

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
Université des Frères Mentouri Constantine 1

N° d'ordre :139/DS/2019

N° de série :07/EV/2019



Faculté des sciences de la nature et de la vie
Département de Biologie et Ecologie Végétale

Thèse

En vue de l'obtention de grade de
Doctorat en Sciences

Filière

Biologie végétale

Spécialité

Biodiversité et production végétale

Thème

Etude de la relation entre les protéines et quelques paramétrés histo-morphologiques et physio-biochimiques chez la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) sous les conditions salines.

Présenté par Mme DERSOUNI Chahrazed

Devant le jury

18/07/2019

Mr. BAKA Mebarak	Pr. Université Frères Mentouri Constantine 1	Président
Mme. CHOUGUI Saida	Pr. Université Frères Mentouri Constantine 1	Rapportrice
Mme. YESLI-TOUIKER Samira	MCA. Université Badji Mokhtar Annaba	Examinatrice
Mr. HAZMOUNE Tahar	MCA. Université 20 Août 1955 Skikda.	Examineur
Mr. BENDIF Hamdi	MCA. Université Mohamed Boudiaf M'sila	Examineur

Année universitaire 2018-2019

REMERCIEMENTS

Avant tout, je remercie le bon DIEU de m'avoir donné le courage, la santé, la patience et la volonté afin de réaliser et d'achever ce travail.

Je tiens particulièrement à remercier ma directrice de thèse Prof. CHOUGUI Saïda d'avoir accepté de m'encadrer et pour son aide et ses conseils.

J'exprime aussi mes vifs remerciements aux Prof : Prof. BAKA et Dr. HAZMOUNE Tahar et DR. BENDIF Hamdi et DR. YESLI -TWIKER Samira qui m'ont fait l'honneur de juger ce travail. Merci énormément pour l'intérêt que vous portez à ma thèse. Vos remarques et suggestions ne feront qu'améliorer la qualité de ce document.

Je tiens à exprimer mes sincères remerciements aussi au Pr. GANIA Chaïbe de l'université Constantine 1 et Dr BENDJAMA Abd Allah, de l'université de Skikda pour ses aides moraux et scientifiques.

C'est aussi un grand plaisir d'exprimer ma gratitude à tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin et surtout l'ensemble de l'équipe du laboratoire de Biologie végétale de l'université de Constantine 3.

DEDICACES

Tout au début, je tiens à remercier le bon DIEU de m'avoir donné du courage et de patience afin de réaliser ce travail que je dédie à :

La mémoire de mon cher « père », et ma chère « mère »

Mon mari pour leur sacrifice, leurs multiples soutiens, et pour leur affection quotidienne, merci d'être présent dans toutes circonstances. Je pris le tout-puissant de te donner une longue vie et de représenter ta fierté.

Mes chères frères : Yacine et Billel

Mes chers enfants : ABD Arrahmen , Younes, Ouais

Mes meilleures amies : Nabila, Sabah, Karima, Hanane 1 ET 2, Salima,

Rym , Zoubaïda , Ikram,....

MA belle voisine, Mère, sœur, « Aziza », pour sa disponibilité et pour son patronage à mes enfants

Mes oncles, tantes paternelles et maternelles.

Et à tous ceux qui m'ont aidée de près ou de loin.

CHAHRAZED

Abréviation

Br	Biomasse racinaire
Bsr	Biomasse sèche racinaire
Bsa	Biomasse sèche aérienne
Ch t	Chlorophylle totale
cm	Centimètre
cm²	Centimètre carré
cm³	Centimètre cube
ddl	degrés de la liberté
Do	densité optique
h	Heure
Its	Indice de tolérance à la salinité
Kpa	kilo pascale
FAO	Food and Agriculture Organization
Fig	Figure
F	Fisher
Lt	Langueur des tiges
Lr	Langueur des racines
Ms	Masse sèche
mm	millimètre
mMol	milimole
Msa	Masse sèche aérienne
Msr	Masse sèche racinaire
min	minute.
ns	non significatif
MS	Milieu de culture de Murashige et Skoog.
mg	Milligramme
nm	Nanomètre
PM	Poids moléculaire.
Pb	Probabilité
Nf	Nombre de feuilles
Psf	Poids spécifique foliaire
P	Pages
Pft	Poids frais total

Pro	Proline
Prot	protéine
Rio	Rio Grande
rpm	rotation par minute.
S	Salinité
Sf	Surface foliaire
Sr	Surface racinaire
SPAD	Développements pour l'analyse du sol et des plantes
SDS-Page	Sodium Dodécylsulfate Polyacrylamide Gel Electrophoresis
Suc	Sucre soluble
Tab	Tableau
Tg	Taux de germination
T %	«concentration totale » Acrylamide + Bisacrylamide (g)/Total x 100
Temed	Tétraméthyl-éthylène-diamine.
Tre t	Teneur relative en eau total
Tre f	Teneur relative en eau foliaire
Tris	Tris-hydroxyméthyl-aminométhane
Uv	Unité de volume
V	Variété
Heinz	Heinz 1730
µm	Micromètre
µg	Microgramme

La liste des figures

Pages

Fig. 1 : Classification des plantes selon leur niveau de tolérance à la salinité en fonction de la concentration en sel.	7
Fig. 2 : Diminution du pourcentage de germination avec l'augmentation de la salinité	11
Fig. 3 : Voies de transport radial des ions dans la racine	16
Fig. 4 : Illustration des stratégies “Inclusion” et “Exclusion”	18
Fig. 5: Rôles de AtHKT1 dans la réabsorption du Na la protection de la feuille contre le stress sodique. Dans les racines, à parenchymateuses xylémiennes lors du déchargement du Na parenchymateuses. Dans les feuilles, dans les tubes criblés.	21
Fig. 6: Signalisation cellulaire du stress salin	22 23
Fig.7: Schématisation des deux phases de développement des plantes tolérantes et sensible sous stress salin	26
Fig. 8: Les points de contrôle et de la régulation de transport du sel au niveau de la plante	28
Fig. 9: Les transporteurs ioniques de Na ⁺ au niveau cellulaire	31
Fig. 10: représentation schématique généralisée du mécanisme de tolérance au stress de salinité dans une plante	
Fig. 11 : Les variétés de la tomate	34
Fig. 12 : La plante de la tomate	35
Fig. 13 : Principaux pays producteurs de tomate en milliers de tonnes	39
Fig. 14 : Evolution des quantités transformées depuis 1989	40
Fig. 15: La variété Rio Grande	45
Fig. 16: La variété Heinz 1730	45
Fig. 17 : Courbe d'étalonnage de la proline	53
Fig. 18: Courbe d'étalonnage des sucres solubles.	54
Fig. 1 : Courbe d'étalonnage des protéines	56
Fig. 19a : L'effet de la salinité sur la relation entre le sodium foliaire (Na ⁺ f) et le coefficient de sélectivité foliaire (Csf)	61
Fig. 19b: L'effet de la salinité sur la relation entre le sodium racinaire (Na ⁺ r) et la surface racinaire(Sr)	61
Fig. 20: Le cercle de coefficient des corrélations des caractères sous des conditions salines.	62

Fig. 21 : L'analyse descriptive au niveau de diagramme de distribution des deux variétés dans les conditions salines	64
Fig. 22 : Le taux de germination (Tg) après 48h et 96h de deux variétés de tomates	66
Fig. 23 : Effet de la concentration de NaCl sur la surface foliaire chez les deux variétés de tomates.	67
Fig. 24 : Effet de la concentration de Na Cl sur le poids spécifique foliaire chez les deux variétés de tomates	68
Fig. 25 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur le nombre des feuilles chez les deux variétés de tomates.	69
Fig. 26 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur la longueur des tiges chez les deux variétés de tomates.	69
Fig. 27 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur le poids frais total chez les deux variétés de tomates.	70
Fig. 28 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur la longueur des racines chez les deux variétés de tomates.	72
Fig. 29 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur la (Bsr/Uvm) chez les deux variétés de tomates.	73
Fig. 30 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur le rapport de (Bsr/Bsa) chez les deux Variétés de tomates.	74
Fig. 31 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur l'indice de tolérance à la salinité (Its) sur les deux variétés de tomates.	75
Fig. 32 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur la surface racinaire chez les deux variétés de tomates.	75
Fig. 33 : Effet de la concentration de NaCl sur la teneur relative en eau totale variétés de tomates.	77
Fig. 34 : Effet de la concentration de NaCl sur la teneur relative en eau foliaire variétés de tomates.	77
Fig. 35 : Effet de la concentration de NaCl sur le taux de la chlorophylle totale de deux variétés de tomates	78
Fig. 36 : Effet de la concentration de NaCl sur la teneur en « Na ⁺ , k ⁺ et le Csf » dans les feuilles de deux variétés de tomates	80
Fig. 37 : Effet de la concentration de NaCl sur la teneur en « Na ⁺ , k ⁺ et le Csr » dans les racines de deux variétés de tomates.	82
Fig. 38 : Effet de la concentration de NaCl sur la teneur en « proline et sucres solubles » dans les feuilles de deux variétés de tomates.	83

Fig. 39: Effet de la concentration de NaCl sur les protéines totales chez les deux variétés de tomates

La lisle des tableaux	Pages
Tab. 1: Superficie affectée par la salinité dans le monde	5
Tab. 2: La description botanique du plant de la tomate	36
Tab. 3 : Les températures requises pour les différentes phases de développement d'un pied de tomate	37
Tab. 4: Les principaux pays producteurs de tomate	41
Tab. 5 : Les caractéristiques du matériel végétal étudiées	44
Tab. 6 : Solution nutritive de Hoagland	46
Tab. 8: Composition du Kit LMW	57
Tab. 9: La matrice de corrélation entre les variables étudiées dans conditions salines	62
Tab. 10 : L'analyse de variance à deux facteurs sur l'interaction de la salinité et les génotypes étudiés pour la composante principale « Prot »	64
Tab. 11: L'effet de l'interaction entre la variabilité et la salinité selon New man keuils au niveau de 5%.	65
Tab. 12 : L'ANOVA à deux facteurs de l'effet du stress salin sur les paramètres morphologiques de la partie aérienne	71
Tab. 13 : L'ANOVA à deux facteurs de l'effet du stress salin sur les paramètres morphologiques de la partie souterraine	76
Tab. 14 : ANOVA à deux facteurs de l'effet du stress salin sur la teneur relative en eau totale, foliaire et la chlorophylle totale(ChT)	79
Tab. 15 : ANOVA à deux facteurs de l'effet du stress salin sur les ions (Na^+ , K^+) et le coefficient de sélectivité (Csf) dans la feuille	80
Tab. 16 : ANOVA à deux facteurs de l'effet du stress salin sur les ions (Na^+ , K^+) et le coefficient de sélectivité (Csf) dans la racine	82
Tab. 17 : L'ANOVA à deux facteurs de l'effet du stress salin sur les paramètres biochimiques	85
Tab. 18: Diagramme présence(+) et absence (-) des bandes dans les feuilles de deux génotypes de tomates soumises à un stress salin	87

Tab. 19 : l'analyse de quelques caractères histologiques et anatomiques de la racine de variétés de tomates soumises à différents traitements salins. 88

Tab. 20 : l'analyse de quelques caractères histologiques et anatomiques de la feuille 90

La liste des photos

Pages

Photo 1 : chlorophylle –mètre Minota (SPAD) 51

Photo 2 : Spectrophotomètre à flamme(CFIUV 0001) 52

Photo 3 : Le microtome motorisé modèle (LEICA 2145) 58

Photo 4 : Le microscope optique 59

Photo 5 et 6 : la morphologie racinaire des deux variétés de tomates 71

Photo 7 : Profil électrophorétiques SDS-PAGE des protéines totales 86

	P
Sommaire	
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Revue bibliographique	3
1. Approche sur la salinité	4
1.1. Introduction.....	4
1.2. La salinité du sol.....	4
1.3. La répartition de la salinité dans le monde.....	4
1.4. Les composantes de la salinité.....	5
1.4.1. Le stress osmotique.....	5
1.4.2. Le stress ionique.....	6
1.4. 3. Le stress nutritionnel.....	6
1.4. 3. Le stress oxydatif.....	6
1.5. La classification des plantes selon la résistance à la salinité.....	7
1.5.1. Les halophytes	8
1.5.2. Les plantes du type inclusif (include)	8
1.5.3. Les plantes du type exclusif (exclude)	8
1.5.4. Les glycophytes.....	8
1.6. Les sources de la salinité.....	8
1.6.1. La source primaire.....	8
1.6. 2. La source secondaire.....	9
2. Les effets de la salinité sur les différentes phases physiologiques de la plante.....	9
2.1. L'effet de la salinité sur la germination	9
2. 2. L'effet de la salinité sur la croissance de la plante.....	11
2. 1. L'effet de la salinité sur la croissance aérienne.....	11
I. 2. 2. L'effet de la salinité sur la croissance racinaire.....	11
I. 2. 3. L'effet de la salinité sur le développement du végétal.....	12
I. 2. 4. L'effet de la salinité sur La nutrition carbonée et les échanges gazeux.....	12
I. 2. 5. L'effet de la salinité sur la nutrition minérale.....	13
I. 2. 6. L'effet de la salinité sur la physiologie et la reproduction.....	14
I. 2. 7. L'effet de la salinité sur le rendement agronomique.....	15
3. L'effet de la salinité sur l'histologie de la plante.....	15
3.1. Introduction	16
3.2. Transports du sel dans les racines	16
3.2.1. Transports du sel dans le xylème.....	17
3.2.2. Transports du sel dans le phloème.....	18
3.2.3. Transports du sel dans les feuilles.....	19
3.3. Effet du sel sur l'anatomie de la plante.....	20
4. La résistance à la salinité.....	22
4.1. Les plantes face au stress	22

