de protéines induites par le sel

Chez les plantes supérieures, le stress osmotique induit différentes protéines dans les tissus végétatifs. Ces protéines sont nommées LEA : late-embryogenesis-abundant. Chez *M. sativa*, le gène *Alfin1* code pour une famille de facteurs de transcription et leur expression est corrélée avec la tolérance au sel [111].

9.6. Synthèse d'antioxydants

Les plantes produisent des espèces d'oxygène actif nommés ROS (radicaux superoxyde (O_2^-), peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), et radicaux hydroxyl (OH) en réponse à un stress salin [112]. Les ROS causent d'importants dommages dans des lipides membranaires, des protéine et acides nucléiques. La détoxification des ROS constitue un élément clé de défense des plantes contre les stress abiotiques dont le stress salin. Les enzymes responsables de cette détoxification nommées antioxydants incluent le superoxyde dismutase (SOD), la catalase, et des enzymes du cycle ascorbate-glutathion.

9.7. Régulation de croissance

Maintenir une croissance racinaire constitue un caractère adaptatif dans un environnement de faible disponibilité en eau tel que le milieu salin. L'allongement racinaire peut être dû à une augmentation d'activité des enzymes impliquées dans la construction du cytosquelette : par exemple la xyloglucan *endo*transglycosylase [113].

9.8. La tolérance à la salinité par ajustement osmotique

L'ajustement osmotique est considéré comme un mécanisme de tolérance par certains auteurs et comme un mécanisme d'évitement par d'autres [114]. Il permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques [115]. (et *al.*, 1995) en particulier au niveau des organes jeunes. En condition de stress salin, Il induit au niveau de la plante une baisse du potentiel osmotique par augmentation de la concentration des solutés intracellulaires d'une manière active [116]. Il aide dans le maintien de la turgescence cellulaire, qui est à la base de la préservation de plusieurs fonctions physiologiques, car elle permet d'empêcher la fermeture des stomates, donc de maintenir la photosynthèse, la transpiration, l'assimilation du carbone et l'élongation cellulaire [117]. La capacité d'ajustement osmotique d'un végétal, est liée à sa capacité à accumuler au niveau symplasmique et de manière active certains solutés tels que les sucres solubles [118]. Plusieurs types de molécules peuvent assurer l'ajustement osmotique, en cas de sécheresse. Les sucres et les acides aminés sont les composants majeurs de cet ajustement dans les feuilles de nombreuses espèces végétales [119], [120] et [121].

9.8.1. Accumulation de la proline sous stress

Au niveau cellulaire, la tolérance des plantes au stress salin peut s'exprimer par l'accumulation d'osmolytes [122]. La plupart de ces osmolytes sont des composants azotés, ce qui traduit l'importance du métabolisme azoté sous conditions stressantes [123]. Ainsi, l'augmentation de la concentration des acides aminés, en particulier la proline, a été observée chez plusieurs espèces de plantes soumises à une contrainte saline. Cette augmentation induit le maintien d'une pression osmotique interne élevée.

En suivant l'évolution des teneurs foliaires en proline au cours du cycle du blé tendre, [124] ont confirmé que la dynamique d'accumulation était indépendante du stade de développement et au contraire, très étroitement liée à la salinité. De plus, d'autres facteurs influent sur l'accumulation de la proline tels que : l'inhibition de l'oxydation due à un effet mitochondrial, et à la réduction du taux de translocation de l'acide aminé à travers le phloème. La proline peut intervenir en régulant par l'augmentation de sa concentration la pression osmotique interne, mais aussi en inhibant les mécanismes d'auxésis [125]. D'autres auteurs, proposent qu'elle constitue un stock d'azote utilisable par la plante postérieurement à la période de souffrance saline [126].

En outre, la synthèse de la proline peut être incluse dans la régulation du pH cytoplasmique [127]. Par conséquent, elle aide dans la stabilisation des protéines membranaires et des protéines libres, ceci suggère, qu'elle a un rôle osmoprotecteur, du fait qu'elle est le plus accumulée dans les plastides, les mitochondries et le cytosol, mais non dans les vacuoles. Ceci suggère également que les chloroplastes et les mitochondries importent la proline, et la vacuole a une activité exportatrice du moment que la concentration de la proline est faible à son niveau par rapport au cytosol au cours du stress.

Il est à noter que la synthèse des protéines est étroitement liée au métabolisme des sucres et la respiration à partir de l' α -cétoglutarate intermédiaire du cycle de Krebs qui donne le squelette carboné pour la synthèse de la proline. Cependant, la synthèse des protéines, associées avec le catabolisme des sucres, pourrait jouer un rôle majeur dans la mobilisation de l'énergie métabolique requise durant le stress pour une compartimentation ionique et synthèse des osmolytes.

9.8.2. Accumulation des sucres solubles sous stress

Le saccharose et l'amidon sont les premiers glucides stables, issus des processus photosynthétiques du cycle de Calvin et de la voie du glycolate. L'amidon s'accumule dans le chloroplaste, tandis que le saccharose synthétisé dans le cytosol est stocké dans la vacuole ou transféré vers les organes puits [128]. L'amidon des tissus chlorophylliens a fait l'objet de nombreux travaux [129]. Lors d'un stress salin, l'un de ses effets majeurs, c'est qu'il affecte le métabolisme des hydrates de carbones [130] et [131] avec une accumulation des sucres et un bon nombre d'autres composés organiques, les changements dans le contenu des carbohydrates sont particulièrement importants vu leur relation direct avec plusieurs processus physiologiques tels que : la photosynthèse, translocation et respiration. Depuis longtemps, il est connu que le taux des sucres augmente considérablement chez des plantes soumises aux différents types de stress. En effet, cela a été vérifié par [132] chez des arbres adultes d'eucalyptus sous différents stress hydriques, par [133] et [134] chez le blé suite à un déficit hydrique ; et par [135] chez le céleri sous stress salin. Les principaux sucres solubles accumulés sous stress sont : le glucose, fructose et le saccharose [136], et ces derniers semblent jouer un rôle très important dans le maintien d'une pression de turgescence qui est à la base des différents processus contrôlant la vie d'une plante.

10. Mise en valeur des sols et des eaux salines

10.1. Mise en valeur des sols

En général, les terrains salins sont fertiles quand on a éliminé les sels nocifs par des pratiques agricoles appropriées. Ils peuvent se révéler excellents pour l'agriculture si l'on dispose d'assez d'eau de bonne qualité. [57] citent que une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite :

- ✓ L'élimination des excès en sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée). Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne qualité.
- ✓ L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.

- ✓ Des amendements organiques qui enrichissent les argiles en calcium échangeable.
- ✓ Des pratiques culturales particulières, labour de défoncement, ratissage des sels en surface

10.2. Mise en valeur des eaux salines

Selon [137], la lutte contre la salinité des eaux doit permettre d'éviter les mécanismes suivants :

- ✓ La remontée de la nappe phréatique souvent salée à la surface du sol ou à une faible profondeur ;
- ✓ Les mouvements d'eau souterrains d'une parcelle à une autre (des zones hautes vers les zones basses) ;
- ✓ La concentration des sels apportés par l'eau d'irrigation dans le sol ;
- ✓ La concentration des eaux d'irrigation jusqu'à ce qu'elles atteignent un taux de sodium échangeable (SAR) dangereux.

10.3. Dessalement des eaux saumâtres

[138] et [139] ont démontré que, le dessalement de l'eau est une technologie bien établie pour son approvisionnement et constitue sa principale source potable. Les eaux saumâtres et l'eau de mer dessalées sont également employées dans certains pays pour l'irrigation des cultures à fort rapport économique [140] et [141].

[142], présentent les techniques de dessalement les plus courantes :

- ✓ La distillation thermique pour le traitement de grands volumes d'eau.
- ✓ La technologie des membranes.
- ✓ L'électrodialyse.
- ✓ L'osmose inverse.

[143] et [144] ont montrés que, les coûts des différentes technologies dépendent de la teneur en sels de l'eau de mer ou des eaux saumâtres ainsi que de la source d'énergie utilisée. En effet, l'utilisation de l'énergie solaire réduit considérablement le coût de production de l'eau déminéralisée.

10.4. Drainage profond

[145], montre que le drainage profond est la principale méthode et la plus adaptée pour lutter contre la salinité est la réalisation de systèmes de drainage adapté pour permettre :

- ✓ Un rabattement de la nappe phréatique en dessous d'une cote telle que les remontées capillaires soient très limitées ;
- ✓ La création de flux souterrain permettant d'évacuer les sels en excès hors de la parcelle ;
- ✓ De couper les flux souterrains d'eau chargée en sels d'une parcelle à une autre. Il ne faut pas confondre ce réseau de drainage avec le système de drainage superficiel des parcelles qui sert uniquement aux vidanges des parcelles.

10.5. Lutte contre les remontées capillaires

Il est conseillé rapidement après la récolte de faire un léger travail du sol superficiel pour créer en surface du sol une couche de terre pulvérisée. Cela coupe les remontées capillaires en brisant les capillaires du sol [146].

10.6. Lutte contre la concentration des sels

[137], signale que cette méthode peut être réalisée à plusieurs stades de la culture :

Stade 01 : Avant la mise en culture : Cette opération consistera à nettoyer le sol de ses sels en excès avant de débiter les semis.

- ✓ Réalisant une forte irrigation ;
- ✓ Laissant l'eau pendant environ 24 heures pour qu'elle dissolve les excès de sel s'étant accumulés en superficie ;
- ✓ Vidant complètement la parcelle. (En cas d'excès importants de sels, l'opération peut être renouvelée 1 ou 2 fois) ;
- ✓ Semis de la culture.

Stade 02 : Pendant la culture : Cela consistera en un renouvellement régulier de l'eau d'irrigation. On peut soit créer un système continu d'apport d'eau dans la parcelle afin de créer un courant permettant d'évacuer en permanence les excès de sels qui risqueraient de s'accumuler. Ou encore vidanger régulièrement les parcelles puis les ré-irriguer rapidement pour éviter une concentration en sels dans l'eau d'irrigation. Le périmètre devra être équipé au moins d'un système efficient de drainage superficiel.

10.7. Eviter les apports d'eau excessifs

Il faut trouver un équilibre entre les besoins de la culture et les apports en eau. Tout apport supplémentaire correspondra à un apport de sels supplémentaire, surtout si la culture ne bénéficie pas d'un système de drainage [137].

10.8. Réduire l'évaporation

L'application de résidus ou de paillis pour le sol peut aider à diminuer le taux d'évaporation et par conséquent la salinisation du sol [137].

10.9. Utilisation de variétés tolérantes à la salinité

Les problèmes de salinité peuvent être contre balancés par l'utilisation de variétés tolérantes. La tolérance d'une plante à la salinité représente son aptitude à supporter les effets d'un excès de sels dans la zone racinaire. Or, le degré de tolérance ne peut être défini avec précision car il varie considérablement avec le type de salinité, la concentration du sel, les facteurs environnementaux (édaphiques, climatiques et biotiques), l'espèce, la variété et le stade de développement.

Néanmoins, il peut être apprécié sur la base d'un certain nombre de critères tels que la réduction de la croissance végétative, la baisse du rendement agronomique ou la survie en milieu salin lorsque les concentrations salines sont élevées [147].

10.10. La phyto remédiation

C'est dans les années 1990 que le concept de la remédiation émerge comme une nouvelle technologie qui utilise les plantes vertes et des microorganismes associés (bactéries, champignons) pour le nettoyage d'un environnement pollué. La

phyto remédiation comprend plusieurs techniques : la phyto-extraction, la phyto-volatilisation, la phyto-stabilisation, la phyto-dégradation et la rhizo-filtration [148].

Plusieurs études ont identifié des espèces végétales hyper accumulatrices, principalement des halophytes très prometteuses pour le dessalement des sols salins. Cette méthode a été principalement estimée par des mesures effectuées en sols salins et des expérimentations consistant à cultiver des halophytes sur sol salin et à établir le bilan de l'exportation du sel par ces plantes. La comparaison de la salure des sols en début et à la fin de l'expérimentation a également montré l'aptitude des halophytes à extraire une quantité appréciable de sel [149].

CHAPITRE 2

GENERALITE SUR LA CULTURE DE TOMATE

2.1. Généralités botaniques

La tomate (***Solanum lycopersicum* L. ou *Lycopersicum lycopersicum* L.**) est une plante annuelle qui appartient au genre ***Lycopersicum*** qui fait partie de la famille ***Solanaceae*** [150] et [151]. Cette espèce est originaire du nord-ouest de l'Amérique du Sud. Le terme désigne aussi ce fruit charnu, qui est l'un des aliments les plus importants de l'alimentation humaine et qui se consomme frais ou transformé. Elle est cultivée sous presque toutes les attitudes, sur une superficie d'environ 3 millions d'hectares, ce qui représente près du tiers des surfaces mondiales consacrées aux légumes [152]. Longtemps appelée «pomme d'amour» ou «pomme d'or», son nom «tomate» n'a été accepté par l'académie française qu'en 1835. Elle est aussi été appelée ***Lycopersicum esculentum***. Cependant, des études génomiques classent la tomate dans le genre ***Solanum***, le même que la pomme de terre [153].

Le genre ***Lycopersicum*** comprend neuf espèces [154] in [151], ***L. peruvianum***, ***L. pimpinellifolium***, ***L. hirsutum***, ***L. cheemannii***, ***L. parviflorum***, ***L. chilense***, ***L. chmielewskii***, ***L. pennellii*** et ***L. lycopersicum***, distribuées entre deux sous genres caractérisés par la couleur typique de leurs fruits à maturité, soit ***Eulycopersiconaux*** baies rouges comestibles et ***Eriopersiconaux*** baies vertes non comestibles.

Tous les membres du genre ***Lycopersicum*** possèdent des fleurs hermaphrodites avec des parties mâle et femelle fonctionnelles, tous ces membres sont auto-incompatibles, avec comme exception ***L. pimpinellifolium*** et certaines variétés cultivées de ***L. esculentum*** qui est capable d'auto pollinisation. Cette classification a évolué avec plusieurs études utilisant différents types de marqueurs moléculaires [155]. Avec la découverte récente d'une nouvelle espèce endémique aux Iles

Galapagos d'une part, et l'étude combinant la systématique phénotypique et moléculaire. [156], ont reclassé la tomate dans le genre ***Solanum*** et cette nouvelle classification est composée de treize espèces [157].

Selon [158], la tomate fut d'abord utilisée comme plante ornementale. Elle entre pour la première fois en 1778 sous la rubrique potagère dans le catalogue Vilmorin et Andrieu [159]. Elle est considérée toxique avant d'être potagère et comestible [160]. A présent, la tomate est devenue le premier fruit produit dans le monde et le deuxième légume juste derrière la pomme de terre, autre membre éminent de la même famille [161].

2.2. Origine de la culture de tomate

La tomate est originaire de la région des Andes en Amérique du Sud. Son centre de domestication reste à l'heure actuelle fortement débattu, et les hypothèses étudiées présentent deux origines probables ; une pré-domestication au Pérou complétée par une domestication complémentaire au Mexique [162] (Figure 2.2). Elle est domestiquée à partir de l'espèce ***Lycopersicum esculentum*** var ***cerasiformae***, fut introduire en Méso-Amérique et cultivée uniquement dans la région de Vera Cruz par les Aztèques.

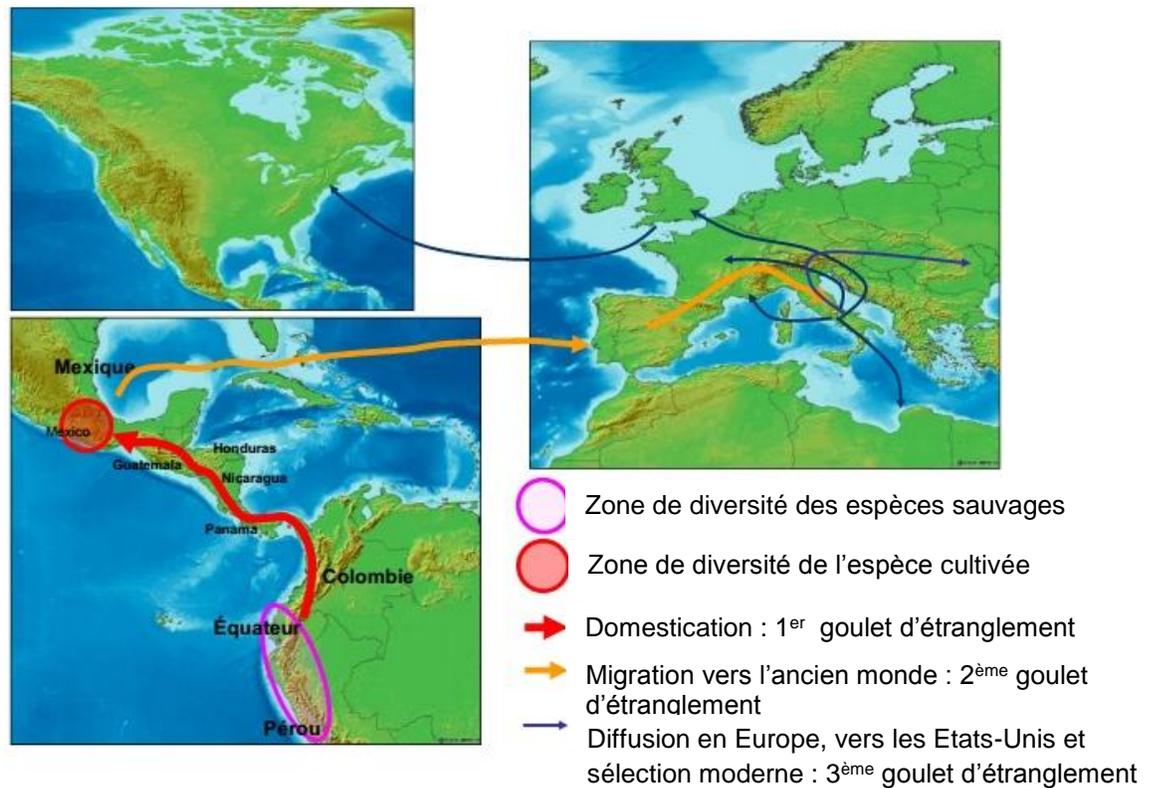


Figure 2.2 : Histoire hypothétique de la domestication de la tomate [163].

La conquête du Mexique en 1519 permit à la tomate de traverser l'Atlantique. Elle fit son entrée officielle dans la botanique européenne en 1544 dans l'ouvrage du botaniste italien Petrus Matthioles. Cependant, la littérature scientifique du début du 17^{ème} siècle décrète la tomate impropre à la consommation car celle-ci, étant de la famille des **Solanacées**, est parente de la mandragore, une plante toxique. Dès le début du 16^{ème} siècle, la tomate connaît une popularité grandissante des populations. Ce n'est qu'au milieu du 18^{ème} siècle que la plante devint comestible. A la fin de ce siècle, la plante se dispersait dans plusieurs endroits en Asie et en Amérique du Nord.

Sa dispersion se continua au cours du 19^{ème} et 20^{ème} siècle et aujourd'hui, elle est cultivée partout dans le monde.

En Algérie, ce sont les cultivateurs du Sud de l'Espagne (Tomateros), qui l'ont introduite en raison des conditions climatiques qui sont propices pour sa culture. Quant à sa consommation, elle a commencée dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'étendit vers le centre, notamment au littoral algérois [164].

2.3. Description botanique de la tomate

La tomate est une plante herbacée annuelle, appartenant au groupe des légumes-fruits [165]. Suite à la germination des graines, les deux premières feuilles sont simples et alternées, alors que celles qui suivent sont composées de 5 à 9 folioles de dimensions variables. La tomate a un système racinaire important. De nombreuses racines primaires, secondaires, tertiaires prennent naissance sur un pivot puissant. Les racines peuvent atteindre 85 à 90cm de long, mais les principales racines nourricières se rencontrent entre 25 et 35cm de profondeur [166].

L'axe principal de la jeune plante est de type monopodial. Cependant, une fois que l'apex entre en floraison et produit des fleurs, la croissance devient de type sympodial. Cette deuxième forme de croissance est caractérisée par 3-4 nodules décroissance végétative avant la formation d'une inflorescence terminale. Les tiges sont vertes pourvues de poils blanchâtres. Elles portent les feuilles, les fleurs et les fruits. Le plus souvent, elles sont retombantes et demandent à être attachées sur des tuteurs [167].

2.4. Les variétés de tomate

Les tomates peuvent être classées d'après leurs caractères botaniques et morphologiques (plus précisément d'après leur croissance). A cet effet, [168], cite que deux grandes catégories de tiges sont distinguées :

2.4.1. Les tiges à croissance déterminée : leur croissance s'arrête après avoir émis un nombre variable de bouquets de fleurs et permet une récolte unique et mécanique en plein champ. Elles donnent des pieds qui ont 60 à 80cm de hauteur. Ce sont des variétés dites d'industrie, destinées à la transformation.

2.4.2. Les tiges à croissance indéterminée : sont des tiges dont la croissance ne s'arrête pas tant que la condition climatique est favorable. Elles donnent des pieds atteignant 1,40 à 1,60m et parfois plus. De telles variétés nécessitent une culture tuteurée et demandent à être palissées. Les feuilles sont découpées et composées, à

folioles ovales, un peu dentées sur les bords grisâtres à la face inférieure. Elles répandent une odeur caractéristique, due à la solanine. La morphologie des feuilles varie considérablement en fonction de l'espèce.

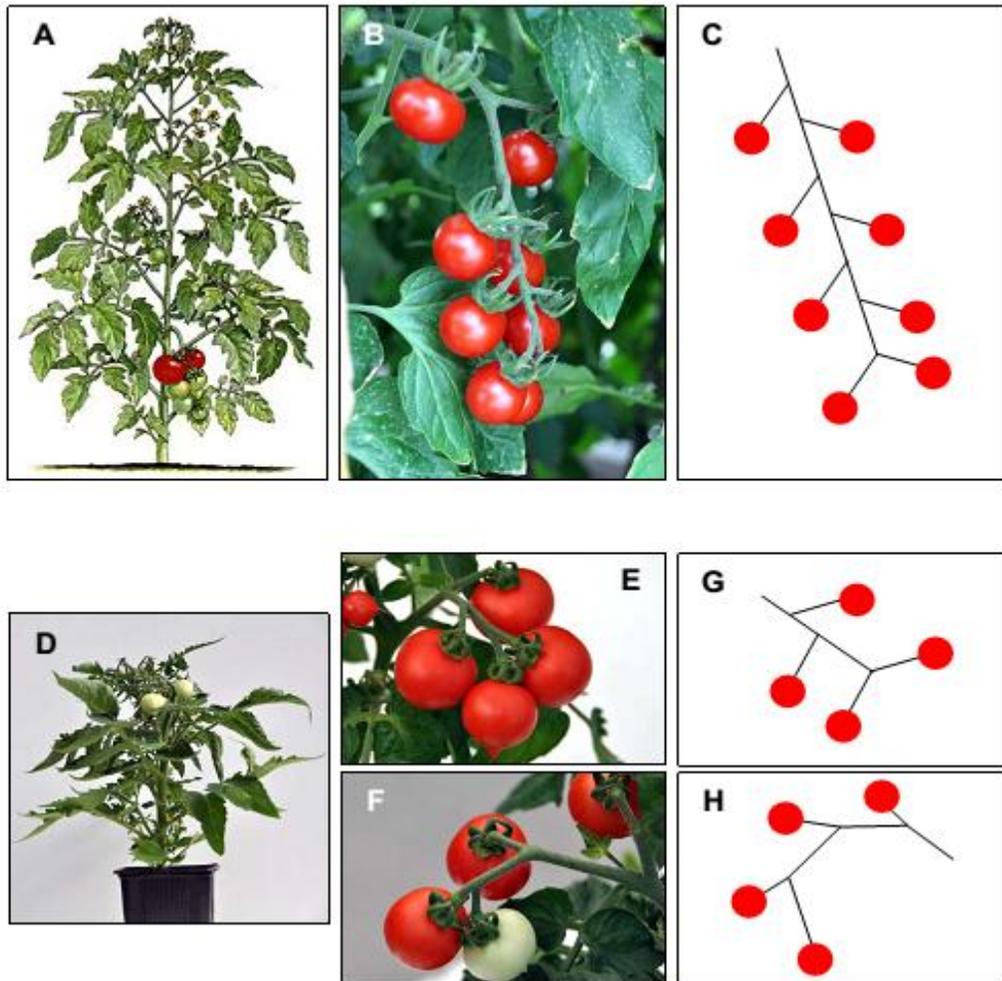


Figure 2.3 : Comparaison de l'architecture des parties aériennes et des bouquets de plantes de tomate à croissance indéterminée et déterminée [169]. (A, B, C) Plante à croissance déterminée, exemple de *Solanum lycopersicum cerasiformae* Mill. (D, E, F, G, H) Plante à croissance déterminée, exemple de *Solanum lycopersicum* type Microtom. Représentation de la partie aérienne de la plante de tomate WVa106 (A) et illustration de celle de Microtome (D). Illustration des bouquets (B, E, F) et représentation de leurs architectures (C, G, H).

2.5. Structure et développement du fruit de tomate

Suite à «l'induction florale», c'est à dire la conversion du méristème végétatif en méristème inflorescentiel, une grappe est mise en place, constituée de 6 à 10 méristèmes floraux.

2.5.1. Structure de la fleur

Les pièces florales de la tomate sont organisées en groupes d'organes disposés en rayons autour d'un axe central, le pédicelle. Ces groupes d'organes sont appelés verticilles. Le périanthe correspond aux 2 premiers verticilles, constitués des organes stériles : le calice comprend les 5 sépales et la corolle, les 5 pétales. Le troisième verticille est l'androcée, composé des 5 étamines, eux-mêmes constitués d'un filet supportant l'anthere (figure 2.4). Un pistil, formé généralement de 2 carpelles soudés, et renfermant l'ovaire forme le gynécée, le quatrième verticille. L'ovaire contient les ovules, hermétiquement enfermés sous une paroi carpellaire, typique des angiospermes.

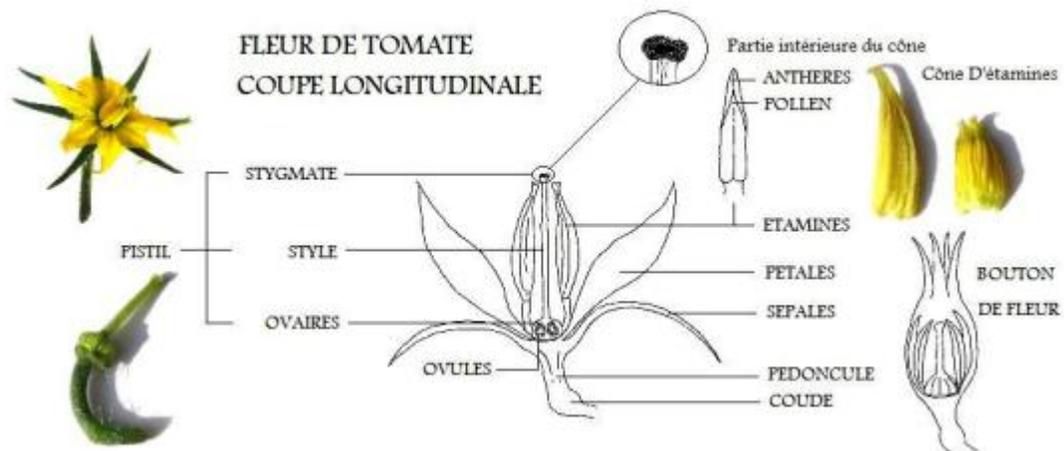


Figure 2.4 : Coupe longitudinale d'une fleur de tomate montrant les différentes structures telles que l'ovaire, les étamines, le pistil, les pétales et les sépales [163].

Les inflorescences sont des grappes plus ou moins ramifiées formant des bouquets. Suivant le mode de croissance des tiges, de 1 à 4 feuilles, en moyenne, séparent 2 bouquets successifs. Le nombre de fleurs par bouquet diminue au fur et à mesure que l'on s'approche de l'extrémité des tiges. Les fleurs, de couleur jaunâtre, forment habituellement une grappe de 4 à 8 spécimens, mais les types à petits fruits

peuvent produire une grappe de 30 à 50 fleurs. Les fleurs sont principalement auto-pollinisées par le vent. L'ovaire comporte deux carpelles soudés à la placentation axile et les placentas sont proéminents. Chez les plantes cultivées, il y a souvent 3 ou 5 loges par suite de la formation de cloisons surnuméraires.

2.5.2. Structure de fruit

Le fruit de tomate est composé du péricarpe (peau et partie charnue) et de la pulpe (placenta et graines) qui renferme les graines (figure 2.5). Le péricarpe provient de la différenciation des parois carpellaires de l'ovaire. Il peut être divisé en péricarpe externe, péricarpe radial ou «septum» (qui divise le fruit en plusieurs locules) et péricarpe interne ou «columelle». Le péricarpe externe est constitué de l'épicarpe (peau du fruit), du mésocarpe (partie charnue) et de l'endocarpe qui délimite les locules. L'épicarpe est composé d'une couche externe, l'épiderme, recouverte en surface d'une cuticule lipidique, et de 2 à 4 couches internes de cellules, l'hypoderme.

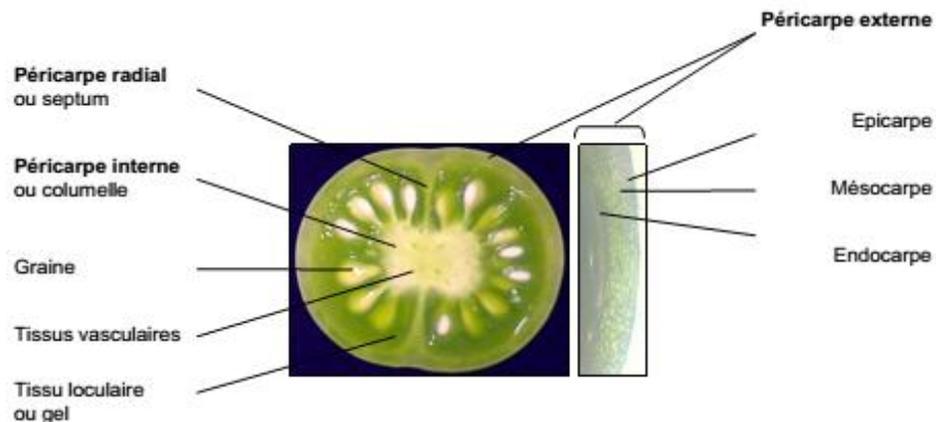


Figure 2.5 : Coupe transversale d'un fruit de tomate cerise (*Solanum lycopersicum* Mill. Var *cerasiformae*). Les différents tissus du fruit sont indiqués : péricarpe externe (épicarpe, mésocarpe, endocarpe), péricarpe radial ou septum, péricarpe interne ou columelle, cavités loculaires contenant les graines et le gel [169].

2.5.3. Développement du fruit de tomate

Dans des conditions de cultures optimales, la mesure du diamètre du fruit au cours du développement de la tomate décrit une sigmoïde (figure 2.6) et l'organogénèse du fruit peut être divisée en quatre phases successives [170] (figure A). Après la fécondation de l'ovaire, le fruit présente une phase de croissance lente durant laquelle l'activité mitotique dans l'ovaire est intense (phase de division), puis une phase de croissance rapide qui correspond à l'expansion des cellules du fruit (phase d'expansion) et en fin, une phase finale de croissance lente qui correspond aux modifications biochimiques et physiologiques du mûrissement. Suite à la mise à fruit, les 2 premières phases de croissance sont regroupées sous le terme de développement précoce du fruit de tomate. La fécondation des ovules, ainsi que le développement des embryons, assureraient le déclenchement et le maintien des processus de développement du fruit en induisant de multiples signalisations hormonales [170] et [171]. Au cours du mûrissement, et sous l'influence de l'éthylène, le fruit subit de nombreuses modifications biochimiques qui aboutissent à un fruit coloré et sucré.

2.5.3.1. La mise à fruit

Cette première étape correspond au développement de l'ovaire afin d'assurer une pollinisation efficace des ovules par le pollen de la fleur. Une fois ces tissus mis en place, la croissance de l'ovaire et des ovules cesse et la sénescence de ces structures survient si aucun événement de pollinisation n'a lieu. En effet, la transformation de l'ovaire en fruit est directement liée à l'efficacité de la fécondation puisque les hormones qui serviront au développement du fruit sont produites par les seules graines viables. Si le taux de fécondation est trop faible, l'effet sur le fruit peut se traduire par une taille réduite ou un avortement.

La fécondation fait suite à la déhiscence des anthères et à la libération du pollen. Comme les tomates cultivées sont généralement autogames, la pollinisation et la fécondation sont très rapprochées et s'avèrent difficile à séparer dans le temps. L'ensemble de ces phénomènes est souvent regroupé sous le terme d'anthèse.

2.5.3.2. La phase de division cellulaire

La fécondation des ovules déclenche l'entrée dans une nouvelle phase de développement du fruit, la phase de division cellulaire. Elle se caractérise par une reprise intense des activités de division cellulaire, qui se poursuivent jusqu'à 7 à 10 jours après anthèse (JAA). Cependant ces divisions ne sont pas uniformes au sein du fruit. Dans les jours qui suivent l'anthèse (de 2 à 4 JAA), l'épiderme, le péricarpe et le placenta sont les premiers tissus à se développer par divisions cellulaires. Dans le péricarpe, les divisions en orientation péricleinale (dont le plan de division est parallèle à la surface du fruit) entraînent l'augmentation du nombre de couches cellulaires, alors que les divisions anticlinales (perpendiculaires à la surface du fruit) augmentent le nombre de cellules par assises. Entre 4 et 6 JAA, la partie externe du péricarpe et le placenta restent des zones de divisions actives.

A partir de 6 JAA, les divisions survenant au niveau de la couche externe du placenta donnent naissance au tissu loculaire qui commence ainsi à entourer les graines en formation. A partir de 10 JAA, seules les cellules de l'épiderme poursuivent leur divisions jusqu'au début du mûrissement pour supporter l'augmentation de volume considérable du fruit durant la phase d'expansion cellulaire [172]. Il semble que le développement des embryons et des graines, sources de facteurs hormonaux, contrôle la vitesse et le maintien des divisions dans le fruit [173]. L'activité mitotique dans l'ovaire serait donc conditionnée par le nombre d'ovules fécondés.

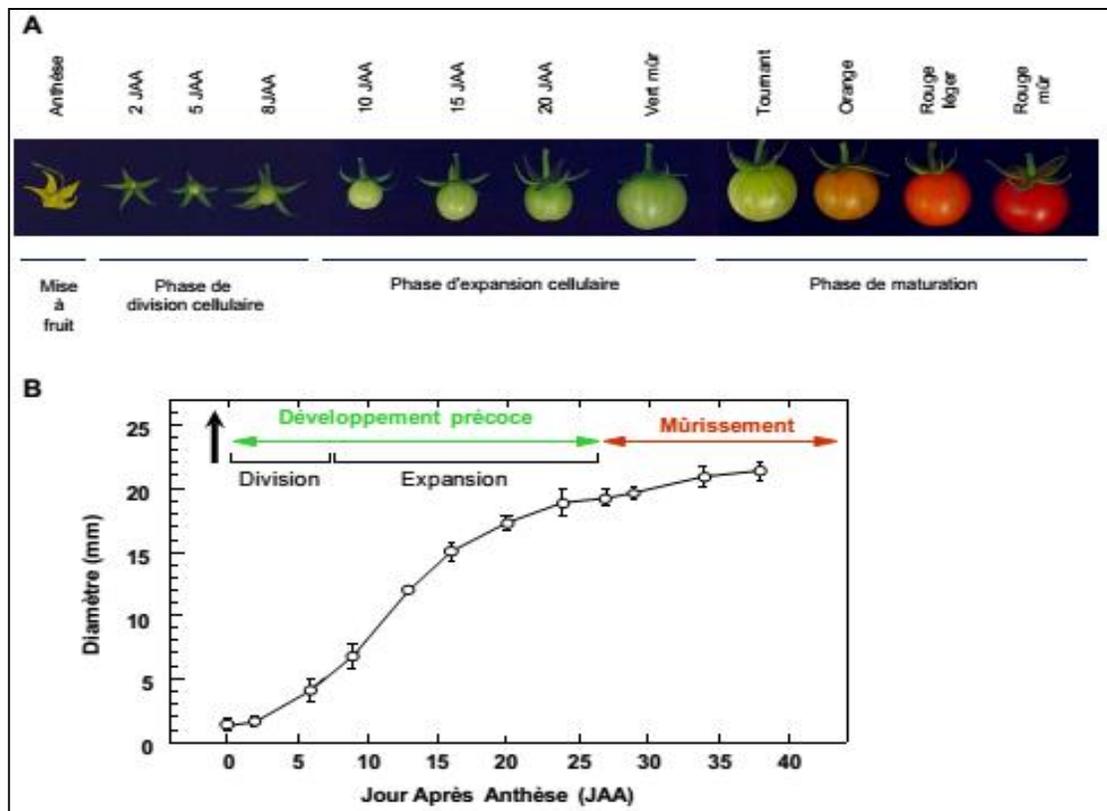


Figure 2.6 : Le développement du fruit de tomate (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiformae*) [170].

A. Fleurs et fruits de tomate à différents stades de développement.

B. Diamètre du fruit au cours des 3 phases de développement. La flèche verticale symbolise la mise à fruit.

2.5.3.3. La phase d'expansion cellulaire

Les vagues successives de divisions cellulaires, avant et après anthèse, définissent la taille potentielle du fruit, mais c'est l'expansion des cellules entre 10 et 40 JAA qui en déterminent la taille finale [174]. (Ho, 1996). Au cours du développement du fruit de nombreuses lignées de tomate, le diamètre des cellules du péricarpe passe de 10 à 350 μm , entraînant un accroissement du volume cellulaire d'un facteur supérieur à 30000 [175]. Cette croissance du volume cellulaire s'accompagne d'une forte augmentation de leur contenu en ADN nucléaire par polyploïdisation, souvent associé au phénomène de grandissement cellulaire [172]. Le péricarpe et le tissu loculaire sont les 2 tissus qui présentent les taux de polyploïdie les plus élevés et les

surfaces cellulaires les plus importantes [175]. Dans les cellules qui composent ces tissus, les vacuoles occupent une grande partie du volume et constituent d'importants compartiments de stockage des métabolites. L'expansion des cellules fait intervenir des mécanismes assurant le relâchement des parois et la diminution du potentiel hydrique des cellules [176]. Dans les fruits, le relâchement des parois s'accompagne d'une forte activité métabolique qui permet l'accumulation de sucres et d'acides organiques, la création d'un gradient de pression osmotique et une entrée d'eau massive assurant le grandissement. C'est pendant la phase d'expansion cellulaire que le fruit atteint sa vitesse de croissance et sa teneur en eau maximale : 5 à 7% de matière sèche contre 17% avant fécondation [177]. A la fin de cette période, le fruit est au stade « Vert Mûr » et a quasiment atteint son diamètre et son poids définitifs.

2.5.3.4. La phase de maturation

Le mûrissement de la tomate est défini selon 5 stades : Breaker, Tournant, Orange, Rouge Léger et Rouge Mûr. La tomate est un fruit climactérique (du latin *climactericus*, qui signifie «qui va par échelons ») au même titre que l'abricot, la pêche, la prune, la pomme, la banane ou bien la mangue. Les fruits climactériques sont caractérisés par une augmentation de la vitesse de respiration dans les stades précoces du mûrissement. Cette « crise climactérique » est associée à un pic transitoire de production d'éthylène. Ce gaz va coordonner et accélérer via l'activation de ses récepteurs (Le ETR1 à 6), de multiples mécanismes aboutissant à un pic respiratoire, un changement radical dans la composition du fruit en sucres, acides organiques, caroténoïdes, chlorophylles, une dégradation des parois cellulaires, ainsi que la synthèse de composés volatiles [178].

Le mûrissement du fruit est initié après la maturation des graines, lorsque le fruit a quasiment atteint sa taille finale. Ces changements physiologiques et biochimiques aboutissent à un fruit mûr, aux attributs organoleptiques attractifs pour le consommateur. D'un point de vue agronomique, le fruit de tomate devient alors plus fragile vis-à-vis des agressions extérieures. Les modifications majeures du mûrissement sont les suivantes [179] :

✓ **Couleur** : les chloroplastes sont transformés en chromoplastes, avec dégradation concomitante des chlorophylles et synthèse de caroténoïdes, en particulier le lycopène.

✓ **Goût** : l'acidité du fruit diminue suite à la dégradation de l'acide malique. Les teneurs en hexose augmentent sous l'effet de la dégradation des réserves d'amidon et par une importation massive dans le fruit au cours du développement. Les hexoses sont importés puis stockés dans la vacuole.

✓ **Arômes** : de nombreux composés aromatiques (esters, aldéhydes) sont synthétisés.

✓ **Texture** : la perte de fermeté du fruit résulte de la dégradation de certains des constituants des parois cellulaires (hémicelluloses, celluloses, pectines insolubles) et concorde avec une diminution de la résistance aux agents pathogènes.

[180] indiquent que cette baie peut être de couleur blanche, rose, rouge, jaune, orange, verte, et noire selon les variétés. Le fruit à maturité peut se présenter soit, rond et régulier ou côtelés lisse ou creusée de sillons (Figure 2.7). La pulpe charnue de la baie est divisée en loges (3-5) qui contiennent des graines d'un tégument gélatinisé [181].

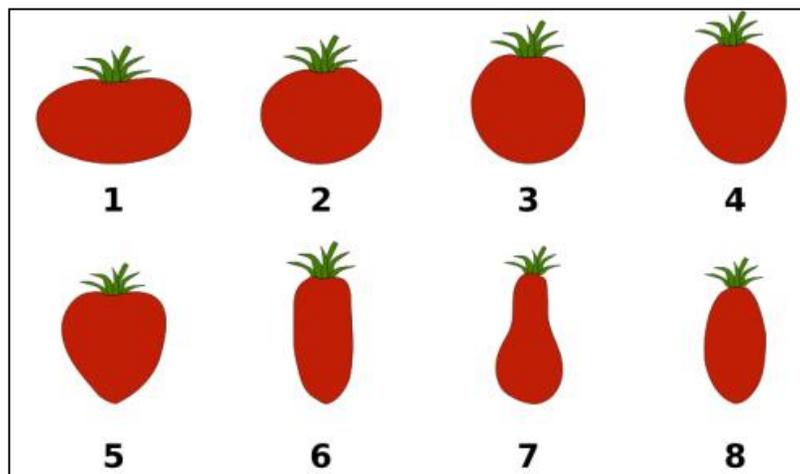


Figure 2.7 : Différentes formes de tomates utilisées pour décrire une variété [163].

- | | |
|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 : aplati | 5 : cordiforme |
| 2 : légèrement aplati | 6 : cylindrique |
| 3 : arrondi | 7 : pyriforme |
| 4 : allongé arrondi (ovoïde) | 8 : obovoïde (forme de prune) |

2.6. Importance de la tomate

2.6.1. Importance économique dans le monde

La figure 2.8 présente les paramètres économiques relatifs à la production mondiale de tomate, il s'agit de la première culture au niveau mondial avec une production de 159 millions de tonnes (Figure 2.8 A), devant la banane (106 millions de tonnes) et la pastèque (104 millions de tonnes). Le raisin et l'orange ne se classent que 5 et 6^{ème} avec des productions similaires aux alentours de 69,6 millions de tonnes [9]. Ce légume se consomme, soit cru, en mélange avec d'autres ingrédients ou en jus, soit cuit sous la forme de préparations variées à partir de produits frais ou transformés industriellement (sauce, coulis, ketchup...etc.). De cela se dégagent deux grands types de cultures de la tomate : la culture de frais, réalisée en général sous abris et récoltée manuellement et la culture d'industrie, réalisée en plein champs et récoltée mécaniquement [163].

Plus de la moitié de la production de tomate provient d'Asie et notamment de Chine (Figure 2.8 B) avec 48,5 millions de tonnes par an, suivie loin derrière par l'Inde (16,8 millions de tonnes) et les Etats-Unis (12,6 millions de tonnes) [182]. La production mondiale ne cesse d'augmenter et double tous les 10 ans, de façon constante depuis 40 ans (figure 2.8 C). L'amélioration des rendements permet d'expliquer une partie de cette augmentation, même si une stagnation a été observée entre 1991 et 2001. Cependant, la surface agricole dédiée à la culture de la tomate a doublé également tous les 10 ans, ce qui a permis d'assurer la progression de la production mondiale.

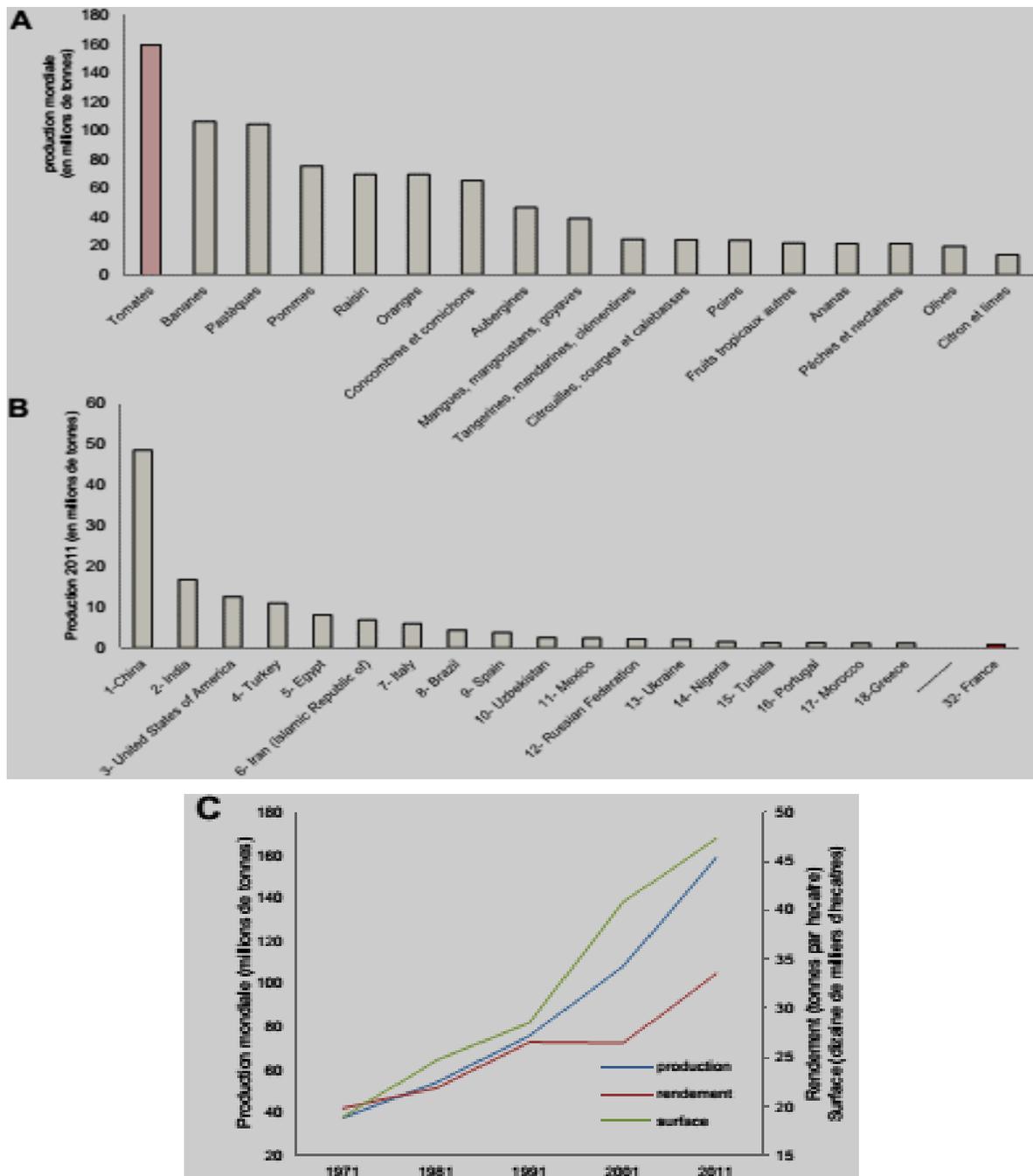


Figure 2.8 : Paramètres économiques de la production mondiale de tomates.

A. Production mondiale des principaux fruits ou groupes de fruits en 2011, exprimée en millions de tonnes. **B.** Classement mondial des pays producteurs de tomates en 2011 (production en millions de tonnes). **C.** Evolution de la production de tomate, du rendement moyen et de la superficie cultivées dédiées sur les 40 dernières années dans le monde. [9].

2.6.2. Importance économique en Algérie

La culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole algérienne. Près de 33 000 ha sont consacrés annuellement à la culture de tomate (maraîchère et industrielle), donnant une production moyenne d'environ 7 millions de quintaux et des rendements moyens d'environ 311 Qx/ha. Cette culture est en en plein expansion, à la faveur de nombreux programmes mis en place par le M.A.D.R .Pour son développement, plusieurs nouvelle techniques sont introduites ces dernières années comme : la production en hydroponie, les multi charpelles [160]. En 2010, on a eu une production de 7.1 millions de quintaux c'est-à-dire : 0,004 % de la production mondiale.

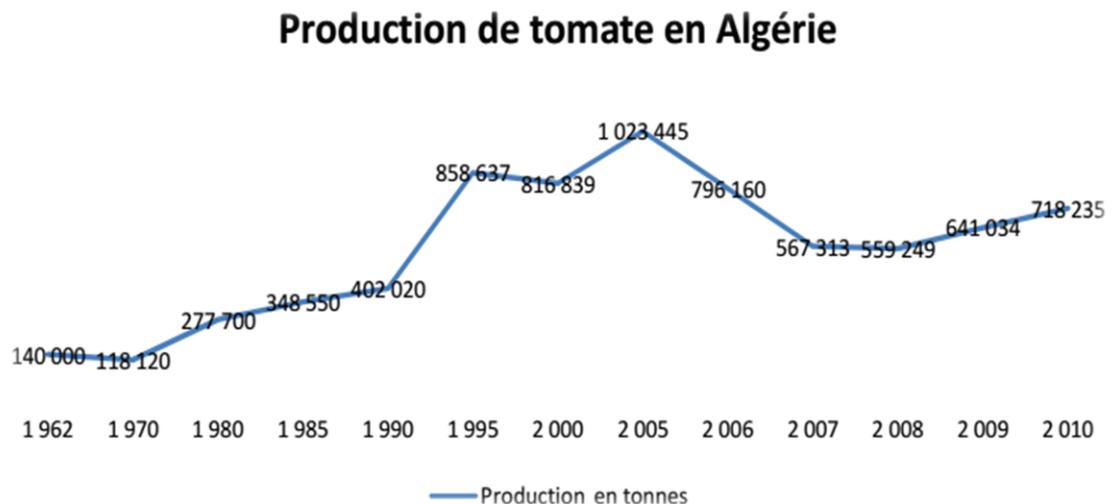


Figure 2.9 : Production de la tomate en Algérie depuis 1962 jusqu'au 2010 [183].

2.7. Importance nutritionnelle

Le fruit de la tomate est composé à 95% d'eau. Il présente un faible apport calorique (3% de glucides, 1% de protéines, traces de lipides). Il est communément admis que le rapport sucres/acides (acides principaux : acide malique et acide citrique ; sucres majoritaires : glucose, fructose) est un bon indicateur de la perception du goût de la tomate par le consommateur [184]. (Tableau 2.2). Les arômes, la texture et la jutosité sont également des critères qui entrent en jeu dans la perception de la qualité organoleptique. La tomate contient des fibres et des minéraux environ 5% de la masse totale du fruit (potassium, magnésium, calcium,...). Elle est composée majoritairement

de sucres (48% de la matière sèche totale, principalement sous forme fructose et glucose). Adaptée d'après [185] in [186].

La coloration rouge de la tomate est due à l'accumulation de caroténoïdes principalement le lycopène et le bêta-carotène [185] et [187]. Ces caroténoïdes, fortement étudiés pour leurs propriétés anti-oxydantes [188], semblent impliqués dans la protection contre certaines maladies dégénératives (cancer de la prostate, maladies cardiovasculaires). La tomate contient également d'autres molécules aux propriétés anti oxydantes, telles que des flavonoïdes et des dérivés de l'acide hydroxycinnamique.

Tableau 2.2 : Valeur nutritionnelle moyenne pour 100g de tomate [189].

Comportement de la tomate crue valeur nutritionnelle pour 100g					
Eau			93.80g		
Valeur calorique			19.00 Kcal		
Eléments énergétiques	Protéines		0.80		
	Glucides		3.50		
	Lipides		0.30		
Vitamines	Provitamine A	0.00 mg	Minéraux	Fer	0.40 mg
	Vitamine B1	0.06 mg		Calcium	9.00 mg
	Vitamine B2	0.05 mg		Magnésium	11.00 mg
	Vitamine B6	0.00 mg		Phosphore	24.00 mg
	Vitamine C	18.00 mg		Potassium	226.00 mg
	Vitamine PP	0.60 mg		Sodium	5.00 mg
Fibres		1.20 g		Soufre	11.00 mg
Cellulose		0.60g		Zinc	0.24 mg
				Chlore	40.0 g

2.8. Exigences pédoclimatiques de la culture de tomate

2.8.1. Les exigences climatiques

Le bon déroulement d'une culture de tomates dépend de la gestion d'un certain nombre de facteurs. La maîtrise de ces facteurs va avoir un impact direct sur le développement des plantes et sur leur production.

2.8.2. Température

Le développement de la tomate est directement dépendant de la température ambiante, comme pour la majorité des plantes. Etant originaire d'une région assez chaude, la tomate possède un zéro de végétation, assez élevé, de 12°C. Elle influence la croissance végétative, la formation des grappes florales, la fructification, le développement des fruits, le mûrissement et la qualité des fruits [166]. En dessous de 12°C, les fruits ne se développent pas assez pour avoir une valeur marchande. D'un autre côté, des températures supérieures à 26°C vont provoquer des problèmes de libération du pollen et réduire la quantité de matière sèche que la plante va acheminer vers les fruits. Ces problèmes vont se répercuter sur les grappes avec des déformations, des nombres de bourgeons réduits ou des fruits parthénocarpiques [190].

2.8.3. Humidité

La tomate se développe correctement sur une large gamme d'humidité de l'air mais celle-ci reste néanmoins très importante à prendre en compte. Lorsque les plantes sont jeunes, on va préférer une humidité relative modérée car l'humidité favorise le développement des feuilles. Le développement des feuilles, quant à lui, va permettre à la plante de transpirer plus, et de ce fait l'humidité ambiante risque d'augmenter. Il faut donc avoir une bonne maîtrise de l'humidité pour ne pas tomber dans ce cercle vicieux. De manière générale, en pleine période de culture, on évitera d'avoir des déficits hydriques supérieurs à 10g d'eau/kg d'air sec ou inférieurs à 2g d'eau/kg d'air sec [182].

Une humidité relative élevée associée à une atmosphère enrichie en CO₂ a pour résultat l'augmentation de la conductance stomatique des plantes. Ceci peut être utilisé dans le but de stimuler la photosynthèse, la croissance des plants de tomates et donc leur rendement à travers une augmentation de la matière sèche des fruits. Cependant, pour améliorer ce rendement de manière continue et stable, il faut avoir une bonne maîtrise de la transpiration des plantes. En effet, une humidité plus élevée a tendance à réduire la transpiration de la plante ce qui peut entraîner un problème au niveau de l'assimilation et la distribution des nutriments. D'un autre côté, une augmentation de l'humidité permet d'améliorer l'efficacité d'utilisation de l'eau par la plante. Une humidité relative de 80% semble être optimale [191].

2.8.4. Rayonnement

Comme toutes les plantes, la tomate a besoin de lumière pour se développer. Le rayonnement est primordial dans son développement puisqu'une augmentation de l'intensité lumineuse va avoir un impact sur différents phénomènes physiologiques tels que l'apparition de fleurs, de feuilles, la vitesse de maturation des fruits ou encore le taux de matière sèche dans les fruits. L'éclairage a plus d'importance durant les journées courtes et sombres de la fin d'automne et de l'hiver. De même, la réduction de la lumière baisse le pourcentage de germination du pollen [192] et [193].

Le rayonnement solaire total reçu par la plante va jouer différents rôles (Figure 8). Une partie du rayonnement reçu ($\approx 20\%$) par la plante va être réfléchi directement. Le reste va être absorbé par la plante. La majeure partie de cette énergie ($\approx 60\%$) va contribuer à la transpiration de la plante qui est une activité primordiale pour son bon développement. Une plus petite part ($\approx 20\%$) va permettre l'élévation de la température de la plante. Enfin, une part minimale ($\approx 5\%$) est utilisée par la plante pour réaliser des réactions biologiques et notamment la photosynthèse [192].

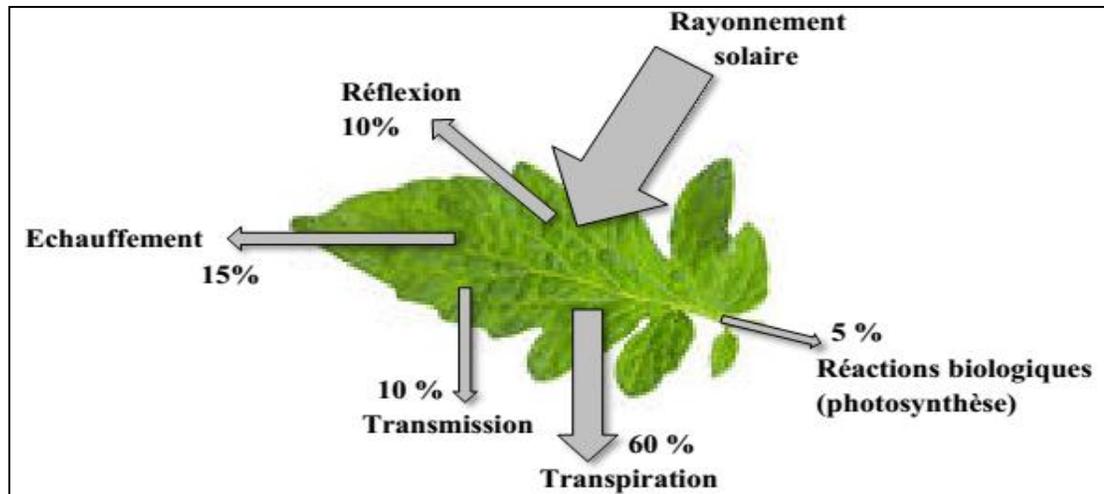


Figure 2.10 : Répartition du rayonnement incident sur une feuille de tomate [192].

2.9. Les exigences édaphiques

En général, la tomate n'a pas de besoins particuliers en matière de structure du sol. Néanmoins, elle préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées. La couche superficielle du terrain doit être perméable. Une profondeur de sol de 15 à 20 cm est favorable à la bonne croissance d'une culture saine. Dans les sols d'argile lourde, un labourage profond permettra une meilleure pénétration des racines [166].

La culture de la tomate tolère une large gamme de pH [194]. (et *al.*, 2003). Elle pousse mieux dans des sols où la valeur du pH varie entre 5,5 et 6,8 et où l'approvisionnement en éléments nutritifs est adéquat et suffisant [166]. Inversement, sur des sols à pH basique, certains microéléments (Fe, Mn, Zn, Cu) restent peu disponibles à la plante.

Les sols qui contiennent beaucoup de matière organique, comme les sols tourbeux, sont moins appropriés dû à leur forte capacité de rétention d'eau et à une insuffisance au niveau des éléments nutritifs [166].

CHAPITRE 3

MATERIELS ET METHODES

3.1. Objectif de l'expérimentation

Le but de ce travail s'inscrit dans le cadre de la gestion et la valorisation des eaux salines d'origine souterraine des régions semi-arides et arides utilisées dans l'irrigation des cultures. La majorité de ces eaux est fréquemment riches en sels avec une salinité dépassant généralement 3 g/L. Pour cela, une eau de la région de Gassi Touil (Wilayat de Ouargla) choisie comme eau saline de départ.

Le premier volet du travail consiste à analyser l'eau de Gassi Touil, puis la reconstituée avec l'eau de Blida au niveau du site d'expérience compte tenu d'un côté l'impossibilité de l'approvisionnement de cette eau durant toute la période de notre expérience et aussi en raison des besoins élevés en eau des plantes en cours de culture de l'autre côté. Cette reconstitution était réalisée dans un premier lieu avec le choix de sels appropriés afin qu'un total d'anions et cations soit le plus proche possible de l'analyse initiale.

Le deuxième volet de notre travail consiste à élaborer des solutions d'irrigation dont la concentration en sel est plus ou moins identique que celle de Gassi Touil et ce dans le but d'identifier le sel qui manifeste l'agressivité la plus accrue vis-à-vis des deux variétés de tomate testées. Les éléments sodium, magnésium soient testés séparément ou en combinaison aux sulfates ou les chlorures. Ainsi, une combinaison à base de sulfate de sodium ou sulfate de magnésium avec les chlorures de calcium a été également testée.

Divers paramètres morphologiques et physiologiques ont été mesurés au cours de culture de deux variétés testée.

3.2. Matériel végétal et systèmes de culture

3.2.1. Matériel végétal testé

L'étude présentée dans ce travail a été réalisée sur la tomate (***Lycopersicum esculuntum** Mill*) qui est considérée parmi les espèces légumières la plus demandée sur le marché agricole. Cette culture appartient à la famille des **Solanacées**. Les différentes variétés utilisées dans cette étude (Marmande et Saint-Pierre) sont des variétés fixes, peu tolérante à la salinité.

Les semences de ces variétés ont été ramenées de l'institut technique des cultures maraichères et industrielles (ITCMI) de la région de Staouali située dans la wilaya d'Alger. Elle est originaire de France, récoltée en 2008 avec une pureté spécifique de 99%.

3.2.2. Procédés de culture de la tomate

3.2.2.1. Stérilisation des graines

Cette opération a été utilisée dans le but d'obtenir des jeunes plantules âgées de 15 jours. Les graines des deux variétés de tomate sont stérilisées par trempage successif dans les bains suivants :

- ✓ Hypochlorite de sodium à 15% pendant 2 minutes ;
- ✓ Deux rinçages à l'eau distillée ;
- ✓ Alcool 90° pendant une minute.

3.2.2.2. Pré-germination des grains de tomate

Dans les expériences où les plantules seront cultivées en hydroponie, 45 grains de chaque variété ont été disposées dans des boîtes de Pétri rondes contenant une feuille de papier Whatman humectée d'eau et mise à germer dans une étuve à 25°C (Figure 3.11).

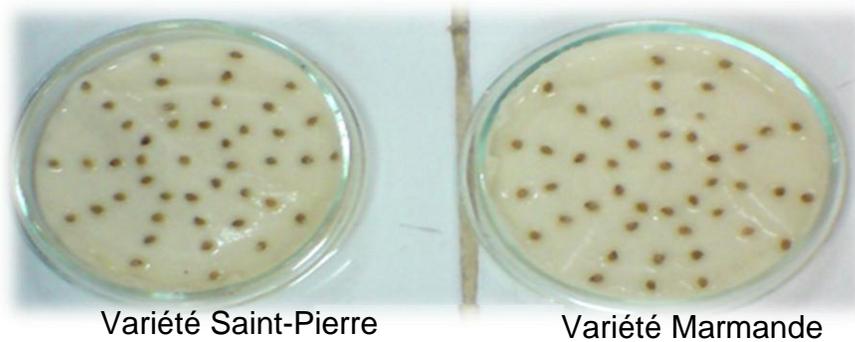


Figure 3.11 : Graines de tomate mises en germination à 25C° dans les boîtes de Pétri.

3.3. Lieu de l'expérience

Nos cultures ont été conduites dans une serre en polycarbonate au laboratoire de recherche en biotechnologies des productions végétales, de l'Université de Blida1. La température favorable est assurée par les radiateurs à eau chaude pendant la saison froide. L'aération est assurée par des fenêtres placées de part et d'autre de la serre (Figure 3. 12). Il est à noter que notre expérimentation a été menée en hors sol, dont le substrat utilisé est le gravier de rivière de diamètre 3-8 mm. Un lavage puis une désinfection de ce support jugé utile pour éliminer d'une part, tout risque de contamination de la culture causé par ce milieu et d'autre part écarter les particules terreuses ainsi le restant des racines du précédent culturel.



Figure 3.12 : Localisation géographique de lieu de culture.

3.4. Culture de la tomate en système hydroponique

Après 7 jours de germination dans les boîtes de Pétri dans l'étuve, et après que les germes aient atteint 1 cm de longueur, ils ont été repiqués sur un dispositif hydroponique dont le surplus de la solution d'irrigation est évacuée par les orifices de drainage à la base du pot. Dans les expériences de stress sur plante entière, la composition de la solution nutritive standard durant les deux premières semaines est [meq/l] : $\text{NO}_3^- = 10,20$; $\text{SO}_4^{2-} = 1,50$; $\text{PO}_4^{3-} = 3,30$; $\text{Cl}^- = 0,60$; $\text{H}^+ = 3,30$; $\text{Na}^+ = 1,30$; $\text{K}^+ = 4,25$; $\text{Ca}^{+2} = 5,10$; $\text{Mg}^{+2} = 1,80$; $\text{NH}_4^+ = 1,80$. Le pH de cette solution est ajusté à 5,66 et la conductivité électrique (CE) est de 2.11 mmhos/cm

3.5. Transplantation des plants de tomate

Les graines germées sont transplantées en pot de capacité 5 litres à raison d'une plantule par pot pour la suite de leur cycle de développement dans ce milieu. Avant la transplantation, les pots sont rincés, remplis du gravier puis humidifiés pour éviter le dessèchement des jeunes germes après le repiquage. Après le repiquage, les pots sont ensuite arrosés quotidiennement avec de l'eau tiède pendant une semaine. Par la suite, une irrigation par la solution nutritive standard durant la deuxième semaine c'est avérée indispensable afin d'avoir un matériel végétal de départ homogène.



Figures 3.13 : Différentes étapes de la culture de tomate réalisées. **A** : Aspect général des germes de tomate après la germination, **B** : Transplantation des germes de tomate dans le milieu définitif, **C** : Matériel végétal au début de traitement.

3.6. Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental adopté dans notre expérience est un plan complètement randomisé avec un seul facteur étudié qui est la solution d'irrigation. Ce dernier est composé de dix traitements qui ont été distribués d'une manière aléatoire dans les unités expérimentales selon une table de permutation de 1 à 10. Chaque traitement était répliqué neuf fois. Soit 90 plants au total pour chaque variété cultivés et 180 plantules au total.

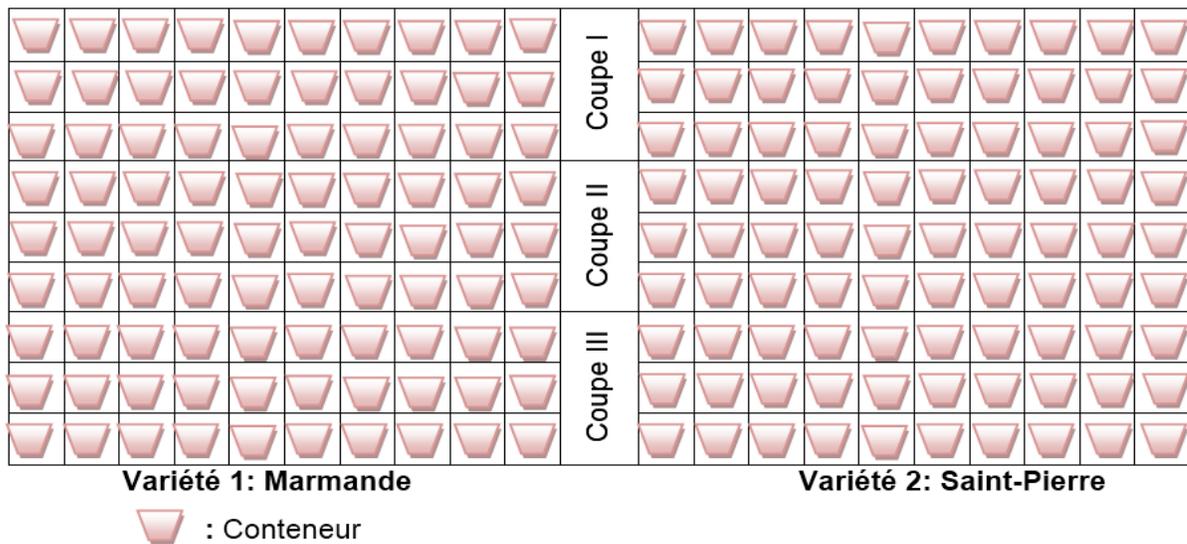


Figure 3.14 : Schéma de dispositif expérimental adopté.

3.7. Mode d'application de stress aux plantules de tomate

Les graines ont passé 15 jours en pré-culture dans une étuve. Après la phase juvénile, trois périodes d'application de stress ont été retenues : (1) Une période avant application du stress salin où les plantules ont reçu une solution nutritive standard identique à celle où elles avaient poussées précédemment ; (2) Une période de stress léger dont sa durée d'application est 20 jours ; (3) une période de stress modéré dont sa durée d'application est 65 jours et enfin, (4) une période de stress sévère dont sa durée était de 110 jours.

3.8. Techniques de préparation des différents traitements

En pratique, les eaux salines d'origines diverses testées durant notre expérimentation n'étant pas disponibles en volume suffisant pour être expérimentées sur le site expérimental. Il a fallu les reconstituer à partir de l'eau de Blida de pH = 7,80, composée de [mol/l] : **NO₃⁻** = 0,35 ; **PO₄³⁻** = 0,00 ; **SO₄²⁻** = 0,80 ; **Cl⁻** = 0,60 ; **HCO₃⁻** = 4,08 ; **K⁺** = 0,00 ; **Na⁺** = 1,30 ; **Ca⁺²** = 2,80 ; **Mg⁺²** = 1,80 ; **NH₄⁺** = 0,00. Le **pH** de cette solution est ajusté à 5,70 et la conductivité électrique (**CE**) est de 2,11mmhos/cm.

De façon pratique, cette reconstitution ne peut être à l'identique si l'on veut respecter un pH final de 5,8. Par conversion, on se base donc à respecter les concentrations en cations et à admettre une légère variation de la concentration en chlorures et en sulfates. La reconstitution a été réalisée comme suit : En prenant en compte les éléments minéraux déjà présents dans l'eau de Blida (anions et cations). En apportant les éléments manquants afin d'avoir un total anion et cations le plus proche possible de l'analyse initiale.

Les tableaux suivants montrent la composition des traitements testés :

Tableau 3.3 : Eau saline naturelle de Gassi Touil reconstituée avec l'eau de Blida

Eau Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ⁻³ 0,00	SO ₄ ⁻² 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ 0,00			1,95		1,95
Na ⁺ 1,30			12,42	16,73	30,45
Ca ⁺² 2,80				13,90	16,70
Mg ⁺² 1,80				5,45	7,25
NH ₄ ⁺ 0,00					0,00
HCO ₃ 0,00					0,00
Total	0,35	0,00	15,17	36,68	

Quantité et ordre de dissolution des sels dans cette solution [mg/l]

- $K_2SO_4 = 1,95 \times 87 = 169,65$
- $Na_2SO_4 = 12,42 \times 71,02 = 882,06$
- $NaCl = 16,73 \times 58,44 = 977,70$
- $CaCl_2 = 13,90 \times 73,51 = 1021,78$
- $MgCl_2 = 5,45 \times 101,65 = 553,99$
- Quantités des sels dans l'eau de Blida = 433,90

Total = 4039,08 mg/l

Tableau 3.4 : Eau saline corrigée de Gassi Touil reconstituée avec l'eau de Blida

Eau Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ⁻³ 0,00	SO ₄ ⁻² 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ 0,00				9,10	9,10
Na ⁺ 1,30			14,75	14,40	30,45
Ca ⁺² 2,80	5,85			8,25	16,90
Mg ⁺² 1,80				5,45	7,25
NH ₄ ⁺ 0,00	1,80				1,80
H ⁺ 0,00	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	15,55	37,80	

Quantité et ordre de dissolution des sels dans cette solution [mg/l]

- $\text{HNO}_3 = 2,20 \times 63 = 138,60$
- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1,10 \times 98 = 107,80$
- $\text{KCl} = 9,10 \times 74,50 = 677,95$
- $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 14,75 \times 71,02 = 1047,54$
- $\text{NaCl} = 14,40 \times 58,44 = 841,53$
- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = 5,85 \times 118,07 = 690,70$
- $\text{CaCl}_2 = 8,25 \times 73,51 = 606,45$
- $\text{MgCl}_2 = 5,45 \times 101,65 = 553,99$
- $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1,80 \times 80,40 = 144,72$
- Quantités des sels dans l'eau de Blida = 433,90
- Oligo-éléments A et B = 14,80

Total = 5257,98 mg/l

Tableau 3.5 : Eau de Blida enrichie en NaCl

Eau Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ⁻³ 0,00	SO ₄ ⁻² 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ 0,00	3,55		0,70		4,25
Na ⁺ 1,30				29,15	30,45
Ca ⁺² 2,80	2,30				5,10
Mg ⁺² 1,80					1,80
NH ₄ ⁺ 0,00	1,80				1,80
H ⁺ 0,00	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	1,50	29,75	

Quantité et ordre de dissolution des sels dans cette solution [mg/l]

- $\text{HNO}_3 = 2,20 \times 63 = 138,60$
- $\text{H}_3\text{PO}_4 = 1,10 \times 98 = 107,80$
- $\text{KNO}_3 = 3,55 \times 101,10 = 358,90$
- $\text{K}_2\text{SO}_4 = 0,70 \times 87 = 60,90$
- $\text{NaCl} = 29,15 \times 58,44 = 1703,81$
- $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 2,30 \times 118,07 = 271,56$
- $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1,80 \times 80,40 = 144,72$
- Quantités des sels dans l'eau de Blida = 433,90
- Oligo-éléments A et B = 14,80

Total = 3238,99 mg/l

Tableau 3.6 : Eau de Blida enrichie en Na₂SO₄

Eau Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ⁻³ 0,00	SO ₄ ⁻² 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ 0,00	3,55		0,70		4,25
Na ⁺ 1,30			29,15		30,45
Ca ⁺² 2,80	2,30				5,10
Mg ⁺² 1,80					1,80
NH ₄ ⁺ 0,00	1,80				1,80
H ⁺ 0,00	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	30,65	0,60	

Quantité et ordre de dissolution des sels dans cette solution [mg/l]

- HNO₃ = 2,20 × 63 = 138,60
- H₃PO₄ = 1,10 × 98 = 107,80
- KNO₃ = 3,55 × 101,10 = 358,90
- K₂SO₄ = 0,70 × 87 = 60,90
- Na₂SO₄ = 29,15 × 71,02 = 2070,23
- Ca(NO₃)₂ + 2H₂O = 2,30 × 118,07 = 271,56
- NH₄NO₃ = 1,80 × 80,40 = 144,72
- Quantités des sels dans l'eau de Blida = 433,90
- Oligo-éléments A et B = 14,80

Total = 4279,36 mg/l

Tableau 3.7 : Eau de Blida enrichie en $MgSO_4$

Eau Blida	NO_3^- 0,35	PO_4^{-3} 0,00	SO_4^{-2} 0,80	Cl^- 0,60	Total
K^+ 0,00	3,55		0,70		4,25
Na^+ 1,30					1,30
Ca^{+2} 2,80	2,30				5,10
Mg^{+2} 1,80			5,45		7,25
NH_4^+ 0,00	1,80				1,80
H^+ 0,00	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	6,95	0,60	

Quantité et ordre de dissolution des sels dans cette solution [mg/l]

- $HNO_3 = 2,20 \times 63 = 138,60$
- $H_3PO_4 = 1,10 \times 98 = 107,80$
- $KNO_3 = 3,55 \times 101,10 = 358,90$
- $K_2SO_4 = 0,70 \times 87 = 60,90$
- $Ca(NO_3)_2 + 2H_2O = 2,30 \times 118,07 = 271,56$
- $NH_4NO_3 = 1,80 \times 80,40 = 144,72$
- $MgSO_4 = 5,45 \times 123,24 = 671,65$
- Quantités des sels dans l'eau de Blida = 433,90
- Oligo-éléments A et B = 14,80

Total = 2202,83 mg/l

Tableau 3.8 : Eau de Blida enrichie en $MgCl_2$

Eau Blida	NO_3^-	PO_4^{-3}	SO_4^{-2}	Cl^-	Total
	0,35	0,00	0,80	0,60	
K^+ 0,00	3,55		0,70		4,25
Na^+ 1,30					1,30
Ca^{+2} 2,80	2,30				5,10
Mg^{+2} 1,80				5,45	7,25
NH_4^+ 0,00	1,80				1,80
H^+ 0,00	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	1,50	6,05	

Quantité et ordre de dissolution des sels dans cette solution [mg/l]

- $HNO_3 = 2,20 \times 63 = 138,60$
- $H_3PO_4 = 1,10 \times 98 = 107,80$
- $KNO_3 = 3,55 \times 101,10 = 358,90$
- $K_2SO_4 = 0,70 \times 87 = 60,90$
- $Ca(NO_3)_2 = 2,30 \times 118,07 = 271,56$
- $NH_4NO_3 = 1,80 \times 80,40 = 144,72$
- $MgCl_2 = 5,45 \times 101,65 = 553,99$
- Quantités des sels dans l'eau de Blida = 433,90
- Oligo-éléments A et B = 14,80

Total = 2085,17 mg/l

Tableau 3.9 : Eau de Blida enrichie en NaCl + Na₂SO₄

Eau Blida	NO ₃ ⁻ 0,35	PO ₄ ⁻³ 0,00	SO ₄ ⁻² 0,80	Cl ⁻ 0,60	Total
K ⁺ 0,00	3,55		0,70		4,25
Na ⁺ 1,30			15,22	15,22	30,45
Ca ⁺² 2,80	2,30				5,10
Mg ⁺² 1,80					1,80
NH ₄ ⁺ 0,00	1,80				1,80
H ⁺ 0,00	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	16,72	15,82	

Quantité et ordre de dissolution des sels dans cette solution [mg/l]

- HNO₃ : 2,20 × 63 = 138,60
- H₃PO₄ : 1,10 × 98 = 107,80
- KNO₃ : 3,55 × 101,10 = 358,90
- K₂SO₄ : 0,70 × 87 = 60,90
- Na₂SO₄ : 15,22 × 71,02 = 1080,92
- NaCl : 15,22 × 58,44 = 889,45
- Ca(NO₃)₂ : 2,30 × 118,07 = 271,56
- NH₄NO₃ : 1,80 × 80,40 = 144,72
- Quantités des sels dans l'eau de Blida : 433,90
- Oligo-éléments A et B = 14,80

Total = 3501,55 mg/l

Tableau 3.10 : Eau de Blida enrichie en $MgSO_4+MgCl_2$

Eau Blida	NO_3^- 0,35	PO_4^{-3} 0,00	SO_4^{-2} 0,80	Cl^- 0,60	Total
K^+ 0,00	3,55				3,55
Na^+ 1,30					1,30
Ca^{+2} 2,80	2,30				5,10
Mg^{+2} 1,80			2,72	2,72	7,25
NH_4^+ 0,00	1,80				1,80
H^+ 0,00	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	3,52	3,32	

Quantité et ordre de dissolution des sels dans cette solution [mg/l]

- HNO_3 : $2,20 \times 63 = 138,60$
- H_3PO_4 : $1,10 \times 98 = 107,80$
- KNO_3 : $3,55 \times 101,10 = 358,90$
- $Ca(NO_3)_2$: $2,30 \times 118,07 = 271,56$
- NH_4NO_3 : $1,80 \times 80,40 = 144,72$
- $MgCl_2$: $2,72 \times 101,65 = 276,48$
- $MgSO_4$: $2,72 \times 123,24 = 335,21$
- Quantités des sels dans l'eau de Blida : 433,90
- Oligo-éléments A et B = 14,80

Total = 2081,87 mg/l

Tableau 3.11 : Eau de Blida enrichie en Na_2SO_4 associé au CaCl_2

Eau Blida	NO_3^- 0,35	PO_4^{3-} 0,00	SO_4^{2-} 0,80	Cl^- 0,60	Total
K^+ 0,00				1,95	1,95
Na^+ 1,30			29,15		30,45
Ca^{+2} 2,80				14,10	16,90
Mg^{+2} 1,80					1,80
NH_4^+ 0,00	1,80				1,80
H^+ 0,00	2,20	1,10			3,30
Total	4,35	3,30	29,95	16,65	

Quantité et ordre de dissolution des sels dans cette solution [mg/l]

- HNO_3 : $2,20 \times 63 = 138,60$
- H_3PO_4 : $1,10 \times 98 = 107,80$
- KCl : $1,95 \times 74,50 = 145,27$
- NH_4NO_3 : $1,80 \times 80,40 = 144,72$
- CaCl_2 : $14,10 \times 118,07 = 1664,78$
- Na_2SO_4 : $29,15 \times 71,02 = 2070,23$
- Quantités des sels dans l'eau de Blida = 433,90

Total = 4705,30 mg/l

Tableau 3.12 : Eau de Blida enrichie en $MgSO_4$ associé au $CaCl_2$

Eau Blida	NO_3^- 0,35	PO_4^{3-} 0,00	SO_4^{2-} 0,80	Cl^- 0,60	Total
K^+ 0,00				1,95	1,95
Na^+ 1,30					1,30
Ca^{+2} 2,80				14,10	16,90
Mg^{+2} 1,80			5,45		1,80
NH_4^+ 0,00	1,80				1,80
HCO_3 0,00	2,20	1,10			3,30
Total	4,35	3,30	6,25	16,65	

Quantité et ordre de dissolution des sels dans cette solution [mg/l]

- $HNO_3 = 2,20 \times 63 = 138,60$
- $H_3PO_4 = 1,10 \times 98 = 107,80$
- $KCl = 1,95 \times 74,50 = 145,27$
- $NH_4NO_3 = 1,80 \times 80,40 = 144,72$
- $CaCl_2 = 14,10 \times 73,51 = 1036,49$
- $MgSO_4 = 5,45 \times 123,24 = 671,65$
- Quantités des sels dans l'eau de Blida = 433,90

Total = 2678,43 mg/l

Le tableau suivant résume la composition des différents traitements testés (exprimé en meq/l).