4.1.1. La signalisation cellulaire.....	22
4.1.2. La croissance et le développement des plantes sous la salinité	22
4.2. Les catégories de la résistance des plantes.....	23
4.2.1. La tolérance au stress osmotique.....	23
4.2.2. L'exclusion de Na ⁺ des limbes.....	24
4.2.3. La tolérance des tissus.....	24
4.2.4. L'importance de ces mécanismes.....	24
4.3. Les stratégies des plantes à résister la salinité	25
4.3.1. Le contrôle de l'absorption et le transport du sodium	25
4.3.2. L'excrétion du sel sur la surface foliaire par les glandes.....	26
4.3.3. La régulation de la concentration cytoplasmique de sodium.....	26
4.3.4. Le transport de sodium.....	27
4.3.5. le prélèvement du potassium.....	28
5. Les protéines et le stress environnemental	28
5.1. Expression des protéines sous conditions de stress environnementales.....	28
5.1.1. Les protéines de choc thermiques(HSP)	29
5.1.2. Les aquaporines (AQP)	29
5.1.3. Les dèhydrines (DHN)	30
5.2. L'effet de la salinité sur la synthèse de protéines.....	30
5.3. L'analyse du protéome par la méthode d'électrophorèse.....	31
6. La tomate.....	32
6.1. L'historique de la tomate.....	32
6.2. Les ressources génétiques de la tomate.....	32
6.3. Les principales banques de gènes de tomate dans le monde.....	33
6.4. La classification botanique.....	34
6.5. La description botanique de la tomate.....	34
6.6. Les conditions de culture de la tomate.....	36
6.6.1. Le climat et le sol.....	36
6.6.2. Le choix des variétés.....	37
6.7. La production de la tomate.....	38
6.8. La culture de la tomate en Algérie	39
6.9. Les bienfaits de la tomate.....	40
6.10. La récolte et le rendement de la tomate.....	40
6.11. Les maladies et les parasites de la tomate	41
6.12. La tomate et le stress salin	41

Chapitre II : Matériel et Méthodes

43

1. La conception expérimentale.....	44
3. Le matériel végétal utilisé.....	44
4. Les traitements proposés et les répétitions composés.....	45

5. Les conditions et le mode de culture.....	46
5.1. La préparation de la solution Hoagland.....	46
5.2. Le mode de culture et condition de croissance.....	47
5.2.1. La germination.....	47
5.2.2. La mise en pot et le suivi expérimental.....	47
5.3. L'étude analytique et paramètre mesurée.....	48
5.3.1. Etude morphologique.....	48
❖ Les paramètres morphologiques de la partie aérienne.....	48
❖ Les paramètres morphologiques de la partie souterraine	55
5.3.2. Etude physiologique.....	50
5.3.2.1. La teneur relative en eau totale	50
5.3.2.2. La teneur relative foliaire.....	50
5.3.2.3. Le taux de la chlorophylle totale	50
5.3.2.4. La teneur du Na ⁺ et k ⁺ dans les deux parties aériennes et racinaires....	51
5.3.3. Etude biochimique.....	52
5.3.3.1. Le dosage de la proline.....	52
5.3.3.2. Le dosage des sucres solubles dans les feuilles.....	54
5.3.3.3. L'analyse des protéines totales foliaire par SDS-PAGE.....	55
5.3.4. Etude histologique	57
5.4.L'étude statistique.....	59

Chapitre III : Résultats

Chapitre III : Résultats	60
1. L'analyse descriptive des effets qualitatifs de la salinité sur les génotypes étudiés.....	61
1.1. L'analyse descriptive au niveau de la matrice de corrélation.....	62
1.2. L'analyse descriptive au niveau du cercle de corrélation.....	62
1.3. L'analyse descriptive au niveau du diagramme de distribution des différents génotypes.....	62
2. L'analyse démonstrative des effets qualitatifs de la salinité sur les génotypes étudiés.....	64
3. L'effet du stress salin sur Le taux de germination des graines.....	66
4. L'effet du stress salin sur les paramètres morphologiques.....	66
4.1. les paramètres morphologiques de la partie arienne.....	67
4.2. Les paramètres morphologiques de la partie souterraine.....	71
5. L'effet du stress salin sur les paramètres physiologiques.....	76
5.1. les paramètres physiologiques de la partie aérienne.....	76
5.2. les paramètres physiologiques souterrains.....	80
6. L'effet du stress salin sur les paramètres biochimiques.....	82

7. L'effet du stress salin sur les paramètres histologiques.....	87
Chapitre IV : Interprétation des résultats	
91	
1. L'effet de la salinité sur la germination.....	92
2. L'effet de la salinité sur les paramètres morphologiques.....	92
2.1. L'effet de la salinité sur les paramètres morphologiques aériens.....	92
2.2. L'effet de la salinité sur les paramètres morphologiques souterrains.....	93
3. L'effet de la salinité sur les paramètres physiologiques	95
4. L'effet du stress salin sur les paramètres biochimiques.....	98
5. L'effet du stress salin sur les paramètres histologiques.....	101
Conclusion générale et perceptives.....	103
Références bibliographiques.....	107

Introduction générale

Introduction générale

La tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) est cultivée dans des pays à climat sec et chaud où les sols salés couvrent des grandes surfaces, ce qui pose le problème de son adaptation à la salinité pour son extension dans les surfaces cultivées. Dans les régions à climat méditerranéen, le problème de la salinité est accentué par la présence des concentrations élevées en chlorure de sodium dans les eaux d'irrigation. La tomate est l'un des légumes le plus consommé principalement pour son apport en provitamine A sous forme de terpènes caroténoïd (Boumendjel *et al.*, 2012). Elle destinée à la consommation en frais ou à la transformation industrielle.

En Algérie, la culture de la tomate occupe une place prépondérante dans l'économie agricole. Près de 33 000 ha sont consacrés annuellement à sa culture (maraîchère et industrielle), pour une production moyenne de 11 millions de quintaux avec des rendements moyens de 311 Qx/ha (MADR, 2009). Ces derniers demeurent faibles et assez éloignés de ceux enregistrés dans d'autres pays du bassin méditerranéen (Tunisie, Maroc, Espagne, France, Italie) producteurs de tomate, où les rendements varient entre 350 Qx/ha à 1500 Qx/ha selon les statistiques de la FAO (2008). Cependant, la demande alimentaire de ce produit ne cesse de croître du fait d'une démographie croissante et l'utilisation des terres marginales, dont certains cas présentent une forte salinité. Dans de nombreuses zones de production agricole, l'utilisation d'eau de qualité médiocre dans l'irrigation et l'application des quantités excessives d'engrais minéraux est les principales causes du processus de salinisation des sols cultivés en tomate. (Rhoades *et al.*, 1992)

La salinité du sol est une contrainte abiotique majeure qui affecte négativement les aspects physiologique et biochimique de la plante, entraînant une réduction de son rendement (Ruiz-Lozano *et al.*, 2012 ; Almeida *et al.*, 2014). En plus, elle induit un stress osmotique, une sécheresse physiologique et un déséquilibre ionique, désactivant ainsi les fonctions vitales cellulaires de la plante (Djerroudi *et al.*, 2011 ; Taffouo *et al.*, 2013; Gupta et Huang, 2014). Cette contrainte affecte la baisse disponibilité hydrique, réduit le taux de la respiration (Cramer *et al.*, 2013), la distribution des sels minéraux (Babu *et al.*, 2012) et les variations de la pression de turgescence (Shabala and Munns, 2012). Ainsi, que les plantes déclenchent des mécanismes hormonaux, physiologique et biochimique soit en tolérant ou en résistant à cette contrainte (Almeida *et al.*, 2014 ; Eraslan *et al.*, 2015).

Le stress salin influe sur la croissance à travers de nombreuses facettes du métabolisme, tel que l'absorption des éléments nutritifs et leur distribution au sein de la plante, l'altération de la photosynthèse (Taffouo *et al.*, 2013), la synthèse des protéines, l'accumulation des solutés organiques, l'équilibre hormonal et la disponibilité de l'eau (Karuppasamy *et al.*, 2014). En outre, la réduction de la croissance due à la salinité est également attribuable à la toxicité des ions et au déséquilibre nutritif.

Cet État entraîne non seulement l'augmentation de l'accumulation du sodium (Na^+) et du chlorure (Cl^-) dans les plantes, mais aussi affectent l'antagonisme de l'absorption des éléments essentiels comme le potassium (K^+), le calcium (Ca^+) et le magnésium (Mg^+) en compétition avec le Na^+ et les nitrates (NO^-) par contraste avec le (Cl^-) (Zörb *et al.*, 2005).

De nombreux chercheurs ont axé leurs travaux notamment sur la sélection des variétés adaptées à ces régions, soit par une amélioration génétique qui reste, sans doute le moyen le plus accessible ou par une étude approfondie des différents mécanismes d'adaptation. L'amélioration de la tolérance à la salinité serait d'une grande valeur pour une culture modérément sensible comme la tomate, quand elle est cultivée sur des sols qui ont des problèmes de salinité. Dans les dernières décennies, des progrès considérables ont abouti à la recherche des plantes tolérantes à la salinité par la sélection conventionnelle et les techniques de sélection (Ashraf, 2002). Alors que la plupart des procédures de sélection sont basées sur les différents caractères agronomiques, qui représentent la combinaison des effets génétiques et environnementaux sur la croissance des plantes et intègrent les mécanismes physiologiques conférant la tolérance à la salinité (Ashraf and Harris, 2004).

La connaissance et la compréhension de ces mécanismes demeure d'une grande importance, en ce qui concerne la recherche fondamentale mais aussi en tant que voie d'amélioration des plantes. Effectivement, ils constituent une perspective intéressante pour les améliorateurs, généticiens et biotechnologues (Ainaoui and Lazar, 2016), pour contribuer à la gestion de l'impact du changement climatique, et sur le plan pratique pour le développement d'espèces agricoles tolérantes à la salinité.

Cette amélioration exige l'analyse de la plante en tant que système, dans son intégralité pour mieux comprendre la fonction biologique et les interactions des gènes exprimés dans certaines conditions de stress. Il est donc crucial d'étudier et d'analyser intensivement la variation d'expression sous l'effet de différents stress chez différents génotypes, cela permettrait de mettre en évidence des gènes ou des protéines candidates, dont la variation d'expression pourrait être la cause des variations phénotypiques entre génotypes analysés. Ces candidats peuvent ensuite être utilisés dans un programme d'amélioration.

Le présent travail a pour objectif de suivre dans une première étape, les réponses et physio-biochimiques des deux variétés de tomates « RioGrande , Heinz » dans une seconde étape leurs réponses histo-morphologiques sous conditions salines. Afin de mieux analyser la relation entre les protéines et ces grandes fonctions, en conditions salines.

Chapitre I: Revue bibliographique

1. Approche sur la salinité

1.1. Introduction

Les eaux douces et les eaux salées contiennent de nombreux sels minéraux provenant de l'érosion des roches de la lithosphère et transportés par les eaux de ruissellement et les eaux souterraines. Ces sels sont ensuite entraînés par les eaux et vont s'accumuler dans les bassins versants. Alors on peut définir la salinité par la quantité de sel dissout par kilo d'eau de mer. Donc, le terme de stress salin s'applique essentiellement à un excès d'ions, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- dans la rhizosphère et dans l'eau (Parida and Das, 2005).

1.2. La salinité du sol

Le sol salin est caractérisé par une forte concentration de sels solubles. Un sol classifié salin a une concentration de sels équivalents à environ 40 mmol NaCl et génère une pression osmotique d'environ 0,2 MPa (équivalent à 0,2 N. mm^{-2}) (George and Brown, 2008).

La salinité du sol est une contrainte abiotique majeur Sachant que NaCl est le sel le plus soluble et répandu, dans la situation de stress salin, les plantes ont développé des mécanismes pour réguler l'accumulation de Na^+ et Cl^- ainsi que pour sélectionner d'autres éléments nutritifs couramment présents en faibles concentrations dans le sol, tels que K^+ et NO_3^- . Généralement la salinité d'un sol est mesurée par la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée à 25°C (Kenfaoui, 1997) en effet un sol est considéré salé quand sa conductivité électrique devient supérieure à 4 milliohms. cm^{-1} (Halitim, 1985).

1.3. La répartition de la salinité dans le monde

La salinité est un problème écologique majeur qui touche un nombre important des régions à l'échelle mondiale (Livegeron *et al.*, 1995). Un problème mondial que l'on rencontre dans les régions arides et semi-arides (Omrani, 1993) par contre, dans les régions humides la présence des sels n'atteint pas des proportions élevées car ils sont vite lessivés par les eau de pluie et de ruissellements (Amokrane, 2004). Dans la région méditerranéenne et particulièrement dans les zones semi-arides et arides, la salinité est très répandue car les précipitations sont insuffisantes pour assurer le lessivage des sels. D'autre part, les cultures sous abris, où les fertilisants sont en quantité supérieure aux exigences de la plante ajoutée à cela une irrigation contrôlée à des doses correspondant seulement aux besoins de la plante (Osman, 1982). Ces phénomènes sont abondants dans les régions où les eaux d'irrigations renferment des quantités importantes de chlorure de sodium pouvant atteindre 2 à 3g/l (Immamulhaq *et al.*, 1986).

La salinité du sol est caractérisée par une quantité excessive en sels minéraux solubles; cette salinisation affecte la croissance du végétal par la diminution du potentiel productif (Cherbuy, 1991 in

Dehnoun, 1998). L'abondance du sodium rentre en grande partie dans la constitution des sols salés; du fait qu'il joue un rôle défavorable dans la modification des propriétés chimiques des sols vis-à-vis des cultures. En effet, quand il est en quantités importantes dans la solution du sol, une partie passe au niveau du complexe adsorbant et devient échangeable (FAO, 2008). Dans le monde, les terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27% de la totalité des surfaces irriguées. Selon Cheverry (1995) estime à environ un milliard d'hectares de terre affectée par la salinité (Tab.1).

Tab. 1: Superficie affectée par la salinité dans le monde

Régions	Superficies en million d'hectares
Afrique	80.5
Europe	50.8
Amérique du Nord	15.7
Amérique du Sud	129.2
Asie du Sud	87.6
Australie	357.5
Mexique et Amérique central	2
Asie centrale et du Nord	211.7
Asie du Sud .Est	20
Total	955

(Lasram, 1995)

1. 4. Les composantes de la salinité :

Les données classiques sur les effets de la salinité chez les plantes mettent en relief trois principales composantes par lesquelles la salinité affecte la croissance: le stress osmotique, le stress ionique, le stress nutritionnel et le stress oxydatif (Gueta-Dahan *et al.*, 1997 ; Rodriguez *et al.*, 2010). Il n'est souvent pas possible de distinguer la contribution de chacune de ces voies à l'inhibition de la croissance au niveau de la plante entière.