Tableau 3.13 : Composition générale des différents traitements testé durant notre expérimentation

Références Eaux	pH	CE	NO ₃ ⁻	H ⁺	NH ₄ ⁺	PO ₄ ⁻³	Cl ⁻	SO ₄ ⁻²	Na ⁺	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺
SSN*	7.80	2,94	0,35	0,00	0,00	0,00	36,68	15,17	30,45	16,90	7,25	1,95
SSC**	5.60	3.11	10,20	3,30	1,80	3,30	37,80	15,55	30,45	16,90	7,25	9,10
Eau de Blida + NaCl	5,79	2,99	10,20	3,30	1,80	3,30	29,75	1,50	30,45	5,10	1,80	4,25
Eau de Blida + Na ₂ SO ₄	5,67	3,43	10,20	3,30	1,80	3,30	0,60	30,65	30,45	5,10	1,80	4,25
Eau de Blida + MgCl ₂	5.67	2.79	10,20	3,30	1,80	3,30	5,45	1,50	1,30	5,10	7,25	4,25
Eau de Blida + MgSO ₄	5.80	2.81	10,20	3,30	1,80	3,30	0,60	6,05	1,30	5,10	7,25	4,25
Eau de Blida + Na ₂ SO ₄ +NaCl	5,75	2,97	10,20	3,30	1,80	3,30	16,72	15,82	30,45	5,10	1,80	4,25
Eau de Blida + MgSO ₄ +MgCl ₂	5.80	2.78	10,20	3,30	1,80	3,30	3,32	3,52	1,30	5,10	7,25	4,25
Eau de Blida + CaCl ₂ +Na ₂ SO ₄	5.78	2.97	4,35	3,30	1,80	3,30	16,65	29,95	30,45	16,90	1,80	1,95
Eau de Blida + CaCl ₂ +MgSO ₄	5.82	2.97	4,35	3,30	1,80	3,30	16,65	6,25	1,30	16,90	7,25	1,95

*SSN : Solution Saline Naturelle

**SSC : Solution Saline Corrigée

Les différents traitements sont élaborés à base de solution mère de macroéléments puis dilué au moment de la préparation de la solution prête à l'utilisation. En dernier lieu, nous avons rajoute une solution d'oligoéléments composée des deux solutions complémentaires d'oligoéléments préconisées par Coic et Lesaint. Le contrôle de pH de la conductivité électrique est obligatoire avant chaque utilisation.

Tableau 3.14 : Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B

Solution « A »			Solution « B »		
Eléments	Dose (g/l)	Prélèvement (ml)	Eléments	Dose (g/l)	Prélèvement (ml)
Molybdate d'ammonium	0,50	0,10	Séquestré ne de fer	2	5
Acide borique	15				
Sulfate de manganèse	20				
Sulfate de cuivre	2,50				
Sulfate de zinc	10				

3.9. Estimation des besoins hydrominéreaux journaliers des plantes

Il est important de noter qu'en culture hors sol, la connaissance des besoins hydrominéreaux journaliers des cultures afin de pouvoir rationaliser ceci, selon les stades de développement du végétal et ce pour éviter les éventuels excès de solution nutritifs administrés. Pour calculer quotidiennement le volume de la solution nutritive à donner pour chaque plante, nous avons installé un dispositif appelé bloc ETM (Evapotranspiration maximale) au voisinage du dispositif expérimental, mis en point par [195] in [196].

Le procédé consiste à alimenter les plantes du bloc ETM quotidiennement avec un volume de solution nutritive connue et ce au goutte à goutte. Le bilan hydrominéral journalier est obtenu en faisant la différence entre l'apport initial et celle du drainage après 24 heures. Une mesure de pH et de la conductivité électrique de la solution drainante c'est avérée nécessaire.

Les besoins journaliers des plants expérimentés sont calculés en fonction de l'évapotranspiration réelle maximale de la veille, majorité d'un drainage de 30%. Les doses et les fréquences des arrosages varient suivant les différents stades

physiologiques de la plante et les conditions microclimatiques ambiantes. Plus la température est élevée plus les besoins en eau des plantes sont élevés. De ce fait, il nous a paru de réduire les doses d'apport et d'en augmenter les fréquences d'arrosages afin de mieux valoriser la solution mise à la disposition de la plante.

Tableau 3. 15. Doses et fréquence des irrigations

	Stade physiologique	La dose d'irrigation	La fréquence
20 jours de stress	15 jour de repiquage au Stade cinq feuilles	250 ml	3 fois / jours
65 jours de stress	Stade cinq feuilles au Début floraison	450 ml	4 fois / jours
110 jours de stress	Début floraison à la pleine fructification	600 ml	6 fois / jours

3.10. Analyses morphologiques

Les mesures morphologiques ont été faites sur les deux variétés de tomates cultivées pendant : (i) plantules âgées de 45 jours soit 20 jours de stress, (ii) plantules âgées de 90 jours soit 65 jours de stress et (iii) des mesure sur les plantes entières, ceci correspond à des plants âgées de 135 jours soit 110 jour de stress.

On ce qui concerne ces mesures, nous avons mesurés le nombre total des feuilles. Des longueurs des tiges ont été déterminées à l'aide d'une règle graduée en mm. Le diamètre au collet a été réalisé à l'aide d'un pied à coulisse numérique. Des biomasses fraîches et sèches de la parties aérienne (feuilles et tiges) et racinaire ont été calculées par un balance puis nous allons déterminés la matière sèche de la partie aérienne et racinaire.

3.11. Analyses physiologiques

Plusieurs paramètres physiologiques ont été mesurées : (i) la teneur des feuilles en chlorophylle (a) et (b), (ii) la teneur des racines, tiges, feuilles basales, médianes et apicales en proline.

3.11.1. Teneur des feuilles en pigments chlorophylliens

Les teneurs en chlorophylle (a) et chlorophylle (b) sont déterminées selon la méthode utilisée par [197] citée par [198]. Environ 0,1 g d'échantillon de feuilles fraîchement coupées et bien mélangées, qui a été prélevé sur des feuilles complètement développées à la même position dans chaque traitement, a été extrait avec 10 ml d'acétone à 95%. Le pigment a été extrait dans l'obscurité puis mis à 4°C pendant 48 h. L'absorbance a été mesurée avec un spectrophotomètre Shimadzu UV-2550 à 664 et 649 nm. Les teneurs en chlorophylle a (Chl a) et en chlorophylle b (Chl b) ont été calculées en utilisant les formules suivants. Les résultats sont exprimés en mg.g^{-1} du poids frais (MF).

$$C a (\mu\text{g.g}^{-1} \text{ MF}) = 13,36A_{664} - 5,19A_{649}$$

$$C b (\mu\text{g.g}^{-1} \text{ MF}) = 27,43A_{649} - 5,10A_{664}$$

Où, C a et C b, étaient les concentrations de Chl a et Chl b, respectivement. A_{664} et A_{649} étaient les absorbances de la solution d'extrait de pigment au 664 et 649 nm de longueur d'onde, respectivement

3.11.2. Détermination des teneurs des feuilles en proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par [199] simplifiée et mise au point par [200] et modifiées par [201]. Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon. La méthode consiste à mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai au quelle on ajoute 2 ml de Méthanol à 40%. Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85 °C pendant 60 min. Après

refroidissement, prélever 1 ml de la solution de chaque tube puis mettre dans de nouveaux tubes au quelle on ajouter 1 ml d'acide acétique + 25 mg de ninhydrine. + 1 ml d'un mélange contenant 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho phosphorique. Après, il faut Porter les tubes à essai à ébullition au bain Marie durant 30 min. Après refroidissement des solutions, ajouter 5 ml de toluène dans chaque tube. Après agitation au vortex deux phases apparaissent, il faut prélever la phase supérieure au quelle on ajouter 5 mg du sulfate de sodium, laisser au repos pendant 48h.

On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm. La détermination de la teneur de la proline est réalisée selon la formule : **Proline ($\mu\text{g/g MF}$) = $\text{DO}_{528} \times 0.62$**

On ce qui concerne les paramètres de production, un comptage des fleurs puis de fruits ont étaient réalisés. De plus, un nombre de fleurs avortées était calculé par la différence entre le nombre total de fleurs apparues et le nombre total fleurs transformée en fruits.

3.12. Analyses statistiques

Tous les essais ont été répétés trois fois, concernant les mesures des paramètres morfo-physiologiques en relation avec la résistance au stress salin. Les résultats, présentés sous forme des tableaux, rejoignent le plus souvent des valeurs moyennes encadrées par leurs écart-types, ces derniers ont été réalisés par le logiciel Excel. Les résultats sont soumis à l'analyse de la variance à un facteur fixe et les moyennes sont comparées selon la méthode de Newman et Keuls, basée sur la plus petite amplitude significative, en s'aidant du logiciel XLSTAT 2017 version.4.46756.

CHAPITRE 4

RESULTATS ET DISCUSSIONS

4.1. Effet de la salinité sur le bilan d'absorption hydrominérale des plantes

Durant notre expérimentation, l'effet traitement a été bien remarqué sur les plantes des deux variétés de tomate testées. Une observation globale des plantes a permis de distinguer que les plantes irriguées par les solutions salines naturelles sont chétives, de couleurs jaunâtre avec un nombre réduit de feuilles, une biomasse fraîche et sèche réduite, et ce durant les trois périodes de stress étudiée. Par contre, la correction de la solution saline naturelle s'est traduite par plantes vigoureuses de couleurs vertes foncées avec un nombre de feuilles élevées avec une surface foliaire importante.

Nous remarquons qu'après 20 jours de stress que les besoins des plantules de deux variétés de tomate testées restent relativement faibles au niveau du traitement salin naturelle et ce par rapport aux autres traitements à raison du déséquilibre ionique du milieu nutritif (Annexe 01 et 02). A l'inverse, chez la variété Marmande, le milieu alimentaire contenant Na_2SO_4 et Na_2SO_4 associé au NaCl révèlent des taux d'absorption les plus importants par rapport aux autres traitements (Tableau 4.16). D'autre part, les milieux nutritifs contenant du MgSO_4 associé au CaCl_2 et la solution saline naturelle exercent au niveau de la variété Saint-Pierre un effet dépressif le plus remarquable. En revanche, le milieu enrichi en Na_2SO_4 associé au NaCl révèle le taux d'absorption le plus important. De plus, les milieux alimentaires enrichis en Na_2SO_4 , le Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le MgSO_4 associé au CaCl_2 exercent des régressions du taux d'absorption de 29,45 ; 23,83 et 33,15% respectivement chez la variété Saint-Pierre comparativement à la variété Marmande. En revanche, la présence du MgCl_2 , MgSO_4 et le MgSO_4 associé au MgCl_2 exercent des gains de 19,52 ; 9,75 et 30,32% respectivement chez la variété Saint-Pierre comparativement à la variété Marmande.

Tableau 4.16 : Bilan d'absorption hydrominérale des deux variétés de tomate cultivées

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
Volume apporté	250 ml	450 ml	600 ml	250 ml	450 ml	600 ml
SSN	31,73 ± 3,60 g	41,27 ± 0,56 f	16,11 ± 2,83 f	32,93 ± 0,82 g	52,78 ± 6,32 f	23,06 ± 1,42 f
SSC	76,00 ± 1,60 c	81,35 ± 4,79 c	79,72 ± 3,22 c	77,20 ± 3,68 c	82,78 ± 1,27 c	51,39 ± 3,93 d
NaCl	82,93 ± 0,82 b	77,38 ± 4,53 d	67,78 ± 1,50 e	80,00 ± 0,65 b	90,32 ± 1,74 a	53,61 ± 2,58 d
Na ₂ SO ₄	86,00 ± 0,98 a	84,12 ± 1,25 b	6,11 ± 2,08 h	60,67 ± 6,60 e	73,65 ± 2,67 d	70,83 ± 2,97 a
MgCl ₂	68,27 ± 1,69 d	82,30 ± 3,02 c	83,61 ± 3,42 b	81,60 ± 0,33 b	68,33 ± 1,52 e	35,28 ± 5,94 e
MgSO ₄	83,47 ± 4,35 b	94,60 ± 4,60 a	75,00 ± 2,91 d	74,93 ± 0,82 d	88,49 ± 4,50 b	68,06 ± 2,19 b
Na ₂ SO ₄ +NaCl	85,20 ± 0,57 a	81,90 ± 4,04 c	71,11 ± 3,42 d	85,20 ± 1,50 a	88,89 ± 0,59 b	55,28 ± 2,39 c
MgSO ₄ +MgCl ₂	58,93 ± 1,13 e	85,87 ± 3,81 b	86,44 ± 1,36 a	76,80 ± 7,47 c	74,92 ± 1,65 d	71,11 ± 2,97 a
Na ₂ SO ₄ +CaCl ₂	45,60 ± 2,54 f	50,95 ± 4,92 e	18,61 ± 1,04 f	34,73 ± 3,29 f	48,17 ± 1,82 g	8,89 ± 1,05 h
MgSO ₄ +CaCl ₂	47,47 ± 1,89 f	28,17 ± 2,78 g	11,11 ± 1,04 g	31,73 ± 3,60 g	27,94 ± 1,98 h	13,89 ± 2,08 g

Après 65 jours de stress, nous remarquons que l'apport hydrominéral a augmenté durant cette phase de développement des plantes. En effet, les taux d'absorption dans les milieux alimentaires ayant un potentiel hydrogène alcalin restent les plus faibles en raison du déséquilibre ionique de ces milieux. Alors que les taux d'absorption au niveau des milieux corrigées (pH compris entre 5,6 à 5,8) sont relativement plus élevée, car

les plantes sont en pleine phase de développement expriment donc un besoin hydrominéral important répondant parfaitement à la phase correspondant du cycle de développement. De plus, le comportement de la variété Marmande dans les milieux nutritifs correspondant à la solution saline naturelle et celui enrichi en $MgSO_4$ associé au $CaCl_2$ exercent un effet défavorable sur l'absorption hydrominérale par rapport aux autres traitements. En revanche, l'exposition de la variété Saint-Pierre dans le milieu alimentaire contenant le $MgSO_4$ associé au $MgCl_2$ manifeste la faible absorption hydrominérale des plantes.

Enfin et après 110 jours de stress, nous remarquons que les faibles taux d'absorption hydrique sont enregistrés au niveau des milieux nutritifs renfleront le Na_2SO_4 et le Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ au niveau de la variété Marmande et Saint-Pierre respectivement et ce comparativement aux autres traitements testées. A l'inverse, les taux d'absorption hydrominérales les plus importants sont révélés aux niveaux des milieux enrichis en $MgSO_4$ associé au $MgCl_2$ chez la variété Marmande, et le milieu contenant le Na_2SO_4 , se traduisant aussi par une variation de 91,37%. Inversement, la variété Saint-Pierre présente une sensibilité accrue de 57,40% à la présence du $MgCl_2$ dans le milieu alimentaire comparativement au taux d'absorption de la variété Marmande.

Discussion du bilan d'absorption hydrominérale des plantes

Dans les zones arides, les besoins hydriques des cultures sont élevés alors que l'eau disponible présente une forte minéralisation défavorable à son utilisation en irrigation. L'une des optiques possibles pour développer des productions horticoles dans ces zones est d'utiliser les sols peu évolués comme support inerte pour les cultures et d'assurer l'intégralité des besoins en eau et en sels minéraux des plantes par la transformation des eaux salines naturelles en solutions nutritives.

Selon les résultats obtenus, l'irrigation par les eaux salines naturelles a pH alcalins (SSN, le Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le MgSO_4 associé au CaCl_2) conduit à l'augmentation de la salinité dans les milieux, induisant une diminution du prélèvement hydrique des plantes. En effet, la croissance et le développement des plantes sont normalement assurés si l'équilibre hydrominéral est satisfait à tout moment entre la demande et l'offre en éléments nécessaires au processus de l'absorption. Dans le milieu racinaire, outre l'eau et l'oxygène, doivent être présents, les éléments minéraux sous des formes assimilables.

Selon les travaux de [202], ils ont été montrés que le stress salin perturbe l'homéostasie ionique dans les cellules végétales, ce qui conduit à des conditions osmotiques indésirables. Cependant, son influence néfaste est encore aggravée quand il est combiné avec un pH élevé [203]. Beaucoup d'études ont prouvé que le pH élevé dans la rhizosphère diminue la disponibilité des ions d'éléments nutritifs, tels que Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- et H_2PO_4 , en causant des précipitations [204]. Il est indiqué que sous la forme précipitée, l'absorption d'ions est entravée, ce qui entraîne une perturbation de l'homéostasie ionique [205].

Durant notre expérimentation, nous avons remarqué également qu'après 65 jours de stress, le taux d'absorption hydrominérale des deux variétés de tomate cultivées dans les milieux nutritifs corrigés (pH compris entre 5,6 à 5,8) est plus important comparativement aux deux autres périodes testées. Ceci peut être expliqué par le fait

que les plantules de deux variétés de tomate entrent dans la phase de début floraison qui constitue la période critique dans son cycle de développement, compte tenu que l'absorption hydrominérale a atteint le maximum au niveau des milieux salins corrigés.

Les différents milieux nutritifs se traduisent par les variations d'absorption hydrominérale selon les variétés testées à différentes périodes de stress étudiées. Les variations aboutissent à des différences importantes entre la conductivité de la solution saline avant et après son passage à travers le substrat suite à l'accumulation notable des sels non absorbés. [206], ont montré que les valeurs de pH élevées peuvent également avoir un effet négatif direct sur la structure de la membrane cellulaire des racines affectant sensiblement ses fonctions structurales. Par conséquent, pour s'adapter aux conditions d'un sol alcalin, les plantes doivent avoir la capacité de supporter la toxicité ionique et la sécheresse physiologique, ainsi que pour maintenir leur équilibre ionique intracellulaire.

L'analyse de l'absorption hydrominérale à différentes périodes de stress étudiées coïncidant avec les phases physiologiques de l'espèce tomate testée illustre l'existence d'une relation de proportionnalité entre la réduction de l'évapotranspiration au niveau des traitements salés naturels (solution saline naturelle, le traitement enrichi en Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le traitement MgSO_4 associé au CaCl_2) qui est due à l'augmentation de la salinité et au déséquilibre ionique de ces types d'eaux.

De ce fait, [207] a ajouté que le chlore, en entrant en compétition avec les nitrates, inhibe l'absorption minérale des plantes et son transport à longue distance vers les parties aériennes engendre aussi une carence nutritionnelle qui est estimée, par la différence entre la teneur globale en cations majeurs Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+ et la teneur en Cl^- . Aussi, nous remarquons qu'au niveau de la solution saline corrigée ainsi qu'au niveau des autres solutions testées ayant un pH corrigés à 5,50 et 5,80 des conductivités électriques élevée en raison de l'addition des sels nutritifs pour équilibrer le balance ionique de ces solutions nutritifs en fournissant des éléments nutritifs tels

que l'azote sous forme NH_4NO_3 , KNO_3 et $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$; le potassium sous forme K_2SO_4 et KNO_3 et le phosphate (H_3PO_4).

Les travaux de [208], ont ajoutaient que les teneurs élevées des sels dans les eaux salines corrigées favorisent l'absorption hydrominérale et donc le développement des plantes est amélioré alors que le déséquilibre ionique dans les eaux salines naturelles a pour conséquence une dépression qui peut provoquer un ralentissement de la croissance en raison de la lenteur d'absorption hydrominérale, un retard dans la croissance des végétaux qui peut même s'arrêter définitivement (nanisme), une fructification hâtive et peu abondante, et dans les cas extrêmes, la plante meurt avant qu'elle ne se reproduit. Ces accidents sont d'ailleurs dus davantage à la sécheresse physiologique qu'à une absorption excessive de sels. La diminution du flux d'eau à travers les plantes étudiées irriguées par les solutions salines naturelles montre, cependant, que l'action du sel présente des similitudes avec celle de la sécheresse. Il diminue la transpiration des glycophytes, et aussi, l'absorption hydrominérale par les racines est également réduite. Ceci a été bien établi chez les plantes de résistances différentes [209]. Durant le cycle de développement des deux variétés de tomate irriguées par les traitements salés naturels, un volume de drainage important est recueilli notamment dans les milieux enrichis de MgSO_4 associé au MgCl_2 et de Na_2SO_4 associé au CaCl_2 au niveau des variétés Marmande et Saint-Pierre respectivement et ce après 110 jours de stress), traduisant un déficit hydrominéral conséquent. Cette situation n'a pas affecté rapidement les plantes du fait que ces dernières osmotiquement adaptées gardent leur turgescence et continuent à croître en présence de sel. Ceci peut être expliqué comme une adaptation à une nouvelle situation dans laquelle l'ajustement osmotique et la réduction de la transpiration se conjuguent pour vaincre toute augmentation de la résistance des racines au passage de l'eau [210]. Il en résulte que la plante parvient à extraire l'eau des milieux salés et à la conserver, ce qui permet le maintien de la turgescence. Chez les plantes incapables de réaliser un ajustement osmotique complet, probablement en raison d'une absorption insuffisante du sel, la plante s'effondre malgré la diminution de la transpiration [211].

4.2. Effet de la salinité sur les paramètres de croissance

4.2.1. Effet sur la croissance en longueur

Les résultats relatifs à la hauteur finale des tiges des deux variétés de tomate sont présentés dans le tableau 4.17. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce à différentes périodes de stress retenues et indiquées dans le tableau ci-dessous.

Tableau 4.17 : Hauteur finale des tiges (cm)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	29,67 ± 0,94 e	47,67 ± 0,47 e	49,33 ± 0,94 de	34,33 ± 0,47 c	54,00 ± 1,41 f	48,00 ± 0,82 b
SSC	41,67 ± 1,70 b	50,67 ± 1,70 d	58,67 ± 0,47 a	42,50 ± 2,04 b	56,33 ± 0,47 cd	53,67 ± 0,47 a
NaCl	46,33 ± 1,89 a	55,00 ± 0,00 b	52,67 ± 0,47 cd	47,00 ± 1,63 a	59,33 ± 0,94 a	56,00 ± 2,94 a
Na ₂ SO ₄	29,67 ± 0,47 e	57,67 ± 0,94 a	50,33 ± 0,47 de	36,00 ± 0,82 c	55,00 ± 1,41 cd	55,33 ± 2,05 a
MgCl ₂	39,00 ± 1,41 bc	53,33 ± 0,47 c	54,67 ± 0,47 bc	27,00 ± 0,82 d	55,67 ± 0,47 bcd	55,00 ± 0,82 a
MgSO ₄	42,00 ± 1,41 b	52,33 ± 0,47 cd	49,00 ± 0,82 de	36,67 ± 0,94 c	53,67 ± 0,94 d	56,00 ± 3,27 a
Na ₂ SO ₄ +NaCl	39,00 ± 0,82 bc	57,33 ± 0,47 a	57,00 ± 2,83 ab	42,00 ± 0,82 b	57,67 ± 0,47 ab	58,33 ± 1,70 a
MgSO ₄ +MgCl ₂	37,33 ± 0,47 bc	50,33 ± 0,47 d	57,97 ± 2,21 ab	34,00 ± 0,82 c	58,67 ± 0,47 a	55,33 ± 1,89 a
Na ₂ SO ₄ +CaCl ₂	32,67 ± 3,09 de	48,67 ± 0,47 e	49,33 ± 0,47 de	26,00 ± 1,41 d	51,33 ± 0,94 e	40,67 ± 0,47 c
MgSO ₄ +CaCl ₂	36,00 ± 1,41 cd	34,00 ± 0,82 f	47,00 ± 0,82 e	35,33 ± 0,47 c	45,67 ± 0,94 f	46,00 ± 0,82 b

Il y a lieu de noter que les deux variétés de tomate testées appartiennent au type de croissance indéterminée, de cet effet, un étêtage au-dessus des deux bouquets floraux a été décidé de réaliser pour arrêter la croissance à fin d'avoir des plants vigoureux. Ceci montre bien la diminution de la hauteur à 110 jours de stress au niveau de certains traitements par rapport à celles mesurés après 65 jours de stress.

D'après les résultats relatifs de la hauteur finale des tiges, la correction de la solution saline naturelle améliore significativement le paramètre mesuré qu'après 110 jours de stress. Par conséquent, la variété Marmande manifeste les meilleures hauteurs que celles révélées chez la Saint-Pierre après 110 jours de stress.

Aussi, nous remarquons après 20 jours de stress que la hauteur finale des plantes au niveau de la variété Marmande est la plus faible en présence du Na_2SO_4 que celle enregistrée chez la variété Saint-Pierre. Cette régression de la hauteur représente 17,58%. De plus, la variété Saint-Pierre semble être plus sensible au niveau du milieu enrichi en $\text{Na}_2\text{SO}_4 + \text{CaCl}_2$ où la hauteur enregistrée est plus faible que celle de la variété Marmande. Nous constatons également qu'en présence du MgCl_2 dans la solution d'irrigation, les deux variétés manifestent une hauteur des tiges plus faible que celle révélée en présence de MgSO_4 avec une meilleure adaptation de la variété Marmande comparativement à la variété Saint-Pierre. Il est à signaler que la variété Saint-Pierre manifeste une sensibilité à la combinaison du $\text{MgSO}_4 + \text{MgCl}_2$, se traduisant plus ou moins par une diminution de la hauteur des plantes par rapport à d'autres milieux testés. Alors que la variété Marmande semble se comporter convenablement dans le même milieu nutritif.

Après 65 jours de stress, les deux variétés révèlent les plus faibles hauteurs finales des tiges en présence du MgSO_4 associé au CaCl_2 que celles issues des autres traitements y compris la solution saline naturelle et que la variété Marmande semble être plus sensible à ce milieu par rapport à la Saint-Pierre. Aussi, la variété Saint-Pierre présente une meilleure adaptation au NaCl et au MgSO_4 associé au MgCl_2 , puisqu'elle

est manifeste une meilleure résistance aux sels précités et ce comparativement à la variété Marmande.

Enfin, après 110 jours de stress, la correction de la solution saline naturelle manifeste une augmentation significative de la hauteur des tiges chez la variété Marmande comparativement aux autres traitements testés. De plus, cette variété montre la plus faible hauteur en présence du $MgSO_4$ associé au $CaCl_2$. Alors que l'irrigation des plantes de la variété Saint-Pierre avec la solution enrichie en Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ manifeste la hauteur la plus faible. Les dépressions représentent 19,89 et 24,22% successivement. De plus, la présence dans les milieux nutritifs du Na_2SO_4 , $MgSO_4$ et Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ provoque également une diminution de la hauteur finale des tiges chez la variété Marmande. A l'inverse, la variété Saint-Pierre semble présenter une meilleure adaptation à ces sels, puisqu'elle manifeste une meilleure résistance aux sels précités.

4.2.2. Effet sur le diamètre des tiges

Les résultats relatifs au diamètre des tiges des deux variétés de tomate sont présentés dans le tableau 4.18. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce à différentes périodes de stress retenues.

La correction de la solution saline naturelle a améliorée significativement le paramètre mesuré pendant toutes les périodes de stress testées et ce au niveau des deux variétés de tomate étudiées. Nous remarquons qu'après 20 jours de stress que le diamètre des tiges chez la Marmande est la plus faible en présence du Na_2SO_4 . A l'opposé, la variété Saint-Pierre présente une meilleure adaptation à ce milieu qui se traduit par un diamètre plus élevé. Chez la variété Saint-pierre, la sensibilité est plus importante au niveau des milieux enrichis en $MgSO_4$ associé au $MgCl_2$ et le milieu Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ puisque c'est dans ces deux sites que la Saint-Pierre forme le diamètre des plants le plus faible et le rabougrissement des tiges s'est fait ressentir.

Tableau 4.18 : Diamètre des tiges (cm)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	0,65 ± 0,08 c	0,74 ± 0,02 c	0,86 ± 0,00 d	0,59 ± 0,05 c	0,79 ± 0,05 d	0,86 ± 0,00 b
SSC	0,86 ± 0,00 a	0,97 ± 0,00 b	1,25 ± 0,02 a	0,75 ± 0,02 a	1,18 ± 0,01 a	1,19 ± 0,00 a
NaCl	0,75 ± 0,00 b	0,96 ± 0,00 b	1,18 ± 0,01 b	0,75 ± 0,00 a	0,93 ± 0,01 c	1,18 ± 0,00 a
Na ₂ SO ₄	0,59 ± 0,04 d	1,04 ± 0,05 a	1,26 ± 0,00 a	0,72 ± 0,05 a	0,93 ± 0,05 c	1,14 ± 0,05 a
MgCl ₂	0,75 ± 0,01 b	0,96 ± 0,01 b	1,14 ± 0,00 b	0,65 ± 0,00 b	0,90 ± 0,05 cd	0,99 ± 0,04 a
MgSO ₄	0,77 ± 0,01 b	1,03 ± 0,05 a	1,07 ± 0,02 c	0,65 ± 0,01 b	1,06 ± 0,01 b	1,04 ± 0,05 a
Na ₂ SO ₄ + NaCl	0,75 ± 0,00 b	1,16 ± 0,03 a	1,19 ± 0,00 b	0,75 ± 0,00 a	0,92 ± 0,00 c	1,19 ± 0,01 a
MgSO ₄ + MgCl ₂	0,75 ± 0,01 b	0,97 ± 0,01 b	1,07 ± 0,01 c	0,53 ± 0,01 c	0,87 ± 0,01 cd	1,01 ± 0,10 a
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	0,75 ± 0,00 b	0,86 ± 0,01 c	0,83 ± 0,05 d	0,54 ± 0,01 c	0,54 ± 0,00 e	0,76 ± 0,09 b
MgSO ₄ + CaCl ₂	0,67 ± 0,02 c	0,54 ± 0,01 d	0,82 ± 0,04 d	0,63 ± 0,04 b	0,84 ± 0,02 d	0,68 ± 0,03 b

De plus, la présence de MgSO₄ associé au CaCl₂ dans la solution d'irrigation de la variété Marmande après 20 jours de stress, à exercer une action défavorable sur le paramètre mesuré comparativement au diamètre des plantes issues des milieux Na₂SO₄ associé au CaCl₂. Aussi, il y a lieu de noter que la variété Marmande présente une meilleure adaptation au milieu enrichi de MgCl₂ associé au MgSO₄ par rapport à la variété Saint-Pierre qui présente une diminution du diamètre dans ce milieu. Alors que la variété Saint-Pierre présente une meilleure adaptation au milieu enrichi de NaCl.

Après 65 jours de stress, nous remarquons que les deux variétés de tomate présentent une meilleure adaptation au milieu enrichi en $MgSO_4$ puisque les diamètres obtenus sont appréciables. Par contre, la variété Marmande semble être plus résistante aux Na_2SO_4 et le Na_2SO_4 associé au $NaCl$ que la variété Saint-Pierre où les plantes dans ces deux milieux forme des diamètres plus rabougris. En revanche, la variété Marmande semble être plus sensible que la variété Saint-Pierre en présence du milieu enrichi en $MgSO_4$ associé au $CaCl_2$.

Après 110 jours de stress, nous remarquons que les deux variétés testées semblent être sensibles aux milieux enrichis en Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ et $MgSO_4$ associé au $CaCl_2$. Néanmoins, la variété Saint-Pierre présente une sensibilité plus accrue aux sels précités que la variété Marmande. En revanche, cette variété montre une résistance remarquable vis-à-vis les autres milieux nutritifs testés, alors que la variété Marmande manifeste une sensibilité aux milieux enrichis au $MgSO_4$ et $MgSO_4$ associé au $MgCl_2$.

4.2.3. Effet sur le nombre de feuilles par plante

Les résultats relatifs au nombre de feuilles des deux variétés de tomate sont présentés dans le tableau 4.19. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce à différentes périodes de stress retenues.

Nous remarquons qu'au début de stress, la variété Marmande présente peu de feuilles par plante au niveau de la solution saline naturelle comparativement à variété Saint-Pierre. En revanche, la correction de cette solution saline semble favoriser le paramètre mesuré chez la variété Marmande par rapport à la variété Saint-Pierre. De plus, cette dernière semble être plus sensible au milieu enrichi de Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ comparativement aux autres traitements testés. En revanche, la variété Marmande manifeste une résistance importante au milieu enrichi en $MgSO_4$. Le comportement de la variété Saint-Pierre dans le milieu enrichi en Na_2SO_4 révèle le nombre de feuilles par plante le plus important.

Tableau 4.19 : Nombre de feuille par plante

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	12,00 ± 0,82 d	13,33 ± 0,58 b	13,00 ± 0,82 c	13,67 ± 0,58 b	11,67 ± 0,47 bc	11,67 ± 0,47 b
SSC	17,33 ± 0,47 ab	14,67 ± 0,47 ab	14,00 ± 0,00 b	15,33 ± 0,47 a	13,67 ± 0,58 a	14,00 ± 0,00 a
NaCl	17,67 ± 1,25 ab	15,33 ± 0,58 a	13,00 ± 0,00 c	15,33 ± 0,94 a	10,67 ± 0,47 c	11,00 ± 0,00 d
Na ₂ SO ₄	15,56 ± 0,57 bc	15,00 ± 0,00 a	14,00 ± 0,00 b	16,67 ± 0,58 a	13,67 ± 0,57 a	11,00 ± 0,82 d
MgCl ₂	17,67 ± 0,58 ab	15,67 ± 0,58 a	14,33 ± 0,94 b	12,00 ± 0,00 c	13,33 ± 0,47 a	11,00 ± 0,82 d
MgSO ₄	18,33 ± 0,47 a	15,67 ± 0,47 a	13,00 ± 0,00 c	12,67 ± 0,47 c	13,33 ± 0,58 a	10,67 ± 0,47 e
Na ₂ SO ₄ +NaCl	17,33 ± 0,57 ab	14,33 ± 0,94 ab	12,67 ± 0,47 d	15,67 ± 0,47 a	11,67 ± 0,47 bc	11,67 ± 0,47 b
MgSO ₄ +MgCl ₂	16,00 ± 0,82 bc	15,00 ± 0,82 a	13,00 ± 0,82 c	12,33 ± 0,47 c	13,33 ± 0,58 a	10,33 ± 0,47 e
Na ₂ SO ₄ +CaCl ₂	14,33 ± 0,94 c	14,33 ± 0,82 ab	15,00 ± 0,82 a	11,67 ± 0,58 c	11,67 ± 0,58 bc	11,00 ± 0,82 d
MgSO ₄ +CaCl ₂	14,67 ± 0,58 c	13,00 ± 0,00 b	13,33 ± 0,47 c	11,67 ± 0,47 c	12,67 ± 0,47 ab	11,33 ± 0,47 c

Enfin, il y a lieu de noter que la variété Marmande présente une meilleure tolérance aux milieux composés de NaCl, le MgCl₂ et le Na₂SO₄ associé au NaCl que la variété Saint-Pierre, étant donné que c'est dans ces milieux nutritifs que nous observons un nombre de feuille par plante le plus élevé.

Après 65 jours de stress, nous constatons que la variété Marmande semble être plus tolérante aux milieux enrichis de $MgCl_2$ et $MgSO_4$ comparativement à la variété Saint-Pierre. La mise en culture de la variété Saint-Pierre dans la solution saline corrigée et dans le milieu enrichi en Na_2SO_4 manifeste le nombre de feuille par plante le plus élevé. Nous constatons également que la variété Marmande révèle un nombre de feuille important dans les milieux enrichis en Na_2SO_4 associé au $NaCl$ et le Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ comparativement à la variété Saint-Pierre. Il est à rappeler que le nombre de feuilles le plus faible est enregistré chez la variété Marmande dans le milieu enrichi en $MgSO_4$ associé au $CaCl_2$, tandis que chez la Saint-Pierre, il est enregistré au niveau des plantes issues dans la solution saline naturelle, le Na_2SO_4 associé au $NaCl$ et le Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$.

Enfin, après 110 jours de stress, la variété Marmande semble être plus résistante au milieu enrichi en Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ comparativement aux autres traitements testés. La variété Saint-Pierre révèle un nombre de feuilles par plante le plus important au niveau de la solution saline corrigée. Aussi, on peut dire que la variété Marmande est plus tolérante que la variété Saint-Pierre aux milieux enrichis en Na_2SO_4 et de $MgCl_2$, vu que la variété que la Saint-Pierre produit un nombre de feuille par plante le plus faible. Enfin, on peut aussi noter que la mise en culture de la variété Saint-Pierre au milieu dans le milieu enrichi de $MgSO_4$ associé au $MgCl_2$ manifeste un comportement défavorable sur le paramètre étudié comparativement à la variété Marmande.

4.2.4. Effet sur la biomasse fraîche totale de la partie aérienne

Les résultats relatifs à la biomasse fraîche de la partie aérienne des deux variétés de tomate sont présentés dans le tableau 4.20. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce à différentes périodes de stress indiquées ci-après.

Tableau 4.20 : Biomasse fraîche totale de la partie aérienne (g)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	22,53 ± 0,99 h	45,02 ± 1,35 g	24,47 ± 0,63 h	30,80 ± 1,40 g	37,99 ± 0,79 g	32,79 ± 1,15 f
SSC	61,90 ± 2,58 d	111,47 ± 0,73 f	245,25 ± 3,40 a	105,98 ± 1,78 a	186,61 ± 2,41 a	225,31 ± 1,36 a
NaCl	80,55 ± 1,14 b	121,55 ± 2,30 d	212,80 ± 0,47 b	76,58 ± 1,26 b	135,18 ± 0,28 b	186,86 ± 5,19 b
Na ₂ SO ₄	28,97 ± 1,06 g	125,38 ± 0,37 c	203,99 ± 3,76 c	61,29 ± 1,56 c	114,45 ± 0,10 e	184,23 ± 2,25 b
MgCl ₂	68,63 ± 1,49 c	124,23 ± 0,96 c	195,03 ± 1,72 d	27,37 ± 1,00 h	125,86 ± 0,99 c	139,04 ± 2,22 e
MgSO ₄	65,96 ± 1,51 c	128,41 ± 0,45 b	167,46 ± 2,38 f	51,73 ± 0,56 d	87,17 ± 2,11 f	156,66 ± 1,18 d
Na ₂ SO ₄ +NaCl	86,11 ± 0,76 a	154,01 ± 0,81 a	200,22 ± 2,49 c	78,01 ± 0,59 b	120,17 ± 1,55 d	184,65 ± 1,71 b
MgSO ₄ +MgCl ₂	58,23 ± 1,16 e	117,46 ± 0,52 e	181,24 ± 2,36 e	43,25 ± 0,57 e	120,76 ± 1,54 d	170,44 ± 1,19 c
Na ₂ SO ₄ +CaCl ₂	34,80 ± 0,20 f	45,91 ± 0,66 g	30,05 ± 1,14 g	17,69 ± 0,86 i	20,07 ± 0,83 h	32,10 ± 1,08 f
MgSO ₄ +CaCl ₂	33,75 ± 0,41 f	15,40 ± 0,59 h	34,55 ± 0,87 g	38,06 ± 0,69 f	37,08 ± 0,33 g	21,22 ± 0,68 g

Selon les résultats du tableau 4.20, nous pouvons dire que la correction de la solution saline naturelle a révélé chez la variété Saint-Pierre les biomasses fraîches aériennes les plus importantes durant les trois périodes de stress. Cependant, la variété Marmande n'a pu obtenir une biomasse fraîche importante qu'après 110 jours de stress. De plus, la variété Marmande présente une résistance remarquable au Na₂SO₄ associé au NaCl après 20 et 65 jours de stress.

A l'inverse, cette variété montre une sensibilité accrue dans le milieu enrichi en Na_2SO_4 après 20 jours de stress. Pour ce qui est de la variété Saint-Pierre, le milieu enrichi en Na_2SO_4 associé au CaCl_2 présente la biomasse fraîche de la partie aérienne la plus faible notamment après 20 à 65 jours de stress. On peut aussi noter que la sensibilité de la variété Marmande après 20 jours de stress s'est bien constatée dans les milieux nutritifs composés de sels enrichis de Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le MgSO_4 associé au CaCl_2 où une chute de la biomasse fraîche aérienne a été bien distinguée.

Après 65 jours de stress, nous remarquons que les deux variétés de tomate testées manifestent une sensibilité aux milieux enrichis de Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le MgSO_4 associé au CaCl_2 comparativement aux autres traitements testés y compris à la biomasse fraîche révélée chez les plantes issues dans la solution saline naturelle. De plus, la variété Saint-pierre semble être plus sensible au MgSO_4 que la variété Marmande où on peut noter une chute du paramètre mesure de 32,11%. Ceci se traduit par une régression de 53,28% par rapport à la biomasse fraîche enregistrée chez les plantes de la variété Marmande.

Après 110 jours de stress, les deux variétés testées présentent une sensibilité remarquable vis-à-vis les milieux enrichis en Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le MgSO_4 associé au CaCl_2 par rapport aux autres types de sels testés. On peut aussi noter la sensibilité accrue de la variété Saint-Pierre au milieu enrichi en MgSO_4 associé au CaCl_2 comparativement à la variété Marmande. Il y a lieu de noter que l'aggrécivité du MgSO_4 seul est moindre que lorsque ce dernier est en combinaison avec d'autres sels tels que le CaCl_2 . De plus, la variété Saint-Pierre semble être plus sensible à la présence du NaCl où Na_2SO_4 seul ou en combinaison dans la solution d'irrigation que la variété Marmande. Aussi, la présence du MgCl_2 dans la solution d'irrigation manifeste chez la variété Saint-Pierre une régression plus remarquable de la biomasse fraîche totale que celle produite chez la variété Marmande qui manifeste une résistance importante à ce type de sel précité.

4.2.5. Effet sur la biomasse fraîche des racines

Les résultats relatifs à la biomasse fraîche des racines sont présentés dans le tableau 4.21. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress étudiées.

Tableau 4.21 : Biomasse fraîche des racines (g).

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	13,19 ± 0,52 f	22,02 ± 1,20 e	19,57 ± 1,53 e	14,97 ± 0,67 f	23,11 ± 0,31 e	20,67 ± 0,58 d
SSC	34,25 ± 2,56 b	63,27 ± 1,61 b	38,81 ± 0,54 a	44,44 ± 0,87 a	37,66 ± 0,27 b	43,84 ± 2,17 c
NaCl	43,17 ± 1,15 a	35,25 ± 0,25 d	24,03 ± 1,76 cd	35,05 ± 0,33 b	36,30 ± 0,48 c	58,84 ± 1,57 b
Na ₂ SO ₄	22,23 ± 0,12 d	54,04 ± 0,53 c	30,46 ± 0,63 b	31,92 ± 0,72 c	34,82 ± 0,08 d	56,28 ± 0,58 b
MgCl ₂	36,83 ± 2,03 b	52,19 ± 0,61	32,81 ± 2,56 b	15,78 ± 0,37 e	39,17 ± 0,83 b	39,20 ± 3,33 c
MgSO ₄	35,59 ± 0,79 b	50,50 ± 1,88 c	20,22 ± 0,05 e	31,12 ± 0,96 c	22,97 ± 0,85 e	71,46 ± 3,10 a
Na ₂ SO ₄ + NaCl	36,54 ± 1,32 b	75,62 ± 2,84 a	22,13 ± 0,29 de	28,30 ± 0,11 d	52,05 ± 0,58 a	42,39 ± 2,31 c
MgSO ₄ + MgCl ₂	29,52 ± 2,21 c	49,78 ± 0,19 c	26,51 ± 1,81 c	13,71 ± 0,34 g	38,24 ± 0,94 b	40,02 ± 0,81 c
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	14,59 ± 1,29 e	24,22 ± 1,97 e	6,57 ± 0,36 g	13,79 ± 0,35 g	8,63 ± 0,46 g	9,57 ± 0,39 e
MgSO ₄ + CaCl ₂	16,36 ± 1,74 e	14,21 ± 0,26 f	15,92 ± 1,24 f	15,84 ± 0,29 e	18,58 ± 0,14 f	9,89 ± 0,85 e

Nous remarquons qu'après 20 jours de stress, les deux variétés de tomate testées semblent être très sensibles aux milieux enrichis de Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le MgSO_4 associé au CaCl_2 comparativement aux autres types de sels testés. Par conséquent, la variété Saint-Pierre présente des chutes de 5,48 et 3,17% par rapport à la biomasse fraîche de la partie souterraine révélée chez la variété Marmande qui semble être légèrement tolérante dans ces milieux nutritifs. Aussi, cette variété présente une tolérance remarquable aux milieux enrichis en MgCl_2 ou de MgSO_4 dans la solution d'irrigation et ce comparativement à la variété Saint-Pierre. La présence de ces deux sels dans le même milieu alimentaire exerce un effet défavorable sur le paramètre mesuré et plus particulièrement au niveau des plantes de la variété Saint-Pierre comparativement à la variété Marmande. A l'inverse, la variété Marmande manifeste une résistance vis-à-vis le milieu enrichi en NaCl comparativement à la variété Saint-Pierre. Inversement, la variété Marmande présente une sensibilité accrue à la présence du Na_2SO_4 par rapport à la Saint-Pierre. La variation enregistrée est de 30,35%.

Il a été remarqué qu'après 65 jours de stress, que les deux variétés testées présentent une résistance au Na_2SO_4 associé au NaCl . Pour cela, la variété Marmande semble être plus tolérante à ce milieu alimentaire comparativement à la variété Saint-Pierre. La variation enregistrée est de 31,16%. Par contre, la variété Marmande semble être légèrement sensible au milieu enrichi en NaCl comparativement à la variété Saint-Pierre. Cette sensibilité devient plus importante en présence du Na_2SO_4 dans le milieu nutritif pour les deux variétés successivement. La variation enregistrée est de 35,56%. En outre, les deux variétés testées manifestent une forte sensibilité aux sels contenus dans les milieux enrichis en Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le MgSO_4 associé au CaCl_2 comparativement aux autres traitements testés. Aussi, il y a lieu de noter que la variété Saint-Pierre est plus sensible que la Marmande à la présence du MgSO_4 dans le milieu d'alimentaire. La variation enregistrée est de 54,51% par rapport à la biomasse fraîche des racines révélée chez les plantes irriguées par le même traitement au niveau de la variété Saint-Pierre.

Enfin, il est à noter que la variété Marmande semble être plus résistante à la présence du $MgCl_2$ ou le $MgSO_4$ associé au $MgCl_2$ que la variété Saint-Pierre où les régressions enregistrées sont de 24,94 et 23,18% respectivement.

Après 110 jours de stress, la correction de la solution saline naturelle chez la Marmande manifeste la biomasse fraîche racinaire la plus élevée par rapport aux autres traitements testés. Néanmoins, elle reste légèrement faible par rapport à celle produite au niveau de la variété Saint-Pierre. La variation enregistrée est de 11,47% par rapport à la biomasse fraîche des racines révélée chez les plantes irriguées par le même traitement au niveau de la variété Saint-Pierre. De plus, la variété Saint-Pierre apparaît plus résistante que la variété Marmande au milieu enrichi au $MgSO_4$ ce qui se traduit par une production de biomasse fraîche des racines de 71,70% par rapport à celle produite chez la variété Marmande. En outre, les deux variétés de tomate testées manifestent une forte sensibilité aux milieux enrichis en Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ et le $MgSO_4$ associé au $CaCl_2$. Pour cela, la biomasse fraîche des racines de la variété Saint-Pierre en présence du $MgSO_4$ associé au $CaCl_2$ montre une régression de 37,87% comparativement à la biomasse fraîche des racines révélée chez la variété Marmande. Tandis qu'en milieu enrichi de Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$, la dépression enregistrée du paramètre mesuré est de 31,34% par rapport à la variété Saint-Pierre.

Enfin, nous remarquons que la variété Marmande manifeste une sensibilité remarquable au milieu enrichi en $NaCl$ comparativement à la variété Saint-Pierre. La dépression enregistrée est de 59,16%. En conséquence, la présence du Na_2SO_4 associé au $NaCl$ exerce un effet dépressif du paramètre étudié chez la variété Marmande comparativement à la variété Saint-Pierre. La dépression enregistrée est 47,79% par rapport à la biomasse fraîche racinaire enregistrée chez la variété Saint-Pierre.

4.2.6. Effet sur la biomasse sèche totale de la partie aérienne

Les résultats relatifs à la biomasse fraîche de la partie aérienne sont présentés dans le tableau 4.22. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress étudiées.

Tableau 4.22 : Biomasse sèche totale de la partie aérienne (g)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	4,71 ± 0,20 g	6,73 ± 0,20 e	4,37 ± 0,12 h	5,17 ± 0,23 e	6,50 ± 0,13 g	5,88 ± 0,25 f
SSC	8,47 ± 0,34 d	14,22 ± 0,12 c	29,19 ± 0,39 b	11,29 ± 0,19 a	20,62 ± 0,27 a	29,73 ± 0,19 a
NaCl	11,43 ± 0,18 b	17,25 ± 0,32 a	26,05 ± 0,04 e	9,93 ± 0,19 b	17,85 ± 0,06 b	29,39 ± 0,80 a
Na ₂ SO ₄	3,25 ± 0,12 h	14,04 ± 0,04 c	29,76 ± 0,51 b	6,82 ± 0,18 d	13,91 ± 0,01 d	26,09 ± 0,34 c
MgCl ₂	9,42 ± 0,19 c	14,99 ± 0,12 b	29,74 ± 0,26 b	3,45 ± 0,15 g	15,41 ± 0,11 c	23,06 ± 0,38 e
MgSO ₄	8,17 ± 0,20 d	15,18 ± 0,06 b	27,92 ± 0,43 c	6,92 ± 0,07 d	11,55 ± 0,31 f	25,79 ± 0,18 c
Na ₂ SO ₄ + NaCl	12,41 ± 0,10 a	14,22 ± 0,07 c	32,66 ± 0,40 a	8,99 ± 0,07 c	15,68 ± 0,17 c	27,13 ± 0,29 b
MgSO ₄ + MgCl ₂	6,71 ± 0,15 e	12,93 ±0,06 d	27,11 ± 0,36 d	4,65 ± 0,08 f	12,96 ± 0,18 e	24,97 ± 0,18 d
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	5,13 ± 0,03 f	6,75 ± 0,07 e	6,10 ± 0,25 g	2,80 ± 0,14 h	3,07 ± 0,12 i	5,52 ± 0,18 f
MgSO ₄ + CaCl ₂	5,24 ± 0,06 f	2,20 ± 0,08 f	7,90 ± 0,19 f	5,23 ± 0,10 e	4,90 ± 0,04 h	4,59 ± 0,12 g

Nous remarquons que la variété Saint-Pierre présente une meilleure adaptation au milieu nutritif contenant la solution saline corrigée et ce durant 20 et 65 jours des stress comparativement à celle de la variété Marmande. Des accroissements correspondent à 33,29 et 45% respectivement sont observés par rapport aux biomasses sèches produites chez la variété Marmande durant ces mêmes périodes de stress. En revanche, la variété Saint-Pierre apparaît plus sensible que la variété Marmande au milieu enrichi au Na_2SO_4 associé au CaCl_2 ce qui se traduit par diminution de la biomasse sèche de la partie aérienne de 45,41% par rapport à celle produite chez la variété Marmande. En outre, les deux variétés de tomate testées manifestent une sensibilité au milieu enrichi en MgSO_4 associé au CaCl_2 par rapport aux autres traitements testés.

La variété Marmande semble être plus tolérante aux milieux enrichis en NaCl et en Na_2SO_4 associé au NaCl par rapport aux autres traitements testés et plus particulièrement par rapport à la variété Saint-Pierre. Les accroissements enregistrés sont 15,10 et 38,04% respectivement par rapport à la biomasse sèche de la partie aérienne enregistrée chez la variété Saint-Pierre. Aussi, il apparaît que le milieu enrichi en Na_2SO_4 exerce un effet dépressif sur ce paramètre chez la variété Marmande comparativement à la variété Saint-Pierre. La dépression enregistrée est de 52,43% par rapport à la biomasse sèche de la partie aérienne enregistrée chez la variété Saint-Pierre.

Enfin, Il est lieu de noter que la variété Saint-Pierre apparaît plus sensible aux milieux enrichis en MgCl_2 comparativement au même traitement au niveau de la variété Marmande. La baisse révélée est de 63,37% par rapport à la biomasse sèche de la partie aérienne enregistrée chez la variété Marmande.

Après 65 jours de stress, les plants de la variété Saint-Pierre apparaissent très sensibles au milieu nutritif enrichi en Na_2SO_4 associé au CaCl_2 comparativement aux autres traitements testés et plus particulièrement au même traitement au niveau de la variété Marmande. La diminution enregistrée correspond à 54,51% comparativement

à la biomasse sèche de la partie aérienne révélée chez la variété Marmande. De plus, la présence du $MgSO_4$ dans le milieu d'irrigation de la variété Saint- Pierre exerce une régression de 23,91% comparativement à la biomasse sèche de la partie aérienne révélée chez la variété Marmande. Inversement, la solution enrichie de $MgSO_4$ associé au $CaCl_2$ montre chez la variété Marmande une dépression très remarquable comparativement aux autres traitements testés, ainsi qu'au niveau du même traitement pour la variété Saint-Pierre. La diminution du paramètre mesuré 55,10%.

Il a été remarqué qu'après 110 jours de stress que le comportement de la variété Marmande dans le milieu nutritif contenant la solution saline naturelle montre une dépression très remarquable du paramètre étudié comparativement aux autres traitements testés et au niveau du même traitement chez la variété Saint-Pierre. La régression enregistrée correspond à 25,68%. Les plantes de la variété Saint-Pierre semblent être plus sensibles aux milieux enrichis en Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ et le $MgSO_4$ associé au $CaCl_2$ par rapport aux autres traitements et comparativement aux mêmes traitements où elles sont cultivées les plantes de la variété Marmande. Les régressions enregistrées sont 9,50 et 41,89% respectivement. Il est lieu de signaler que la variété Marmande semble être légèrement tolérante aux milieux enrichis en Na_2SO_4 , en $MgSO_4$ et en $MgSO_4$ associé au $MgCl_2$ comparativement à la variété Saint-Pierre. Les accroissements enregistrés sont 14,06 ; 8,25 et 8,57% respectivement par rapport à la biomasse sèche de la partie aérienne enregistrée chez la variété Saint-Pierre.

4.2.7. Effet sur la biomasse sèche des racines

Les résultats relatifs à la biomasse sèche des racines sont présentés dans le tableau 4.23 L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress étudiées.

Tableau 4.23 : Biomasse sèche des racines (g)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	1,27 ± 0,05 f	1,60 ± 0,09 f	2,17 ± 0,17 d	1,55 ± 0,07 f	2,26 ± 0,03 d	2,35 ± 0,07 d
SSC	3,14 ± 0,24 bc	7,82 ± 0,20 a	12,46 ± 0,17 a	3,95 ± 0,08 b	3,88 ± 0,03 c	8,05 ± 0,40 b
NaCl	6,56 ± 0,18 a	6,12 ± 0,04 c	10,81± 0,79 b	3,14 ± 0,03 c	5,56 ± 0,07 b	6,81 ± 0,18 c
Na ₂ SO ₄	1,87 ± 0,01 e	5,67 ± 0,06 d	10,86 ± 0,22 b	2,81 ± 0,06 d	5,89 ± 0,01 a	8,78 ± 0,09 ab
MgCl ₂	3,45 ± 0,19 b	5,68 ± 0,07 d	12,58± 0,98 a	1,63 ± 0,04 e	1,73 ± 0,04 e	8,22 ± 0,70 b
MgSO ₄	2,83 ± 0,06 c	7,60 ± 0,28 a	9,75 ± 0,03 b	4,19 ± 0,13 a	4,05 ± 0,15 c	9,43 ± 0,41 a
Na ₂ SO ₄ + NaCl	3,38 ± 0,11 b	6,37 ± 0,24 bc	12,44± 0,16 a	3,16 ±0,01 c	5,79 ± 0,06 a	7,31 ± 0,40 c
MgSO ₄ + MgCl ₂	2,48 ± 0,19 d	6,63 ± 0,03 b	10,33± 0,04 b	1,19 ± 0,03 g	3,94 ±0,10 c	8,25 ± 0,17 b
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	1,18 ± 0,10 f	2,91 ± 0,24 e	1,68 ± 0,09 e	1,49 ± 0,04 f	1,26 ± 0,07 f	1,26 ± 0,05 e
MgSO ₄ + CaCl ₂	1,46 ± 0,16 f	0,93 ± 0,02 g	2,97 ± 0,23 c	1,69 ± 0,03 e	1,81 ± 0,01 e	1,20 ± 0,10 e

D'après les résultats relatifs à la biomasse sèche des racines illustrées dans le tableau 4.23, on constate qu'après 20 jours de stress que la variété Marmande présente une meilleure tolérance au milieu enrichi en NaCl comparativement aux autres traitements testés. L'accroissement enregistré correspond à 108,91% par rapport à la biomasse sèche produite chez le même traitement de la variété Saint-Pierre. La variété Saint-Pierre apparaît plus tolérante au milieu contenant le MgSO₄

comparativement aux autres traitements testés à la variété Marmande. L'accroissement révélé est de 48,05%.

En revanche, les deux variétés de tomate présentent une sensibilité accrue au milieu enrichi au Na_2SO_4 associé au CaCl_2 . Mis à part la solution saline naturelle, il y a lieu de noter que la culture de la variété Saint-Pierre dans les milieux nutritifs contenant le MgCl_2 et le MgSO_4 associé au MgCl_2 montrent des régressions remarquables comparativement aux mêmes milieux chez la variété Marmande. Celles-ci correspondent à des chutes de 52,75 et 52,01% respectivement par rapport à la biomasse sèche produite chez la variété Marmande.

Il a été remarqué après 65 jours de stress que la correction de la solution saline naturelle révèle la biomasse sèche des racines la plus importante chez la variété Marmande comparativement aux autres traitements testés. Alors que chez la variété Saint-Pierre, le paramètre mesuré présente une régression de 50,38% par rapport à la variété Marmande dans le même milieu. De plus, la variété Marmande présente une meilleure résistance aux milieux enrichis en MgSO_4 et le MgSO_4 comparativement aux autres traitements. En conséquence, le comportement de la variété Marmande dans le milieu contenant le MgSO_4 associé au MgCl_2 révèle un accroissement de 68,27% du paramètre mesuré par rapport à celui produit chez la variété Saint-Pierre. En revanche, les deux variétés testées produisent les plus faibles biomasses sèches racinaires dans le milieu nutritif enrichi en Na_2SO_4 associé au CaCl_2 comparativement aux autres traitements testés, avec tout de même une sensibilité plus forte chez la variété Saint Pierre dont la variation représente 56,70%.

Enfin, après 110 jours de stress, nous remarquons que le comportement de la variété Marmande dans les milieux enrichis en MgCl_2 et le Na_2SO_4 associé au NaCl est similaire que celui révélé dans la solution saline corrigée comparativement aux autres traitements testés. Alors que chez la variété Saint-Pierre, la biomasse sèche racinaire la plus importante est enregistrée dans le milieu enrichi en MgSO_4 comparativement aux autres traitements testés. En revanche, les faibles biomasses sèches racinaires

produites sont enregistrées au niveau des milieux enrichis en Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le MgSO_4 associé au CaCl_2 pour la variété Marmande et Saint-Pierre respectivement et ce comparativement aux autres traitements testés. Aussi, il est lieu de signaler que la variété Saint-Pierre reste plus sensible que la variété Marmande au niveau de tous les traitements testés. En effet, la sensibilité la plus marquée est celle en présence du MgSO_4 associé au CaCl_2 suivi par le milieu enrichi en Na_2SO_4 associé au CaCl_2 . Les régressions sont de 59,59 et 25% respectivement et ce comparativement à la biomasse sèche racinaire produite au niveau de la variété Marmande. En outre, les dépressions révélées sont de 37 et 34,65% en présence des milieux enrichis en NaCl et le MgCl_2 respectivement.

4.2.8. Effet sur la matière sèche de la partie aérienne

Les résultats relatifs à la matière sèche de la partie aérienne sont présentés dans le tableau 4.24. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une action très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress étudiées.

Nous remarquons que la culture des deux variétés de tomate testées dans le milieu contenant la solution saline naturelle après 20 à 65 jours de stress révèle que les taux de matière sèche de la partie aérienne sont les plus importants comparativement aux autres traitements testés. Le taux enregistré chez la variété Marmande est supérieur à celui de la variété Saint-Pierre à 20 jours de stress. Alors qu'après 65 jours de stress, c'est la variété Saint-Pierre qui produit le taux le plus élevé de la matière sèche comparativement à la variété Marmande. En revanche, les faibles taux de matière sèche produite à 20 jours de stress sont enregistrés chez la variété Marmande au milieu enrichi en Na_2SO_4 , alors qu'en présence de la solution saline corrigée et dans le milieu composé du MgSO_4 associé au MgCl_2 pour la variété Saint Pierre. Des accroissements légers sont observés chez la variété Saint-Pierre cultivée dans les milieux nutritifs enrichis en MgSO_4 et en Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et qui sont de 7,91 et 7,31% respectivement et ce comparativement aux matières sèches produites au niveau de la variété Marmande.

Tableau 4.24 : Matière sèche de la partie aérienne (%)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	20,91 ± 0,52 a	14,95 ± 0,01 a	17,85 ± 0,10 c	16,74 ± 0,04 a	17,10 ± 0,01 a	17,91 ± 0,27 b
SSC	14,56 ± 0,00 d	12,75 ± 0,03 e	11,90 ± 0,01 i	10,65 ± 0,00 i	11,04 ± 0,00 g	13,19 ± 0,01 h
NaCl	14,18 ± 0,05 f	14,18 ± 0,00 d	12,24 ± 0,01 i	12,97 ± 0,06 e	13,20 ± 0,02 c	16,00 ± 0,39 e
Na ₂ SO ₄	11,21 ± 0,03 i	11,19 ± 0,00 h	14,59 ± 0,02 h	11,14 ± 0,04 h	12,15 ± 0,01 f	14,15 ± 0,01 g
MgCl ₂	13,72 ± 0,02 g	12,06 ± 0,01 f	15,25 ± 0,00 f	12,61 ± 0,11 f	12,24 ± 0,01 e	16,58 ± 0,02 d
MgSO ₄	12,38 ± 0,03 g	11,82 ± 0,00 g	16,66 ± 0,02 d	13,36 ± 0,00 d	13,25 ± 0,03 c	16,46 ± 0,02 d
Na ₂ SO ₄ + NaCl	14,41 ± 0,02 e	9,23 ± 0,01 j	16,31 ± 0,00 e	11,52 ± 0,00 g	13,04 ± 0,03 d	14,69 ± 0,06 f
MgSO ₄ + MgCl ₂	11,52 ± 0,03 h	11,00 ± 0,01 i	14,95 ± 0,01 g	10,76 ± 0,05 i	10,73 ± 0,01 h	14,65 ± 0,01 f
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	14,73 ± 0,02 c	14,70 ± 0,08 b	20,29 ± 0,07 b	15,82 ± 0,08 b	15,26 ± 0,06 b	17,18 ± 0,02 c
MgSO ₄ + CaCl ₂	15,51 ± 0,02 b	14,28 ± 0,06 c	22,85 ± 0,03 a	13,75 ± 0,02 c	13,19 ± 0,00 c	21,65 ± 0,17 a

A l'inverse, la variété Saint pierre présente une sensibilité dans les milieux nutritifs contenant la solution saline corrigée, le milieu enrichi en Na₂SO₄ associé au NaCl et la solution saline naturelle. Celles-ci représentent des régressions de 26,85 ; 20,05 et 19,94% comparativement aux matières sèches produites chez la variété Marmande successivement.

Après 65 jours de stress, le faible taux est révélé chez la variété Marmande en présence du milieu enrichi en Na_2SO_4 associé au NaCl et en présence du MgSO_4 associé au MgCl_2 pour la variété Saint-Pierre. De plus, la variété Saint-Pierre présente une résistance au milieu nutritif contenant le Na_2SO_4 associé au NaCl et ce comparativement à la matière sèche produite chez la variété Marmande. L'accroissement révélé est de 41,27% successivement. En outre, un léger accroissement de l'ordre de 8.57% est obtenu chez pour la variété Saint-Pierre dans le milieu nutritif enrichi en Na_2SO_4 comparativement à la variété Marmande.

Enfin après 110 jours de stress, il est à noter que le taux de la matière sèche de la aérienne le plus important chez les deux variétés de tomate testées est produit dans le milieu enrichi en MgSO_4 associé au CaCl_2 et ce par rapport aux autres traitements. Inversement, le milieu nutritif composé de la solution saline corrigée révèle les taux de la matière sèche les plus faibles au niveau des deux variétés comparativement aux autres traitements. De plus, la variété Marmande présente une sensibilité très remarquable dans le milieu enrichi en NaCl comparativement à la matière sèche produite chez la variété Saint-Pierre. La régression enregistrée correspond à 23,50%. En outre, la composition de la variété Saint-Pierre dans les milieux nutritifs enrichis en Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le Na_2SO_4 associé au NaCl présente des diminutions de 15,32 et 9,93% respectivement.

4.2.9. Effet sur la matière sèche des racines

Les résultats relatifs à la matière sèche de la partie racinaire sont présentés dans le tableau 4.25. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress étudiées.

Nous remarquons après 20 jours de stress que le taux de la matière sèche des racines le plus élevé est produit chez la variété Marmande au niveau du milieu enrichi en NaCl , tandis que la variété Saint-Pierre, il est produit au niveau du milieu contenant le MgSO_4 et ce comparativement aux autres traitements testés. Inversement, les

milieux nutritifs renferment le $MgSO_4$ et le Na_2SO_4 associée au $CaCl_2$ révèlent les taux de la matière sèche les plus faibles chez la variété Marmande, alors que le $MgSO_4$ associée au $MgCl_2$ exerce un effet dépressif chez la variété Saint-Pierre. Aussi, la variété Marmande présente une sensibilité aux milieux nutritifs enrichis en $MgSO_4$ et le Na_2SO_4 associé au $NaCl$ et ce comparativement aux mêmes traitements chez la variété Saint-Pierre. Les régressions sont de 69,52 et 32,84% respectivement.

Tableau 4.25 : Matière sèche des racines (%)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	9,56 ± 0,03 b	07,23 ± 0,01 i	11,09± 0,00 j	10,37 ± 0,02 e	9,76 ± 0,01 g	11,36 ± 0,00 j
SSC	9,18 ± 0,01 c	12,37 ± 0,00 d	32,09± 0,00 g	8,89 ± 0,00 g	10,31± 0,00 f	18,34 ± 0,00 c
NaCl	15,21 ± 0,00 a	17,36 ± 0,01 a	44,97± 0,00 c	8,95 ± 0,02 f	15,16± 0,21 c	11,57 ± 0,00 i
Na_2SO_4	8,42 ± 0,01 de	10,49 ± 0,00 g	35,65± 0,00 f	8,81 ± 0,02 h	16,89± 0,00 b	15,59 ± 0,00 e
$MgCl_2$	9,37 ± 0,01 c	10,87 ± 0,01 f	38,33± 0,00 e	10,31 ± 0,02 e	4,40 ± 0,01 h	20,95 ± 0,00 a
$MgSO_4$	7,94 ± 0,00 e	15,05 ± 0,01 b	48,22± 0,00 b	13,46 ± 0,01 a	17,63± 0,01 a	13,19 ± 0,00 f
Na_2SO_4 + NaCl	9,27 ± 0,63 c	8,42 ± 0,00 h	56,18± 0,00 a	11,17 ± 0,01 b	11,12± 0,00 e	17,23 ± 0,00 d
$MgSO_4$ + $MgCl_2$	8,39 ± 0,01 de	13,31 ± 0,00 c	41,01± 0,01 d	8,65 ± 0,03 i	10,32± 0,00 f	20,61± 0,00 b
Na_2SO_4 + $CaCl_2$	8,13 ± 0,01 e	12,02 ± 0,01 e	25,63± 0,01 h	10,80 ± 0,01 c	14,60± 0,04 d	13,13 ± 0,02 g
$MgSO_4$ + $CaCl_2$	8,92 ± 0,01 cd	6,52 ± 0,02 j	18,63± 0,02 i	10,64 ± 0,01 d	9,75 ± 0,01 g	12,13± 0,04 h

Après 65 jours de stress, le taux le plus important de la matière sèche est produit chez la variété Marmande dans le milieu alimentaire enrichi en NaCl, alors que chez la variété Saint-Pierre, il est produit dans le milieu nutritif composé de MgSO₄ et ce comparativement aux autres traitements testés. A l'opposé, les milieux nutritifs composés de MgSO₄ associé au CaCl₂ et de MgCl₂ révèlent les taux les plus faibles au niveau des variétés Marmande et Saint-Pierre respectivement. En revanche, la matière sèche des racines produites chez la variété Marmande dans le milieu enrichi en MgCl₂ présente un accroissement très important par rapport à celle produite chez la variété Saint-Pierre dans le même milieu de culture. De plus, la présence du MgSO₄ associé au MgCl₂ révèle un accroissement de 28,97% par rapport à celle produit chez la variété Saint-Pierre.

Après 110 jours de stress, mis à part la légère augmentation de la matière sèche des racines qui a été révélée chez la variété Saint-Pierre dans le milieu contenant la solution saline naturelle comparativement à la variété Marmande, il est lieu de noter que la variété Marmande produit des taux de matière sèche plus importants que ceux révélés chez la variété Saint-Pierre et ce au niveau de tous traitements testés. Par conséquent, les milieux nutritifs enrichis en NaCl ; MgSO₄ et Na₂SO₄ associée au NaCl présentent des accroissements de la matière sèche des racines les plus importants au niveau des plantes de la variété Marmande.

Discussion de paramètres de croissance

Dans cette première partie relative à l'effet spécifique des sels testés sur quelques paramètres de morphologiques tels que la hauteur finale des plantes, le diamètre des tiges, le nombre de feuille par plante, la biomasse fraîche et sèche ainsi la matière sèche de la partie aérienne et racinaire. Nous a permis de conclure que la diversité de la réponse morphologique traduite par les mesures réalisées devrait être envisagée lors de la planification de stratégies visant à améliorer la tolérance des deux variétés de tomate étudiées.

D'une manière générale, le stress salin a eu une influence négative sur la plupart des paramètres étudiés et ce chez les deux variétés de tomate testées durant les trois périodes de stress retenues. Le déséquilibre ionique du traitement salin naturel testé accentue l'effet de la salinité des milieux alimentaires, ce qui limite la croissance des plantes de deux variétés de tomate, et réduit en conséquence, la consommation hydrique et minérale qui est en relation avec l'évapotranspiration. Ceci a déjà été démontré dans d'autres études [212], [213] et [214]. Nos conclusions découlent sur la fait que cela peut être dû à la fois à des effets osmotiques et spécifiques aux ions.

Selon [215], les plantes affichent une réponse de croissance en deux phases à la salinité. La première phase apparaît rapidement et elle est due au stress osmotique causé par le sel à l'extérieur des plantes. La deuxième phase prend le temps de se développer et résulte de l'effet toxique du sel à l'intérieur de la plante, car la capacité des cellules à compartimenter le sel dans la vacuole est dépassée. De plus, il y a une influence claire de la salinité sur la croissance de la partie aérienne où l'augmentation de la salinité réduit la hauteur des plantes [216] [217] [218]. Dans la même optique, [219] ont expliqué que le rôle important de Mg^{+2} dans le développement de la partie aérienne d'une part, et l'effet néfaste de Na^{+} au niveau de la partie racinaire. La présence de ce dernier dans le traitement $NaCl$ et Na_2SO_4 peut s'accumuler dans la plante et réduire en conséquence sa croissance.

La présente étude indique que les deux variétés de tomates étudiées sont entrées dans la deuxième phase de réponse de la croissance, car le milieu enrichi de Na_2SO_4

a inhibé la croissance des deux variétés de tomate plus que le NaCl. L'effet spécifique de ces ions a été observé juste après 20 jours de stress pour les deux variétés de tomate étudiées. La variété Saint-Pierre est plus sensible que la variété Marmande durant les trois périodes étudiées avec une plus grande réduction de la croissance causée par le Na₂SO₄ par rapport au NaCl était due à une incapacité des feuilles à empêcher le sel d'atteindre des niveaux toxiques. Cela se traduit par des réductions significatives des paramètres de croissance tels que la hauteur de la plante et la matière sèche et ont indiqué que la variété Saint-Pierre est plus sensible que la variété Marmande. Cette aggrégation a été déclenchée juste après 20 jours de stress. Ces données de croissance étaient cohérentes avec celles rapportées dans des travaux antérieurs [220] ; l'inhibition de la croissance des plantes est l'un des paramètres les plus sensibles, ce qui indique que la conductivité électrique élevée affecte le potentiel hydrique dans la plante.

[221] ont indiqué que la croissance du tournesol (*Helianthus annuus* L.) engendre une réduction graduelle de la longueur des feuilles avec l'augmentation de la conductivité électrique de la solution d'arrosage. Chez *Impatiens hawkeri*, la salinité de la solution d'arrosage diminue la hauteur et la biomasse de la plante et réduit la surface foliaire [222]. [223] a montré que la salinité affecte l'allongement de la tige et la production de matière sèche des organes végétatifs (racines, tiges, feuilles) de l'œillet (*Dianthus caryophyllus* L.).