1.4.1. Le stress osmotique

La première conséquence de la salinisation tient à la modification du potentiel osmotique de la solution du sol, lorsque la teneur en sel croît (Cheverry *et al.*, 1995). Plus la solution du sol est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile pour les racines d'extraire l'eau de la réserve du sol. Il en résulte un ralentissement de la croissance (Song *et al.*, 2005). La concentration en sels dépend de la teneur en eau du sol et augmente avec la déshydratation. C'est pourquoi l'excès de sels qui affecte les plantes est atteint beaucoup plus rapidement dans un sol sableux que dans un sol argileux qui piège les ions Na^+ via les charges négatives de l'argile (Chinnusamy *et al.*, 2005). Les plantes absorbant l'eau par osmose, cette absorption est conditionnée par la différence de potentiel hydrique entre la racine et le sol (Cramer and Bowman, 1993). La plupart des plantes sont capables

d'ajuster leur potentiel osmotique interne en fonction de celui extérieur (Pujol *et al.*, 2001). Cette régulation est très variable selon les espèces et présente des limites (Läuchli and Epstein, 1990).

1.4.2. Le stress ionique

L'accumulation des ions toxiques Na^+ et Cl^- au niveau du mésophylle des feuilles, affecte la croissance et le métabolisme de la plante (Chinnusamy and Zhu, 2003). Le sel endommage les structures lipidiques et protéiques des membranes plasmiques (Pical *et al.*, 1997). La présence de ces ions perturbe l'activité enzymatique cellulaire (Hasegawa *et al.*, 2000) principalement dans les tissus photosynthétiques (Bounaqba, 1998). La toxicité ionique peut être le résultat du remplacement de K^+ par Na^+ au niveau des sites actifs de protéines induisant aussi un changement des structures protéiques et enzymatiques (Chinnusamy *et al.*, 2005).

1.4.3. Le stress nutritionnel

La salinité n'est pas une simple affaire de concentrations élevées de Na^+ et de Cl^- . Le calcium, le sulfate, les carbonates peuvent être présents, avec le bore ou le sélénium à des concentrations excessives. En même temps, d'autres nutriments, particulièrement le phosphore et l'azote, peuvent ne pas être présents ou disponibles en quantité suffisante pour permettre des taux de croissance élevés (Gorham, 1993). La présence de sels en excès dans le substrat de culture peut entraîner une limitation de l'alimentation en nutriments indispensables. Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance par le sel, lorsque des ions essentiels comme I^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- deviennent limitants (Soltani *et al.*, 1990).

1.4.4. Le stress oxydatif

Les espèces réactives d'oxygènes (ROS) sont habituellement générées par l'activité cellulaire normale avec des faibles concentrations, comme la photorespiration et la B-oxydation des acides gras, et dans ces conditions, la plante possède des enzymes et des métabolites antioxydants suffisants pour faire face à cette faible concentration (Yazici *et al.*, 2007).

De nombreux travaux montrent que des métabolites enzymatiques et non enzymatiques antioxydants tels que les superoxydes-dismutases (SOD), les ascorbates peroxydases (APX), les catalases (CAT), des glutathions-S-transférases (GST) et les glutathions peroxydases (GPX) s'accumulent plus pendant le stress salin (Sudhakar *et al.*, 2001).

Une conséquence des stress environnementale, comprenant le stress salin, est l'apparition du stress oxydatif (Hernandez *et al.*, 2001), c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives d'oxygène (ROS) à des concentrations élevées (Azevedo *et al.*, 2006), qui endommagent les structures cellulaires (Smirnoff, 1993 ; Parent *et al.*, 2008). Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil

photosynthétique et les autres troubles métaboliques (Rahnama and Ebrahimzadeh, 2005). La plupart d'entre eux sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles et des anions superoxyde (Azevedo *et al.*, 2006). La tolérance des plantes à la contrainte saline est fortement corrélée à leur capacité de synthèse des antioxydants nécessaire pour faire face au ROS et de maintenir leur concentration à faible niveau dans les cellules lors du stress (Reddy *et al.*, 2004).

Par ailleurs, Demiral and Turkan, 2004, ont montré que les plantes ont développé des systèmes de défense antioxydants enzymatique et non enzymatique contre les radicaux libres en limitant leur génération.

1.5. La classification des plantes selon la résistance à la salinité:

Dans la plupart des plantes, Na^+ et Cl^- sont effectivement exclus par les racines tandis que l'eau est reprise à partir du sol (Munns, 2005). Les réserves en eau utilisables par les racines dépendent principalement de la texture, de la structure, de la profondeur et de la salinité du sol d'une part, et du mode d'irrigation et de drainage de l'autre part. C'est finalement le bilan hydrique local qui conditionnera la production végétale, alors que plus de 800 millions d'hectares de terre infectée par la salinité (FAO, 2008), ce nombre représente plus de 6% de la superficie totale du monde. La plupart de ces terres infectées sont dues à des causes naturelles ou à l'accumulation de sels dans les zones arides et semi-arides (Rengasamy, 2002). Chez la plante, la tolérance au sel est la capacité des plantes à croître et à compléter leur cycle de vie sur un substrat qui contient de fortes concentrations de sel soluble (Parida and Das, 2004). Munns and Tester, 2008 ont établi les limites de tolérance à la salinité des espèces d'intérêt agronomique, leur classification est déterminée selon le taux de réduction du rendement sous l'effet du sel à diverses concentrations mesurer en (m mol) (Fig.1).

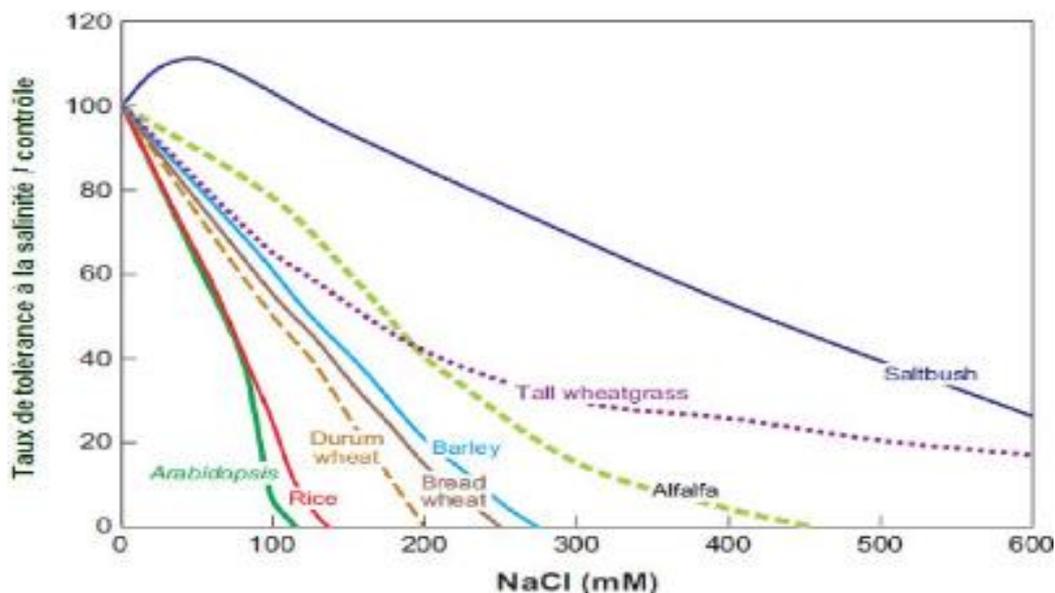


Fig. 1 : Classification des plantes selon leur niveau de tolérance à la salinité en fonction de la concentration en sel (Munns and Tester, 2008).

1.5. 1. Les halophytes

Les halophytes sont des plantes capables de se développer et de croître sous un régime salin de 300 mM de NaCl (Tester and Davenport, 2003). ces plantes sont capables d'accumuler le sodium dans leurs matières foliaires à des concentrations élevées. Le sodium est stocké dans les vacuoles (Glenn *et al.*, 1999), ainsi que ces plantes présentent une modification de leurs enzymes ce qui permet une forte adaptation à la contrainte saline (Flowers and Dalmond, 1992) ces plantes sont classées selon (Levigneron *et al.*, 1995) en deux catégories.

1.5. 2. Les plantes du type inclusif (include)

La plante du type include capte le sel, qui parvient aux feuilles de la même façon que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. À l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles (qui sont des compartiments fermés au sein de la cellule) grâce à des systèmes de pompes moléculaires. Le sel est ainsi isolé (Livigneron *et al.*, 1995 ; Levitt, 1980) .

1.5.3. Les plantes du type exclusif (exclude)

La plante du type exclude empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne des cellules de la racine. Cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier lors de l'émergence et des ramifications de la racine. (Levigneron *et al.*, 1995 ; Levitt, 1980).

1.5.4. Les glycophytes

Les glycophytes ne sont pas capables de survivre dans des conditions salines mais ils utilisent certaines stratégies des halophytes pour faire face au sel (Yokoi *et al.*, 2002). Les glycophytes ont des comportements soit include ou exclusif selon les géotypes (Chinnusamy *et al.*, 2005).

1.6. Les sources de la salinité

La source actuelle de la salinité des sols se compose, d'une part, par la salinité primaire, source naturelle, due à la proximité de la mer, ou à l'existence de dépôts salins géologiques ou parfois actuelle, c'est la salinisation primaire. D'autre part, la salinité secondaire due à des processus de salinisation liés à activités anthropiques en particulier à l'irrigation mal dirigée dans certaines zones agricoles (Epstein *et al.*, 1980; Huerou, 1986 ; Franchis and Ibanez, 2003).

1.6.1. La source primaire

80% des terres salinisées ont une source naturelle, C'est salinisation "primaire" due aux sels se formant lors de la dégradation des roches-mères (Mashali *et al.* , 2005), surtout les chlorures de

sodium, de calcium, de magnésium, et une quantité moins importante des sulfates et carbonates (Munns and Tester, 2008). Ce phénomène naturel, peut-être causé soit par la géochimie (ex : Mares salées Lorrain) ou climatique (ex: steppes continentales) (Schwartz, 2007). De ce fait, les mouvements géologiques, hydrologiques et pédologiques naturels sont les causes principales des sols salins sodiques (Wanjogu *et al.*, 2001).

Au moment de sécheresse, l'eau et les électrolytes qu'elle contient remontent par capillarité. L'eau s'évaporant, les sels vont s'accumuler en surface pour être à nouveau lessivés par la pluie. Avec l'hétérogénéité astrale et temporelle impliquée dans cette circulation de l'eau entre le sol et l'atmosphère, les concentrations en sels de surface montrent une grande variation qualitative et quantitative (Gregory, 2005). En effet la salinisation des sols cultivables excite une diminution de la croissance des plantes, à partir d'un certain seuil, qui varie d'une espèce à l'autre (Hamza, 1967; Epstein, 1985; Houerou, 1986; Lopez *et al.*, 1996).

1.6.2. La source secondaire

Une mauvaise conduite de l'irrigation, provoque une salinisation secondaire (Pessaraki, 1999). En effet, les eaux peuvent être chargées en sels qui s'accumulent dans le sol. Aussi la fertilisation chimique excessive contribue aussi à une accumulation des sels dans la rhizosphère (Mouhouche and Boulassel, 1999 ; Mashali *et al.*, 2005) et selon la durée, d'une accumulation de sels dans les sols indemnes et agricoles (Villiers *et al.*, 1995; Antipolis, 2003). Alors que la présence de fortes doses de sels dans le sol surtout avec un mauvais drainage constitue un immense danger pour l'agriculture car elle conduit généralement à une dégradation des sols, une baisse de leur fertilité et elle provoque une toxicité aux végétaux ce qui réduit le nombre d'espèces dont la culture est possible sur ces terres (Omami, 2005).

2. L'effet de la salinité sur les différentes phases physiologiques la plante

Le stress salin peut directement ou indirectement affecter le statut physiologique des plantes en changeant le métabolisme, la croissance et le développement des plantes (Ajmal khan *et al.*, 2000 ; Garg *et al.*, 2002).

2.1. L'effet de la salinité sur la germination :

La salinité a un effet nocif sur la germination qui peut être de nature soit osmotique soit toxique (Abdelly, 1997), la salinité peut ralentir la vitesse de germination, ce qui expose plus les semences aux risques (Slama, 2004). Il a été démontré que la salinité inhibe la germination par son effet osmotique (Jamil *et al.*, 2006 ; Karous, 2007), qui se traduit par la difficulté d'absorber la quantité d'eau nécessaire pour déclencher les processus métaboliques chez l'embryon (Slama, 2004).

Par ailleurs, la salinité affecte la capacité de germination des graines (El Mekkaoui, 1990 ; Kayani *et al.*, 1990). Elle affecte tous les processus de germination suite à la baisse du potentiel hydrique autour des graines, ce qui rend l'eau inaccessible à cette dernière pour la réhydratation et la reprise de la vie active de l'embryon (Maas and Poss, 1989).

Pour les graminées, la germination et l'installation de la plantule s'avèrent les stades les plus sensibles (Lachaal, 1998). La salinité diminue significativement la précocité de germination des semences, alors que le pourcentage de cette dernière s'avère moins influencé par le stress salin (Devron and Sifi, 2003). Cependant cet effet varie en fonction de l'intensité du stress et la variété des plantes et cela, soit en diminuant la quantité d'eau et la vitesse de son absorption par la graine, soit par l'accroissement de la pression osmotique de l'eau d'imbibition qui est trop élevée pour permettre la germination (Katembe *et al.*, 1998), où en augmentant la pénétration d'ions qui peuvent s'accumuler dans la graine à des doses qui deviennent toxiques (Debez *et al.*, 2001).

La germination a été utilisée pour le criblage aux stress abiotiques chez le blé et notamment chez le blé dur, elle pourrait constituer un test rapide de tolérance à la salinité (Mallek-Maalej *et al.*, 1998 ; Ben Naceur *et al.*, 2001). Ce dernier a un effet nocif sur la germination qui peut être de nature soit osmotique soit toxique (Abdelly, 1997). La salinité agit également sur la germination en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus les semences aux risques (Slama, 2004). Il a été démontré que la salinité inhibe la germination par son effet osmotique (Jamil *et al.*, 2006 ; Karmous, 2007), qui se traduit par la difficulté qui trouve l'embryon à absorber la quantité d'eau nécessaire pour déclencher les processus métaboliques (Slama, 2004). La germination et l'installation de la plantule s'avèrent les stades les plus sensibles pour les céréales (Lachaal, 1998). La salinité réduit significativement la précocité de germination des semences, alors que le pourcentage de cette dernière s'avère moins influencé par le stress salin (Devron and Sifi, 2003) (Fig.2). Elle affecte aussi tous les processus de germination suite à la baisse du potentiel hydrique autour des graines, ce qui rend l'eau inaccessible à cette dernière pour la réhydratation et la reprise de la vie active de l'embryon (Maas and Poss, 1989).