D'après l'étude réalisée par [224] in [225], ils ont pu mettre en évidence que l'impact de la salinité est perçu en premier lieu au niveau des racines. Pour ces auteurs, la partie racinaire serait plus affectée par la salinité que la partie aérienne. Pour s'adapter au stress salin, la plante réduirait en premier lieu le développement de son système racinaire de manière à préserver la partie aérienne, devant maintenir et assurer la production de photosynthétats. Nous pouvons aussi dire qu'à travers nos résultats que le milieu contenant le MgSO₄ a un effet négatif sur l'enracinement comparativement au MgCl₂ et ce durant la période de 65 à 110 jours de stress et que la variété Marmande a montré une sensibilité dans ces milieux d'irrigation par rapport

au comportement de la variété Saint pierre. En effet, Mg^{+2} a un effet toxique sur les racines plus que le Na^+ [226] in [227].

En termes de biomasse fraîche de la partie aérienne, l'augmentation de la salinité diminue la production de la matière fraîche de l'orge [228] et ceci est vraisemblablement la conséquence de la diminution de l'alimentation hydrique des plantes. L'addition du chlorure sous forme de $CaCl_2$ à un effet significativement dépressif sur la plupart des paramètres étudiés et surtout sur la production de la biomasse fraîche lorsqu'il est associé au Na_2SO_4 par rapport au traitement $MgSO_4$. Ceci peut s'expliquer par l'effet du Cl^- qui augmente l'effet négatif de la salinité par le sodium que par le magnésium [229] et [230] suite à son rôle dans le déséquilibre ionique et la perturbation de la perméabilité sélective de la membrane cytoplasmique [231].

La salinité entraîne une réduction de la capacité des plantes à absorber l'eau, d'où une chute du potentiel hydrique foliaire qui cause une déshydratation cellulaire [232] et [233]. Elle provoque aussi un déséquilibre de la balance ionique (accumulation des ions Cl^-) qui induisant une toxicité importante dans le cytoplasme [233], la réduction de flux d'assimilés vers les tissus méristématiques en croissance et une diminution des matières fraîches et sèches au niveau des feuilles, mais aussi au niveau des tiges et des racines [112]. Nos résultats sont similaires à ceux cités par [227] où ils ont montré que l'augmentation des doses en $MgSO_4$ a un effet négatif sur la culture d'orge qui se traduit par une réduction de la croissance de la partie aérienne et racinaire et une chute de la production de la matière fraîche. [234] ont ajouté qu'en présence de 25-50 mM du $MgSO_4$, la variété Daniela de la tomate a affichée une réduction de la croissance par rapport au témoin. De plus, [202] ont montré que la salinité inhibe généralement la croissance des plantes et mène à la mort.

En termes de la matière sèche des racines, nous remarquons que la variété Marmande est très sensible à la présence du $NaCl$ dans le milieu alimentaire. Alors que chez la variété Saint-Pierre, le milieu enrichi en $MgSO_4$ exerce un effet défavorable

sur ce paramètre et ce durant 20 à 65 jours de stress. Ceci est dû à des perturbations et des dommages faites par ces sels sur les ions homéostasies dans les cellules végétales, et on conduisant à des conditions osmotiques indésirables.

Des expériences faites sur la variété Somontano de piment a montré qu'une concentration de 30 mM de NaCl diminue la production de la matière sèche de 23% par rapport aux plantes non traitées [235]. De nombreux auteurs [236] et [237] ont remarqué que doses de NaCl supérieures à 150 mM réduisent fortement la croissance végétative et causent des symptômes de brûlures et de toxicité. [238] ont rapporté que la salinité est susceptible de perturber la nutrition minérale des plantes en interférant avec le prélèvement de certains éléments essentiels comme le potassium et le calcium et ceci soit par substitution, soit par compétition au niveau des sites d'absorption membranaire.

La réduction de la croissance, dans les conditions d'un stress salin est attribuée à plusieurs facteurs, parmi lesquelles l'accumulation des ions, aussi bien en Na^+ , Mg^{+2} qu'en Cl^- ou SO_4^{-2} à des teneurs élevées dans les tissus foliaires qui est la cause principale des contraintes ioniques au niveau des tissus de la plante (Munns et *al.*, 2006). Selon ces auteurs, le stress salin cause un déséquilibre nutritionnel qui en résulte l'inhibition de l'absorption des éléments nutritifs essentiels comme le Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} , NO_3^- par les phénomènes de compétition minérale de fixation apoplasmique [239]. En présence de sel, l'absorption des cations Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} dépasse souvent celle des anions Cl^- , PO_4^- et NO_3^- ce qui engendre ainsi un déficit anionique pour le végétal. Dans les feuilles, les Chlorures sont toujours accumulés proportionnellement à la teneur globale en sel et en plus grande quantité que le sodium [240] et [241].

4.3. Effet de la salinité sur les paramètres physiologiques

4.3.1. Effet sur la teneur en chlorophylle (A)

Les résultats relatifs à la teneur en chlorophylle (A) dans les feuilles sont présentés dans le tableau 4.26. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce à différentes périodes de stress étudiées.

Tableau 4.26 : Teneur des feuilles en chlorophylle (A) ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ MF)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	0,507± 0,005 h	0,278 ± 0,016 f	0,119± 0,005 f	1,039± 0,047 f	0,429± 0,004 g	0,095± 0,008 g
SSC	1,144 ± 0,09 e	1.460 ± 0,027 a	0,364± 0,026 e	1,216± 0,019 e	1,105± 0,013 e	0,273± 0,025 e
NaCl	1,628 ± 0,025 a	0,872 ± 0,019 e	0,446± 0,004 d	1,809± 0,037 a	1,371± 0,030 d	0,648± 0,009 d
Na ₂ SO ₄	1,539 ± 0,009 b	1,101 ± 0,037 c	0,556± 0,003 c	1,782± 0,016 a	1,346± 0,014 d	0,629± 0,007 d
MgCl ₂	1,357 ± 0,089 d	0,984 ± 0,011 d	0,685± 0,012 a	1,361± 0,043 d	1,645± 0,008 a	0,840± 0,013 b
MgSO ₄	1,428 ± 0,038 c	0,998 ± 0,005 d	0,542± 0,021 c	1,535± 0,042 c	1,565± 0,007 b	0,795± 0,021 c
Na ₂ SO ₄ + NaCl	1,481 ± 0,023 c	1,355 ± 0,029 b	0,651± 0,037 b	1,689± 0,017 b	1,413± 0,013 c	0,850± 0,023 a
MgSO ₄ + MgCl ₂	1,333 ± 0,028 d	1,331 ± 0,022 b	0,622± 0,031 b	1,807± 0,072 a	1,539± 0,001 b	0,253± 0,018 e
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	0,986 ± 0,047 g	0,512 ± 0,040 e	0,066± 0,004 g	1,371± 0,006 d	0,612± 0,023 f	0,117± 0,008 f
MgSO ₄ + CaCl ₂	1,069 ± 0,123 f	0,469 ± 0,011 e	0,045± 0,005 h	1,234± 0,166 e	0,409± 0,044 g	0,041± 0,005 h

Après 20 jours de stress, nous remarquons que la teneur des feuilles en chlorophylle (A) la plus importante est produite chez les deux variétés dans le milieu alimentaire enrichi en NaCl et plus particulièrement chez la variété Saint-Pierre. A l'inverse, le milieu nutritif contenant la solution saline naturelle révèle le taux de la chlorophylle (A) le plus faible par rapport aux autres traitements testés. Une réduction de 51,20% est notée chez la variété Marmande comparativement à la variété Saint-pierre dans le milieu contenant la solution saline naturelle. De plus, les milieux alimentaires composés de Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et de MgSO_4 associé au MgCl_2 révèlent des accroissements les plus remarquables au niveau des plantes issues de la variété Saint-Pierre comparativement à la variété Marmande, et qui sont de 39,04 et 35,55% respectivement. Aussi, les milieux nutritifs composés de Na_2SO_4 et de MgSO_4 associé au CaCl_2 révèlent chez la variété Marmande des régressions de taux de la chlorophylle (A) dans les feuilles de tomate de 13,63 et 13,37% par ceux issues de la variété Saint-Pierre respectivement.

Après 65 jours de stress, la faible teneur des feuilles en chlorophylle (A) est révélée chez la variété Marmande dans les milieux relatifs à la solution saline naturelle et dans le milieu renfermant le MgSO_4 associé au CaCl_2 . Ce même est indiqué que à celui révélé sur les feuilles de la variété Saint-Pierre, et ce comparativement aux autres traitements testés. De plus, la correction de la solution saline naturelle améliore significativement le paramètre mesuré chez la variété Marmande par rapport à la variété Saint-Pierre, avec un gain de 32,12%. En revanche, la présence du MgCl_2 et le MgSO_4 dans les milieux nutritifs exercent chez la variété Marmande une sensibilité remarquable se traduisant par une réduction de 40,18 et 36,23% respectivement par rapport à la teneur en chlorophylle (A) produite chez la variété Saint-Pierre. En fin, la présence du NaCl dans le milieu nutritif induit une régression du taux de chlorophylle (A) de 36,39% chez la variété Marmande comparativement à la variété Saint-Pierre.

Enfin, nous remarquons après 110 jours de stress, que le milieu enrichi en MgSO_4 associé au CaCl_2 exerce un effet dépressif le plus important au niveau des deux variétés de tomate testées comparativement aux autres traitements testés. A l'inverse,

le comportement de deux variétés de tomate est amélioré en présence du $MgCl_2$ dans la solution d'irrigation, et que la variété Saint-Pierre semble être plus résistante que la variété Marmande dans ce milieu. L'accroissement révélé est de 22,62%. Enfin, le milieu alimentaire enrichi en Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ manifeste un effet dépressif de 43,58% chez la variété Marmande comparativement à la variété Saint-Pierre.

4.3.2. Effet sur la teneur en chlorophylle (B)

Les résultats relatifs à la teneur en chlorophylle (B) dans les feuilles sont présentés dans le tableau 4.27. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress étudiées.

Nous remarquons après 20 jours de stress que la teneur des feuilles en chlorophylle (B) la plus élevée est produite chez la variété Saint-Pierre au niveau des milieux enrichis en $NaCl$ et le Na_2SO_4 associée au $NaCl$ et ce comparativement à la variété Marmande et aux autres traitements testés. Inversement, le milieu nutritif contenant la solution saline naturelle révèle le taux de chlorophylle (B) le plus faible au niveau des deux variétés de tomate cultivées par rapport aux autres traitements testés. Ainsi, la variété Marmande présente une sensibilité accrue dans ce milieu comparativement à la variété Saint-Pierre avec une régression de 40,71%. Aussi, la variété Marmande présente une sensibilité aux milieux nutritifs enrichis en $NaCl$ et en Na_2SO_4 associé au $NaCl$ et ce comparativement aux mêmes traitements chez la variété Saint-Pierre. Les baisses des taux de chlorophylle (B) de la variété Marmande sont de 43,14 et 41,44% respectivement.

Après 65 jours de stress, la teneur des feuilles en chlorophylle (B) la plus importante est produite chez la variété Saint-Pierre au niveau des milieux renferment le $MgSO_4$ et le $MgSO_4$ associée au $MgCl_2$. Le taux de la chlorophylle (B) mesuré sur les feuilles des plantes issues de la solution saline naturelle est plus faible au niveau des deux variétés, et où la variété Marmande présente une meilleure résistance à ce milieu nutritif. Il est lieu de noter que le milieu contenant la solution saline corrigée manifeste des accroissements importants que ceux enregistrés au niveau du milieu

renferment de la solution saline naturelle. Les gains enregistrés sont de 101,33 et 198,18% chez la variété Marmande et Saint-Pierre respectivement.

Tableau 4.27 : Teneur des feuilles en chlorophylle (B) ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ MF)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	0,249± 0,013 f	0,224± 0,019 e	0,146± 0,006 f	0,420± 0,013 f	0,165± 0,02 h	0,087± 0,009 f
SSC	0,557± 0,06 b	0,451± 0,025 c	0,492± 0,002 c	0,562± 0,061 e	0,492± 0,042 d	0,451± 0,006 ab
NaCl	0,535± 0,026 c	0,555± 0,032 b	0,466± 0,007 c	0,941± 0,042 a	0,433± 0,053 e	0,390± 0,037 c
Na ₂ SO ₄	0,765± 0,012 a	0,558± 0,017 b	0,528± 0,035 b	0,738± 0,035 c	0,485± 0,010 d	0,425± 0,024 b
MgCl ₂	0,442± 0,071 e	0,603± 0,041 a	0,415± 0,026 d	0,445± 0,014 f	0,610± 0,032 b	0,423± 0,007 b
MgSO ₄	0,456± 0,006 e	0,553± 0,023 b	0,353± 0,038 e	0,595± 0,036 e	0,721± 0,016 a	0,474± 0,017 a
Na ₂ SO ₄ + NaCl	0,486± 0,045 d	0,437± 0,027 c	0,759± 0,067 a	0,830± 0,030 b	0,576± 0,014 c	0,452± 0,032 ab
MgSO ₄ + MgCl ₂	0,579± 0,053 b	0,622± 0,036 a	0,547± 0,037 b	0,699± 0,012 d	0,654± 0,040 b	0,174± 0,010 d
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	0,433± 0,048 e	0,321± 0,033 d	0,068± 0,006 g	0,587± 0,034 e	0,303± 0,019 f	0,116± 0,011 e
MgSO ₄ + CaCl ₂	0,763± 0,043 a	0,222± 0,009 e	0,057± 0,001 g	0,536± 0,103 e	0,256± 0,044 g	0,050± 0,007 g

Enfin et après 110 jours de stress, les faibles taux en chlorophylle (B) sont enregistrés au niveau du milieu enrichi du MgSO₄ associée au CaCl₂ chez les deux variétés de tomate étudiées. Aussi, la présence du MgSO₄ dans le milieu nutritif manifeste chez la variété Saint-Pierre le taux le plus important en chlorophylle (B) par

rapport aux autres traitements testés. Un effet favorable est observé chez la variété Marmande au niveau du milieu enrichi en Na_2SO_4 associé au NaCl et ce comparativement aux autres traitements. De plus, le comportement de la variété Saint-Pierre dans le milieu nutritif enrichi en MgSO_4 associée au MgCl_2 manifeste une régression du taux de chlorophylle (B) de 68,19% par rapport à la teneur enregistrée chez la variété Marmande. A l'opposé, la présence du Na_2SO_4 associé au CaCl_2 favorise un gain de 70,58% chez la variété Saint-Pierre comparativement à la variété Marmande.

4.3.3. Effet sur la teneur en proline dans les racines

Les résultats relatifs à la teneur des racines en proline sont présentés dans le tableau 4.28. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress étudiées.

Après 20 jours de stress, nous remarquons que la présence du NaCl dans le milieu alimentaire manifeste la teneur la plus importante en proline dans les racines de deux variétés testées et ce par rapport aux autres traitements. En revanche, la présence du MgSO_4 associé au CaCl_2 dans le milieu alimentaire de deux variétés de tomate enregistre la plus faible teneur de proline dans les racines par rapport aux autres traitements testés. De plus, les deux variétés cultivées présentent une sensibilité au milieu enrichi en MgCl_2 comparativement au MgSO_4 et au milieu nutritif enrichi en Na_2SO_4 associé au NaCl comparativement au milieu nutritif.

Après 65 jours de stress que le milieu nutritif enrichi de MgSO_4 présence chez la variété Saint-Pierre la teneur en proline la plus importante comparativement aux autres traitements testés. Quant à chez la variété Marmande, c'est au niveau du milieu enrichi en Na_2SO_4 associé au NaCl_2 que nous observés le taux le plus important pour ce paramètre.

Tableau 4.28 : Teneur de proline dans les racines ($\mu\text{g.g}^{-1}$ MF)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	0,045 \pm 0,002 c	0,007 \pm 0,001 e	0,017 \pm 0,001 c	0,045 \pm 0,002 c	0,007 \pm 0,001 f	0,020 \pm 0,002 d
SSC	0,025 \pm 0,002 d	0,016 \pm 0,002 c	0,028 \pm 0,002 d	0,025 \pm 0,002 c	0,027 \pm 0,000 d	0,039 \pm 0,003 b
NaCl	0,075 \pm 0,002 a	0,024 \pm 0,001 b	0,058 \pm 0,001 c	0,075 \pm 0,002 a	0,015 \pm 0,000 e	0,028 \pm 0,000 c
Na ₂ SO ₄	0,018 \pm 0,003 e	0,021 \pm 0,002 b	0,011 \pm 0,001 f	0,018 \pm 0,003 d	0,034 \pm 0,002 c	0,039 \pm 0,002 b
MgCl ₂	0,056 \pm 0,003 b	0,016 \pm 0,001 c	0,024 \pm 0,001 d	0,056 \pm 0,003 b	0,039 \pm 0,003 b	0,026 \pm 0,001 c
MgSO ₄	0,013 \pm 0,003 f	0,029 \pm 0,001 b	0,101 \pm 0,002 a	0,013 \pm 0,003 e	0,043 \pm 0,005 a	0,014 \pm 0,001 e
Na ₂ SO ₄ + NaCl	0,029 \pm 0,001 d	0,036 \pm 0,001 a	0,070 \pm 0,002 b	0,029 \pm 0,001 c	0,041 \pm 0,000 a	0,023 \pm 0,001 d
MgSO ₄ + MgCl ₂	0,004 \pm 0,001 g	0,011 \pm 0,002 d	0,056 \pm 0,001 c	0,004 \pm 0,001 f	0,033 \pm 0,001 c	0,047 \pm 0,002 a
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	0,010 \pm 0,001 f	0,006 \pm 0,001 e	0,019 \pm 0,001 e	0,010 \pm 0,001 e	0,008 \pm 0,001 f	0,014 \pm 0,002 e
MgSO ₄ + CaCl ₂	0,006 \pm 0,000 g	0,004 \pm 0,001 e	0,012 \pm 0,001 f	0,006 \pm 0,000 f	0,016 \pm 0,001 e	0,030 \pm 0,001 c

A cet effet, on peut dire que la variété Saint-Pierre montre une résistance aux milieux précités comparativement à la variété Marmande, ce qui se traduit par une accumulation accrue de la proline dans les racines de la variété Saint-Pierre. Les accroissements enregistrés sont de 48,27 et 41,37% respectivement. De plus, nous remarquons que la présence du NaCl dans la solution d'irrigation exerce chez la variété Marmande un accroissement de 60% du taux de la proline au niveau des racines et ce comparativement à la variété Saint-Pierre. A l'opposé, des réductions de la teneur en

proline de 58,97 et 66,66% sont enregistrées chez la variété Marmande en présence du $MgCl_2$ et du $MgSO_4$ associé au $MgCl_2$ respectivement par rapport à la variété Saint-Pierre. De plus, la présence du $MgSO_4$ associé au $CaCl_2$ révèle une chute de 75% du paramètre mesuré par rapport à celui produit chez la variété Saint-Pierre.

Après 110 jours de stress, nous remarquons que la teneur en proline dans les racines la plus importante est enregistré au niveau du milieu enrichi en $MgSO_4$ chez la variété Marmande et ce comparativement aux autres traitements. En revanche, le milieu nutritif composé de $MgSO_4$ associé au $MgCl_2$ révèle le taux le plus important chez la variété Saint-Pierre. De plus, la variété Saint-Pierre montre une sensibilité accrue de ce paramètre en présence du Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ et le $NaCl$ par rapport à la variété Marmande. Les chutes sont de 67,14 et 51,72% respectivement.

4.3.4. Effet sur la teneur des tiges en proline

Les résultats relatifs à la teneur des tiges en proline sont présentés dans le tableau 4.29. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce à différentes périodes de stress étudiées.

Nous remarquons que la teneur en proline dans les tiges des deux variétés de tomate cultivées dans la solution saline corrigée est plus importante durant les trois périodes de stress par rapport aux autres traitements testés. La variété Saint-Pierre, synthétise davantage ce paramètre mesuré dans ce même milieu alimentaire durant 20 et 110 jours de stress. De plus, le comportement physiologique traduit par l'accumulation de la proline dans les tiges des deux variétés de tomate testées est similaire que ce soit dans le milieu nutritif enrichi en $NaCl$, de Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ et de $MgSO_4$ associé au $MgCl_2$. Enfin, il y a lieu de noter que la présence dans les milieux nutritifs enrichis de $MgCl_2$ et de $MgSO_4$ permettent de révéler que les plus faibles teneurs en proline dans les tiges sont obtenues dans ces traitements.

Tableau 4.29 : Teneur en proline dans les tiges ($\mu\text{g.g}^{-1}$ MF)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	0,017 ± 0,007 c	0,008 ± 0,001 e	0,015 ± 0,001 e	0,017 ± 0,004 c	0,008 ± 0,001 f	0,072 ± 0,001 d
SSC	0,038 ± 0,008 a	0,047 ± 0,003 a	0,073 ± 0,003 a	0,038 ± 0,008 a	0,016 ± 0,000 d	0,206 ± 0,007 a
NaCl	0,032 ± 0,003 b	0,045 ± 0,003 a	0,056 ± 0,001 b	0,032 ± 0,003 b	0,031 ± 0,002 b	0,097 ± 0,006 c
Na ₂ SO ₄	0,009 ± 0,002 d	0,021 ± 0,002 b	0,049 ± 0,003 c	0,009 ± 0,002 d	0,017 ± 0,000 d	0,058 ± 0,002 e
MgCl ₂	0,002 ± 0,002 e	0,013 ± 0,001 c	0,025 ± 0,001 d	0,002 ± 0,002 e	0,020 ± 0,003 c	0,048 ± 0,004 f
MgSO ₄	0,002 ± 0,002 e	0,015 ± 0,001 c	0,055 ± 0,000 b	0,002 ± 0,002 e	0,021 ± 0,002 c	0,110 ± 0,004 b
Na ₂ SO ₄ + NaCl	0,031 ± 0,010 b	0,013 ± 0,001 c	0,046 ± 0,001 c	0,031 ± 0,010 b	0,059 ± 0,003 a	0,027 ± 0,001 h
MgSO ₄ + MgCl ₂	0,033 ± 0,002 b	0,021 ± 0,000 b	0,056 ± 0,000 b	0,033 ± 0,002 b	0,014 ± 0,001 e	0,035 ± 0,001 g
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	0,016 ± 0,001 c	0,007 ± 0,001 e	0,018 ± 0,001 e	0,016 ± 0,001 c	0,009 ± 0,002 f	0,014 ± 0,002 i
MgSO ₄ + CaCl ₂	0,010 ± 0,001 d	0,007 ± 0,000 e	0,015 ± 0,001 e	0,010 ± 0,001 d	0,009 ± 0,001 f	0,018 ± 0,001 i

Nous remarquons après 65 jours de stress que le taux de la proline dans les tiges le plus élevé est produit par la variété Marmande au niveau du milieu contenant la solution saline corrigée et au niveau du milieu enrichi en NaCl, tandis que pour la variété Saint-Pierre, il est obtenu au niveau du milieu contenant le Na₂SO₄ associé au NaCl et ce comparativement aux autres traitements testés. Inversement, les milieux nutritifs renferment le Na₂SO₄ associé au CaCl₂ et le MgSO₄ associé au CaCl₂ révèlent les taux de proline dans tiges les plus faibles chez la variété Marmande par rapport aux

autres traitements, alors que la solution saline naturelle exerce un effet dépressif chez la variété Saint-Pierre. Aussi, la variété Marmande présente une résistance aux milieux nutritifs enrichis en Na_2SO_4 associée au NaCl ; MgCl_2 et le MgSO_4 et ce comparativement aux mêmes traitements chez la variété Saint-Pierre puisque c'est dans ces milieux où la variété Saint-Pierre produite plus de proline pour suivre et maintenir sa pression osmotique interne supérieure à celle du milieu externe. En revanche, la variété Saint-Pierre présente une résistance aux milieux alimentaires contenant la solution saline corrigée, le MgSO_4 associé au MgCl_2 et le NaCl et ce par rapport aux mêmes traitements chez la variété Marmande.

Après 110 jours de stress, la teneur des tiges en proline la plus importante est produite chez les deux variétés au niveau du milieu alimentaire renferment la solution saline corrigée par rapport aux autres traitements testés, et que la variété Saint-Pierre présente une sensibilité très importante au milieu comparativement à la variété Marmande. En outre, la variété Marmande présente une résistance accrue aux milieux enrichis en MgSO_4 et le MgCl_2 se traduisant par une production de la proline faible par rapport à la variété Saint-Pierre. En revanche, la variété Saint-Pierre présente une résistance aux milieux enrichis en MgSO_4 associé au MgCl_2 et au Na_2SO_4 associé au NaCl étant donné que la production de la proline dans les tiges reste faible dans les milieux nutritifs par rapport à celle produite dans les mêmes conditions de nutrition.

4.3.5. Effet sur la teneur en proline dans les feuilles basales

Les résultats relatifs à la teneur en proline dans les feuilles basales sont présentés dans le tableau 4.30. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress étudiées.

Après 20 jours de stress, les deux variétés cultivées accumulent le taux le plus important de la proline dans les feuilles basales dans le milieu enrichi en NaCl . A travers ce résultat, on peut dire que la variété Marmande semble être plus résistante à

ce milieu comparativement à la variété Saint-Pierre. La régression enregistrée est de 54,16%.

Tableau 4.30 : Teneur en proline dans les feuilles basales ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ MF)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	0,024 ± 0,003 c	0,031 ± 0,003 b	0,011 ± 0,001 d	0,016 ± 0,002 g	0,028 ± 0,001 c	0,017 ± 0,002 c
SSC	0,008 ± 0,001 f	0,057 ± 0,001 a	0,017 ± 0,001 b	0,038 ± 0,004 e	0,038 ± 0,001 b	0,025 ± 0,002 b
NaCl	0,033 ± 0,001 a	0,029 ± 0,002 c	0,013 ± 0,001 c	0,072 ± 0,002 a	0,039 ± 0,002 b	0,013 ± 0,000 d
Na ₂ SO ₄	0,011 ± 0,004 e	0,035 ± 0,001 b	0,014 ± 0,001 c	0,019 ± 0,003 g	0,026 ± 0,001 c	0,009 ± 0,001 e
MgCl ₂	0,026 ± 0,002 b	0,031 ± 0,000 b	0,020 ± 0,001 b	0,047 ± 0,003 d	0,012 ± 0,002 e	0,076 ± 0,002 a
MgSO ₄	0,014 ± 0,001 e	0,024 ± 0,002 d	0,045 ± 0,002 a	0,068 ± 0,003 b	0,027 ± 0,001 c	0,014 ± 0,001 d
Na ₂ SO ₄ + NaCl	0,011 ± 0,004 e	0,028 ± 0,001 c	0,019 ± 0,001 b	0,052 ± 0,002 c	0,043 ± 0,001 a	0,021 ± 0,001 b
MgSO ₄ + MgCl ₂	0,022 ± 0,003 c	0,024 ± 0,001 d	0,014 ± 0,002 c	0,025 ± 0,006 f	0,016 ± 0,003 d	0,022 ± 0,003 b
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	0,019 ± 0,000 d	0,021 ± 0,002 f	0,008 ± 0,001 e	0,062 ± 0,006 b	0,008 ± 0,000 f	0,016 ± 0,001 c
MgSO ₄ + CaCl ₂	0,013 ± 0,000 e	0,022 ± 0,002 f	0,008 ± 0,001 e	0,023 ± 0,001 f	0,007 ± 0,001 f	0,010 ± 0,002 e

En revanche, la teneur en proline la plus faible est obtenue chez la variété Marmande en présence de la solution saline corrigée comparativement aux autres traitements testés. De plus, l'accumulation de la proline dans les feuilles basales est

plus marquée chez la variété Saint-Pierre comparativement à la variété Marmande quel que soit la composition du milieu nutritif. En effet, la présence dans les milieux nutritifs du MgSO_4 et le Na_2SO_4 associé au CaCl_2 exercent des régressions de 79,41 et 69,35% respectivement de cet osmoprotecteur dans les feuilles basales chez la variété Marmande comparativement à la variété Saint-Pierre ce qui montre bien que la variété Marmande est plus résistante que la variété Saint-Pierre se traduisant ainsi par une production de proline moindre. Il est lieu de noter que le milieu contenant la solution saline naturelle présente un accroissement de la teneur en proline dans les feuilles basales de 50% chez la variété Marmande par rapport à la variété Saint-Pierre.

Après 65 jours de stress, les feuilles basales de la variété Saint-Pierre présentent le taux de la proline le plus remarquable dans le milieu alimentaire enrichi de Na_2SO_4 associé au NaCl et ce comparativement aux autres traitements testés, et aussi par rapport à la variété Marmande. Le gain enregistré est de 53,57%. La variété Marmande enregistre le taux le plus important au niveau du milieu contenant la solution saline corrigée avec un accroissement de 50% comparativement à la variété Saint-Pierre. Inversement, le taux de cet osmoprotecteur dans les feuilles basales de la variété Marmande présente des régressions de 11,11 et 25,64% en présence du MgSO_4 et NaCl dans les milieux d'irrigations.

Après 110 jours de stress, le comportement de la variété Marmande dans le milieu enrichi en MgSO_4 se traduit par le taux le plus important de ce paramètre comparativement aux autres traitements testés. Alors que pour la variété Saint-Pierre, la teneur en proline dans les feuilles basales est enregistrée au niveau du milieu enrichi en MgCl_2 . En revanche, les plus faibles teneurs sont révélés chez la variété Marmande au niveau des milieux enrichis en Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le MgSO_4 associé au CaCl_2 par rapport aux autres traitements testés et au niveau des milieux renferment le Na_2SO_4 et le MgSO_4 associé au CaCl_2 chez la variété Saint-Pierre.

4.3.6. Effet sur la teneur en proline dans les feuilles médianes

Les résultats relatifs à la teneur en proline dans les feuilles médianes sont présentés dans le tableau 4.31. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress analysées.

Tableau 4.31 : Teneur en proline dans les feuilles médianes ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ MF)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	0,011 ± 0,002 e	0,019 ± 0,001 f	0,012 ± 0,002 d	0,020 ± 0,003 e	0,015 ± 0,000 d	0,025 ± 0,002 c
SSC	0,039 ± 0,005 a	0,031 ± 0,004 d	0,022 ± 0,002 b	0,040 ± 0,001 c	0,030 ± 0,002 b	0,043 ± 0,008 a
NaCl	0,030 ± 0,000 b	0,038 ± 0,002 c	0,020 ± 0,001 b	0,032 ± 0,003 d	0,050 ± 0,001 a	0,017 ± 0,001 d
Na ₂ SO ₄	0,014 ± 0,001 e	0,017 ± 0,001 f	0,016 ± 0,001 c	0,027 ± 0,002 e	0,030 ± 0,002 b	0,024 ± 0,002 c
MgCl ₂	0,015 ± 0,001 e	0,040 ± 0,002 b	0,014 ± 0,001 d	0,040 ± 0,003 c	0,025 ± 0,002 c	0,030 ± 0,003 b
MgSO ₄	0,013 ± 0,003 e	0,036 ± 0,001 c	0,017 ± 0,001 c	0,021 ± 0,002 e	0,028 ± 0,003 c	0,022 ± 0,005 c
Na ₂ SO ₄ + NaCl	0,031 ± 0,002 b	0,030 ± 0,002 d	0,029 ± 0,002 a	0,052 ± 0,002 b	0,028 ± 0,003 c	0,031 ± 0,003 b
MgSO ₄ + MgCl ₂	0,025 ± 0,003 c	0,045 ± 0,004 a	0,012 ± 0,001 d	0,065 ± 0,005 a	0,014 ± 0,001 d	0,016 ± 0,002 d
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	0,007 ± 0,001 f	0,031 ± 0,006 d	0,009 ± 0,001 e	0,023 ± 0,002 e	0,008 ± 0,002 e	0,016 ± 0,001 d
MgSO ₄ + CaCl ₂	0,017 ± 0,001 d	0,025 ± 0,002 e	0,010 ± 0,001 e	0,008 ± 0,002 f	0,043 ± 0,006 ab	0,021 ± 0,001 c

Nous remarquons que la teneur la plus importante dans les feuilles médianes est révélée chez la variété Marmande dans le milieu alimentaire contenant la solution saline corrigée par rapport aux autres traitements. Alors que chez la variété Saint-Pierre, le taux le plus important de ce paramètre est enregistré au niveau du milieu enrichi en MgSO_4 associé au MgCl_2 . En effet, les milieux nutritifs contenant la solution saline naturelle et le Na_2SO_4 associé au CaCl_2 permettant peu d'accumulation de la proline dans les feuilles médiane de la variété Marmande comparativement à la variété Saint-Pierre. Les variations enregistrées sont de 45 et 69,56% respectivement. En revanche, la présence du MgSO_4 associé au CaCl_2 dans le milieu alimentaire de la variété Saint-Pierre produit peu de proline par rapport à la variété Marmande. L'écart révélé est de 52,94%.

Après 65 jours de stress, la teneur en proline dans des feuilles médianes la plus faible est révélée chez la variété Marmande au niveau du milieu contenant le Na_2SO_4 comparativement aux autres traitements testés. Alors que chez la variété Saint-Pierre, le milieu enrichi en Na_2SO_4 associé au CaCl_2 produit peu de cet osmoregulateur par rapport aux autres traitements testés et comparativement à la variété Marmande. Ceci correspond à une variation de 74,19%. De plus, le comportement physiologique en présence du Na_2SO_4 et le NaCl dans le milieu d'irrigation de la variété Marmande exercent des régressions de 43,33 et 24% respectivement par rapport à la variété Saint Pierre. Inversement, le taux de la proline dans les feuilles médianes de la variété Saint-Pierre montre des dépressions correspondent à 37,5 et 68,88% en présence du MgCl_2 et de MgSO_4 associé au MgCl_2 respectivement et ce par rapport à la teneur produite chez la variété Marmande.

Enfin et après 110 jours de stress, la teneur la plus importante de la proline dans les feuilles médianes de la variété Marmande est enregistré au niveau du milieu enrichi en Na_2SO_4 associée au NaCl et ce comparativement aux autres traitements. Alors qu'il est enregistré au niveau du milieu alimentaire contenant la solution saline corrigée chez la variété Saint-Pierre. De plus, l'exposition de la variété Marmande aux milieux enrichis en Na_2SO_4 et Na_2SO_4 associée au CaCl_2 exercent un effet dépressif traduisant

par des diminutions de cet acide aminé dans les feuilles médianes de 33,33 et 43,75% respectivement et ce comparativement à la variété Saint-Pierre. En revanche, la présence du NaCl dans le milieu d'irrigation de la variété Marmande exerce un accroissement de 17,64% de ce paramètre comparativement à la variété Saint-Pierre.

4.3.7. Effet sur la teneur en proline dans les feuilles apicales

Les résultats relatifs à la teneur en proline dans les feuilles apicales sont présentés dans le tableau 4.32.

L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress testées.

Après 20 jours de stress, la teneur la plus importante de la proline dans les feuilles apicales de la variété Marmande est enregistrée au niveau du milieu enrichi en Na_2SO_4 associée au NaCl et ce comparativement aux autres traitements, alors que le taux le plus faible est révélé au niveau des milieux contenant Na_2SO_4 associée au CaCl_2 et MgSO_4 associée au CaCl_2 . La variété Saint-Pierre cultivée dans les milieux alimentaires contenant la solution saline naturelle et le MgSO_4 associée au MgCl_2 produit plus cet osmoprotecteur comparativement aux autres traitements testés. En outre, la variété Saint-Pierre enregistre des écarts négatifs remarquables de la teneur en proline dans les feuilles apicale en présence du Na_2SO_4 associé au NaCl et MgSO_4 par rapport à la variété Marmande et qui sont de 83,20 et 68,75% respectivement.

Après 65 jours de stress, la culture de la variété Marmande dans le milieu enrichi en Na_2SO_4 révèle la teneur la plus importante de la proline dans les feuilles apicales par rapport aux autres traitements testés. Les faibles teneurs de ce paramètre sont observées en présence du MgSO_4 associé au CaCl_2 et le Na_2SO_4 associé au CaCl_2 . Pour ce qui est de la variété Saint-Pierre, le milieu nutritif enrichi en MgSO_4 révèle la teneur en proline la plus importante dans les feuilles apicales comparativement aux autres traitements testées, tandis que les faibles teneurs sont enregistrées au niveau du milieu nutritif contenant le Na_2SO_4 associé au NaCl.

Tableau 4.32 : Teneur en proline dans les feuilles apicales ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ MF)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	0,022± 0,001 f	0,027± 0,002 d	0,010± 0,002 c	0,064± 0,006 a	0,027± 0,001 c	0,041± 0,002 g
SSC	0,103± 0,003 c	0,047± 0,004 b	0,058± 0,003 a	0,039± 0,006 b	0,035±0,0 02 b	0,099± 0,002 d
NaCl	0,052± 0,001 d	0,037± 0,000 c	0,028± 0,003 b	0,045± 0,003 b	0,037±0,0 05 b	0,125± 0,003 c
Na ₂ SO ₄	0,040± 0,002 e	0,064± 0,003 a	0,012± 0,002 c	0,011± 0,002 d	0,019± 0,002 e	0,074± 0,003 e
MgCl ₂	0,041± 0,002 e	0,040± 0,002 b	0,010± 0,001 c	0,028± 0,002 c	0,039± 0,002 b	0,143±0,0 06 b
MgSO ₄	0,128± 0,002 b	0,041± 0,003 b	0,021± 0,002 b	0,040± 0,004 b	0,049± 0,002 a	0,079±0,0 03 e
Na ₂ SO ₄ + NaCl	0,256± 0,009 a	0,043± 0,002 b	0,025± 0,001 b	0,043± 0,006 b	0,011± 0,002 f	0,158± 0,003 a
MgSO ₄ + MgCl ₂	0,058± 0,001 d	0,023± 0,001 d	0,010± 0,002 c	0,061± 0,000 a	0,029± 0,001 c	0,046± 0,004 f
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	0,019± 0,000 g	0,017± 0,001 e	0,007± 0,001 d	0,014± 0,003 d	0,022± 0,001 d	0,048± 0,004 f
MgSO ₄ + CaCl ₂	0,018± 0,007 g	0,014± 0,001 e	0,004± 0,002 d	0,039± 0,002 b	0,019± 0,001 e	0,032± 0,001 h

Aussi, exposition de la variété Saint-Pierre aux milieux nutritifs enrichis en Na₂SO₄ et Na₂SO₄ associé au NaCl exercent des régressions de 70,31 et 74,4% respectivement comparativement aux taux produits chez la variété Marmande.

Enfin, après 110 jours de stress, nous remarquons que la teneur de proline la plus importante chez la variété Marmande est enregistrée au niveau de milieu alimentaire contenant la solution saline corrigée, alors que chez la variété Saint-Pierre, elle est

obtenue au niveau du milieu alimentaire enrichi en Na_2SO_4 associé au NaCl . Aussi, des régressions de la teneur en proline remarquables de l'ordre de 93 et 87,50% sont enregistrées chez la variété Marmande au niveau des milieux enrichis en MgCl_2 et MgSO_4 associé au CaCl_2 par rapport à la variété Saint-Pierre.

Discussion des paramètres physiologiques

A travers les principaux résultats issus des paramètres physiologiques étudiés, on peut dire que la réponse des plantes à la salinité se fait selon deux phases : une phase rapide correspondant à la phase osmotique qui inhibe la croissance des jeunes feuilles, et une phase ionique plus lente qui accélère la sénescence de feuilles matures [4].

La première phase débute immédiatement après que la concentration en sel au niveau racinaire atteint le seuil critique, induisant un taux de croissance des pousses significativement réduit. La réduction de l'expansion des feuilles après cet accroissement de la salinité est due dans un premier lieu à l'effet osmotique du sel au niveau des racines.

La deuxième phase correspond à l'accumulation du sel à des doses toxiques au niveau des feuilles matures (caractérisée par l'arrêt de l'expansion foliaire et l'incapacité à diluer les sels), contrairement à ce qui peut être observé au niveau des feuilles jeunes puis leurs sénescences. Si le pourcentage de sénescence des feuilles matures est supérieur au taux de production de nouvelles feuilles, l'activité photosynthétique sera dans l'incapacité de subvenir au besoin en carbohydrates des jeunes feuilles qui voient leur croissance réduite [4]. Les plantes exposées à des contraintes salines se voient subir des modifications de leur métabolisme afin de s'adapter aux changements imposés par l'environnement. Le stress salin modifie les caractéristiques morphologiques, physiologiques et biochimiques des plantes.

Dans le présent travail, nous avons analysé deux paramètres physiologiques qui sont la teneur des feuilles en chlorophylle (A) et (B) ; ainsi la teneur en proline dans les différentes parties de la plante (racine, tige, feuille basale, médiane et apicale) chez les deux variétés de la tomate testées. Ces paramètres sont le plus souvent mesurés pour étudier la réponse des végétaux au stress salin.

En ce qui concerne la teneur en chlorophylle (A) et (B), les résultats obtenues montrent qu'elles présentent des régressions remarquables en fonction de la durée de stress appliquées (20 à 110 jours) où les milieux nutritifs contenant la solution saline naturelle, le Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le MgCl_2 associée au CaCl_2 , et que la variété Saint-Pierre est plus résistante que la variété Marmande. Aussi, la teneur en chlorophylle (B) accumulée, chez les deux variétés de tomate cultivées, pendant les trois périodes de stress testées est plus faible comparativement à la teneur en chlorophylle (A) quel que soit la composition du milieu nutritif.

Ces résultats rejoignent ceux de [242] sur tomate, de [243] sur la lentille (*Lens esculenta* M) ; mais différent sensiblement des résultats de [244] sur la tomate. Ces derniers rapportent qu'une salinité modérée augmente la quantité de la chlorophylle (A) et de la chlorophylle totale. La réduction de la chlorophylle (A) est peut être liée à la sensibilité d'une des étapes de sa biosynthèse au chlorure de sodium. Ce dernier affecte moins la voie de biosynthèse de la chlorophylle b [243].

D'après [95], la salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale. Selon [26], la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui est à l'origine de la fermeture des stomates [73], qui cause la réduction de la conductance stomatique [245].

Dans notre étude, il apparaît que la phase 65 jours de stress est la plus critique chez la variété Marmande comparativement à la variété Saint-Pierre et ce en présence du NaCl et de MgCl_2 dans le milieu nutritif. Les régressions de la teneur en chlorophylle (A) enregistrées sont de l'ordre de 46,43 et 27,48% respectivement. De cette optique, [246] ont montrés qu'une réduction des teneurs en chlorophylle est due à une augmentation des teneurs des chlorures à des doses toxiques aux niveau des vieilles feuilles, associée à l'augmentation de la résistance stomatique, entraînant une diminution de l'activité photosynthétique et qui sera à l'origine de la réduction de la

croissance [247]. Cette réduction de la teneur en chlorophylle n'est apparue qu'à partir de 110 jours de stress salin.

En termes de l'ajustement osmotique par l'accumulation de la proline dans les différents organes des deux variétés de tomate testées, nous remarquons clairement que cet osmoprotecteur est accumulée dans les organes aériens et racinaires. Ce phénomène permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...) et peut intervenir à tous les stades du développement du végétal. Il permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes. La proline semble jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol vacuole et de régulation du pH [248].

Selon nos résultats, nous remarquons que la présence du NaCl dans le milieu nutritif de la variété Marmande pendant les 20 jours de stress exerce une osmolarité externe plus forte dans les racines, les tiges et les feuilles basales, ce qui nécessite une osmolarité interne encore plus forte ce qui se traduit par une production accrue de cet osmoprotecteur pour éviter la déshydratation de ces organes (car l'eau passe de milieu moins concentrée vers le milieu le plus concentré).

Selon [92], l'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs qui peuvent être des ions tels que les K^+ , Na^+ et Cl^- ou des composés organiques tels les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructanes) et certains aminoacides (proline, glycine bêtaïne, β -alanine bêtaïne, proline bêtaïne) conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence. L'accumulation de ces composés a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Elle varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le degré de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (Acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes.

Nos résultats montrent aussi que l'accumulation de la proline a ralenti fortement dans les feuilles, tiges et les racines des deux variétés de tomate nourries à la solution saline naturelle, le Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le MgCl_2 associée au CaCl_2 . Le ralentissement de l'accumulation de la proline dans ces organes présume une inhibition de l'absorption hydrominérale des deux variétés de tomate cultivées, ce qui se traduit par les plus faibles teneurs en proline dans les différents organes.

D'après [249], la réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour limiter les effets du stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil où les dommages sont irréversibles. Pour illustrer cette tendance, dans la nature, la croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce ou variété [249]. En plus du contrôle de la croissance par les signaux hormonaux, la réduction de la croissance résulte de la dépense de ressources dans les stratégies d'adaptation.

Le mécanisme de l'accumulation de la proline permet de penser à la présence de sites de résistance de la plante à la contrainte. En effet, le transport de la proline de la source (lieu de synthèse) au site de la résistance est admis depuis longtemps comme un paramètre important dans l'acquisition de cette résistance. Nos résultats montrent que les feuilles apicales synthétisent plus de proline durant les 20 jours de stress dans les milieux enrichis en Na_2SO_4 associé NaCl et le MgSO_4 . [250], signalent que la proline serait synthétisée dans les feuilles et transportée vers ces sites. Pour [251], son accumulation contribue à l'acquisition de cette résistance grâce au maintien de la turgescence cellulaire chez de nombreuses espèces, créé par l'ajustement osmotique dont la proline est responsable.

4.4. Effet de la salinité sur les paramètres de production

4.4.1. Effet sur le nombre de fleur par plante

Les résultats relatifs au nombre de fleurs par plante sont présentés dans le tableau 4.33.

L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress étudiées.

Tableau 4.33 : Nombre de fleur par plante

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	-	14,33 ± 0,58 c	12,67 ± 0,58 f	-	14,67 ± 0,58 c	14,00 ± 1,00 b
SSC	-	19,33 ± 0,58 a	20,67 ± 1,15 a	-	21,33 ± 0,58 a	21,33 ± 0,58 a
NaCl	-	11,67 ± 0,58 f	13,00 ± 0,00 e	-	11,33 ± 0,58 f	14,00 ± 0,00 b
Na ₂ SO ₄	-	15,00 ± 1,00 b	15,00 ± 1,00 b	-	14,33 ± 1,15 d	13,00 ± 0,00 d
MgCl ₂	-	13,33 ± 0,58 d	13,33 ± 0,58 e	-	12,67 ± 0,58 e	11,67 ± 0,58 e
MgSO ₄	-	12,00 ± 0,00 e	14,33 ± 0,58 d	-	11,67 ± 0,58 f	14,33 ± 0,58 b
Na ₂ SO ₄ + NaCl	-	12,00 ± 0,00 e	14,67 ± 0,58 c	-	12,33 ± 0,58 e	13,67 ± 0,58 c
MgSO ₄ + MgCl ₂	-	13,67 ± 0,58 d	13,33 ± 0,58 e	-	16,00 ± 0,00 b	13,67 ± 0,58 c
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	-	3,33 ± 1,15 g	1,00 ± 0,00 h	-	3,67 ± 0,58 h	2,33 ± 0,58 f
MgSO ₄ + CaCl ₂	-	2,67 ± 0,58 h	2,67 ± 0,58 g	-	4,33 ± 0,58 g	2,67 ± 0,58 f

Nous remarquons chez les deux variétés de tomate cultivées que la phase de floraison n'apparaît qu'après 65 jours de stress. Pour cela, le nombre de fleur le plus important est enregistré au niveau du milieu nutritif contenant la solution saline corrigée et ce quel que soit la variété de tomate testée comparativement aux autres milieux nutritifs. Des légers accroissements de 10,34 et 3,19% sont observés chez la variété Saint-Pierre par rapport à la variété Marmande et ce durant 65 et 110 jours de stress.

Inversement, nous constatons que le nombre le plus faible de fleurs est enregistré, chez la variété Marmande, au niveau du milieu enrichi en $MgSO_4$ associé au $CaCl_2$ notamment après 65 jours de stress. Alors qu'il est révélé au niveau du milieu alimentaire enrichi en Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ chez la variété Saint-Pierre. De plus, il semble que la variété Saint-pierre est plus ou moins tolérante que la variété Marmande à la présence du $MgSO_4$ associé au $MgCl_2$ dans le milieu d'irrigation. Le gain enregistré est de 17,04%.

Enfin et après 110 jours de stress, nous remarquons que la variété Marmande semble être très sensible que la variété Saint-Pierre en présence du Na_2SO_4 associé $CaCl_2$. La régression révélée est de 57,08%. De plus, la présence de la solution saline naturelle, le $NaCl$ révèle des régressions de 9,50 et 7,14% respectivement. Aussi, la variété Saint-Pierre présente des réductions de floraison de 13,33 et 12,45% en présence du Na_2SO_4 et $MgCl_2$ dans les milieux nutritifs respectifs par rapport au nombre de fleurs produit chez la variété Marmande respectivement.

4.4.2. Effet sur le nombre de fruits par plante

Les résultats relatifs au nombre de fruits par plante sont présentés dans le tableau 4.34. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress testées.

Tableau 4.34 : Nombre de fruits par plante

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	-	2,33 ± 0,58 f	8,50 ± 0,71 d	-	1,67 ± 0,58 g	0,00 ± 0,00 e
SSC	-	8,67 ± 0,58 a	10,75 ± 0,50 a	-	6,33± 0,58 b	11,50± 0,58 a
NaCl	-	5,67 ± 1,15 b	8,75 ± 0,50 d	-	6,33± 0,58 b	11,25± 1,26 b
Na ₂ SO ₄	-	5,67 ± 0,58 b	10,67 ± 0,58 a	-	4,67 ± 0,58 d	11,00 ± 0,82 c
MgCl ₂	-	3,67 ± 0,58 e	8,50 ± 0,58 d	-	5,33 ± 0,58 c	11,67 ± 1,53 a
MgSO ₄	-	5,67 ± 0,58 b	9,75 ± 0,96 b	-	5,33 ± 0,58 c	9,50 ± 0,58 d
Na ₂ SO ₄ + NaCl	-	4,67 ± 1,15 d	9,00 ± 0,82 c	-	6,67 ± 0,58 a	11,00 ± 1,15 c
MgSO ₄ + MgCl ₂	-	5,00 ± 0,00 c	8,00 ± 0,82 e	-	4,33 ± 0,58 e	9,25 ± 0,96 d
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	-	2,33 ± 0,58 f	1,00 ± 0,00 f	-	3,00 ± 0,00 f	0,00 ± 0,00 e
MgSO ₄ + CaCl ₂	-	1,33 ± 0,58 g	1,00 ± 0,00 f	-	1,33 ± 0,58 g	0,00 ± 0,00 e

Nous remarquons qu'après 65 jours de stress, que le nombre de fruits le plus élevé est révélé chez la variété Marmande au niveau du milieu alimentaire contenant la solution saline corrigée. Alors qu'il est révélé, chez la variété Saint-Pierre, au niveau du milieu enrichi en Na₂SO₄ associé au NaCl. A l'opposé, les faibles productions de fruits sont enregistrées chez les deux variétés de tomate cultivées au niveau du milieu nutritif enrichi en MgSO₄ associé au CaCl₂.

Aussi, la variété Marmande semble plus productive que la variété Saint-Pierre dans les milieux nutritifs contenant la solution saline naturelle et corrigée. Les accroissements révélés sont de 39,52 et 36,96% respectivement. Alors que la variété Saint-Pierre semble plus productive que la variété Marmande dans les milieux alimentaires contenant le Na_2SO_4 associé au NaCl et le MgCl_2 . les gains révélés sont de 42,82 et 45,23% respectivement.

Après 110 jours de stress, nous constatons que la correction de la solution saline naturelle révèle la production la plus importante chez les deux variétés de tomate testées avec un léger accroissement de 6,85% chez la variété Saint-Pierre par rapport à la variété Marmande. De plus, la variété Marmande semble être plus sensible à la présence du NaCl , MgCl_2 et le Na_2SO_4 associé au NaCl . Cette sensibilité se traduit par des régressions enregistrées sont de 22,22 ; 27,16 et 18,18% respectivement. En revanche, la variété la variété Marmande semble plus tolérante en présence de la solution saline naturelle, le Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le MgSO_4 associé au CaCl_2 par rapport à la variété Saint-Pierre, compte tenu les faibles, voir l'absence de fruits au niveau des plantes.

4.4.3. Effet sur le nombre de fleurs avorté par plante

Les résultats relatifs aux taux de fleurs avortées sont présentés dans le tableau 4.35. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress testées.

Nous remarquons qu'après 65 jours de stress que le taux d'avortement des fleurs le plus élevé est enregistré, chez les deux variétés de tomate testées, et plus particulièrement au niveau du milieu contenant la solution saline naturelle avec une sensibilité de l'ordre de 5,50% qui est marquée chez la variété Marmande comparativement à la variété Saint-Pierre. Aussi, la variété Saint-Pierre semble être plus sensible au niveau du milieu contenant la solution saline corrigée que la variété Marmande. Cette sensibilité se traduit par une augmentation du taux d'avortement des

fleurs de 15,17%. A l'opposé, la variété Marmande présente une légère sensibilité de 14,52% dans le milieu enrichi en $MgCl_2$ comparativement à la variété Saint-Pierre.

Tableau 4.35 : Taux d'avortement des fleurs par plant (%)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	-	83,74	32,91	-	88,62	100,00
SSC	-	55,15	47,99	-	70,32	46,09
NaCl	-	51,41	32,69	-	44,13	19,64
Na_2SO_4	-	62,20	28,87	-	66,64	15,38
$MgCl_2$	-	72,47	36,23	-	57,93	0,00
$MgSO_4$	-	52,75	31,96	-	54,33	33,71
Na_2SO_4 + NaCl	-	61,08	38,65	-	45,90	19,53
$MgSO_4$ + $MgCl_2$	-	63,42	39,98	-	72,94	32,33
Na_2SO_4 + $CaCl_2$	-	30,03	0,00	-	18,26	100,00
$MgSO_4$ + $CaCl_2$	-	50,19	62,55	-	69,28	100,00

Après 110 jours de stress, le taux de fleurs avortées chez la variété Saint-Pierre en présence de la solution saline naturelle, le Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ et le $MgSO_4$ associé au $CaCl_2$ atteint les 100%, alors qu'il est de 32,91% ; 0,00% et 62,55% respectivement chez la variété Marmande. De plus, la variété Saint-Pierre semble plus résistante à la présence du $MgCl_2$ dans le milieu d'irrigation comparativement à la variété Marmande. A l'opposé, la présence du Na_2SO_4 associé au $CaCl_2$ manifeste une sensibilité plus marquée chez la variété Saint-Pierre comparativement à la variété Marmande. Il est lieu de noter que la variété Marmande semble être plus résistante en présence du NaCl, Na_2SO_4 ou Na_2SO_4 associé au NaCl comparativement à la variété Saint-Pierre, se traduisant par des régressions du taux de fleurs avortées de 13,05% ; 13,49% et 19,12% respectivement.

4.4.4. Effet sur la production de fruits par plante

L'estimation de la production de tomate par plante est présentée dans le tableau 4.36. L'analyse de la variance au seuil 5% a montré une différence très hautement significative ($P=0,0001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré et ce aux différentes périodes de stress étudiées.

Tableau 4.36 : Estimation de la production de fruits par plante (g)

	Marmande			Saint-Pierre		
	20 jours	65 jours	110 jours	20 jours	65 jours	110 jours
SSN	-	-	1164,92± 25,10 f	-	-	0,00± 0,00 f
SSC	-	-	2884,63± 13,28 b	-	-	2433,07± 12,54 a
NaCl	-	-	1935,89± 12,57 e	-	-	1733,93± 7,9 d
Na ₂ SO ₄	-	-	2536,52± 18,95 c	-	-	1322,10± 6,98 e
MgCl ₂	-	-	2459,36± 9,52 d	-	-	2138,03± 11,50 b
MgSO ₄	-	-	2359,95± 11,87 d	-	-	1369,31± 8,97 e
Na ₂ SO ₄ + NaCl	-	-	3052,15± 15,78 a	-	-	1942,39± 6,45 c
MgSO ₄ + MgCl ₂	-	-	1852,00± 7,82 e	-	-	1384,51± 7,43 e
Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	-	-	30,21± 2,10 g	-	-	0,00± 0,00 f
MgSO ₄ + CaCl ₂	-	-	30,16± 3,14 g	-	-	0,00± 0,00 f

D'une manière globale, la variété Marmande est plus productive que la variété Saint-Pierre quel que soit la composition du milieu nutritif mis à part la solution saline naturelle. En effet, la présence du Na_2SO_4 associé au NaCl manifeste la meilleure production de fruits chez la variété Marmande. Alors que chez la variété Saint-Pierre, elle est évaluée au niveau du milieu contenant la solution saline corrigée. Aussi, nous remarquons également que la variété Marmande est plus productive au niveau des milieux nutritifs contenant Na_2SO_4 , et le MgSO_4 comparativement à la variété Saint-Pierre. Les accroissements de production en fruit enregistré sont 91,85 et 72,34% respectivement. A l'opposé, la présence du Na_2SO_4 et du MgSO_4 en association avec CaCl_2 dans le milieu nutritif chez la variété Marmande révèle les faibles productions en fruits par rapport aux autres traitements testées. En outre, la variété Saint-Pierre semble être plus sensible dans ces milieux nutritifs.

Discussion des paramètres de production

L'expérimentation a été réalisée afin de déterminer le ou les sels seuls ou en combinaison, les plus nocifs et les plus agressifs sur quelques paramètres de productions chez deux variétés de tomate la Marmande et la Saint-Pierre, cultivées en hors-sol, et irriguées par différents milieux nutritifs composés de différents types de. En effet, l'excès de sel dans le sol affecte la germination, la croissance des plantes et leur vigueur, la phase végétative, la floraison et la fructification à des degrés variables, conduisant à terme à des baisses de rendement et de qualité médiocres [252].

Les végétaux ont un potentiel génétique considérable pour la tolérance des stress environnementaux. En particulier, le rendement des plantes cultivées présente différents degrés de sensibilité au stress salin. D'une façon générale, la relation entre le rendement relatif des cultures et la salinité est à peu près linéaire sur la base de comparaison entre le rendement de la même culture en sol salé et non salé [196].

Les résultats relatifs aux paramètres de production obtenus montrent bien que la correction de la solution saline naturelle par l'addition des éléments majeurs tels que N, P, K et les oligo-éléments ainsi que le réajustement de la balance ionique ont augmenté le nombre de fleurs, le nombre de fruits et le rendement par plante. En revanche, la correction des eaux salines naturelles permet de diminuer le nombre de fleurs avortés. En effet, la production de fruits de tomate a atteint des productions de 2 fois à 2,5 fois plus élevées, chez la variété Marmande et la Saint-Pierre respectivement, comparativement aux productions issues de la solution saline naturelle. Ces résultats montrent bien que l'effet de la salinité agit principalement par un effet négatif sur la reproduction et par conséquent sur la production en fruits. Ceci est en accord avec des travaux antérieurs qui indiquent que la biologie de la reproduction est la phase la plus sensible au sel [253] et [254].

Nos résultats montrent que le nombre de fleurs est relativement plus important en présence du Na_2SO_4 , chez la variété Marmande, et le MgSO_4 associé au MgCl_2 chez la variété Saint-Pierre, durant les périodes de 65 et 110 jours de stress salin. Ceci peut

être expliqué par la détoxification des cellules vis-à-vis ces ions toxiques par l'ajustement osmotique établi par une synthèse accrue de la proline dans ces milieux nutritifs. Ces résultats joignent les travaux de [255] où il a montré que l'accumulation de la proline chez le riz accroît la biomasse racinaire et surtout le développement des fleurs soumis à un stress salin.

A l'opposé, le nombre de fleurs avortés atteindre 100% après 110 jours de stress salin, chez la variété Saint-Pierre en présence de la solution saline naturelle, le Na_2SO_4 associé au CaCl_2 et le MgSO_4 associé au CaCl_2 . Ceci peut être expliqué tout d'abord par une forte pression osmotique en raison d'une salinité particulièrement élevée qui inhibe l'absorption de l'eau. D'autre part, par des concentrations élevées de chlorures et des sulfates par rapport à celles du sodium (phénomène de toxicité) sur le développement de la culture de tomate (espèce moyennement sensible à la salinité). Ces traitements finissent par provoquer des troubles physiologiques engendrant ainsi un déséquilibre dans l'absorption insuffisante de certains éléments tels que le manganèse, le bore, le zinc, le fer et le magnésium. En effet, ces troubles se terminent par des chloroses accompagnées d'un ralentissement de la photosynthèse et par voie de conséquence une réduction de la vitesse de croissance ainsi qu'une réduction du nombre de fleurs et de fruits par plante.

Selon les travaux de [256], les chlorures auraient un effet négatif sur les échanges du potassium. L'ion sodium, de part sa nature chimique semblable à l'ion potassium, entre en concurrence avec ce dernier et inhibe son absorption par les racines. De ce fait, une carence en potassium produit l'inhibition de la croissance puisqu'il est impliqué dans la capacité d'un ensemble d'activités enzymatiques en plus de sa participation au maintien de membrane et la turgescence cellulaire.

En ce qui concerne le taux d'avortement important enregistré chez la variété Marmande comparativement à la variété Saint-Pierre, au niveau des milieux contenant le NaCl et le MgCl_2 . Ceci est probablement causé par le fait que ces milieux nutritifs contiennent des proportions importantes en chlorures vont entrer en compétition avec

les nitrates, inhibant les plantes sensibles aux sels, l'absorption et le transport à longue distance de cet anion vers les parties aériennes engendrant ainsi une carence nutritionnelle qui est estimée par la différence entre la teneur globale en cations majeurs Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+ et la teneur en Cl^- [257]. Il a été montré que le stress salin réduit dramatiquement la fixation de l'azote et l'activité nitrogénase de nodosités chez les légumineuses herbacées [258] (, 2010).

Pour résumer, le tableau suivant montre le nombre d'accroissement pour chaque variété cultivée en fonction des trois périodes de stress retenues (Annexe 3, 4 et 5).

Tableau 4.37 : Les accroissements enregistrés chez les deux variétés de tomate cultivées

	Variété	Paramètres de croissances	Paramètres physiologiques	Paramètres de productions	La somme
20 jours de stress	Marmande	60	11	0	71
	Saint-Pierre	36	39	0	75
65 jours de stress	Marmande	53	29	13	95
	Saint-Pierre	47	37	16	100
110 jours de stress	Marmande	66	22	22	110
	Saint-Pierre	30	47	16	93

Nous remarquons d'après les résultats illustrées dans le tableau 37, que le comportement morphologique de la variété Marmande semble être meilleur vis-à-vis les différents types de sels testés et pour chacune des périodes de stress retenues que celle enregistrés chez la variété Saint pierre dans les mêmes milieux de culture. L'opposé, variété Saint pierre présente une résistance remarquable que la variété Marmande en ce qui concerne les paramètres physiologique étudiés.

Enfin, sur le plan de paramètres de production, nous remarquons que la variété Marmande semble être meilleure surtout après 110 jours de stress comparativement à la variété Saint-Pierre.

CONCLUSION

A travers cette étude, portant sur la gestion et la valorisation des eaux salines d'origine souterraine des régions semi-arides et arides pour utiliser comme une source d'irrigation des cultures. Une élaboration des solutions salines dont la concentration en sel est identique que celle de Gassi Touil et ce dans le but d'identifier le sel qui manifeste l'agressivité la plus accrue vis-à-vis des deux variétés de tomate cultivées, nous avons conclu que les deux variétés de tomate testées présentaient une sensibilité plus importante aux différents types de sels utilisés. La salinité des sols et des eaux d'irrigation dans ces régions constituent un obstacle majeur à la croissance des végétaux, et l'un des facteurs limitant de la production végétale et le rendement agricole, repose sur l'utilisation de mauvaise qualité des eaux saline de mauvaise qualité.

Toutefois, les effets du sel sur les plantes offre une gamme importante de critères physiologiques et biochimiques qui peuvent être à la base de tests rapides pour y remédier ou réduire les dégâts causés par la salinité. Dans ce cas, il est possible de sélectionner des plants pour leur tolérance au sel, ou améliorer les caractéristiques chimiques des eaux et des sols par l'équilibre ionique entre les cations et les anions disponibles dans ces milieux.

Ce travail a montré que le stress salin exerce un effet dépressif sur les paramètres morphologiques et physiologiques ainsi que sur les paramètres de production évalués auprès des deux géotypes de tomates étudiées (Marmande et Saint-Pierre). Cependant, le degré de la sensibilité dépend de la durée, du type de sel utilisé et de la variété cultivée. Sur la base des résultats obtenus, on déduit que la variété Marmande est plus tolérante à la salinité que la variété Saint-Pierre en raison d'une plus grande capacité à maintenir la fonction racinaire pour l'absorption, l'extraction et à l'approvisionnement en eau en condition de salinité. Notre étude révèle également, que la sensibilité de la variété Saint-Pierre est plus précoce au $MgSO_4$ que la variété Marmande notamment au niveau des paramètres morphologiques étudiés. A l'opposé, cette sensibilité est maintenue en présence du Na_2SO_4 chez la variété Marmande comparativement à la variété Saint-Pierre. Aussi, la réaction de la variété Marmande à travers la teneur des feuille en chlorophylle (a), (b) et la teneur en proline en présence de $MgSO_4$ est plus remarquable que celle en présence de $MgCl_2$, alors qu'en présence du Na_2SO_4 , la variété Saint-Pierre semble être plus sensible qu'en

présence du NaCl dans le milieu nutritif de cette variété comparativement à la variété Marmande. Ces deux variétés utilisent différentes stratégies pour lutter efficacement contre les conditions environnementales défavorables telles que la salinité, la sécheresse physiologique, les températures extrêmes, le stress des métaux lourds, etc.) qui restent inconnues et qui nécessitent des études approfondies pour le développement des cultures en zones semi-arides et arides.

Enfin, il est à rappeler qu'en cours de notre travail nous avons essayé d'identifier l'effet de la salinité sur les plantes de deux variétés de l'espèce *Solanum Lycopersicum* M. marqué par l'action dépressive de chaque sel testé dans la solution d'irrigation en hors sol. Alors il serait plus intéressant de mettre au point le mécanisme d'action de la salinité à l'échelle cellulaire. Ainsi, une étude moléculaire pour l'identification des gènes responsables de la synthèse des enzymes spécifiques serait intéressante pour déterminer le mode d'action enzymatique déclenché.

La variété Marmande a montré des caractéristiques de tolérance qui la classe comme une variété intéressante pour intégrer un programme d'amélioration variétale. D'autres études approfondies sur cette variété seront nécessaires pour l'identification des gènes responsables de la tolérance à la salinité, au déclenchement et au transport du signal, suite aux contraintes abiotiques par d'autres types de sels et concentrations seraient envisageables.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHYQUES

1. FAO, (2009). "Food and Agricultural Organization. Land and plant nutrition management service", (2009), Available on: www.fao.org/wsfs/forum_2050
2. Sheldon, M. C., Dias, D. A., Jayasinghe, N. S., Bacic, A., and Roessner, U., "Root spatial metabolite profiling of two genotypes of barley (*Hordeum vulgare* L.) Reveals differences in response to short-term salt stress", *J. Exp. Bot.*, (2016). 67, 3731–3745. Doi: 10.1093/jxb/erw059.
3. Munns, R., James, R.A., and Läuchli, A., "Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals", *Journal of Experimental Botany*. 57(5): p. 1025-1043. (2006). Available on: <https://academic.oup.com/jxb/article/57/5/1025/641280/Approaches-to-increasing-the-salt-tolerance-of-44>.
4. Munns, R. and Tester, M., "Mechanisms of salinity tolerance". *Annu. Rev. Plant Biol.* (2008), 59: 651-681.
5. Hussain S, Khaliq A, Matloob A, Wahid MA, Afzal I., "Germination and growth response of three wheat cultivars to NaCl salinity". *Soil Environ*, (2013). 32:36–43
6. Mustafa Z, Pervez MA, Ayyub CM, Matloob A, Khaliq A, Hussain S, Nakaune M, Hanada A, Yin Y-G, Matsukura C, Yamaguchi S, Ezura H., "Molecular and physiological dissection of enhanced seed germination using short-term low-concentration salt seed priming in tomato". *Plant Physiol Biochem*, (2012). 52:28–37
7. Roy, S. J., Negrão, S., and Tester, M., "Salt resistant crop plants". *Curr. Opin. Biotechnol.* 26, (2014). 115–124. Doi: 10.1016/j.copbio.2013.12.004
8. Farhangi-Abriz S., Torabian S., "Antioxidant enzyme, and osmotic adjustment changes in bean seedlings as affected by biochar under salt stress", *Ecotoxicology and Environmental Safety* 137, (2017). 64–70.
9. Petit. J., "Identification et validation fonctionnelle de gènes candidats contrôlant la composition de la cuticule chez le fruit de tomate". Thèse de doctorat, Université de Bordeaux I, France, (2013). 270p
10. Singh, M., Singh, V.P., Prasad, S.M., "Nitrogen modifies NaCl toxicity in eggplant seedlings: assessment of chlorophyll a fluorescence, antioxidative

- response and proline metabolism". *Biocatal. Agric. Biotechnol.*, (2016). 7, 76e86.
11. Bergougnoux, V., "The history of tomato: from domestication to bio pharming". *Biotechnology Adv.*, (2014). 32:170–189
 12. Kimura S, Sinha N. "Tomato (*Solanum Lycopersicum*): a model fruit-bearing crop". *Cold Spring Harb Protoc*, (2008). doi:10.1101/pdb.emo105
 13. Gong P, Zhang J, Li H, Yang C, Zhang C, Zhang X, Khurram Z, Zhang Y, Wang T, Fei Z., "Transcriptional profiles of drought-responsive genes in modulating transcription signal transduction, and biochemical pathways in tomato". *J Exp Bot*, (2010). 61: 3563-75.
 14. Campos JF., Cara B., Perez-Martin F., Pineda B., Egea I., Flores FB., Fernandez Garcia N., Capel J., Moreno V., Angosto T., "The tomato mutant *ars1* (altered response to salt stress 1) identifies an R1-type MYB transcription factor involved in stomata closure under salt acclimation". *Plant Biotechnology J*, (2015). 14:1345–56
 15. Zhang Y., Hu XH., Shi Y., Zou ZR., Yan F., Zhao YY., "Beneficial role of exogenous spermidine on nitrogen metabolism in tomato seedlings exposed to saline–alkaline stress". *J Am Soc Horticultural Sci.* (2013); 138(1):38–49.
 16. Hu L., Xiang L., Zhang L., Zhou X., Zou Z., Hu X., "The photo protective role of spermidine in tomato seedlings under salinity–alkalinity stress". *PLoS One*, 2014. 9(10):e110855
 17. Flowers T.J., "The mechanism of salt tolerance in halophytes", *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28 (2017) 89e121.
 18. Durand T., "Approche protéinique des stress abiotiques chez *Populus tremula* x *P. alba*". Thèse d'Etat Physiologie végétale. Université d'Orléans. (2008), 252p
 19. Tal M., "Physiological genetics of salt resistance in higher plants: Studies on the level of the whole plant and isolated organs, tissues and cells. In: Salinity tolerance in plants: strategies of crop improvement". Staples R. C Toenissen G. H. (Eds). Wiley, (1984), New York: 301 320.
 20. Chrétien S., "Amélioration de la qualité et des rendements de la tomate de serre par l'optimisation de la fréquence d'irrigation et de la conductivité électrique de la solution nutritive". Mémoire du grade de maître ès sciences. Département de

- phytologie, Faculté des sciences de l'agriculture et de l'alimentation. Université de Laval. Canada, (1999), 45 p
21. Vincent, R., "Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *Lamina riadigitata*". Thèse de doctorat. Biologie. Université de Rennes 1. (2006), 237p
 22. Oukarroum A., Schansker G., and Strasser R.J., "Drought stress effect on photosystem I content and photosystem II thermo tolerance using Chl a fluorescence kinetics in barley varieties differing in their drought tolerant de sel ce". *Physiologie plantarum* 137, (2009), 188-199.
 23. Hamza M., "Réponse des végétaux à la salinité". *Physiologie Végétale* (1980), 18 (1) : 69-81.
 24. Bendali-Brahem F., et Larbi I., "Effet de chlorure de sodium et de sulfate de sodium sur la synthèse de la proline et de la chlorophylle chez une glycophyte cultivée (cas de haricot : *Phaseolus vulgaris* L.) Variété Djadida". Mémoire de Master II. Biotechnologies végétales. Université de Blida 1. (2015), Pp 125
 25. Hopkins W G., "Physiologie végétale". 2^{ème} édition. De Boeck, Bruxelles (2003), 61-476.
 26. Munns R., "Strategies for Crop improvement in Saline Soils. Chapter 11 (2009). In M. Ashraf M. Ozturk H.R. Athar (ed.), *Salinity and water stress, improving crop efficiency*", Springer Science. Business Media B.V
 27. Parida, A.K.A., et A.B. Das., "Salt tolerance and salinity effects on plants". *Ecotox. Environ. Safety*. (2005), 60: 324-349
 28. Levigneron, A., F. Lopez, G. Vansuyt, P. Berthomieu, P. Fourcroy, et F. Casse Delbart., "Les plantes face au stress salin". *Cahier Agriculture*. (1995), 4: 263-73
 29. Zhu J.K., "Plant salt stress. *Encyclopedia of life sciences*". (2007), doi: 10.1002/9780470015902.a0001300.pub2.
 30. Beisel J-N., Peltre M-C et Usseglio-Polatera P., "Impact de la pollution saline sur la biocénose aquatique de la Moselle". UFR Sciences Fondamentales et Appliquées, Université Paul Verlaine Metz, France. (2011), 60p.
 31. Silini A., "Effets des molécules osmo protectrices sur la survie et l'activité d'*Azotobacter* et sur la croissance du blé dur en milieu salin". Thèse de Doctorat, Université Ferhat Abbas Sétif. (2013), 138p.

32. Kharaka Y. K., Hanor J. S.; "Deep fluids in the continents: I sedimentary basins". *Treatise on Geochemistry*, (2005), 5 (16): 499-540.
33. Denden M., Bettaieb T., Salhi A. et Mathlouthi M., "Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales", *Tropicultura*, (2005), Pp220-226.
34. Saxena N.B., "Aride zone ecology. Ed. Paragati Prakashan", Meerut. (2006), P191.
35. Ashraf, M., and Foolad M.R., "Roles of glycine betaine and proline in improving plant abiotic stress resistance". *Environ. Exp. Bot.* (2007), **59**: 206-216
36. Hartani T., Douaoui A., Kuper M., Hassani F., Stratégies de gestion individuelle de la salinité dans les périmètres irrigués de bas du Chélif cas de périmètre d'Ouarizane". Actes de troisième atelier du projet du sirma (2008), Nabeul, Tunisie. 12p.
37. Ghassemi F., Jakeman A.J., and Nix H.A., "Salinization of land and water resources: human causes, extent, management and case studies. Center for resource and environmental studies", The Australian National University, Canberra, Australia, (1995), 125 pages.
38. Loyer, J.Y., "Classification des sols salés : les sols saliques". *Cahier. Orston. Série pédologie.* (1991), 26: 51-61.
39. Hosni A., "La tolérance au sel, Ecophysiologie Végétale". (2009), Pp 1-6.
40. Pitmani, M.G., and Lauchli A., Global impact of salinity and agricultural ecosystems", (2004), p.3-20. *In* A. Läuchli, and U. Luttig (ed.), *Salinity: Environment-plants-molecules*. Kluwer, Dordrecht, Netherlands,
41. Mermoud A., "Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols". Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, (2006), 23p.
42. Moustfaoui R., "Effet d'un anti-stress «Fertiactyl» en agriculture sous conditions salines". Mémoire de Magister. Université de Saad Dahleb Blida. (2007). Pp 100.
43. Baba Sidi-Kaci S., "Effet du stress salin sur quelques paramètres phréologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'Atriplex en vue d'une valorisation agronomique". Mémoire de Magister en Gestion des Agrosystèmes sahariens. Université Kasdi Merbah. Ouargla. (2010), P 133

44. Bidai Y., "Le métabolisme de la praline chez l'*Atriplex halimus* L. stressée à la salinité". Mémoire de Magister en physiologie végétale, Université Es-Senia, Oran : (2001), 69-71.
45. Asloum H., "Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicon esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres". Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia-Antipolis : (1990), 24- 32.
46. Allaoui A., "Étude comparative de la tolérance de trois porte-greffes d'agrumes à la salinité". Mémoire de Magister en Sciences Agronomique, spécialité Horticulture. Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II. Rabat. (2006), Pp. 144.
47. Essington M.E., "Soil and water chemistry, an integrative approach". CRC Press, USA. (2004).
48. Keren R., "Salinité". Sumner M.E. Ed. Livre de science du sol. (2000), Pp 3-25.
49. Levy G.J., "Sodicity". Sumner M.E. Ed. Handbook of Soil Science. (2000), Pp. 27-62
50. Bolt, H.M., "International Archive on Occupational Environmental Health", 60 (3), (1978), 14-4
51. Munns R., "Comparative physiology of salt and water stress". Plant Cell and Environment, (2002), Vol. 25: 239- 250.
52. Le Houérou H.N., "Atriplex halimus data sheet". Commonwealth Agricultural Bureau International (CABI), Wallingford. (2004), UK, 1-9.
53. FAO STAT., "Annuaire statistique de la FAO". Service des terres et nutrition des plantes .Editeur technique : Danilo Mejia FAO-STAT, (2008).
54. Belkhodja M., Bidai Y., "Réponse des graines d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination". Sécheresse N°4, Vol 15, (2008), Pp. 331-334.
55. Dekhinat S., Bensaid R., Bensid Z., Koreib F., Mouna Y., "Analyse de la variabilité spatiale de la salinité des sols dans une palmeraie Algérienne (Biskra, Algérie) ". Science et Technologie D. N°31. (2010), Pp9-14.
56. INSID., "Les sols salins en Algérie". Institut National des Sols, Irrigation et drainage. (2008), Pp 06.