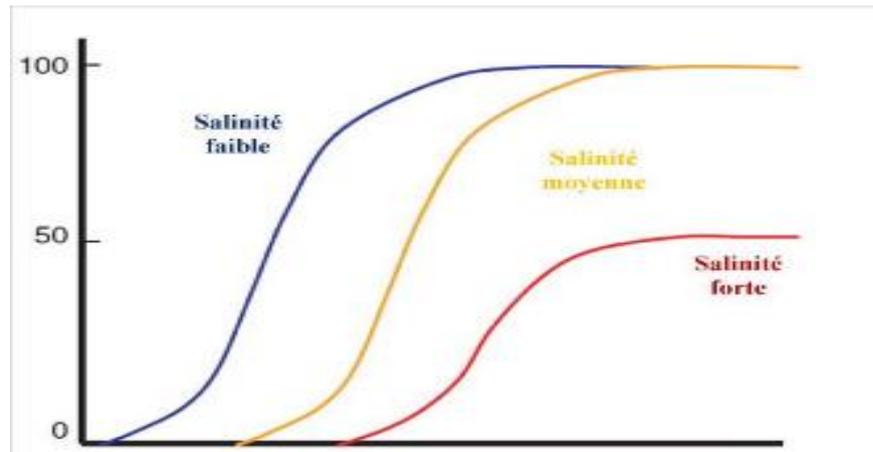


Fig. 2 : Diminution du pourcentage de germination avec l'augmentation de la salinité (Lauchli and Grattan, 2007).

2.2. L'effet de la salinité sur la croissance de la plante

L'architecture de la plante est profondément modifiée. Sous un stress osmotique, même très modéré et ne présentant pas de symptômes flagrants, se traduit chez beaucoup d'espèces par une modification importante de l'architecture de la plante. Par exemple, chez des dicotylédones comme le pois ou la vigne, le nombre de ramifications et le nombre d'organes élémentaires de la tige sont drastiquement réduits (Lecoeur *et al.*, 1995 ; Belaygue *et al.*, 1996 ; Lebon *et al.*, 2004). Il en va de même chez les graminées, où le nombre de talles est réduit en cas d'un stress osmotique (Courtois *et al.*, 2009). Les processus et les signalétiques sont des contrôles actifs de la plante mettant en jeu des signalétiques hormonales et l'expression des gènes induits par le stress, et non la conséquence passive du stress ou d'un manque de nutriments.

2.2.1. L'effet de la salinité sur la croissance aérienne

L'effet de la salinité se traduit généralement par une réduction de la croissance végétative, qui est en fonction de la division et l'élongation cellulaire. Elle retarde la croissance des pousses qui sont plus sensibles au sel que les racines (Läuchli and Epstein, 1990). Selon Katerji *et al.* (2004) l'effet du sel se traduit généralement par une réduction de la croissance en hauteur. Pour les céréales, l'effet majeur de la salinité sur la partie aérienne se traduit par une réduction du nombre de talles et de feuilles (El-Hendawy *et al.*, 2005).

2.2.2. L'effet de la salinité sur la croissance racinaire

La salinité affecte le développement de la plante en particulier la croissance des racines (Läuchli and Epstein, 1990). Bayuelo *et al.*, (2002) ont montré que la salinité augmente le rapport

PR/PA. En effet, les plantes maintiennent une croissance racinaire relativement importante sous forte contrainte saline, l'augmentation du rapport PR/PA qui s'ensuit semble être associée à une augmentation de leur tolérance au sel. Selon Kafkai, (1991) suggère que, sous contrainte saline, la plante dépense plus d'énergie photosynthétique pour maintenir un statut hydrique élevé et pour la production des racines en vue de la recherche d'eau et/ou la réduction de la perte d'eau. Dans ces conditions, il semble que l'arrêt de la croissance foliaire soit déclenché par des signaux hormonaux (Schuppler *et al.*, 1998 ; Munns, 2002) et qu'une part importante des photosynthétats soit alors réallouée à la croissance racinaire. C'est l'une des réponses anatomiques clés aux stress osmotiques chez de nombreuses espèces, dont le caractère adaptatif apparaît évident puisqu'une augmentation du ratio masse des racines/masse de la canopée maximise la surface d'absorption de l'eau en diminuant la surface.

2.3. L'effet de la salinité sur le développement du végétal

La salinité se manifeste sur la plupart des plantes par un effet dépressif sur le développement (Munns *et al.*, 1995), cet effet fatal se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la productivité végétale (Wang *et al.*, 2004 ; Ashraf and Harris, 2004). Chez la plante halophyte, le développement ne diminue que pour des doses trop élevées, comme *Atriplex halimus* L à partir de 500 Mm de Na Cl voit sa production diminuer (Debez *et al.*, 2001), et de *Casile maritima* la masse de la partie aérienne n'est diminuée qu'à 100 m mol. En résultat, la salinité affecte fortement la croissance des racines ; la biomasse racinaire est simulée négativement (Saboora *et al.*, 2006) .

Cependant, la différence de la tolérance à la salinité est notée entre les espèces et les variétés, plusieurs recherches ont montré que la réduction de croissance, chez la tomate (Romero-Aranda *et al.*, 2001), le coton (Meloni *et al.*, 2001) et la betterave à sucre (Ghoulam *et al.*, 2002) à cause de la salinité . Aziz and Khan, 2001 ont observé que la croissance optimale diminue avec la concentration de la salinité après l'irrigation par 50% de l'eau de mer, Chez le *Rhizophora mucronata*, tandis que chez la légumineuse *Alhagi pseudoalhagi*, le poids frais de la plante s'accroît sous une faible salinité (50 m Mol NaCl) mais il diminue à des doses élevées (100 et 200 mMol NaCl) (Kurban *et al.*, 1999).

2.4. L'effet de la salinité sur la nutrition carbonée et les échanges gazeux

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 (Alem *et al.*, 2002). Selon (Munns and Tester, 2008) la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui est à l'origine de la fermeture des stomates (Price and Hendry, 1991 ; Allen, 1995) qui cause la réduction de la conductance stomatique (Orcutt and Nilsen, 2000). La diffusion du

CO₂ à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation au niveau des chloroplastes diminue (Graam and Boyer, 1990), par conséquent la régénération du RuBP (Ribulose Biphosphate) devient limitée (Gimenez *et al.*, 1992).

Le contrôle et la régulation stomatique fait intervenir la turgescence cellulaire mais également des signaux racinaires, comme l'acide Abscissique (ABA) (Zhang and Davies, 1989 ; Davies *et al.*, 2005). La turgescence cellulaire intervient de manière plus ou moins directe au niveau du chloroplaste : directement par le maintien du volume du chloroplaste, et indirectement, par son effet sur l'ouverture stomatique, qui contrôle la conductance, et conditionne l'utilisation de l'énergie photochimique (ATP, NADPH) dans les chloroplastes (Gupta and Berkowitz, 1987).

Un environnement stressant qui affecte la croissance, affecte sûrement la nutrition, l'effet de la salinité sur la photosynthèse, dépend de la concentration des sels de l'espèce et de la plante; ce qui est évident qu'une concentration basse de sels peut stimuler la photosynthèse. De nombreux auteurs montrent que la capacité de la photosynthèse est étouffée par la salinité et cela chez différentes espèces (Omami, 2005). Selon Taiz and Zeiger (2002), les stress environnementaux qui affectent la croissance, altèrent également la photosynthèse.

2.5. L'effet de la salinité sur la nutrition minérale

Les sols affectés par les sels sont souvent pauvres en éléments nutritifs essentiels. La croissance et le rendement des cultures sont plus faibles lorsque la nutrition minérale est insuffisante ou déséquilibrée (Beldjoudi *et al.*, 2009)

Physiologiquement, l'impact néfaste de la salinité se traduit par la conjonction d'un effet indirect sur le potentiel hydrique se traduisant par une réduction de la disponibilité de l'eau pour la plante et également par la toxicité et les perturbations de la nutrition minérale induites par l'excès des ions Na⁺ et Cl⁻ (Levigneron *et al.*, 1995 ; Niu *et al.*, 1995 ; Al Karaki, 2000) . Par exemple, l'assimilation des éléments minéraux par le blé, qui est une culture modérément tolérante aux sels, peut être inhibée en présence de fortes teneurs en sels. Dans ce sens, un essai expérimental a été mené sous serre, dans les pots pour étudier l'effet de quatre niveaux de NaCl (0, 2, 4, 6 g/l de NaCl) sur l'assimilation de l'azote et du potassium de six cultivars de blé dur (Mohamed Ben-Bachir, Hedba, Mexicali, Oued-Zenati, Vitron et Waha) selon (Beldjoudi *et al.*, 2009).

Par ailleurs, la présence de NaCl dans le milieu de culture limite l'alimentation de la plante en cations majeurs, tels que le potassium et le calcium (Flowers and Yeo, 1986 ; Zid and Grignon, 1991 ; Zhu *et al.*, 1998). En présence du stress salin, les plantes ont tendance à sélectionner certains ions, cette sélectivité est généralement liée aux mécanismes d'exclusion des ions Na⁺. Une forte sélectivité K⁺/Na⁺ a été démontrée au niveau du plasmalemme du cortex racinaire et dans le xylème des plantes les plus tolérantes au NaCl (Taleisnik and Grunberg, 1994). Le maintien de ce rapport K⁺/Na⁺ élevé

constitue un mécanisme aidant au bon déroulement des processus métaboliques sous stress salin (Ashraf and Khanum., 1997)

Dans ces sols, les plus importantes perturbations sont enregistrées au niveau de la rhizosphère (Binzel and Reuveni, 1994) à cause de fortes accumulations de sels dans les eaux d'irrigation. Ces perturbations proviennent de l'excès de cations comme le Na^+ (Wahid, 2004) créant un déséquilibre ionique, affectant la balance nutritionnelle au niveau du sol et de la plante. Les plantes répondent à la contrainte saline par de nombreux changements, révèlent le caractère multifactoriel des mécanismes de tolérance et d'adaptation aux stress abiotiques. En conditions stressantes, les plantes peuvent réagir en mettant en œuvre des mécanismes, entre autres, physiologiques (Kylin, 2005) et biochimiques (Brugnoli and Björkman, 1992) impliquant une activité enzymatique (Chaffei *et al.*, 2004). Ainsi, par la synthèse de composés organiques ayant un rôle d'osmo-protecteurs (Rathinasabapathi *et al.*, 2000) ou des régulateurs osmotiques (El-Shintinawy and Hassanein, 2001).

En effet, pour atténuer l'effet de toxicité dans les milieux hautement concentrés, les plantes, aussi bien les halophytes que les glycophytes, peuvent développer plusieurs mécanismes pour assurer leur cycle de croissance et de développement. Certaines espèces utilisent le mécanisme d'exclusion des sels en excès (Alem and Amri, 2005) ou ils les compartimentent dans la vacuole (Niu, 2004). Cette réaction d'adaptation se traduit par la mise en place d'un ajustement osmotique interne grâce à la présence d'ions, contribuent à une réduction des pertes d'eau et au maintien de la turgescence cellulaire. Divers critères sont possibles pour évaluer la réponse des plantes à la salinité dont leur statut ionique. (Alem and Amri, 2005) notent que le contrôle de l'exportation et de la répartition des ions dans la plante est un critère déterminant de la tolérance au stress salin. Parmi les ions, le Na^+ et le K^+ jouent un rôle clef dans le processus d'osmorégulation de la cellule et accompagnent les ions organiques dans leur accumulation et leur migration. Le Ca^{++} , en assure une fonction clef dans le signal de la réponse au stress conduit à l'adaptation de la plante (Moinuddin *et al.*, 2005 ; Fernandez-Blaster *et al.*, 1997).

2. 6. L'effet de la salinité sur la physiologie de la reproduction

La salinité réduit le taux de croissance du blé et ces organes reproducteurs (Hu *et al.*, 2005). (Khan and Abdullah ,2003) ont étudié l'effet de la salinité sur la physiologie de la reproduction, ils ont constaté que le nombre du pollen dans deux différents types de cultivars de blé a été réduit de 24 à 37%. L'effet de l'accumulation du sel dans le méristème de blé sur la reproduction et le développement a été étudié par (Munns and Rawson ,1999) ils ont constaté que les courtes périodes de stress salin pendant l'organogenèse peuvent avoir des conséquences irréversibles sur la fertilité de l'épi de blé, elle provoque l'avortement des ovaires.

2.7. L'effet de la salinité sur le rendement agronomique

Les composantes du rendement tel que le nombre de talles par plante, le nombre d'épis, le nombre d'épillets par épi et le poids du grain, sont élaborés de façon séquentielle dans le temps. (Katergi *et al.*, 1994) et (Saadollah., 2005) ont montré que tous les paramètres de rendement chez le blé dur subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit. De même, les travaux de (Hamdy *et al.*, 1995) ont montré que le rendement en grains et le poids des grains sont significativement affectés aussi bien chez le blé que chez l'orge en condition d'irrigation avec une eau saumâtre et que la salinité a un effet néfaste sur la remobilisation des réserves au cours de la phase de remplissage des grains. Cette réduction du rendement en grains est principalement attribuée au déclin du poids de l'épi et du poids de 1000 graines. (Saadollah, 2005). Au stade végétatif, la salinité affecte le développement de l'épi et baisse le rendement (Maas and Grieve, 1990). Lorsque le blé est soumis à un stress salin au cours de l'épiaison ou la différenciation de l'épi, le nombre d'épillets par épi est réduit ainsi que le nombre des grains (Munns et Rawson, 1999). La salinité diminue le rendement plus souvent en réduisant le nombre de pointes portant les épillets (El-Hendawy *et al.*, 2005). Par conséquent (Maas and Grieve, 1990) ont conclu que la salinité doit être évitée avant et pendant le développement de l'épillet pour attendre le plus haut potentiel de rendement. Grieve *et al.*, (2003) ont mené une autre étude sur l'effet du sel sur le blé de printemps où la salinité a été imposée et retirée, avant ou après, « 1 » stade premier feuille, « 2 » étapes doubles crête, et « 3 » la formation de l'épi terminal. Ils ont constaté que les rendements des céréales ont été maximisés lorsque le stress salin a été retardé jusqu'après la formation de l'épi terminal ou par le retrait du stress à la fin du stade premier feuille au stade de double crête. D'autre part, ils ont trouvé que la salinité réduit la durée de la phase d'ouverture du primordial épillet, même si elle n'a aucun effet sur le taux d'ouverture. Cette combinaison d'effets a provoqué une réduction du nombre de grains par épillets, affectant gravement le potentiel de rendement chez ce type de blé.