57. Girard P., Prost J., Bassereau P., "Passive or Active Fluctuations in Membranes Containing Proteins", *Phys. Rev. Lett.* 94, (2005), 088102: 60-64.
58. Duchaufour Ph., "Pédologie". Masson éd., 224 p. (1988).
59. Maillard J., "Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations". *Handicap International*. (Novembre 2001), 34 p.
60. Calvet R., "Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques". Tome 2. Ed. France. Agricole, (2003), 511 P.
61. Robert M., "Le sol : interface dans l'environnement ressource pour le développement". Ed. MASSON, Paris, (1996), 96 P
62. Boumaaza B., "Effets de la salinité sur le comportement éco physiologique et biochimique d'une culture de pois chiche (*Cicer arietinum. L*) au stade juvénile". Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques, spécialité systèmes de culture intégrés et gestion conservatoire. Université Abou Bekr Belkaid. Tlemcen, (2011), Pp. 107
63. Rhoades J., "Laveday J., Salinity in irrigated agriculture riverside". USDA, (1990), 1089-1141.
64. Garg, B. K., Vyas, S. P., Kathju, S., Lahiri, A. N., Mali, P. C. and Sharma, P. C., "Salinity-fertility interaction on growth, mineral composition and nitrogen metabolism of Indian mustard". *J. Plant Nut* 16(9): (1993), 1637-1650.
65. Hillel D., "Salinity Management for Sustainable Irrigation". The World Bank, Washington, D.C. (2000).
66. Rasool S., Ameen H., Mhgoub A., Parvaiz A., "Salt Stress: Causes, Types and Responses of Plants". South Valley University. India. (2013), Pp. 1-24
67. Kausar A., Ashraf M. Y., Gull M., Gharoor R., Ilyas M., Zafar S., Niaz M., Akhtar N., Kanwa H., Iqbal N., Aftab K., "Alleviation of salt stress by K_2SO_4 in two wheat (*Triticum Aestivum L.*) Cultivars". Ed alöki kft, Budapest, Hungary. Pakistan. (2014), Pp 137-147.
68. Bennabi F., "Métabolisme glucidique et azote chez une halophyte (*Atriplex halimus L.*) stressée à la salinité". Mémoire de magistère en physiologie végétale, Université Es-Senia, Oran, (2005), 136 P.
69. Aissaoui H.S., et Reffas S., "Effet du stress salin sur la productivité de populations sahariennes locales de la luzerne (*Medicago sativa L.*)". Mémoire de Magister en Agronomie générale, spécialité Production végétale. Université de Kasdi Merbah. Ouargla. (2007), Pp105.

70. Zhang H., Zhang L., Lu H., Yu Z., Zhang D., Zhu W., "Identification of changes in *Triticum aestivum* L. leaf proteome in response to drought stress by 2D-PAGE and malditof mass spectrometry". *Acta Physiological Planetarium*. (2014), 36:1385–1398.
71. Rivero M., Bacha H., Rodenas R., Lopez-Gomez E., Garcia-Legaz M F., Nieves-Cordones M., Martinez V., Bottela M A., and Rubio F., "High Ca²⁺ averts the repression of high affinity K⁺ uptake produced by Na⁺ in *Solanum lycopersicum* L. var. microtome) plants". *Journal of plant physiology*. (2015), 180: 72-79.
72. Parihar P., Singh S., Singh R., Singh V. P., and Prasad S. M. "Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies", a review. *Environ. Sci. Pollut. Res.* (2015), 22 4056–4075.
73. Lahouel H., "Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le rendement des céréales (cas de l'orge) dans la région de H'madna à Relizane". Mémoire de Magister spécialité : Amélioration végétale. Université d'Abou-Bekr Belkaid. Tlemcen. (2014), Pp104.
74. Siddiqui M.H., Al-Khaishany M.Y., Al-Qutami M.A., Al-Wahhabi M.H., Grover A., Ali H.M., "Morphological and physiological characterization of different genotypes of faba bean under heat stress". *Saudi J. Biol. Sci.*, 22, (2015), Pp. 656-663.
75. Saeed M., Guo W., Zhang T., "Association mapping for salinity tolerance in cotton. - (*Gossypium hirsutum* L.) germplasm from US and diverse regions of China". *Australian J Crop Sci.*; (2014), 8: 338–346.
76. Chaibi W., "Etude physiologique, ultra structurale et cytoenzymatique de l'effet du chlorure chez *Medicago sativa* L", cultivar Gabès, Thèse doc. d'état Fac des Sci de Tunis (1995), pp 153.
77. Abdelkader S., Ramzi C., Mustapha R., Houcine B., M'barek B-N., Inagaki M-N and Abdullah B., " Effect of salt stress on germination and biological growth of 50genotypes of Durum Wheat (*Triticum durum* Desf) ". *Pakistan Journal of Nutrition*, (2015), 14(12), 957
78. Cha-Um S., Batin C.B., Samphumphung T., Kidmanee C., "Physio-morphological changes of cowpea (*Vigna unguiculata* Walp.) and jack bean (*Canavalia ensiformis* (L.) DC.) in responses to soil salinity", *Aust. J. Crop Sci.*, (2013), Pp. 2128-2135.

79. Ashraf M., and Harris A., "Photosynthesis under stressful environments", an overview. *Pakistan. Photosynthetica* (2013), 51 (2): 163-190.
80. Chaves MM., Flexas J., and Pinheiro C., "Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell". *Annals of Botany*, (2009), 103: 551–560
81. Horie T, Sugawara M, Okada T, Taira K, Kaothien-Nakayama P, Katsuhara M, Shinmyo A, and Nakayama H., "Rice sodium-insensitive potassium transporter, OsHAK5, confers increased salt tolerance in tobacco BY2 cells". *J Biosci Bioeng*, (2011), 111: 346–356.
82. Habib, N., Ashraf M., and Shahbaz M., "Effect of exogenously applied nitric oxide on some key physiological attributes of rice (*Oryza sativa* L.) Plants under salt stress". *Pak J. Bot.*, (2013), 45(5): 1563-1569.
83. Ouerghi Z., Cornic G., Roudani M., "Effect of NaCl on photosynthesis of two wheat species (*Triticum durum* and *T. aestivum*) differing in their sensitivity to salt stress". *J. Plant Physiol.* (2015), 156: 335–340.
84. Flexas J., Diaz-Espejo A., Galme´S J., Kaldenhoff R., Medrano H., Ribas-Carbo M., "Rapid variations of mesophyll conductance in response to changes in CO₂ concentration around leaves". *Plant, Cell and Environment*, (2007), 30: 1284-1298.
85. Verslues E., Agarwal M., Katiyar-Agarwal S., Zhu J., and Zhu J-K., "Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. Techniques for Molecular Analysis". *The Plant Journal*, (2006), 45, 523–539 doi: 10.1111/j.1365-313X.2005.02593.x
86. Kaya C, Kirnak H, Higgs D., "Enhancement of growth and normal growth parameters by foliar application of potassium and phosphorus on tomato cultivars grown at high (NaCl) salinity". *J Plant Nutrition*, (2001), 24: 357–367.
87. Rasanen L., "Biotic and abiotic factors influencing the development of N₂-fixing symbioses between rhizobia and the woody legumes *Acacia*". Thèse de doctorat de l'université d'Helsinki. Finlan Oldroyd. (2002), 80-220p.
88. Greenway H., and Munns R., "Mechanism of the salt tolerance in non-halophytes". *Annau. Rev, Plant Physiology*, (1980), 31: Pp. 149-190.
89. Babu MA., Singh D., Gotha dam KM., "The effect of salinity on growth, hormones and mineral elements in leaf and fruit of tomato cultivar PKM1". *J. Anim Plant Sci*, (2012), 22(1):159–164

90. Rao G., and Rao, G. R., "Figemt composition and chlonophyllase activity in pigeon pea (*Cajamus Indicus Spreng*) and yingelly (*Sesamum Indicum L.*) Under NaCl salinity". Exp. biol. (1981), 19: 768-770.
91. Kaya C., akbekir E., Higgs D., and murillo-amador B., "Influence of foliar applied calcium nitrate on strawberry plants grown under salt-stressed conditions", Australian J. Exp. agric. (2002), Vol. (42) 5:631-636.
92. El Midaoui M., Benbella M., Aït Houssa¹ A., Ibriz M. et Talouizte A., "Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus L.*) ". Revue HTE N°136, (2007).
93. Ibriz, M., Thami Alami, I., Soulaymani, A., El Midaoui, M. et Al Faiz, C., "Effet de la salinité sur la germination in vitro des graines de luzerne (*Medicago sativa L.*) originaires des régions présahariennes du Maroc". Recueil des résumés. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole, Faculté des sciences et techniques, Settat, Maroc, (2007). 183p
94. Cheikh M'hamed H., Abdellaoui R., Kadri K., Bennaceur M., et Bel hadj S., "Evaluation de la tolérance au stress salin de quelques accessions d'orge (*Hordium vulgare L.*) cultivées en Tunisie : approche physiologique", Sciences & Technologie, (2008), C-N°28, pp.30 -37.
95. Alem C., Amri A., "Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge". Reviews in Biology and Biotechnology, (2005), Vol. 4, No. 1: 20- 31.
96. Hadjadj S., "Contribution à l'étude de l'effet de la salinité sur des marqueurs biochimiques (proline et sucres solubles) de plantes juvéniles d'*Atriplex halimus L.* et d'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt". Mémoire de Magister en Biochimie et analyse des bioproduits, Université de Kasdi Merbah Ouargla, (2009), 100 P.
97. Singh S.C., Sinha R.P., Hader D.P., "Role of lipids and fatty acids in stress tolerance in cyanobacteria". Acta Protozool. (2002), 41, 297–308.
98. Wu LJ, Zhang ZJ, Zhang HW, Wang XC, Huang RF., "Transcriptional modulation of ethylene response factor protein JERF3 in the oxidative stress response enhances tolerance of tobacco seedlings to salt, drought, and freezing". Plant Physiology, (2008), 148: 1953-1963
99. Haouala F., Ferjani H., Ben el-hadj S., "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 raygrass anglais et du chiendent". *Biotechnologie, Agronomie, Société et Environnement*, (2007), Vol. 11, N°.3: 235- 244.
100. Gadallah, M.A.A., "Effects of proline and glycine betaine on *Vicia faba* responses to salt stress". *Biol. Plant.* (1999), 42, 249–257.
101. Flores P., Botella M.A., Martinez V., Cedra A. "Ionic and osmotic effects on nitrate reductase activity in tomato seedlings". *J. Plant Physiology.* (2000), 156, 552-557.
102. AbdelBaki G.K., Siefrit F., Man H.M., Welner H., Kaldenhoff R., Kaiser W.M., "Nitrate reductase in *Zea mays* L. under salinity". *Plant Cell Environ.* (2000), 23, 15-521.
103. Zhu J.K., "Regulation of ion homeostasis under salt stress". *Curr. Opin. Plant Biol.*, (2003), 6, 41–45.
104. Zhu JK., "Salt and drought stress signal transduction in plants". *Annul. Rev Plant Biol.*, (2002), 53: 247-273.
105. Zhang JY, Broeckling CD, Sumner LW, Wang ZY., "Heterologous expression of two *Medicago truncatula* putative ERF transcription factor genes, WXP1 and WXP2, in *Arabidopsis* led to increased leaf wax accumulation and improved drought tolerance, but differential response in freezing tolerance". *Plant Mol Biol.*, (2007), 64: 265-278.
106. Claussen W., "Proline as a measure of stress in tomato plants". *Plant Sci.* (2005), 168:241-246.
107. Pilot G., Gaymard F., Mouline K., Cherel I., Sentenac H., "Regulated expression of *Arabidopsis* shaker K⁺ channel genes involved in K⁺ uptake and distribution in the plant". *Plant Mol Biol*, (2003), 51: 773-787.
108. Shen YG., Zhang WK., Yan DQ., Du BX., Zhang JS., Liu Q., Chen SY., "Characterization of a DRE-binding transcription factor from a halophyte *Atriplex hortensis*". *Theor Appl Genet*, (2003), 107: 155-161
109. Prasad, S., Bagali, P., Hittalmani, S., Shashidhar, H., "Molecular mapping of quantitative trait loci associated with seedling tolerance to salt stress in rice (*Oryza sativa* L.) ". *Curr. Sci.* (2000), 78(2) : 162-164.
110. Zhu, J-K. Liu, J. and Xiong, L., "Genetic Analysis of Salt Tolerance in *Arabidopsis*: Evidence for a Critical Role of Potassium Nutrition". *The Plant Cell* (1998), 10: 1181–1191.

111. Winicov I., "New molecular approaches to improving salt tolerance in crop plants". *Ann. Bot.* (1998), 82: 703–710p
112. Hernandez JA., Jimenez A., Mullineaux P., Sevilla F., "Tolerance of pea (*Pisum sativum* L.) to long-term salt stress is associated with induction of antioxidant defenses". *Plant Cell and Environment*, (2001), 23: 853-862
113. Wu J.L., Seliskar D.M., and Gallagher J.L. "Stress tolerance in the marsh plane *Spartina patens*: impact of NaCl on growth and root plasma membrane lipid composition". *Physiol. Plant.* (1998), 102, 307–317.
114. Ben Naceur M., "Contribution à l'évaluation du degré de résistance aux contraintes hydriques (sécheresse et excès d'eau) chez l'orge (*Hordeum vulgare* L.) et la féтуque (*Festuca arundinacea* Schreb.) ". Thèse de doctorat d'état, (1994), Pp.113.
115. Belhassen E., This D., Monneveux P., "L'adaptation génétique face aux contraintes de la sécheresse". *Cahier d'agriculture*, (1995), 4, 251-261.
116. Galiba G., Zoltán N., Simon-Sarkadi L., Jozsef S and László E., "Differential adaptation to non-ionic and ionic osmotic conditions in wheat". *INRA, Inter drought*, (1995), VI 8.
117. Bammoun A., "Contribution à l'étude de quelques caractères morpho physiologiques, biochimiques et moléculaires chez des variétés de blé dur, *Triticum durum* pour l'étude de la tolérance à la sécheresse dans la région des hauts plateaux de l'ouest Algérien". *Mémoire de Magistère*, (1997), Pp 1-33.
118. Korichi MF., "Contribution à l'étude de la capacité d'ajustement osmotique de trois cultivars de blé dur en réponse à différentes intensité de déficit hydrique". *INRA*, (1994), Pp1-17
119. Morgan J.M., "Osmoregulation and water stress in higher plant". *Annul Rev, Plant Physiology*, (1984), 35, 299-550.
120. Flores H.E., Galston, and Galston AW., "Osmotic stress-induced polyamine accumulation in cereal leaves. I- Physiological parameters of the response". *Plant Physiol.* (1984a). 75, 102 – 109.
121. Flores H.E., Galston, and Galston AW., "Osmotic stress-induced polyamine accumulation in cereal leaves. II- Relation to amino acid pools". *Plant Physiol.* (1984b). 75, 110 – 113. 9

122. Van Rensburg L., Krüger H. and Krüger G.H.J., "Intercellular space variation among air-cured *Nicotiana tabacum* L. genotypes and its relation to their water use efficiency". INRA, Inter drought, (1995), X-25.
123. Ahmad P, Hakeem KR, Kumar A, Ashraf M, and Akram NA., "Salt-induced changes in photosynthetic activity and oxidative defense system of three cultivars of mustard (*Brassica juncea* L.)". African Journal Biotechnology, (2012a), 11(11): 2694–2703
124. Monneveux P., et Nemmar M., "Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement". *Agronomie*, (6), (1986), 583-590.
125. Samai A., "Effet de l'humidité du milieu sur l'accumulation de la proline dans les tissus de blé pendant les premiers stades végétatifs". Mémoire de DES en Biologie Végétale, (1991), Pp. 51.
126. Dib T.A., Monneveux P et Araus J.L., "Adaptation à la sécheresse et notion d'idiotype chez le blé dur. II : caractères physiologiques d'adaptation". Elsevier, INRA, *Agronomie*, (1992), 12, 381-393.
127. Ahmad P, Kumar A, Gupta A, Hu X, Hakeem KR, Azooz MM, Sharma S Polyamines., "Role in Plants Under Abiotic Stress". In: Ashraf M, Ozturk M, Ahmad MSA, Aksoy A (eds) Crop production for agricultural improvement. Springer, Dordrecht/ Heidelberg/ London/ New York, (2012b), Pp. 490–512
128. Nouri L., "Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur (*Triticum durum*, Desf.), en conditions de déficit hydrique". Mémoire de Magister en Biologie Végétale, (2002), 4-16.
129. Hawker J.S., Jenner C.F., and Niemietz C.M., "Sugar metabolism and compartmentation". *Aust. J. Plant Physiol.*, (1991), 18, 227-237.
130. Ahmad P., Sharma S., "Salt stress and phyto-biochemical responses of plants". *Plant Soil Environ* (2008), 54(3):89–99
131. Koyro HW., Ahmad P., Geissler N., "Abiotic stress responses in plants: an overview. In: Ahmad P, Prasad MNV (Eds) Environmental adaptations and stress tolerance of plants in the era of climate change". Springer Science + Business Media, New York. (2012), Pp. 1–28

132. Chunyang L., and Kaiyn W., "Differences in drought responses of three contrasting *Eucalyptus microtheca* F. Muell. Populations". Uni of Helsinki. Finland .Forest ecology and Management, (2003), 179 Pp377-385.
133. Kameli A., and Lösel D.M., "Carbohydrates and water status in wheat plants under water stress". *New Phytol.* (1995), 125, 609-614.
134. Kameli A., and Lösel D.M., "Contribution of carbohydrates and other solutes to osmotic adjustment in wheat leaves under water stress". *J. Plant Physiol.*, (1995), Vol.147, Pp. 363-366.
135. Noiraud N., Delrot S., and Lemoine R., "The sucrose transporter of Celery. Identification and expression during salt stress one". *Plant physiol.*, (2000), Vol.122, Pp. 1447-1456.
136. Hare P.D., Cress W.A., and Van Staden J., Dissecting the roles of osmolytes accumulation during stress. *Plant Cell and Environment*, (1998), 21, 535-553.
137. Lacharme M., La mise en place des cultures, variétés, dates de semis, mode de semis (semis direct et pépinière-repiquage). Direction de la Recherche Formation vulgarisation, (2001), 25p.
138. Al-Wazzan Y., Safar M., Mesri A., Reverse osmoses brine staging treatment of subsurface water". *Désaliénations*, (2003), 155:141-151.
139. Schiffler M., "Perspectives and challenges for desalination in the 21st century". *Desalination*, (2004), 165: 1-9.
140. El-Kady M., El-Shibini F., "Desalination in Egypt and the future application in supplementary irrigation". *Desalination*, (2001), 136:63-72.
141. Lee, T.D., Reich, P. B., and Bolstad, P. V., "Acclimation of leaf respiration to temperature is rapid and related to specific leaf area, soluble sugars and leaf nitrogen across three temperate deciduous tree species". *Functional Ecology*, (2005), 19, 640-647.
142. Ahmad G.E., Schmid J., "Feasibility study of brackish water desalination in the Egyptian deserts and rural regions using PV systems". *Energy Conservation and Management*, (2002), 43:2641-2649.
143. Laborde H.M., Franca K.B., Neff H., Lima A.M.N., "Optimization strategy for a small-scale reverse osmosis water desalination system based on solar energy" *Desalination*, (2001), 133:1-12.
144. Mohsen M.S., and Jaber J., "A photovoltaic-powered system for water desalination". *Desalination*, (2001), 138:129-136.

145. Duchaufour P., "Introduction à la science du sol". Ed Dunod Paris, (2001), Pp 331.
146. Guezzoun O., "Contribution à l'étude spatiale du phénomène de la remontée de la nappe phréatique : problème posé et conséquences sur l'écosystème oasien à Touggourt". Memo. Inge. Bio. Uni. Ouargla, (2009), 108 p.
147. Rahmoune, C., Zaimeche, S., Wathelet, B. et Ben Naceur, M., "Rôle des acides aminés comme bio indicateurs de stress métalliques chez les végétaux aquatiques". 1^{er} Colloque Euro-méditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba, (28-30 novembre 2008).
148. Aoun M., "Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne (*Brassica juncea* L. Czern) néoformés à partir de couches cellulaires minces et issus de semis. Analyses physiologiques et rôle des polyamines". Thèse de doctorat en science, Université de Bretagne occidentale. (2009), 135p
149. Abdelly C., "Caractérisation des halophytes pour le dessalement des sols salins et le traitement des eaux salines". Rapport d'activités 2007. Centre de biotechnologie au technopôle de Borj-Cedria, Tunisie, (2006), Pp. 28-
150. Guignard J.L, "Botanique systématique moléculaire 12^{ème} édition inversée". Edition Masson, (2001), Pp. 231 -235
151. Tahy H., "Efficacité de l'utilisation de l'eau d'irrigation chez la tomate par la technique de PRD (*partial rootzone drying*) et étude des mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués". Thèse d'Etat en Biologie et Santé. Spécialité Biotechnologie végétale. Université Cadi Ayyad, Faculté Des Sciences, Semlalia. Marrakech, (2008), 185 p.
152. Philouse J., et Laterrot H., "La tomate dans l'amélioration des espèces végétales cultivées. Objectif et critères de sélection". Ouvrage collectifs coordonnées par Gallais A., Bennerot H., (Ed). Paris, INRA, (1992), Pp 379-391.
153. Lachachi S., "Organogénèse et embryogénèse somatique directe chez la tomate". Mémoire de Magister en Amélioration des plantes. Université d'Oran. (2010), 117p.
154. Rick CM., Holle M., "Andean *Lycopersicon esculentum* var. *cerasiformae*: genetic variation and its evolutionary significance". Economic botany, (1990), 44:69-78.

155. Tam SM, Mhiri C, Vogelaar A, Kerkveld M, Pearce S, Grandbastien MA., "Comparative analyses of genetic diversities within tomato and pepper collections detected by retro transposon-based SSAP, AFLP and SSR". *Theoretical and Applied Genetics*, (2005), 110: 819-831.
156. Spooner DM., Peralta IE, Knapp S., "Comparison of AFLPs to other markers for phylogenetic inference in wild tomatoes *Solanum* L. section *Lycopersicum* (Mill.) Wettst". *Taxon* (2005), 54: 43–61.
157. Peralta IE., Knapp S., Spooner DM., "New species of wild tomatoes (*Solanum* Section *Lycopersicum*: *Solanaceae*) from northern Peru". *Systematic Botany*, (2005), 30: 424-434.
158. Laumonier R., "Cultures légumières et maraichères" : Edi. Baillière, Tome 3, (1979), Pp. 92-105.
159. Chauv C., et Foury C., "Production légumière : Légumes fruits", Tome 3, Edi. Tec. et Doc., Lavoisier, Paris, (1994), Pp. 562-563.
160. Rekibi F., "Analyse compétitive de la filière tomate sous serre. Cas de la Wilaya de Biskra". Mémoire de Magister en Sciences Agronomiques Option : Agriculture et environnement dans les régions arides. Université de Mohamed khider Biskra. (2015), Pp. 189.
161. Mollier P., Chabriat G., Sarazin M., Cauvin B., Caillaud M-A., et Charamel D., "La tomate, les défis du goût. Alimentation, Agriculture et Environnement". *INRA Magazine*, (2010), N13. Pp. 36.
162. Blanca J., Montero-Pau J., Sauvage C., Bauchet G., Illa E., Díez M.J., Francis D., Causse M., van der Knaap E., Cañizares J., "Genomic variation in tomato, from wild ancestors to contemporary breeding accessions". *BMC Genomics*, (2015), 16:257.
163. Ranc N., "A clarified position for *Solanum lycopersicum* var. *cerasiformae* in the evolutionary history of tomatoes (*Solanaceae*)". *BMC Plant Biology*, (2010), 8, 130.
164. Latigui A., "Effets des différents niveaux de fertilisation potassique sur la fructification de la tomate cultivée en hiver sous serre non chauffée", thèse Magister, INA Harrach, (1984), Pp. 153.
165. Baba Aissa F., "Encyclopédie des plantes utiles, flore d'Algérie et de Maghreb". Edi. Librairie moderne, Rouïba, (1999), 278-279p.

166. Naika S., De Jeud J.V.L., De Jeffau M., Hilmi M., et Vandam B., "La culture de tomate, production, transformation et commercialisation". Ed. Wageningen, Pays-Bas, (2005) 105p.
167. Dupont F., et Guignard J-L. Botanique. "Les familles des plantes. Collection Abrèges de pharmacie". Elsevier 16^{ème} Edition, (2007), ISBN 13 : 9782294741173. Pp. 336. [www.unitheque.com/Livre/elsevier -
masson/Abreges/Botanique-82819](http://www.unitheque.com/Livre/elsevier_-_masson/Abreges/Botanique-82819).
168. Polese J., "La culture de la tomate", Ed Artémis, (2007), Pp. 267-270
169. Petit J., "Identification et validation fonctionnelle de gènes candidats contrôlant la composition de la cuticule chez le fruit de tomate". Thèse de Doctorale des Sciences de la Vie et de la Santé. Spécialité Biologie Végétale, (2013), 271p
170. Gillapsy G., Bendavid H., Gruissem W., "Fruits: a developmental perspective". Plant Cell (1993), 5:1439-1452.
171. Vriezen, W.H., Feron, R., Maretto, F., Keijman, J., and Mariani, C., "Changes in tomato ovary transcriptome demonstrate complex hormonal regulation of fruit set". New Phytol. (2008), 177, 60-76.
172. Joubès, J., and Chevalier, C., "Endo reduplication in higher plants". Plant Mol. Biol., (2000), 43, 735-745.
173. Varga A., and Bruinsma J., "Tomato (Handbook of Fruit Set and Development", FCP Boca Raton, (1986), Pp. 461-480.
174. Ho, L., "Photo assimilate Distribution in Plants and Crops", E. Zamski and A. Schaffer, Eds, (Tomato: Marcel Dekker) (1996).
175. Cheniclet, C., Rong, W.Y., Causse, M., Frangne, N., Bolling, L., Carde, J.P., and Renaudin, J.P., Cell expansion, endo reduplication show a large genetic variability in pericarp, and contribute strongly to tomato fruit growth. Plant Physiology 139, (2005) 1984- 1994.
176. Schopfer P., "Biomechanics of plant growth". Am J Bot 93, (2006), 1415-1425.
177. Ho L., and Hewitt J., "The tomato crop: a scientific basis for improvement (Fruit Development: Chapman and Hall) ", (1989), Pp. 201-239.
178. Alexander, L., and Grierson D., "Ethylene biosynthesis and action in tomato: a model for climacteric fruit ripening". J. Exp. Bot, (2002), 53, 2039-2055.
179. Hobson G., Grierson D., "Tomato (Biochemistry of Fruit Ripening Chapman & Hall) ", (1993), Pp. 405–442.

180. Grasselly, D., Caris-Veyrat, C., Amiot, M.J., Tyssandier, V., Buret, M., Mikolajczak, M., Guillard, J.C., Bouteloup-Demange, C., and Borel, P., "Influence of organic versus conventional agricultural practice on the antioxidant micro constituent content of tomatoes and derived purees; consequences on antioxidant plasma status in humans". *J. Agric. Food Chem.*, (2004), 52, 6503-6509.
181. Renard S., Goffart J. P. and Frankinet M., "Optimisation de l'efficience de l'azote dans des rotations intégrant les cultures de légumes industriels en Hesbaye". Namur : Direction Générale de l'Agriculture, Ministère de la Région Wallonne, (2007).
182. Brazeau T., "Impacts et analyse technico-économique de différentes conduites climatiques en tomate hors-sol sous serre. Mémoire d'Ingénieur de l'Institut Supérieur des Sciences agronomiques, agroalimentaires, horticoles et du paysage". Spécialité Horticulture. France, (2015), 57p.
183. FAO., "Food and Agricultural Organization". (2012). Land and plant nutrition management service. Available online at:
<http://www.fao.org/ag/aql/agll/>.
184. Gautier H., Diakou-Verdin V., Bénard C., Reich M., Buret M., Bourgaud F., Poëssel J.L., Caris-Veyrat C., Génard M., "How Does Tomato Quality (Sugar, Acid, and Nutritional Quality) Vary with Ripening Stage, Temperature, and Irradiance", *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (2008), 56:1241–1250.
185. Davies J.N., Hobson G.E., Mc Glasson W.B., "The constituents of tomato fruit the influence of environment, nutrition, and genotype". *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, (1981), 15:205–280.
186. Truffault V., "Oxydation et dégradation de l'ascorbate chez la tomate et impact sur la croissance et le métabolisme. Thèse de Docteur en Sciences. Université d'Avignon et des pays de Vaucluse". Spécialité: Sciences Agronomiques, (2015), Pp. 241.
187. Agarwal, S., and Rao, A.V., "Tomato lycopene and its role in human health and chronic diseases". *CMAJ*, (2000), 163, 739-744.
188. Bhowmik D., Kumar K.S., Paswan S., Srivastava S., "Tomato-a natural medicine and its health benefits". *Journal of Pharmacognosy and Photochemistry*, (2012), 1:33–43.

189. Favier J., Ireland-Ripert J., Toque C., and Feinberg M., "Répertoire générale des aliments". Ed. Ciqual., (2003), Pp40-48.
190. Adams S.R., Cockshull K.E., Cave C.R.J., "Effect of Temperature on the Growth and Development of Tomato Fruits". *Annals of Botany*, (2001), 88, Pp. 869-877.
191. Suzuki M., Umeda H., Matsuo S., Kawasaki Y., Ahn D., Hamamoto H., Iwasaki Y., "Effects of relative humidity and nutrient supply on growth and nutrient uptake in greenhouse tomato production", *Scientia Horticulturae*, (2015), 187, Pp. 44–49.
192. Wacquant P., "les besoins en eau et irrigation des cultures sous serre". Info CTIFL, (1998), N°145. 40-43.
193. Chougar S., "Bio écologie de la mineuse de la tomate *Tuta absoluta* (MEYRICK, 1917) (Lepidoptera : Gelechiidae) sur trois variétés de tomate sous serre (Zahra, Dawson et Tavira) dans la Wilaya de Tizi-Ouzou". Mémoire de Magister. Spécialité Ecologie et Biodiversité Animales des écosystèmes continentaux. Université de Mouloud Maamri de Tizi-Ouzou, (2011), 122p.
194. Elattir H., Skiredj A., Elfadl A., "La tomate, l'aubergine, le poivron et le gombo". Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA. MADRPM/ DERD (2003), N° 100.
195. Snoussi, S.A., "Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées", Thèse Doctorat, INA El-Harrach, (2001), 152p.
196. Zouaoui A., "valorisation des eaux non conventionnelles en arido-cultures". Thèse d'Etat en Sciences Agronomique. Université de Blida 1. (2015), Pp. 131
197. Lichtenthaler H. K., "Chlorophylls and carotenoids—pigments of photosynthetic bio membranes". *Methods Enzymology*. (1987), 148, 350–382. Doi: 10.1016/0076-687948036-1.
198. Hassani A., Seddiki D., Kouadria M., Bouchenafa., N, Negadi L., Labdaoui F., "Effet de la salinité sur le comportement physiologique et biochimique de l'Oléastre (Olivier spontané) et l'olivier cultivé (variété Sigoise) ". *Revue Ecologie-Environnement*, (2014), N 10.
199. Troll W., and Lindsley J., "A photometric method for the determination of proline". *J. Biochem.*, (1955), 215, 655 660.

200. Dreier W., and Göring M., "Der Einfluss hoher Salzkonzentration auf verschiedene physiologische Parameters von Maiswurzeln. *Wiss. Z. Humboldt-Universität Berlin, Reihe/Math. Naturwiss.* (1974), 23, 641-644.
201. Monneveux P., and Nemmar M., "Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement". *Agronomie*, EDP Sciences, (1986), 6 (6), pp.583-590.
202. Guo R., Shi L X., Yan C., Zhong X., Gu FX., Liu Q., Xia X., and Li H., "Ionic and metabolic responses to neutral salt or alkaline salt stresses in maize (*Zea mays* L.) Seedlings". *BMC Plant Biology*, (2017), 17:41 DOI 10.1186/s12870-017-0994-6.
203. Latef AAA., Tran LSP., "Impacts of priming with silicon on the growth and tolerance of maize plants to alkaline stress". *Front Plant Sci.* (2017), 7:243–59.
204. Yang C., Chong J., Kim C., Li C., Shi D., Wang D., "Osmotic adjustment and ion balance traits of an alkaline resistant halophyte *Kochia sieversiana* during adaptation to saline and alkaline conditions". *Plant Soil*, (2007), 294: 263–76.
205. Yang C., Xu HH., Wang L., Liu J., Shi DC., and Wang D., "Comparative effects of salt stress and alkaline-stress on the growth, photosynthesis, solute accumulation, and ion balance of barley plants". *Photosynthetica*, (2009), 47:79–86.
206. Wang H., Ahan J., Wu ZH., Shi DC., Liu B., Yang CW., "Alteration of nitrogen metabolism in rice variety 'Nippon bare' induced by alkali stress". *Plant Soil*, (2012), 355:131–47.
207. Slama F., "L'effet de chlorure de sodium sur la croissance et la nutrition minérale de six espèces de plantes cultivées". *Agronomie tropicale*, (1986), 21-26.
208. Snoussi SA., et Chikhi H., "Effet de la salinité sur l'absorption hydrominérale des plantules de tomate dans un environnement salin". *Revue Agrobiologia* (2012), 2, 83 – 87.
209. Álvarez S., Rodríguez P., Broetto F., Sánchez-Blanco M.J., "Long-term responses and adaptive strategies of *Pistacia lentiscus* under moderate and severe deficit irrigation and salinity: Osmotic and elastic adjustment, growth, ion uptake and photosynthetic activity". *Agricultural Water Management* (2018).

210. Orsini F., Pennisi G., Mancarella S., Al Nayef M., Sanoubar R., Nicola S., Gianquinto G., "Hydroponic lettuce yields are improved under salt stress by utilizing white plastic film and exogenous applications of proline". *Scientia Horticulturae* 233 (2018) 283–293. doi.org/10.1016/j.scienta.2018.01.019
211. Souza PU., LKS Lima., Soares TL., Jesus OND., Coelho Filho MA., Girardi EA., "Biometric, physiological and anatomical responses of *Passiflora* spp. To controlled water deficit". *Scientia Horticulturae*, (2018), 229, 77–90. dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.10.019
212. Pagter M., Bragato C., Malagoli M., Brix H., "Osmotic and ionic effects of NaCl and Na₂SO₄ salinity on *Phragmites australis*". *Aquatic Botany*, (2009), 90. 43-51.
213. Moles T M., Pompeiano A., Reyes T H., Scartazza A., and Guglielminetti L., "The efficient physiological strategy of a tomato landrace in response to short-term salinity stress". *Plant Physiology and Biochemistry*, (2016), 109. 262e272.
214. Annunziata MG., Ciarmiello LF., Woodrow P., Maximova E., Fuggi A and Carillo P., "Durum wheat roots adapt to salinity remodeling the cellular content of nitrogen metabolites and sucrose". *Front. Plant Sci*, (2017), 7:2035. doi: 10.3389/fpls. 02035.
215. Munns R., "Genes and salt tolerance: bringing them together". *New Phytologist*, (2005), 167: 645–663
216. Carter CD., Kitchen LE, Au WC., Babic CM., Basrai MA., "Loss of SOD1 and LYS7 sensitizes *Saccharomyces cerevisiae* to hydroxyurea and DNA damage agents and down regulates MEC1 pathway effectors". *Mol Cell Biol*, (2005), 25(23):10273-85
217. Azadgoleh E., yasari E., "Wheat and barley response to salinity stress". *Ecology, Environment and Conservation*, (2007), 3, (13), 453- 458.
218. TAWARE S. D., TAWARE A. S., CHAVAN A. M., MUKADAM D. S., "Wheat and salinity : Response of different concentrations of NaCl and KCl". *Biosciences biotechnology research Asia*, (2009), 1, (6), 313- 316.
219. Yokas I., Tuna L. A., Burun B., Altunlu H., Altan F., Kaya C., "Responses of the tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) plant to exposure to different salt forms and rates". *Turk. J. Agric.*, (2008), 32, 319- 329.

220. Howladar SM., Moringaoleifera A., "leaf extract can mitigate the stress effects of salinity and cadmium in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) plants". *Ecotoxicology Environ Saf*, (2014), 100:69-75.
221. Kaya M. D., Okçu G., Atak M., Çikili Y. & Kolsarici Ö., "Seed treatments to overcome salt and drought stress during germination in sunflower (*Helianthus annuus* L.)". *European Journal of Agronomy*, (2006), 24 (4), 291–295.
222. Todd N.M., and Reed D. W., "Characterizing salinity limits of New-Guinea Impatiens in recirculating sib irrigation". *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* (1998), 123 (1), 156–160.
223. Haouala F., "Effets du NaCl sur la croissance, la floraison et la bulbaison du glaïeul (*Gladiolus grandiflorus* Hort.) ". *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture*, (2011), Vol. 43 (6) : 378–383,
224. Bouaouina S., Zid E., and Hajji M., "Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.). Royo C., Nachit MM, Di Fonzo N. & Araus JL, éd. L'amélioration du blé dur dans la région méditerranéenne : nouveaux défis". Zaragoza : CIHEAM-IAMZ, (2000) 239-243.
225. Ben Yahmed J., "Etude des propriétés de tolérance au déficit hydrique et au stress salin de génotypes appartenant au genre *Poncirus* et au groupe des mandariniers". Thèse de doctorat, spécialité : Biologie Intégrative des Plantes. Centre international d'études supérieures en sciences agronomiques Montpellier. France, (2013), Pp. 210.
226. Tobe K., Li X., Omasa K., "Effects of sodium, magnesium and calcium salts on seed germination and radicle survival of a halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae) ". *Australian journal of botany*, (2002), 50 (2), 163-169.
227. Masmoudi A., Hemeir A., Benaissa M., "Impacts de la concentration et du type de sel sur le potentiel germinatif et la production de biomasse chez l'orge (*Hordeum Vulgare*) ". *Courrier du Savoir* (2014), N°18, Pp.95-10.
228. Ghulam H., Al-Jaloud A.A., AL-Shammary S.A., Karimulla S., Al-Aswad S.O., "Effect of saline irrigation on germination and growth parameters of barley", *Agricultural water management*, (1997), 34, 125-135.
229. Bliss R.D., Platt-Aloia K. A., Thomson W. W., "The inhibitory effect of NaCl on barley germination". *Plant, Cell and Environment* (1986), 9, (9), 727-733.