3. L'effet de la salinité sur l'histologie de la plante :

3.1. Introduction :

Les ions sont absorbés au niveau de l'épiderme ou des poils absorbants et transportés dans la racine jusqu'aux vaisseaux du xylème par deux voies: (Lacan, 1991)

- ✓ La voie symplasmique où les ions pénètrent dans le cytoplasme d'une cellule en passant par des transporteurs membranaires, circule d'une cellule à l'autre via les plasmodesmes, jusqu'à ce qu'ils soient sécrétés dans les vaisseaux du xylème;
- ✓ la voie apo-plasmique qui emprunte l'espace intercellulaire à travers les parois des cellules au niveau de l'apex.

Dans les régions matures, la barrière de Caspary au niveau de l'endoderme, constituée de cellules dont les parois sont subérifiées (encadré à droite), bloque, le passage apo-plasmique des ions, les obligeant à emprunter la voie symplasmique pour atteindre le parenchyme xylémien. La barrière de Caspary permet ainsi de réguler l'entrée des ions, en particulier ceux potentiellement néfastes comme le sodium, dans les parties aériennes. Dans la stèle, les cellules de transfert du xylème (vers le phloème) peuvent également posséder un rôle régulateur (Lacan, 1991) (Fig.3).

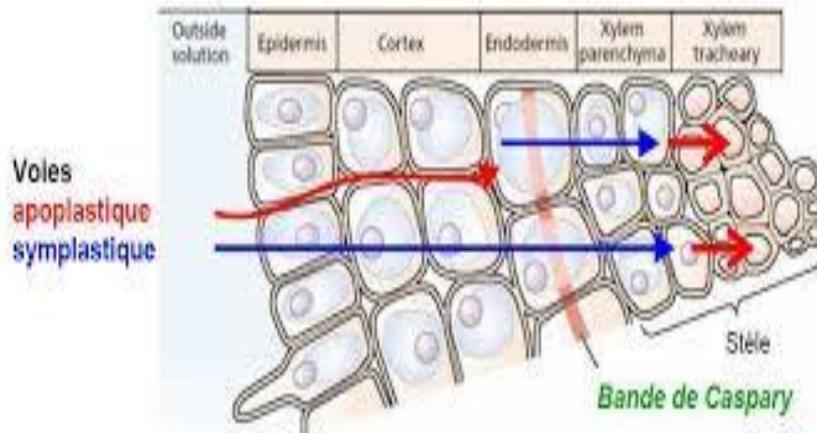


Fig.3 : Voies de transport radial des ions dans la racine (d'après Lacan, 1991)

3. 2. Le transport du sel dans les racines :

Le prélèvement des éléments minéraux par les racines et leur transfert vers les parties aériennes implique au moins deux étapes membranaires : l'absorption *sensu stricto* des ions depuis la solution du sol par les cellules épidermiques, corticales et éventuellement endodermiques, et la sécrétion dans les vaisseaux au niveau des cellules du parenchyme xylémien. Le mouvement radial des ions depuis les cellules périphériques de la racine vers la stèle peut emprunter en principe trois trajets (Pitman, 1977; Clarkson, 1993): la voie apo-plasmique, la voie symplasmique ou un trajet mixte faisant passer les ions alternativement du compartiment apo-plasmique au compartiment symplasmique (Fig.3).

Cependant, à plusieurs niveaux dans la racine, les ions peuvent emprunter un trajet apo-plasmique direct depuis le milieu extérieur jusqu'au xylème: au niveau de l'apex, où l'endoderme n'est pas encore subérisé, au niveau de la discontinuité de l'endoderme provoquée par l'émergence des racines secondaires (Yeo and Flowers, 1986), et chez certaines espèces, au niveau de quelques cellules endodermiques non subérisées, dites de passage dont le rôle n'est pas encore clairement établi (Peterson and Enstone, 1996). Cette particularité mise à part, dans les régions où l'endoderme est différencié et présente un cadre de Caspary fonctionnel, la composition de flux d'ions en provenance de la solution du sol et arrivant dans la sève xylémienne est donc strictement contrôlé par deux membranes: en amont de l'endoderme lors de l'étape d'absorption et en aval de cette barrière lors de

l'étape de sécrétion dans la sève du xylème (Clarkson, 1993). Lorsque cette dernière barrière est franchie, les ions sont entraînés vers les vaisseaux du xylème par le flux d'eau.

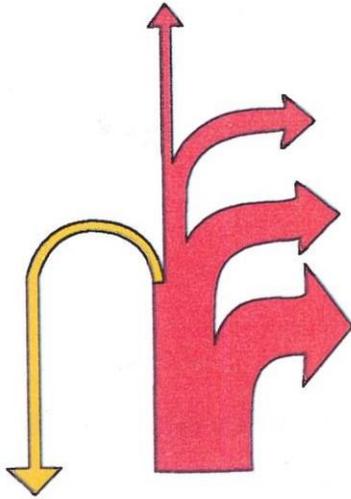
Dans les zones racinaires matures de la majorité des plantes, une seconde barrière concentrique de celle formée par l'endoderme est formée en périphérie de la racine sur l'exoderme, couche cellulaire sous épidermique. La subérisation de l'exoderme aurait lieu plus tardivement au cours du développement racinaire que celle de l'endoderme. La subérisation de l'endoderme et de l'exoderme serait accélérée en cas de sécheresse (Peterson and Enstone, 1996) ou de stress salin (Schreiber *et al.*, 1999).

3. 2. 1. Le transport du sel dans le xylème

La teneur en Na⁺ des racines apparaît comme relativement constante durant le stress salin. Cet état stationnaire résulte probablement en partie de la capacité des cellules racinaires à ré-excréter Na⁺ dans le milieu extérieur. Il résulte aussi de la translocation de Na⁺ dans la stèle et les vaisseaux du xylème, vers les parties aériennes. Les teneurs en sodium du xylème et du phloème peuvent varier au cours de la circulation de la sève de la plante. Un accroissement de la concentration de Na⁺ dans la sève xylémienne a été décrit chez une plante du type *Includer* (Fig. 4), *Plantago maitima* (Lacan and Durand, 1996). À l'opposé une diminution de la concentration en Na⁺ de la sève xylémienne a été mise en évidence chez des plantes du type *Excluder* (Fig.4). Le sodium contenu dans le xylème est réabsorbé au niveau des racines au cours de l'ascension de la sève, et réexcrété vers le milieu extérieur (Lauchli, 1976; Lacan and Durand, 1995). La quantité de sodium qui parvient aux feuilles via la sève xylémienne peut donc être contrôlée lors du transport dans les vaisseaux du xylème. Chez certaines plantes, on peut observer une réduction de l'accumulation de Na⁺ dans les parties aériennes. Cette réduction serait expliquée par le retrait du sodium du xylème avant qu'il n'atteigne le système foliaire.

L'existence de cette stratégie chez les plantes a été démontrée par les travaux de Wolf *et al* (1991). Les auteurs ont mis en évidence que chez l'orge, la concentration en Na⁺ de la sève du xylème varie avec la hauteur de la tige. Elle est de 10 mM à la base de la tige et seulement de 2 mM à la 8ème feuille. Cette différence de concentration est particulièrement importante pour maintenir l'activité photosynthétique des jeunes feuilles, ce qui permet en retour la formation et la croissance de nouvelles feuilles.

Inclusion



Exclusion

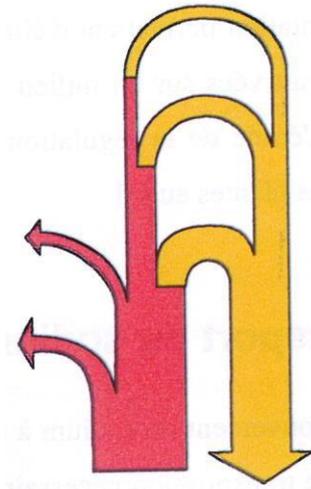
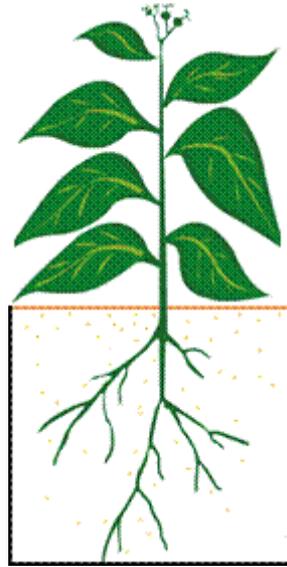


Fig.4: Illustration des stratégies "Inclusion" et "Exclusion" (D'après Levigneron *et al.*, 1995).

3.2. 2. Le transport du sel dans le phloème

La croissance et le développement de la plante nécessitent une distribution des produits de la photosynthèse. Ces molécules synthétisées dans les organes dits "sources" (feuilles matures) doivent ensuite être relocalisées vers les organes en croissance et les tissus non photosynthétiques de la plante (organes dits "puits", jeunes feuilles, fleurs, graines, fruits, racines). Cette relocalisation nécessite un transport sélectif à longue distance, qui est assuré par le système phloémien.

Des données obtenues chez l'orge montrent que les teneurs en sodium des sèves xylémiennes et phloémiennes sont modifiées tout au long du transport dans les vaisseaux des parties aériennes (Wolf *et al.*, 1990, 1991). Le sodium xylémien serait absorbé et stocké dans les cellules de la feuille au cours de son parcours, et il y aurait de plus une translocation d'une partie du sodium du xylème vers le phloème dans la feuille, si bien que la sève phloémienne voit sa concentration en sodium augmenter lors de son parcours du sommet de la feuille vers sa base.

L'anatomie foliaire, en particulier dans la zone des veines mineures, suggère qu'un tel transfert pourrait avoir lieu soit directement de l'apoplasme au symplasme des cellules du phloème, soit par un transport symplasmique à partir des cellules du parenchyme (Salisbury and Ross, 1992). Cette recirculation des ions du xylème vers le phloème permet ainsi de réduire significativement la teneur en sel des feuilles. Cela a été aussi observé chez quelques espèces telles- que le lupin (Munns *et al.*, 1988), le poivrier (Blom-Zandstra *et al.*, 1998) et le maïs (Lohaus *et al.*, 2000).

Récemment, Perez-Alfocea *et al* (2000) ont constaté que la retranslocation de Na^+ dans le phloème chez *Lycopersicon pennellii*, une espèce de tomate sauvage et tolérante à la salinité, est plus

importante que celle observée chez la tomate domestiquée. Cela suggère que la retranslocation de Na^+ dans le phloème serait une stratégie d'adaptation chez les végétaux.

Cependant, la direction de la retranslocation de Na^+ et les conditions dans lesquelles elle se produit sont probablement critiques. En effet, il semble crucial que la retranslocation par le phloème n'envoie pas Na^+ vers les tissus juvéniles, sinon cela inhiberait complètement leur croissance. Autrement dit, la retranslocation par le phloème devrait rediriger Na^+ essentiellement vers les racines. Chez le poivrier, il a été montré que la retranslocation de Na^+ des parties aériennes aux racines ne se produit que quand Na^+ est retiré de la solution nutritive, quand il existe un gradient favorable entre phloèmes et racines (Blom-Zandstra *et al.*, 1998).

Le Cl^- est aussi redistribué *via* la sève phloémienne à raison de 10 % des ions chlore du flux xylémien sans qu'aucun flux n'ait pu être montré de ces ions vers les bourgeons (Munns, 2002). Si la recirculation est un caractère de phloème (Winter, 1982), sensibilité négligeable selon Munns and Tester (2008), d'autres travaux, réalisés sur le trèfle d'Alexandrie (Winter, 1982), le maïs (Lohaus *et al.*, 2000), la tomate (Perez-Alfocea *et al.*, 2011) et la luzerne (Boughanmi *et al.*, 2003) semblent contredire cette première affirmation. Chez *Arabidopsis*, il a été montré que le transporteur de sodium *AtHKT1*, exprimé dans les tissus phloémiens, assure une re-circulation de Na^+ des feuilles vers les racines par le phloème en soustrayant Na^+ du courant ascendant de sève brute au niveau des parties aériennes. Ce système joue, ainsi, un rôle dans le contrôle de l'accumulation de Na^+ dans les feuilles et la résistance de la plante au stress salin (Fig. 5) (Berthomieu *et al.*, 2003)

3.2. 3. Le transport du sel dans les feuilles

Le flux xylémien de Na^+ arrivant aux feuilles est réduit par la réabsorption par les cellules parenchymateuses du xylème (Fig.5), selon Sunarpi *et al* (2005) dans les racines (Davenport *et al.*, 2007), à la base des tiges (Munns, 2007), au niveau des entre-noeuds (Wolf *et al.*, 1990) et, en dernier recours, au niveau du parenchyme foliaire (Sunarpi *et al.*, 2005). Le Na^+ réabsorbé peut être stocké dans les tiges et les pétioles (Wolf *et al.*, 1991), recyclé vers les racines (Berthomieu *et al.*, 2003). Les transporteurs du potassium HKT sont responsables de la réabsorption de Na^+ à partir du xylème. Il s'agit de *AtHKT1* chez *Arabidopsis* et *OsHKT1-5* chez le riz (Ren *et al.*, 2005). D'une manière générale le Cl^- est moins étudié que le Na^+ .

L'exclusion de Cl^- des tiges est corrélée avec la tolérance au sel (Winter, 1982; Islam *et al.*, 2007). Cet ion est réabsorbé par les cellules parenchymateuses du xylème chez *Lotus tenuis*, tolérant au sel, toutefois le mécanisme n'est pas élucidé (Teakle *et al.*, 2007). En définitive, l'exclusion de Cl^- et de Na^+ se ferait selon des mécanismes différents sans que l'on n'en sache plus actuellement (Tavakkoli *et al.*, 2010). Les quantités du Na^+ accumulées au niveau des cellules mésophylliennes sont diminuées également *via* la recirculation dans le phloème (Winter, 1982). Le transporteur *AtHKT1* (Fig. 5), selon

Sunarpi *et al* (2005) est impliqué dans le chargement, dans les cellules compagnes des veines mineures foliaires et dans le déchargement dans les racines (Berthomieu *et al.*, 2003).

3.3. L'effet du sel sur l'anatomie de la plante

Les ions sodium peuvent emprunter un trajet apoplasmique direct depuis le milieu extérieur jusqu'au xylème à plusieurs niveaux de la racine, parce que d'une part la subérisation de l'endoderme n'est pas encore en place dans la zone racinaire juvénile, et d'autre part des fuites subsistent au niveau de l'émergence des racines secondaires, qui provoquent une discontinuité momentanée de l'endoderme (Yeo and Flowers, 1986 ; Pitman, 1988). Les contributions relatives des voies apoplasmique et symplasmique du transport de Na⁺ sont donc largement conditionnées par l'anatomie racinaire et susceptible de varier selon l'espèce et la salinité du milieu. La voie apoplasmique (appelée aussi fuite apoplasmique) serait prédominante dans le transport de Na⁺ en conditions salines.

Des travaux menés sur le riz ont montré qu'il existe une forte corrélation entre le transport du sodium et celui d'un traceur apoplasmique (PTS). Chez deux lignées de riz, une plus tolérante que l'autre au sel, une différence notable dans les proportions de la quantité de sodium et de PTS accumulées dans leurs parties aériennes a été observée (Yeo *et al.*, 1987; Yadav *et al.*, 1996). Ce phénomène résulterait du fait que l'entrée de Na⁺ dans le riz se fait essentiellement par migration libre dans l'apoplasme jusqu'à la stèle, aux endroits où la barrière endoplasmique n'est pas fonctionnelle. Cette fuite apo-plasmique se produirait aux points de branchement des racines latérales, aux apex des racines avant la différenciation complète du rhizoderme et de l'endoderme, et même dans les zones matures présentant un endoderme différencié, à cause d'une perméabilité intrinsèque du squelette pariétal (Yeo *et al.*, 1999).

L'importance de la voie apo-plasmique dans le bilan global d'influx de Na⁺ varie avec les espèces. Garcia *et al* (1997) ont estimé que la contribution de la voie apo-plasmique est dix fois plus importante chez le riz que chez le blé. D'ailleurs, il est important de souligner que les halophytes possèdent une anatomie des racines susceptibles de limiter l'entrée de Na⁺ via la voie apo-plasmique. En effet, la bande Caspary chez les halophytes est 2-3 fois plus épaisse que chez les glycophytes, et la couche intérieure des cellules corticales chez les halophytes peut se différencier pour former le second endoderme (Tester and Davenport, 2003). Chez le cotonnier, considéré comme une plante tolérante à la salinité parmi les espèces cultivées, la salinité accélère également la formation de la bande Caspary et induit la formation d'une couche supplémentaire exodermique (Reinhardt and Rost, 1995)

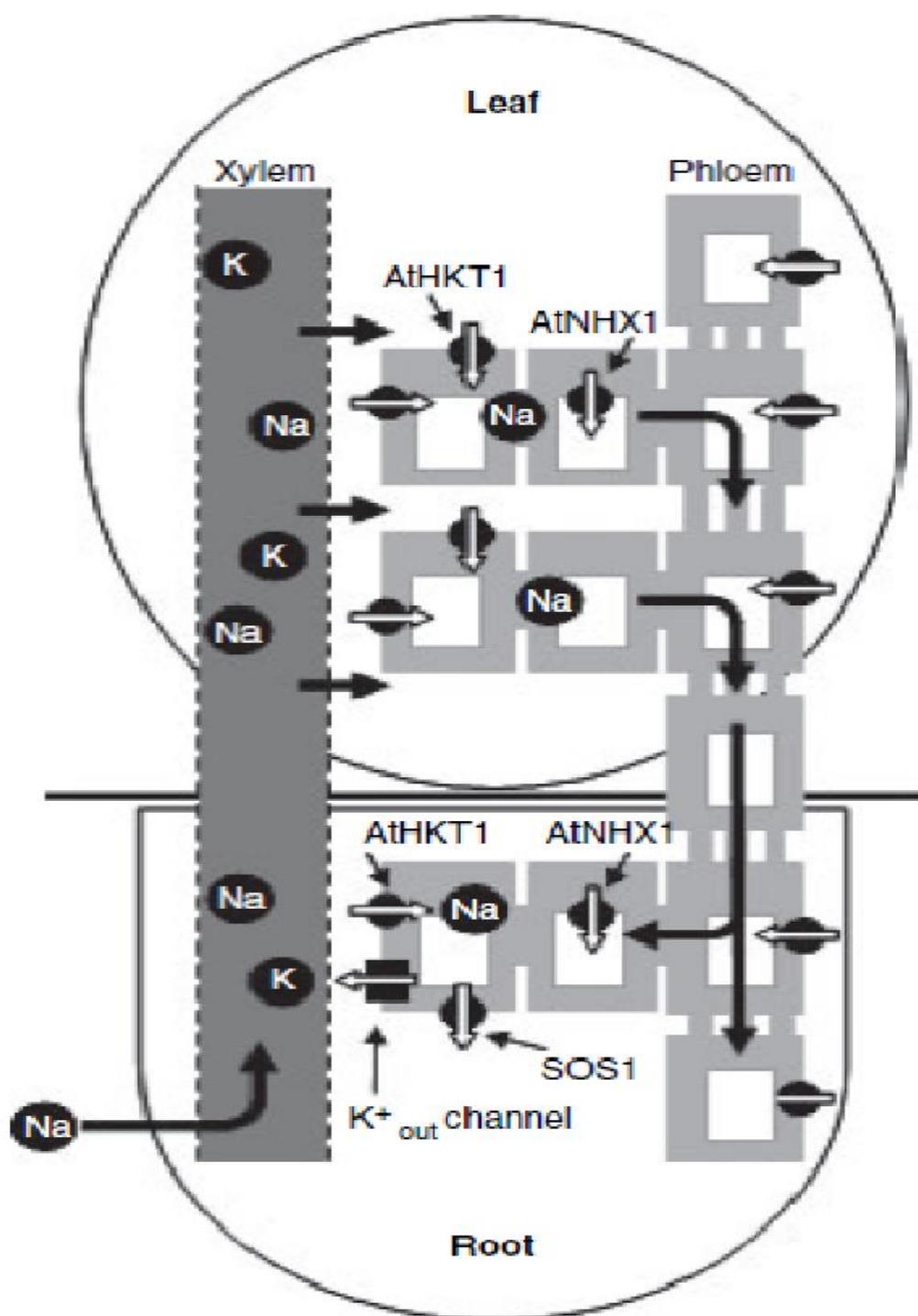


Fig. 5 : Rôles de AtHKT1 dans la réabsorption du Na⁺ la protection de la feuille contre le stress sodique. Dans les racines, à parenchymateuses xylémiennes lors du déchargement du Na parenchymateuses. Dans les feuilles, dans les tubes criblés (Sunarpi *et al.*, 2005).

4. La résistance à la salinité

4.1. Les plantes face au stress

4.1.1. La signalisation cellulaire

La signalisation du stress peut être de deux origines soit liées aux ions spécifiques du sel qui est la plus probable ou leur effet osmotique qui active la synthèse de l'acide abscissique (ABA) induit la transcription du gène *AtNHX1* qui code pour la synthèse des transporteurs vacuolaires et permet la séquestration des ions Na^+ (Shi and Zhu, 2002). Les ions Na^+ extracellulaire peuvent être détectés soit par un récepteur membranaire (des protéines membranaires) ou par des enzymes sensibles aux ions Na^+ cytoplasmique (Fig. 6). (Zhu, 2003)

Les protéines membranaires Na^+/H^+ antiport peut être un capteur possible de Na^+ SOS1 (Shi et al., 2000) ainsi que transporteur (Zhu, 2003).

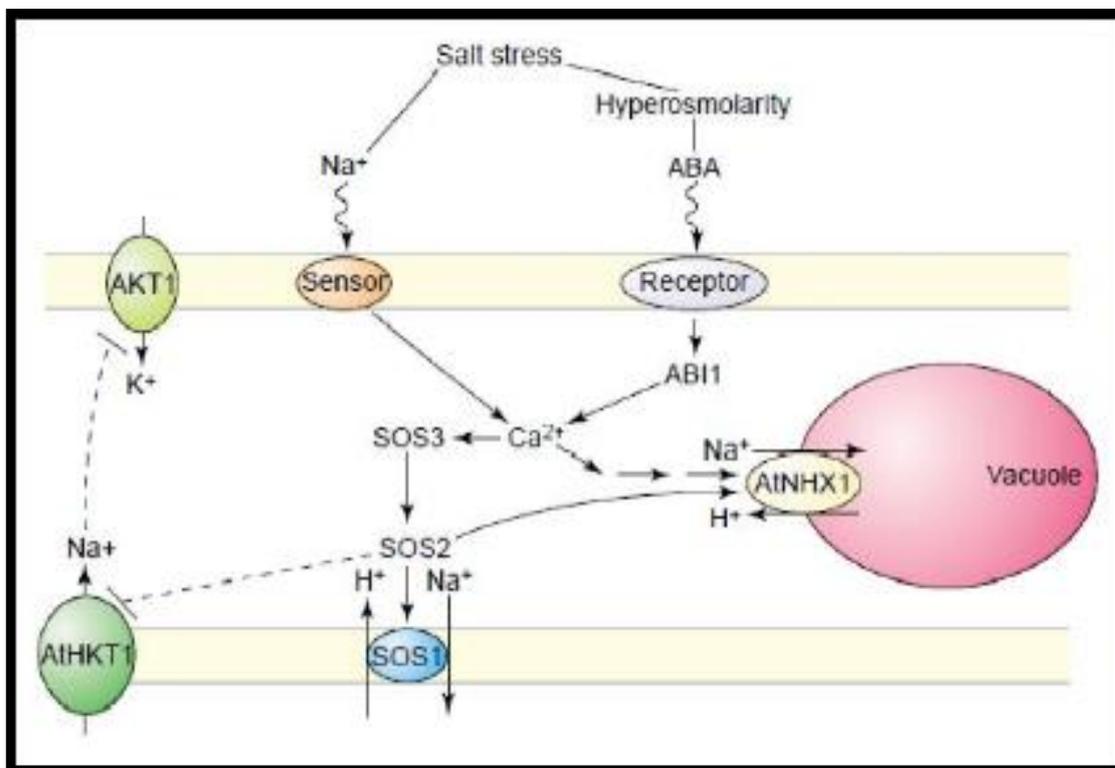


Fig. 6: Signalisation cellulaire du stress salin (Zhu, 2003).

4.1.2. La croissance et le développement des plantes sous la salinité :

Pour comprendre les divers mécanismes responsables de la tolérance à la salinité de ces espèces, il est nécessaire de savoir si leur croissance est affectée par l'effet osmotique du sel dans le sol, ou\ et de son effet toxique dans la plante. L'analyse de la réponse d'une plante au stress salin, montre que la réduction de la croissance se déroule en deux phases (Fig. 7):

- Une réponse rapide face à l'augmentation de la pression osmotique à l'extérieur.
- Une réponse plus lente en raison de l'accumulation de Na^+ dans les feuilles.

Dans la première phase osmotique, (qui commence immédiatement après l'augmentation de la concentration du sel à un niveau-seuil de la solution du sol), le taux de la croissance diminue d'une façon significative (Munns, 1993). Le niveau-seuil est d'environ 40 mMol de NaCl pour la plupart des plantes, ou moins pour les plantes sensibles comme le riz et Arabidopsis. Cela est en grande partie sous l'effet osmotique du sel autour des racines qui rend l'eau partiellement inaccessible à la plante.

La seconde phase commence lorsque le sel s'accumule à des concentrations élevées et devient toxique (100 m mol) (Wyn and Gorham, 2002), les vieilles feuilles qui ne sont plus en expansion, et n'ont pas le pouvoir de diluer le sel accumulé, meurent. Pour les plantes sensibles à la vitesse à laquelle les feuilles meurent est plus grande que la vitesse à laquelle les nouvelles feuilles sont produites, la capacité photosynthétique de la plante diminue et la plante meurt. Tandis que pour les plantes tolérantes les jeunes feuilles se forment rapidement et fournissent les glucides nécessaires pour maintenir les différentes activités vitales de la plante (Munns and Tester, 2008).

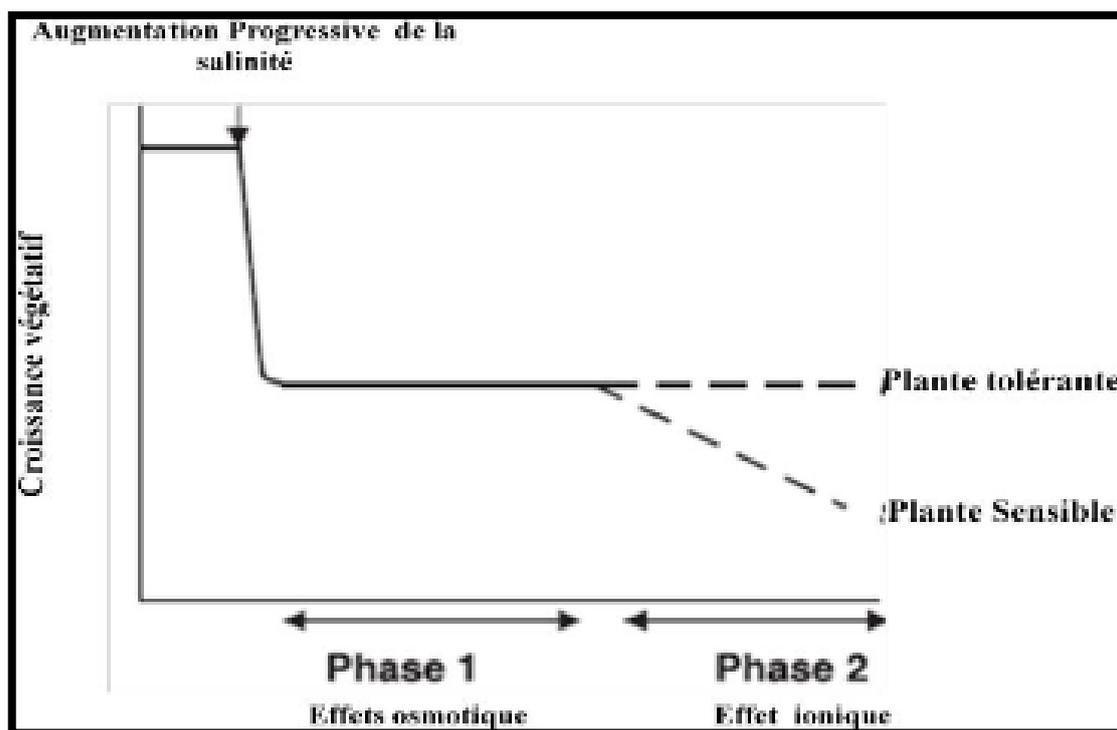


Fig. 7: Schématisation des deux phases de développement des plantes tolérantes et sensibles sous stress salin (Munns, 2002).