230. Jaleel C.A., Manivannan P., Sankar B., Kishorekumar A, Panneerselvam R., "Calcium chloride effects on salinity-induced oxidative stress, proline metabolism and indole alkaloid accumulation in *Catharanthus roseus*". *C. R. Biologies*, (2007), 330, 674–683.
231. Akhavan M., Campbell W.F., Jurinak J.J., Dudley L.M., "Effects of CaSO₄, CaCl₂ and NaCl on leaf nitrogen, nodule weight and acetylene reduction activity in *Phaseolus vulgaris*". *Arid land research and management* (1991), 5, 2, 97-103.
232. Hamdia, M., and Shaddad M., "Salt tolerance of crop plants". *Journal of Stress Physiology & Biochemistry*, (2010), 6(3): 64-90.
233. Joseph B., and Jini D., "Development of salt stress-tolerant plants by gene manipulation of antioxidant enzymes". *Asian journal of agricultural research*, (2011), 5(1): 17-27.
234. Nebauer S.G., Sánchez M., Martínez L., Lluch Y., Renau-Morata B., Molina R.V., "Differences in photosynthetic performance and its correlation with growth among tomato cultivars in response to different salts", *Plant Physiology and Biochemistry*, (2013), 63, 61e69.
235. Rubio, S., Rodrigues, A., Saez, A., Dizon, M.B., Galle, A., Kim, T.H., Santiago, J., Flexas, J., Schroeder, J.I., and Rodriguez, P.L., "Triple loss of function of protein phosphatases type 2C leads to partial constitutive response to endogenous abscisic acid". *Plant Physiol.* (2009), 150: 1345–1355.
236. Chartzoulakis K., Klapaki G., "Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages". *Sci Hort.* (2000), 86, 247-260. doi: 10.1016/S0304-4238(00)00151-5.
237. Zribi, L., Gharbi, F., Rezgui, F., Rejeb, S., Nahdi, H., Rejeb, M.N., "Application of chlorophyll fluorescence for the diagnosis of salt stress in tomato "*Solanum lycopersicum* (variety Rio Grande)". *Scientia Horticulturae*, (2009), 120, 367–372.
238. R'him T., Tlili I., Hnan I, Ilahy R., Benali A et Jebari H., Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Applied Biosciences*, (2013), 66: 5060-5069.

239. Lépengué, A.N., Mouaragadja, I., Chérif, M., M'batchi, B., and Aké, S., "Effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la croissance de la roselle au Gabon". *Afrique Science*, (2009), 5(3), p. 97-110. Available on : <http://www.afriquescience.info/document.php?id=167345>.
240. Rahmoune, C., Paul, R. and Dreze, P., "Interaction between foliar and root intake of Zn by peas .Proc. Symposium: Foliar fertilization "A technic to improve production and disease pollution", (10-14 dec. 1998), Cairo (Egypt), MM El Fouly et al., Eds, Publ. NCR. Pp. 181-184.
241. Rahmoune C., Seridi R., Paul R. and Drez P., "Influence on Zn concentration in solution Applied to leaves and Roots on the absorption and translocation of Cd by leave". *Agricultural Sciences*, (2000), 27(1) : 72-77.
242. El-Iklil Y., Karrou M., Mrabet R., et Benichou M., "Effet du stress salin sur la variation de certains métabolites chez *Lycopersicum esculentum* et *Lycopersicum sheesmanii*". *Can. J. Plant Sci.*, (2002), 82: 177–183.
243. Tewari, T. N., and Singh B. B., "Stress studies in lentil (*Lens esculenta* M.) II. Sodcity induced changes in chlorophyll, nitrate and nitrate reductase, nucleic acid, proline, yield and yield components in lentil". *Plant Soil*, (1991), 136: 225-230.
244. Sharaf, A., Labib, S. and El-Massry, R., "Effect of kinetin on the biochemical constituents of tomato plants under different levels of salinity". *Zagazig Journal of Agricultural Research (Egypt)*. (1990), 12: 417–441.
245. Orcutt D.M., and Nilsen E.T., "The physiology of plants under stress: soil and biotic factors " (John Wiley and Sons, Inc.: New York.), (2000).
246. Meloni, D. A., Oliva, M. A., Martinez, C. A. and Cambraia J., "Photosynthesis and activity of superoxide dismutase, peroxidase and glutathione reductase in cotton under salt stress". *Environmental and Experimental Botany*, (2003), 49(1): 69-76.
247. Munns R., Genetic variation for salt stress tolerance of durum wheat, *Austr. J. Agric. Reas.*, (2000), 51: 69-74.
248. Hassani Z., O'Reilly J., Pearse Y., Stroemer P., Tang E., et al., "Human Neural Progenitor Cell Engraftment Increases Neurogenesis and Microglial Recruitment in the Brain of Rats with Stroke". *PLoS ONE* (2012), 7 (11): e50444. doi:10.1371/journal.pone.0050444.

249. Zhu, J. K., "Genetic analysis of plant salt tolerance using Arabidopsis". *Plant Physiol.*, (2001), 124, 941-948.
250. Belkhodja M., Bidai Y., "Analyse de la proline pour l'étude de la résistance d'une halophyte *Atriplex halimus* L. à la salinité". *Egypt. J. of Agric. Res.*, (2012), 78, (1), p.185195.
251. Qian Y.L., Wilhelm S.J., and Marcum K.B., "Comparative Responses of Two Kentucky bluegrass Cultivars to Salinity Stress". *Crop Science*, (2001), 41, p.18951900.
252. Cordovilla M.P., Ligeró F., and Lluch C., "Influence of host genotypes on growth, symbiotic performance and nitrogen assimilation in Faba bean (*Vicia faba* L.) Under salt stress". *Plant Soil*, (1995), 172, 289-297.
253. Samineni S., Siddique K.H.M., Gaur P.M., Colmer T.D., "Salt sensitivity of the vegetative and reproductive stages in chickpea (*Cicer arietinum* L.): Podding is a particularly sensitive stage". *Environ. And Exp. Bot.*, (2011) 71: 260-268.
254. Vadeza V., Rashmi M., Sindhu K., Muralidharan M., Pushpavalli R., Neil C Turner, Krishnamurthy L., Gaur P.M., Colmer T.D., "Large number of flowers and tertiary branches, and higher reproductive success increase yields under salt stress in chickpea". *International Crops Research Institute for the Semi-Arid Tropics*. Vol. 41, Pages 42-51, (August 2012), Doi : <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2012.03.008>.
255. Ameer H., "Effet d'osmoprotecteurs naturels sur la restauration de croissance de *Streptomyces* et de plantes d'intérêt agricole sur sol salé ou aride". Thèse d'Etat en Sciences Biologique. Spécialité Microbiologie. Université Ferhat Abbas Sétif 1, (2014), Pp. 200.
256. Chinnusamy V., Zhu J., and Zhu JK., "Salt stress signaling and mechanism of plant tolerance". Genetic engineering (Research Support, N.I.H., Extramural Research Support. US. Gov't, Non-P.H.S Reviews, (2006); 27:144-77.
257. Lamzeri H., "Réponses éco physiologiques de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S. mölle*) soumises à un stress salin". Mémoire de magistère en Ecologie et Environnement .Option : Ecologie végétale. Université Mentouri Constantine, (2007), 141p.
258. Bouchoukh I., "Comportement éco physiologique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex* et *Spinacia* soumises au stress salin". Mémoire de

Magistère en Biologie végétale Option : Ecophysiologie et biotechnologie végétale. Université Mentouri. Constantine. (2010), Pp. 164.

Annexe 01: Bilan d'absorption hydrominérale

Variété Marmande

		SSN	SSC	NaCl	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄ + NaCl	MgSO ₄ + MgCl ₂	Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	MgSO ₄ + CaCl ₂
pH initial		7,31	5,65	5,59	5,67	5,71	5,69	5,55	5,77	7,58	7,78
pH final		8,06	6,67	6,95	7,35	6,65	6,89	7,35	6,96	7,35	7,51
CE initiale		3,41	3,60	2,73	2,90	2,48	2,32	2,02	2,19	2,73	2,68
CE finale		2,35	2,62	2,08	2,08	1,13	1,14	1,49	1,16	1,90	1,40
Volume versé	20 jours	250 ml									
	65 jours	420 ml									
	110 jours	600 ml									
20 jours	Volume percolé	170,67± 8,99	60,00± 4,08	42,67± 2,05	35,00± 2,45	79,33± 2,92	41,33± 1,87	37,00± 1,41	102,67± 7,82	136,0± 2,35	131,3± 4,71
	Volume absorbé	79,33± 8,99	190,00± 4,08	207,33± 2,05	215,00± 2,45	170,67± 9,23	208,67± 10,87	213,00± 1,41	147,33± 2,82	114,00 ±7,35	118,6± 4,71
	% d'absorption	31,73± 3,60	76,00± 1,60	82,93± 0,82	86,00± 0,98	68,27± 1,69	83,47± 4,35	85,20± 0,57	58,93± 1,13	45,60± 2,54	47,47± 1,89
65 jours	Volume percolé	246,67± 2,36	78,33± 2,14	95,00± 4,00	63,33± 5,25	74,33± 2,94	22,67± 1,33	76,00± 4,97	59,33± 2,85	206,0± 4,61	301,6± 2,07
	Volume absorbé	173,33± 2,36	341,67± 20,14	325,00± 8,03	356,67± 5,25	345,67± 9,47	397,33± 19,33	344,00± 16,97	360,67± 14,59	214,0± 4,16	118,3± 2,07
	% d'absorption	41,27± 0,56	81,35± 4,79	77,38± 4,53	84,12± 1,25	82,30± 3,02	94,60± 4,60	81,90± 4,04	85,87± 3,81	50,95± 4,92	28,17± 2,78
110 jours	Volume percolé	503,33± 17,00	121,67± 1,92	193,33± 3,30	203,33± 1,47	98,33± 2,05	150,00± 2,94	173,33± 2,55	81,33± 4,18	488,3± 6,24	533± 12,47
	Volume absorbé	96,67± 1,70	478,33± 19,29	406,67± 2,30	396,67± 12,47	501,67± 20,55	450,00± 29,44	426,67± 20,55	518,67± 8,18	111,6± 3,24	66,67± 1,24
	% d'absorption	16,11± 2,83	79,72± 3,22	67,78± 1,50	6,11± 2,08	83,61± 3,42	75,00± 2,91	71,11± 3,42	86,44± 1,36	18,61± 1,04	11,11± 1,04

Annexe 02: Bilan d'absorption hydrominérale

Variété Saint-Pierre

		SSN	SSC	NaCl	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄ + NaCl	MgSO ₄ + MgCl ₂	Na ₂ SO ₄ + CaCl ₂	MgSO ₄ + CaCl ₂
pH initial		7,31	5,65	5,59	5,67	5,71	5,69	5,55	5,77	7,58	7,78
pH final		8,06	6,67	6,95	7,35	6,65	6,89	7,35	6,96	7,35	7,51
CE initiale		3,41	3,60	2,73	2,90	2,48	2,32	2,02	2,19	2,73	2,68
CE finale		2,35	2,62	2,08	2,08	1,13	1,14	1,49	1,16	1,90	1,40
Volume versé	20 jours	250 ml									
	65 jours	420 ml									
	110 jours	600 ml									
20 jours	Volume percolé	167,67± 2,05	57,00± 9,20	50,00± 1,63	98,33± 16,50	46,00± 0,82	62,67± 2,05	37,00± 3,74	58,00± 18,67	140,00± 8,99	170,60± 8,99
	Volume absorbé	82,33± 2,05	193,00± 9,20	200,00± 1,63	151,67± 16,50	204,00± 0,82	187,33± 2,05	213,00± 3,74	192,00± 18,67	109,33± 8,99	79,33± 8,99
	% d'absorption	32,93± 0,82	77,20± 3,68	80,00± 0,65	60,67± 6,60	81,60± 0,33	74,93± 0,82	85,20± 1,50	76,80± 7,47	34,73± 3,29	31,73± 3,60
65 jours	Volume percolé	198,33± 26,56	72,33± 5,72	40,67± 2,32	110,67± 4,26	133,00± 8,99	48,33± 1,91	46,67± 2,49	105,33± 4,65	217,67± 8,65	302,67± 5,50
	Volume absorbé	221,67± 6,56	347,67± 5,72	379,33± 7,32	309,33± 8,26	287,00± 8,91	371,67± 18,91	373,33± 2,49	314,67± 4,54	202,33± 7,65	117,33± 7,55
	% d'absorption	52,78± 6,32	82,78± 1,27	90,32± 1,74	73,65± 2,06	68,33± 1,52	88,49± 4,50	88,89± 0,59	74,92± 1,65	48,17± 1,82	27,94± 1,98
110 jours	Volume percolé	461,67± 8,50	291,67± 2,35	278,33± 12,46	175,00± 7,80	388,33± 3,67	191,67± 3,12	268,33± 4,34	170,00± 7,80	546,67± 6,59	516,67± 6,24
	Volume absorbé	138,33± 8,50	308,33± 2,35	321,67± 15,46	425,00± 17,80	211,67± 3,65	408,33± 13,12	331,67± 14,34	430,00± 17,80	53,33± 3,65	83,33± 3,12
	% d'absorption	23,06± 1,42	51,39± 3,93	53,61± 2,58	70,83± 2,97	35,28± 5,94	68,06± 2,19	55,28± 2,39	71,11± 2,97	8,89± 1,05	13,89± 2,08

		SP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
	Feuille basale	Mar	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1		
		SP	-	375	118,18	72,72	80,76	385,71	372,72	13,63	226,31	76,92	9		
	Feuille médian e	Mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112,50	1		
		SP	81,81	2,56	6,66	92,85	166,66	61,53	67,74	160	228,57	-	9		
	Feuille apicale	Mar	-	164,10	15,55	263,63	46,42	220	495,34	-	35,71	-	7		
		SP	190,90	-	-	-	-	-	-	5,17	-	116,66	3		
	Nombre de fleurs	Mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
		SP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
	Nombre de fruits	Mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
		SP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
	Taux d'avortement	Mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
		SP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
	Production de fruits	Mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
		SP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		

Annexe 04 : Pourcentage d'accroissements des paramètres mesurés chez les deux variétés après 65 jours de stress

Après 65 jours de stress			SSN	SSC	NaCl	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄ +NaCl	MgSO ₄ +MgCl ₂	Na ₂ SO ₄ +CaCl ₂	MgSO ₄ +CaCl ₂	Total	La somme	
Hauteur des tiges	Mar	-	-	-	4,85	-	-	-	-	-	-	-	1	95	100
	SP	13,27	11,17	7,87	-	4,38	2,56	0,59	16,57	5,46	34,32	9			
Diamètre des tiges	Mar	-	-	3,22	11,82	-	-	26,08	11,49	59,25	-	5			
	SP	6,75	21,64	-	-	6,66	2,91	-	-	-	55,55	5			
Nombre de feuilles	Mar	14,22	7,31	43,67	9,72	17,55	17,55	22,79	12,52	22,79	2,60	10			
	SP	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0			
Poids frais partie	aérienne	Mar	18,50	-	-	-	353,89	47,30	28,16	-	128,74	-	5		
		SP	-	67,40	11,21	1,31	-	-	-	2,80	-	140,77	5		
	racinaire	Mar	-	68	-	55,19	33,23	119,85	45,28	30,17	180,64	-	7		
		SP	4,95	-	2,97	-	-	-	-	-	-	30,75	3		
Poids sec partie	aérienne	Mar	3,84	-	-	0,93	-	31,42	-	-	119,86	-	4		
		SP	-	45	3,47	-	2,80	-	10,26	0,23	-	122,72	6		
	racinaire	Mar	-	101,54	10,07	-	228,32	87,65	10,01	68,27	130,95	-	7		
		SP	41,25	-	-	3,88	-	-	-	-	-	94,62	3		
%Matière sèche partie	aérienne	Mar	-	15,48	7,42	-	-	-	-	2,51	-	8,26	4		
		SP	14,38	-	-	8,57	1,49	12,09	41,27	-	3,80	-	6		
	racinaire	Mar	-	19,98	14,51	-	147,04	-	-	28,97	-	-	4		
		SP	34,99	-	-	61,01	-	17,14	32,06	-	21,46	49,53	6		
Bilan d'absorption	Mar	-	-	-	14,21	20,44	6,90	-	14,61	5,77	0,82	6			
	SP	27,88	1,75	16,72	-	-	-	8,53	-	-	-	4			
Taux de chlorophylle	(A)	Mar	-	32,12	-	-	-	-	-	-	-	14,66	2		
		SP	54,31	-	57,22	22,25	67,17	56,81	4,28	15,62	19,53	-	8		
	(B)	Mar	35,75	-	28,17	15,05	-	-	-	-	5,94	-	4		
		SP	-	9,09	-	-	1,16	30,37	31,80	5,14	-	15,31	6		

Annexe 05 : Pourcentage d'accroissements des paramètres mesurés chez les deux variétés après 110 jours de stress

Après 110 jours de stress			SSN	SSC	NaCl	Na ₂ SO ₄	MgCl ₂	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄ +NaCl	MgSO ₄ +MgCl ₂	Na ₂ SO ₄ +CaCl ₂	MgSO ₄ +CaCl ₂	Total	La somme	
Hauteur des tiges	Mar		2,77	9,31	-	-	-	-	-	4,77	21,29	2,17	5	110	93
	SP		-	-	6,32	9,93	0,60	14,28	2,33	-	-	-	5		
Diamètre des tiges	Mar		-	5,04	-	10,52	15,15	2,88	-	5,94	9,21	20,58	7		
	SP		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
Nombre de feuilles	Mar		11,39	-	18,18	27,27	30,27	21,83	8,56	25,84	36,36	17,56	9		
	SP		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0		
Poids frais partie	aérienne	Mar	-	8,85	13,88	10,72	40,26	6,89	8,43	6,33	-	62,81	8		
		SP	34	-	-	-	-	-	-	-	6,82	-	2		
	racinaire	Mar	-	-	-	-	-	-	-	-	-	60,97	1		
		SP	5,62	12,96	144,86	84,76	19,47	253,41	91,54	50,96	45,66	-	9		
Poids sec partie	aérienne	Mar	-	-	-	14,19	28,96	8,25	20,38	8,57	10,50	72,11	7		
		SP	34,55	1,84	12,82	-	-	-	-	-	-	-	3		
	racinaire	Mar	-	54,78	58,73	23,69	53,04	3,39	70,17	25,21	33,33	147,50	9		
		SP	8,29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1		
%Matière sèche partie	aérienne	Mar	-	-	-	3,10	-	1,21	11,02	2,04	18,10	5,54	4		
		SP	0,33	10,84	30,71	-	8,72	-	-	-	-	-	6		
	racinaire	Mar	-	74,97	288,67	128,67	82,95	265,57	226,05	98,98	95,20	53,58	9		
		SP	2,43	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1		
Bilan d'absorption	Mar	-	55,12	26,43	-	136,98	10,19	28,63	21,55	109,33	-	7			
	SP	43,14	-	-	1059,24	-	-	-	-	-	25,02	3			
Taux de chlorophylle	(A)	Mar	25,26	33,33	-	-	-	-	-	145,84	-	9,75	4		
		SP	-	-	45,29	13,12	22,62	46,67	30,56	-	77,27	-	6		
	(B)	Mar	67,81	9,09	19,48	24,23	-	-	67,92	214,36	-	14	7		
		SP	-	-	-	-	1,92	34,27	-	-	70,58	-	3		

Analyse de la variance (Après 20 jours de stress)

1. Bilan d'absorption hydrominérale

1.1. Variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	10338,75	1148,75	20,05	< 0,0001
Erreur	20	1120,64	56,03		
Total corrigé	29	11459,39			

1.2. Variété Saint-Pierre

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	11695,91	1299,55	61,55	< 0,0001
Erreur	20	422,29	21,11		
Total corrigé	29	12118,21			

2. Paramètres de croissance

2.1. Hauteur des plantes

2.1.1. Variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	608,74	76,09	19,75	< 0,0001
Erreur	20	69,33	3,85		
Total corrigé	29	678,07			

2.1.2. Variété Saint-Pierre

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	1153,33	144,17	68,59	< 0,0001
Erreur	20	37,83	2,10		
Total corrigé	29	1191,17			

Nombre de feuilles par plant

2.1.3. Variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	49,33	6,17	8,32	< 0,0000
Erreur	20	13,33	0,74		
Total corrigé	29	62,67			

2.1.4. Variété Saint-Pierre

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	96,30	12,04	29,55	< 0,0000
Erreur	20	7,33	0,41		
Total corrigé	29	103,63			

2.2. Diamètre des tiges

2.2.1. Variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,130	0,016	34,893	< 0,0001
Erreur	20	0,008	0,000		
Total corrigé	29	0,139			

2.2.2. Variété Saint-Pierre

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,1842	0,0230	26,9167	< 0,0001
Erreur	20	0,0154	0,0009		
Total corrigé	29	0,1996			

2.3. Biomasse fraîche totale de la partie aérienne (feuille + tige)

2.3.1. Variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	10375,909	1296,989	495,693	< 0,0001
Erreur	20	47,097	2,617		
Total corrigé	29	10423,006			

2.3.2. Variété Saint-Pierre

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	18665,46	2333,1824	1344,92	< 0,0001
Erreur	20	31,23	1,74		
Total corrigé	29	18696,69			

2.4. Biomasse fraîche totale de la partie racinaire

2.4.1. Variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	2388,29	298,54	74,76	< 0,0001
Erreur	20	71,88	3,99		
Total corrigé	29	2460,16			

2.4.2. Variété Saint-Pierre

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	2982,49	372,81	802,43	< 0,0001
Erreur	20	8,36	0,46		
Total corrigé	29	2990,86			

2.5. Biomasse sèche totale de la partie aérienne

2.5.1. Variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	219,85	27,48	595,45	< 0,0001
Erreur	20	0,83	0,047		
Total corrigé	29	220,68			

2.5.2. Variété Saint-Pierre

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	207,00	25,87	889,25	< 0,0001
Erreur	20	0,52	0,03		
Total corrigé	29	207,53			

2.6. Biomasse sèche totale de la partie racinaire

2.6.1. Variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	60,81	7,60	218,34	< 0,0001
Erreur	20	0,63	0,03		
Total corrigé	29	61,43			

2.6.2. Variété Saint-Pierre

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	30,064	3,77	693,19	< 0,0001
Erreur	20	0,098	0,0057		
Total corrigé	29	30,16			

2.7. Matière sèche totale de la partie aérienne

2.7.1. Variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	55,27	6,91	6176,98	< 0,0001
Erreur	20	0,02	0,01		
Total corrigé	29	55,29			

2.7.2. Variété Saint-Pierre

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	68,39	8,56	1994,88	< 0,0001
Erreur	20	0,078	0,0043		
Total corrigé	29	68,46			

2.8. Matière sèche totale de la partie racinaire

2.8.1. Variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	119,28	14,91	226,30	< 0,0001
Erreur	20	1,19	0,067		
Total corrigé	29	120,47			

2.8.2. Variété Saint-Pierre

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	8	59,2305	7,4038	26653,7033	< 0,0001
Erreur	18	0,0050	0,0003		
Total corrigé	26	59,2355			

3. Paramètres physiologiques

3.1. Teneur des feuilles en chlorophylle (A)

1. variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	3,32	0,37	81,98	< 0,0001
Erreur	20	0,09	0,00		
Total corrigé	29	3,40			

b. Variété Saint-Pierre

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	2,11	0,23	38,10	< 0,0001
Erreur	20	0,12	0,01		
Total corrigé	29	2,23			

3.2. Teneur des feuilles en chlorophylle (B)

1. variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,79	0,09	38,58	< 0,0001
Erreur	20	0,05	0,00		
Total corrigé	29	0,83			

2. variété Saint-Pierre

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,743	0,083	26,09	< 0,0001
Erreur	20	0,063	0,003		
Total corrigé	29	0,806			

3.3. Teneur en proline dans les racines

1. variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,015	0,002	247,06	< 0,0001
Erreur	20	0,000	0,000		
Total corrigé	29	0,015			

2. variété Saint-Pierre

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,743	0,083	26,09	< 0,0001
Erreur	20	0,063	0,003		
Total corrigé	29	0,806			

3.4. Teneur en proline dans les tiges

1. variété Marmande

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,057	0,0006	219,83	< 0,0001
Erreur	20	0,0001	0,00003		
Total corrigé	29	0,0058			

2. variété Saint-Pierre

c. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,0057	0,0006	219,83	< 0,0001
Erreur	20	0,0001	0,0000		
Total corrigé	29	0,0058			

3.5. Teneur en proline dans les feuilles basales

1. variété Marmande

c. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,0030	0,0003	106,61	< 0,0001
Erreur	20	0,0001	0,0000		
Total corrigé	29	0,0031			

2. variété Saint-Pierre

d. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,0047	0,0005	240,32	< 0,0001
Erreur	20	0,0000	0,0000		
Total corrigé	29	0,0047			

3.6. Teneur en proline dans les feuilles médianes

1. variété Marmande

d. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,0022	0,0002	18,73	< 0,0001
Erreur	20	0,0003	0,0000		
Total corrigé	29	0,0025			

2. variété Saint-Pierre

e. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,0029	0,0003	38,62	< 0,0001
Erreur	20	0,0002	0,00001		
Total corrigé	29	0,0030			

3.7. Teneur en proline dans les feuilles apicales

1. variété Marmande

e. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,145	0,016	986,47	< 0,0001
Erreur	20	0,00001	0,00002		
Total corrigé	29	0,146			

2. variété Saint-Pierre

f. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,0082	0,0009	62,87	< 0,0001
Erreur	20	0,0003	0,00001		
Total corrigé	29	0,0084			

Analyse de la variance (Après 65 jours de stress)

3.8. Hauteur des plantes

3.8.1. Variété Marmande

c. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	1208,30	151,04	163,12	< 0,0001
Erreur	20	16,67	0,93		
Total corrigé	29	1224,96			

3.8.2. Variété Saint-Pierre

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	430,74	53,84	68,59	< 0,0001
Erreur	20	19,33	1,07		
Total corrigé	29	450,07			

3.9. Diamètre des tiges

3.9.1. Variété Marmande

a. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,7025	0,0878	89,1325	< 0,0001
Erreur	20	0,0177	0,0010		
Total corrigé	29	0,7202			

3.9.2. Variété Saint-Pierre

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,72	0,09	96,12	< 0,0001
Erreur	20	0,02	0,00		
Total corrigé	29	0,74			

3.10. Biomasse fraiche totale de la partie aérienne (Feuille + tige)

3.10.1. Variété Marmande

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	47178,51	5897,31	4013,90	< 0,0001
Erreur	20	26,45	1,47		
Total corrigé	29	47204,96			

3.10.2. Variété Saint-Pierre

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	62149,66	7768,71	2763,71	< 0,0001
Erreur	20	50,60	2,81		
Total corrigé	29	62200,26			

3.11. Biomasse fraiche totale de la partie souterraine

3.11.1. Variété Marmande

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	8732,84	1091,60	347,27	< 0,0001
Erreur	20	56,58	3,14		
Total corrigé	29	8789,42			

3.11.2. Variété Saint-Pierre

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	4076,83	509,60	968,99	< 0,0001
Erreur	20	9,47	0,53		
Total corrigé	29	4086,30			

3.12. Biomasse sèche totale de la partie aérienne

3.12.1. Variété Marmande

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	550,43	68,80	2648,94	< 0,0001
Erreur	20	0,47	0,03		
Total corrigé	29	550,90			

3.12.2. Variété Saint-Pierre

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	785,20	98,15	2249,21	< 0,0001
Erreur	20	0,79	0,04		
Total corrigé	29	785,98			

3.13. Biomasse sèche totale de la partie souterraine

3.13.1. Variété Marmande

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	119,69	14,96	369,60	< 0,0001
Erreur	20	0,73	0,04		
Total corrigé	29	120,42			

3.13.2. Variété Saint-Pierre

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	30,0638	3,7580	693,1900	< 0,0001
Erreur	20	0,0976	0,0054		
Total corrigé	29	30,1613			

3.14. Matière sèche totale de la partie aérienne

3.14.1. Variété Marmande

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	78,16	9,77	5439,11	< 0,0001
Erreur	20	0,03	0,00		
Total corrigé	29	78,19			

3.14.2. Variété Saint-Pierre

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	68,3875	8,5484	1994,8803	< 0,0001
Erreur	20	0,0771	0,0043		
Total corrigé	29	68,4646			

3.15. Matière sèche totale de la partie racinaire

3.15.1. Variété Marmande

b. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	257,93	32,24	223208,65	< 0,0001
Erreur	20	0,00	0,00		
Total corrigé	29	257,93			

3.15.2. Variété Saint-Pierre

g. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	59,2305	7,4038	26653,7033	< 0,0001
Erreur	20	0,0050	0,0003		
Total corrigé	29	59,2355			

3.16. Nombre de feuilles

3.16.1. Variété Marmande

c. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	16,67	2,08	4,69	0,003
Erreur	20	8,00	0,44		
Total corrigé	29	24,67			

3.16.2. Variété Saint-Pierre

h. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	28,00	3,50	10,50	< 0,0001
Erreur	20	6,00	0,33		
Total corrigé	29	34,00			

4. Paramètres physiologiques

4.1. Teneur des feuilles en chlorophylle (A)

1. variété Marmande

c. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	4,423	0,491	553,90	< 0,0001
Erreur	20	0,018	0,001		
Total corrigé	29	4,441			

d. Variété Saint-Pierre

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	6,258	0,695	1146,58	< 0,0001
Erreur	20	0,012	0,001		
Total corrigé	29	6,270			

4.2. Teneur des feuilles en chlorophylle (B)

1. variété Marmande

c. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,677	0,075	64,90	< 0,0001
Erreur	20	0,023	0,001		
Total corrigé	29	0,700			

2. variété Saint-Pierre

d. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,889	0,099	63,567	< 0,0001
Erreur	20	0,031	0,002		
Total corrigé	29	0,920			

4.3. Teneur en proline dans les racines

1. variété Marmande

f. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,005	0,001	142,22	< 0,0001
Erreur	20	0,00012	0,000004		
Total corrigé	29	0,005			

2. variété Saint-Pierre

i. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,005	0,001	142,225	< 0,0001
Erreur	20	0,00011	0,000004		
Total corrigé	29	0,005			

4.4. Teneur en proline dans les tiges

1. variété Marmande

g. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,006	0,001	219,83	< 0,0001
Erreur	20	0,0001	0,000003		
Total corrigé	29	0,006			

2. variété Saint-Pierre

j. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,006	0,001	232,75	< 0,0001
Erreur	20	0,0001	0,000003		
Total corrigé	29	0,006			

4.5. Teneur en proline dans les feuilles basales

1. variété Marmande

h. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,003	0,000334	106,61	< 0,0001
Erreur	20	0,00006	0,000003		
Total corrigé	29	0,003			

2. variété Saint-Pierre

k. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,005	0,001	240,32	< 0,0001
Erreur	20	0,00004	0,000002		
Total corrigé	29	0,005			

4.6. Teneur en proline dans les feuilles médianes

1. variété Marmande

i. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,002	0,00024	18,72	< 0,0001
Erreur	20	0,000	0,00001		
Total corrigé	29	0,002			

2. variété Saint-Pierre

l. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,004	0,00048	73,24	< 0,0001
Erreur	20	0,000	0,00001		
Total corrigé	29	0,004			

4.7. Teneur en proline dans les feuilles apicales

1. variété Marmande

j. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,006	0,001	177,01	< 0,0001
Erreur	20	0,0001	0,000004		
Total corrigé	29	0,006			

2. variété Saint-Pierre

m. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,003	0,00037	73,427	< 0,0001
Erreur	20	0,00010	0,000005		
Total corrigé	29	0,003			

5. Paramètres de production

5.1. Nombre de fleurs

1. variété Marmande

e. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	929,20	103,24	238,26	< 0,0001
Erreur	20	8,67	0,43		
Total corrigé	29	937,87			

2. Variété Saint-Pierre

n. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	810,30	90,03	270,10	< 0,0001
Erreur	20	6,67	0,33		
Total corrigé	29	816,97			

5.2. Nombre de fruits

1. variété Marmande

f. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	756,33	84,04	272,44	< 0,0001
Erreur	20	6,17	0,31		
Total corrigé	29	762,50			

2. Variété Saint-Pierre

o. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	861,63	95,74	359,01	< 0,0001
Erreur	20	5,33	0,27		
Total corrigé	29	866,97			

Analyse de la variance (Après 110 jours de stress)

5.3. Hauteur des plantes

5.3.1. Variété Marmande

d. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	444,63	55,58	21,78	< 0,0001
Erreur	20	45,94	2,55		
Total corrigé	29	490,57			

5.3.2. Variété Saint-Pierre

c. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	788,52	98,56	18,61	< 0,0001
Erreur	20	95,33	5,30		
Total corrigé	29	883,85			

5.4. Diamètre des tiges

5.4.1. Variété Marmande

e. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,65	0,08	91,09	< 0,0001
Erreur	20	0,02	0,0009		
Total corrigé	29	0,67			

5.4.2. Variété Saint-Pierre

d. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,86	0,11	15,48	< 0,0001
Erreur	20	0,12	0,01		
Total corrigé	29	0,98			

5.5. Nombre de feuilles

5.5.1. Variété Marmande

f. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	14,52	1,81	4,08	0,006
Erreur	20	8,00	0,44		
Total corrigé	29	22,52			

5.5.2. Variété Saint-Pierre

e. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	3,33	0,42	0,87	0,562
Erreur	20	8,67	0,48		
Total corrigé	29	12,00			

5.6. Biomasse fraîche totale de la partie aérienne (Feuille + tige)

5.6.1. Variété Marmande

c. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	143594,63	17949,33	2228,56	< 0,0001
Erreur	20	144,98	8,05		
Total corrigé	29	143739,60			

5.6.2. Variété Saint-Pierre

c. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	120591,17	15073,90	1960,36	< 0,0001
Erreur	20	138,41	7,69		
Total corrigé	29	120729,58			

5.7. Biomasse fraîche totale de la partie racinaire

5.7.1. Variété Marmande

d. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	2195,32	274,41	106,83	< 0,0001
Erreur	20	46,24	2,57		
Total corrigé	29	2241,55			

5.7.2. Variété Saint-Pierre

d. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	10345,78	1293,22	221,27	< 0,0001
Erreur	20	105,20	5,84		
Total corrigé	29	10450,98			

5.8. Biomasse sèche totale de la partie aérienne (Feuille + tige)

5.8.1. Variété Marmande

e. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	2331,20	291,40	1663,05	< 0,0001
Erreur	20	3,15	0,18		
Total corrigé	29	2334,35			

5.8.2. Variété Saint-Pierre

e. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	2268,75	283,59	1500,34	< 0,0001
Erreur	20	3,40	0,19		
Total corrigé	29	2272,16			

5.9. Biomasse sèche totale de la partie racinaire

5.9.1. Variété Marmande

f. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	404,04	50,50	171,45	< 0,0001
Erreur	20	5,30	0,29		
Total corrigé	29	409,34			

5.9.2. Variété Saint-Pierre

f. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	235,30	29,41	167,45	< 0,0001
Erreur	20	3,16	0,18		
Total corrigé	29	238,46			

5.10. Matière sèche totale de la partie aérienne

5.10.1. Variété Marmande

c. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	301,19	37,65	34026,16	< 0,0001
Erreur	20	0,02	0,00		
Total corrigé	29	301,21			

5.10.2. Variété Saint-Pierre

c. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	145,97	18,25	596,41	< 0,0001
Erreur	20	0,55	0,03		
Total corrigé	29	146,52			

5.11. Matière sèche totale de la partie racinaire

5.11.1. Variété Marmande

d. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	3183,76	397,97	3160347,09	< 0,0001
Erreur	20	0,0023	0,0001		
Total corrigé	29	3183,76			

5.11.2. Variété Saint-Pierre

d. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	310,43	38,80	98839,17	< 0,0001
Erreur	20	0,0071	0,0004		
Total corrigé	29	310,44			

6. Paramètres physiologiques

6.1. Teneur des feuilles en chlorophylle (A)

1. variété Marmande

g. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	1,669	0,185	340,25	< 0,0001
Erreur	20	0,011	0,001		
Total corrigé	29	1,680			

h. Variété Saint-Pierre

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	2,930	0,33	905,79	< 0,0001
Erreur	20	0,007	0,00036		
Total corrigé	29	2,937			

6.2. Teneur des feuilles en chlorophylle (B)

1. variété Marmande

i. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	1,375	0,153	108,75	< 0,0001
Erreur	20	0,028	0,001		
Total corrigé	29	1,404			

a. Variété Saint-Pierre

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,857	0,095	172,25	< 0,0001
Erreur	20	0,011	0,001		
Total corrigé	29	0,868			

6.3. Teneur en proline dans les racines

1. variété Marmande

j. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,0248	0,0028	1173,13	< 0,0001
Erreur	20	0,00005	0,000002		
Total corrigé	29	0,0248			

a. Variété Saint-Pierre

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,0032	0,0004	138,77	< 0,0001
Erreur	20	0,0001	0,0000025		
Total corrigé	29	0,0032			

6.4. Teneur en proline dans les tiges

1. variété Marmande

k. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,012	0,001	443,31	< 0,0001
Erreur	20	0,000	0,000003		
Total corrigé	29	0,012			

b. Variété Saint-Pierre

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,091	0,010	777,37	< 0,0001
Erreur	20	0,000	0,000013		
Total corrigé	29	0,091			

6.5. Teneur en proline dans les feuilles basales

1. variété Marmande

l. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,003	0,00034	163,85	< 0,0001
Erreur	20	0,00004	0,000002		
Total corrigé	29	0,003			

c. Variété Saint-Pierre

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,010	0,001	450,24	< 0,0001
Erreur	20	0,00005	0,000003		
Total corrigé	29	0,010			

6.6. Teneur en proline dans les feuilles médianes

1. variété Marmande

m. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,001	0,00011	45,54	< 0,0001
Erreur	20	0,00005	0,000002		
Total corrigé	29	0,001			

d. Variété Saint-Pierre

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,002	0,00022	17,222	< 0,0001
Erreur	20	0,00026	0,00001		
Total corrigé	29	0,002			

6.7. Teneur en proline dans les feuilles apicales

1. variété Marmande

n. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,007	0,001	215,50	< 0,0001
Erreur	20	0,00007	0,000004		
Total corrigé	29	0,007			

e. Variété Saint-Pierre

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	0,055	0,006	11,434	< 0,0001
Erreur	20	0,011	0,001		
Total corrigé	29	0,066			

7. Paramètres de production

7.1. Nombre de fleurs

1. variété Marmande

o. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	929,20	103,24	442,48	< 0,0001
Erreur	20	4,67	0,23		
Total corrigé	29	933,87			

2. Variété Saint-Pierre

p. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	863,20	95,91	411,05	< 0,0001
Erreur	20	4,67	0,23		
Total corrigé	29	867,87			

7.2. Nombre de fruits

1. variété Marmande

p. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	348,03	38,67	103,68	< 0,0001
Erreur	20	7,46	0,37		
Total corrigé	29	355,49			

2. Variété Saint-Pierre

q. Analyse de la variance

Source	DDL	Somme des carrés	Carrés moyenne	F	Pr > F
Modèle	9	744,21	82,69	207,81	< 0,0001
Erreur	20	7,96	0,40		
Total corrigé	29	752,17			