4. 2. Les catégories de la résistance des plantes

Les mécanismes de tolérance à la salinité peuvent être classés en trois catégories

4.2.1. La tolérance au stress osmotique

Le stress osmotique diminue la croissance et la productivité des plantes (Ashraf, 2002). Il ralentit le taux de division et d'expansion des cellules, en causant une perte de turgescence qui liait à l'insuffisance de l'eau dû à l'augmentation du sel autour des racines. Les diminutions du potentiel hydrique foliaire et de la teneur relative en eau de la plante (Tre) observée conduisent à une diminution des capacités photosynthétiques chez la plante (Teszara *et al.*, 2002). Face à l'augmentation des forces de rétention de l'eau dans un sol au cours de dessiccation, un ajustement osmotique peut se manifester, mais à des degrés variables, chez la plupart des végétaux. Les métabolites impliqués dans cet ajustement sont assez variés. De fortes accumulations en potassium et en nitrates ont été mises en évidence chez le blé (Munns *et al.*, 1979). L'augmentation de la teneur foliaire en saccharose contribuerait au maintien d'une pression osmotique élevée limitant les pertes d'eau par transpiration.

4.2.2. L'exclusion de Na^+ des limbes

Sous un stress salin l'exclusion de Na^+ de la plante par des divers mécanismes, ne garantit pas son accumulation avec des concentrations toxiques dans les feuilles. Cette accumulation de Na^+ se manifeste par un effet toxique après un jour et peut aller à une semaine, selon les espèces, et causes la mort des feuilles âgées prématurément (Munns and Tester, 2008).

4.2.3. La tolérance des tissus

La tolérance des tissus exige la compartimentation intracellulaire de Na^+ et Cl^- pour éviter leurs effets toxiques dans le cytoplasme, en particulier dans les cellules de mésophile de la feuille. La toxicité se produit après l'augmentation de Na^+ à des concentrations élevées dans les feuilles (Munns and Tester, 2008). Cette concentration peut être tolérée par les tissus par deux types d'adaptations anatomiques au niveau cellulaire :

- Augmentation de la taille des cellules en raison de l'augmentation du volume vacuolaire, suite de la séquestration des ions toxique à l'intérieure des vacuoles.
- Partitionnement des ions à l'intérieure des cellules, les processus de transport intracellulaires des ions toxiques favorisent le cloisonnement de la feuille ce qui garantit que ces ions ne seront pas stockés dans les mêmes cellules. Chez l'orge par exemple soumis à un stress salin, il ya une grande accumulation de Cl^- dans l'épiderme et non pas dans le mésophile, contrairement aux ions K^+ , mais il n'existe aucune preuve de partitionnement des ions Na^+ . (Munns and Tester, 2008)

4.2.4. L'importance de ces mécanismes

L'importance relative de ses différents processus varie clairement avec l'espèce (c'est-à-dire, la stratégie de certaines espèces végétales pour répondre au stress salin) (Epstein *et al.*, 1980), mais

probablement elle varie aussi bien en fonction de la durée d'exposition à la salinité, la concentration de sel, et éventuellement les conditions environnementales locales, notamment l'approvisionnement en eau du sol et l'humidité relatif de l'air, et donc le taux de transpiration des feuilles et leur potentiel hydrique (Greenway and Munns, 1980).

4.3. Les stratégies des plantes résistant à la salinité

Les stratégies de la résistance à la salinité se situent à des différents niveaux de la plante. Le contrôle se fait essentiellement dans les vacuoles (Niu *et al.*, 1995 ; Yeo and Rawers, 1998 ; Horie and Schroeder, 2004), à l'échelle de la plante entière, et éventuellement dans les organes les moins sensibles (Cheeseman, 1988 ; Munns, 1993) pour contrôler l'absorption, le transport et le stockage du sel.

4.3.1. Le contrôle de l'absorption et le transport du sodium

Les mécanismes physiologiques de tolérance à la salinité au niveau de la plante entière dépendent de la capacité de la plante de contrôler l'absorption et le transport du sel à différents niveaux dans différentes plantes (Munns and Tester, 2008), le contrôle de l'entrée de Na^+ dans les cellules épidermiques et corticales des racines. L'absorption initiale de Na^+ et Cl^- se produit de l'exoderme à l'épiderme, les flux apo-plastiques se produisent à travers l'endoderme, la régulation de l'entrée initiale de Na^+ dans les cellules corticales des racines est donc importante pour la tolérance des plantes à la salinité (Zhu, 2001) :

❖ Le contrôle de l'entrée de Na^+ dans le xylème

L'entrée des ions Na^+ dans les cellules s'effectue grâce à des transporteurs à forte affinité de K^+ , ou par des canaux de faible affinité appelée des canaux cationiques non sélectifs qui sont fortement influencés par les ions Ca^{2+} . Ces canaux cationiques permettent l'entrée d'une grande quantité des ions Na^+ à partir d'un sol très salé si elles ne sont pas bien réglementées (Amtmann and Sanders, 1999).

❖ Le retrait du Na^+ de la sève du xylème

Le retrait de Na^+ du xylème s'effectue au niveau de la partie supérieure des racines, la partie inférieure des tiges, et au niveau des pétioles ou des gaines foliaires. Dans de nombreuses espèces, les ions Na^+ sont conservés dans la partie supérieure du système racinaire et dans la partie inférieure de la tige, indiquant un échange de Na^+ par K^+ dans les cellules de la stèle de la racine ou dans les faisceaux vasculaires au niveau des tiges et des pétioles (Munns *et al.*, 2006).

❖ La retranslocation de Na^+ dans le phloème

La retranslocation de Na^+ et Cl^- dans le phloème, s'effectue chez les espèces les plus tolérantes, ce qui garantit que le sel n'est pas exporté vers les jeunes tissus foliaires en croissance. (Munns *et al.*, 2006)

4.3.2. L'excrétion du sel sur la surface foliaire par les glandes

Certaines halophytes possèdent ces types de cellules spécialisées d'excrétion du sel. Les halophytes ont bien développé des mécanismes pour contrôler l'absorption, le transport et l'excrétion de sel. Alors que les glycophytes s'appuient sur les trois premiers mécanismes, avec des degrés divers alors que le 4ème est spécifique de quelques halophytes (Fig. 8). (Munns, 2002)

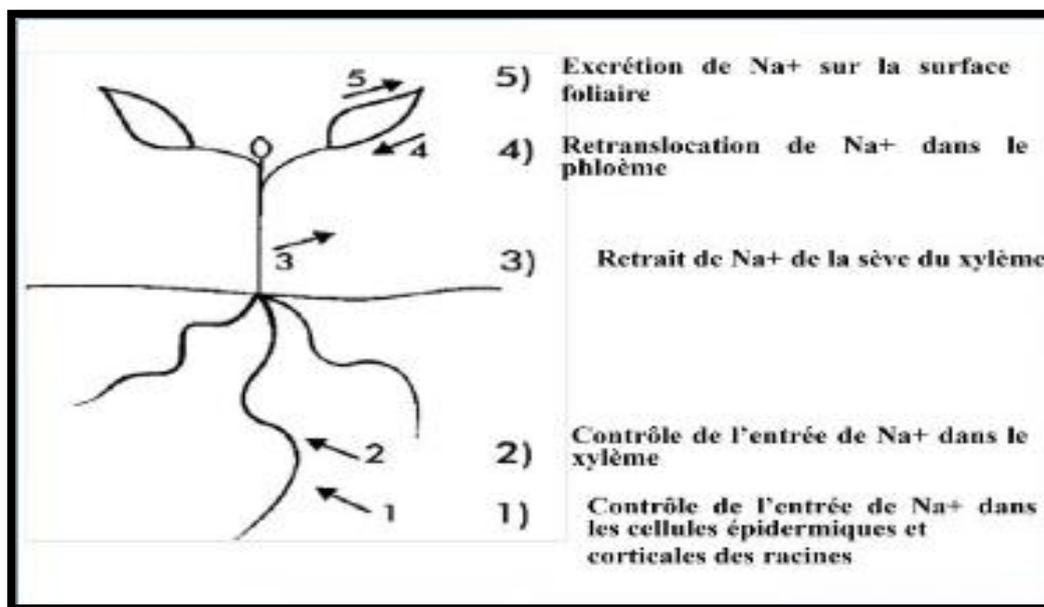


Fig. 8: Les points de contrôle et de la régulation de transport du sel au niveau de la plante (Munns, 2002).

4.3.3. La régulation de la concentration cytoplasmique de sodium

La présence du sel au niveau du cytoplasme inhibe l'activité presque de la totalité des enzymes, donc les mécanismes de tolérance à la salinité, au niveau cellulaire, se traduisent par le maintien du sel en dehors du cytoplasme, et leur compartimentation dans les vacuoles de la cellule. Cela se produit dans la plupart des espèces et s'explique par les concentrations élevées du sel (supérieure à 200 mM) présent dans les feuilles qui fonctionnent toujours normalement, alors que de telles concentrations détruisent complètement l'activité des enzymes *in vitro* (Munns *et al.*, 1983).

En général, les ions Na^+ commencent à inhiber l'activité des enzymes à une concentration ionique supérieure à 100 mM alors que la dose toxique de Cl^- n'est pas encore bien définie bien qu'approximativement elle soit dans la même gamme de la concentration des ions Na^+ . (Munns, 2002).

4.3.4. Le transport de sodium

Les canaux ioniques et les transporteurs qui régulent les mouvements du sel à travers les membranes des cellules ont été examinés par plusieurs chercheurs, il n'y a aucun transporteur spécifique des ions Na^+ mais ils font l'entrée par la concurrence avec d'autres cations, en particulier, les ions K^+ (Amtmann and Sanders, 1999 ; Blumwald *et al.*, 2000 ; Schachtman and Liu, 1999 ; Tyerman and Skerritt, 1999) :

❖ L'efflux du sodium

Les ions du Na^+ peuvent être efflués du cytoplasme par un antiport Na^+/H^+ , poussés par le gradient de pH à travers le plasmalemme (Blumwald, 2000). Ces transports et ces processus travaillent ensemble pour contrôler la concentration cytoplasmique des ions Na^+ .

Le potentiel négatif de la membrane plasmique des cellules végétales favorise le transport passif des ions Na^+ dans les cellules. Ces ions pénètrent dans les cellules végétales par les transporteurs de potassium à haute affinité HKT1 (Rus *et al.*, 2001 ; Maser *et al.*, 2002) et les canaux cationiques non sélectifs (Amtmann and Sanders, 1999) (Fig. 9).

❖ La compartimentation vacuolaire du sodium

La séquestration vacuolaire des ions Na^+ réduit non seulement leurs concentrations dans le cytoplasme, mais contribue également à l'ajustement osmotique qui maintient l'absorption de l'eau de solution saline. D'autres organites, tels que les plastes et les mitochondries, peuvent également accumuler des ions Na^+ et contribuer ainsi à la compartimentation intracellulaire de ces ions toxiques. Chez l'*Arabidopsis*, les antiports AtNHX1 et AtNHX2 de la famille de Na^+/H^+ antiports jouent un rôle déterminant au niveau du compartimentage de Na^+ (Blumwald *et al.*, 2000). Les antiports AtNHX1 et AtNHX2 sont localisées dans la membrane tonoplaste, et leurs niveaux de transcription sont régulés par l'ABA au cours d'un stress osmotique (Yokoi *et al.*, 2002 ; Dietz *et al.*, 2001) montrent que les niveaux de transcription des antiports vacuolaires H^+ -ATP ase également augmentent lors d'un stress salin.

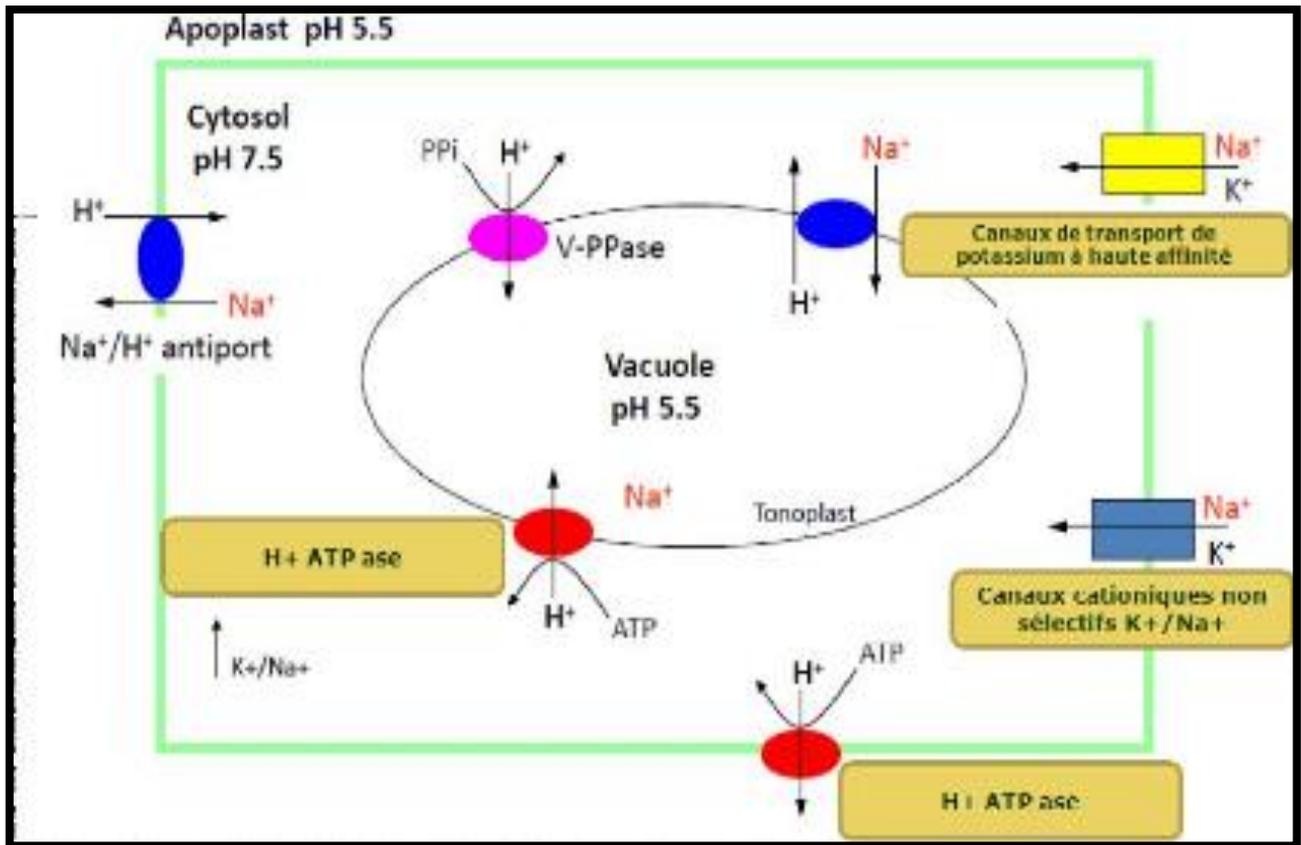


Fig. 9: Les transporteurs ioniques de Na^+ au niveau cellulaire (Mansour *et al.*, 2003).

4.3.5. Le prélèvement du potassium

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 (Claussen, 1997). Le prélèvement de K^+ est essentiel pour la turgescence cellulaire et le déroulement des processus biochimiques sous stress salin. Le niveau de transcription des gènes codants pour les transporteurs de K^+ reflète probablement une différence de capacité de la plante à prélever le K^+ sous stress salin. Par exemple chez *Arabidopsis*, le stress salin augmente le niveau de transcription du gène *AtKC1* correspondant à un transporteur de K^+ (Pilot *et al.*, 2003).

5. Les protéines et le stress environnemental

5.1. Expression des protéines sous conditions de stress environnementales

La nature immobile des plantes les a obligés à développer principalement des mécanismes moléculaires (Madhava, 2006). L'analyse des gels d'électrophorèses montre que le stress abiotique induit la synthèse d'un assortiment de gènes pouvant être exprimé, les produits de ces gènes, exercent des fonctions dans la réponse et la tolérance des plantes au stress au niveau cellulaire. Effectivement,

selon des analyses ainsi que Yamaguchi and Shinozaki, 2007 ont réparti les produits des gènes induits en conditions de stress en deux groupes : une partie des protéines induites ont une fonction directe dans l'augmentation de la tolérance au stress (protéines fonctionnelles), d'autres ont une fonction dans la chaîne de transduction (protéines régulatrices) qui aboutiront à la production de protéines fonctionnelles. La plupart des protéines à fonction directe sont les canaux à eau (aquaporines), les protéines LEA (déhydrines), et des enzymes catalysant la biosynthèse d'osmolytes (carbohydrates et acides aminés), tandis que les protéines régulatrices incluent les protéines kinases, phosphatases, les enzymes impliquées dans le métabolisme des phospholipides. (Kara and Zerguine, 2016).

Les protéines de stress jouent un rôle primordial dans l'adaptation de la plante, et de ce fait, de nombreux chercheurs abordent la résistance au stress par l'isolement et l'étude de ces molécules (Kara and Zerguine, 2016).

5.1.1. Les protéines de choc thermiques (HSP):

La cellule réagit aux stress en activant l'expression des protéines spécialisées connue sous le nom de protéines de choc thermique, ou les Hsp : heat shock proteins, ces protéines assurent une protection lors d'un second stress et induisent ainsi une tolérance aux agressions qui suivent. La synthèse et l'accumulation de ces protéines de stress sont initialement découvertes lorsque les plantes subissent une augmentation graduelle de température plus typique de celle expérimentée dans un environnement naturel et à n'importe quel stade du développement, néanmoins, on les trouve également surexprimées lors de l'exposition des plants à la sécheresse, ou à des fortes teneurs en sel, (Wang *et al.* , 2004 In Abdi and Zitouni, 2014).

5.1.2. Les aquaporines AQP

Les plantes doivent maintenir leur statut hydrique, tout au long de leur développement, même lorsque les conditions environnementales sont sévères. L'un des symptômes les plus fréquents et précoces associés à ces conditions stressantes, est la perturbation de l'homéostasie d'eau, ce dernier est régulé par un groupe de protéines appelé « aquaporines » (Srivastava *et al.*, 2016). Les AQP constituent une petite famille de protéines, formant des canaux spécifiques, situés sur les membranes plasmiques ou vacuolaires, permettant initialement le transport de l'eau, leur rôle dans divers processus physiologiques, a fasciné les scientifiques des plantes depuis plus d'une décennie, en particulier en ce qui concerne les contraintes abiotiques. (Santos and Mazzafera, 2013) Par le fait que les AQP sont principalement impliqués dans le maintien de l'homéostasie de l'eau cellulaire, facilitant ainsi l'équilibre osmotique par le transfert bidirectionnel de l'eau à travers les membranes, elles permettent également une régulation du transport de l'eau entre différents types de cellules et organes afin d'optimiser son utilisation pendant le stress. (Santos and Mazzafera, 2013)

5.1.3. Les dèhydrines (DHN)

Ce sont des protéines LEA D11 du groupe II (un sous-groupe des protéines LEA) qui sont les plus étudiées au cours d'un déficit hydrique. Ces protéines sont qualifiées de LEA « Late Embryogenesis-Abundant » en raison de leurs découvertes dans les graines des plantes matures (Rukey, 2010) mais aussi elles sont fortement exprimées dans les tissus des plantes en réponse à des facteurs de stress environnementaux : stress hydrique (déshydratation), thermique et salin (Wang *et al.*, 2009). Ces protéines sont découvertes initialement dans les grains de Cotton et du blé à la fin de l'embryogenèse et elles sont produites en abondance au cours du développement des graines, comprenant jusqu'à 4% des protéines cellulaires (Bharadwaj *et al.*, 2013). Les dèhydrines sont caractérisées par une large gamme de masses moléculaires 9-200 KDa (Hamla, 2016), elles sont riches en glycine et les résidus de lysine, mais pauvres en cystéine et le tryptophane (Allagulova *et al.*, 2003) et de ce fait elles résistent à la dénaturation thermique et à la dénaturation acide.

D'après (Close, 1996), les DHN sont les plus largement étudiées et plusieurs fonctions putatives en réponse à un stress hydrique ont été proposées, telles que la stabilisation des structures membranaires de la cellule, ou la régulation du potentiel osmotique cellulaire.

5.2. L'effet de la salinité sur la synthèse de protéines

Chez les plantes supérieures, la salinité induit différentes protéines dans les tissus des végétaux. Ces protéines sont nommées LEA : Late-Embryogenesis-Abundant. Chez *Medicago sativa*, le gène *Alfin1* code pour une famille de facteurs de transcription et leur expression est corrélée avec la tolérance au sel (Winicov and Bastola, 1999) (Fig. 10).

L'analyse des gels d'électrophorèses montre que le stress salin inhibe la synthèse de la plupart des protéines, tandis que celle d'un ensemble restreint dit de stress est induite. Ce schéma est commun dans ses grandes lignes à différents types de stress (Lamaze *et al.*, 1994). Les protéines de stress jouent un rôle dans l'adaptation de la plante, et de ce fait, de nombreux chercheurs abordent la résistance au stress par l'isolement et l'étude de ces molécules (Lamaze *et al.*, 1994).

Les dehydrines, LEA ou Rab protéines, forment un groupe remarquable de protéines induites par le stress salin et qu'on trouve chez toutes les plantes (Campbell and Close 1997) ; elles n'ont pas de fonctions enzymatiques, mais elles sont très efficaces dans la protection de membrane cellulaire et des protéines par des structures quaternaires (Close, 1996).

L'effet de la salinité sur la plante et les changements qu'elle provoque dans l'expression du génome à conduire plusieurs chercheurs à aborder l'étude par analyse du protéome. Les changements du protéome après exposition à un stress peuvent fournir les marqueurs de la tolérance qui sont très utiles pour la sélection. Le protéome reflète l'état actuel de la cellule et c'est la maillant qui relie le transcriptome et le métabolome. L'analyse du protéome a beaucoup évolué ces dernières années et les

exemples de son utilité sont nombreux (Horva *et al.*, 2006 ; Kumar and Bhatla, 2006 ; Vitamvas *et al.*, 2007 ; Rossignol, 2001).

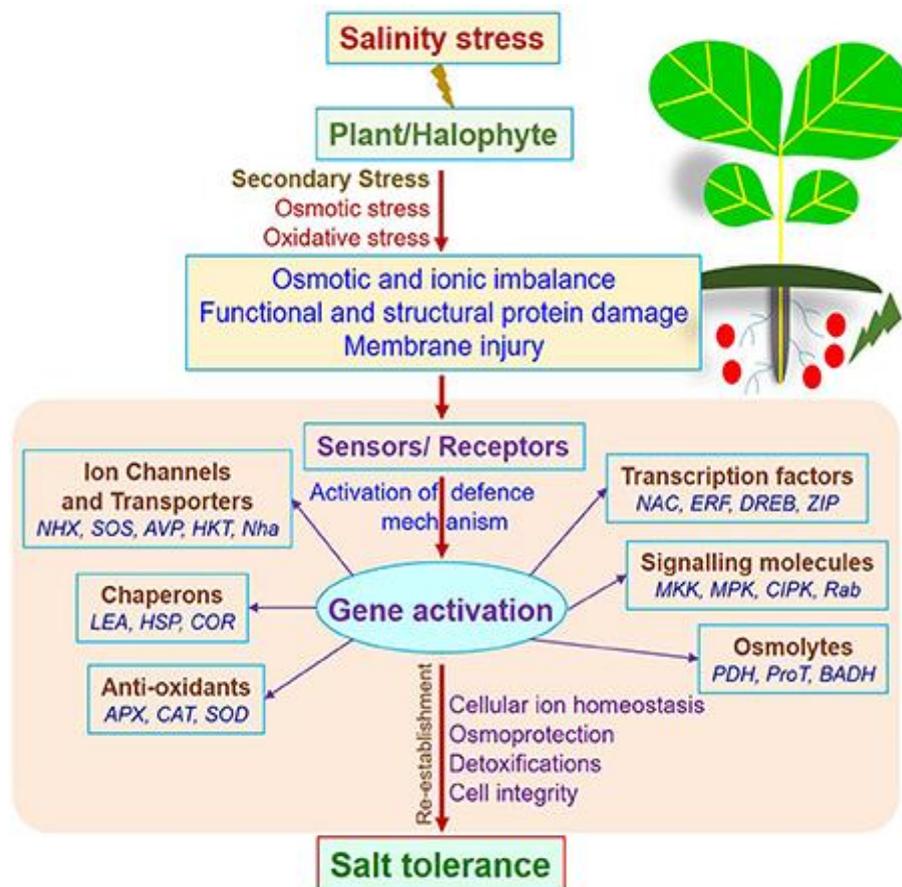


Fig. 10: représentation schématique généralisée du mécanisme de tolérance au stress de salinité dans une plante (Das and Strasser, 2013)

5.3. L'analyse du protéome par la méthode d'électrophorèse :

Un des outils d'analyse du protéome le plus souvent utilisés est l'électrophorèse qui est une technique biochimique de séparation fondée sur le fait que des molécules portant des charges électriques migrent à des vitesses différentes lorsqu'elles sont placées dans un champ électrique. L'idée d'utiliser cette caractéristique pour séparer des molécules remonte à la fin du dix-neuvième siècle grâce aux travaux du biochimiste suédois Arne Tiselius (1902-1971). (Temagault, 2009)

Il a réussi le premier à séparer par cette technique les protéines contenues dans des liquides biologiques complexes comme le sérum sanguin et le lait. Aujourd'hui, l'électrophorèse est devenue une technique de routine dans les laboratoires où on l'utilise pour séparer les protéines et les acides nucléiques. L'électrophorèse des protéines peut être réalisée sur des supports variés, notamment sur gel de polyacrylamide en présence du sodium dodécyl sulfate (SDS-PAGE). Cette technique décrite

pour la première fois par Laemmli en 1970 est utilisée pour séparer les protéines en fonction de leur poids moléculaire.

6- La tomate

6.1. L'histoire de la tomate

Le mot « tomate » dérive du suffixe « tomatl » ou des mots « tomates » ou « miltomates » dans le langage nahuatl (Daunay, 2008) qui était celui des anciens mexicains (Azèques) à l'époque de la découverte de l'Amérique. « Tomatl » désignait alors la tomate, le *Physalis* ainsi que d'autres Solanacées. Introduite en Europe au milieu du XVI^{ème} siècle, elle porta différents noms comme « mala aurea » en latin, « pomodoro » en italien, « pomme d'amour » en français, « love apple » en anglais et « liebesapfel » en allemand. D'abord considérée avec suspicion, elle fut rapidement consommée en Europe du sud, mais fut adoptée plus tardivement plus au nord. (Dunnay, 2008)

La tomate et les espèces qui lui sont apparentées sont originaires de la région des Andes qui inclue la Colombie, l'Equateur, le Pérou, la Bolivie et le Chili (Rick, 1979 ; Taylor *et al.*, 1986; Warnock, 1988).

La tomate cultivée est issue de la domestication de la forme semi-sauvage *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*, cette dernière étant un mélange de *S. lycopersicum* et de l'espèce sauvage *S. pimpinellifolium* (Peralta *et al.*, 2008; Ranc *et al.*, 2008). Cependant la question du lieu de la domestication demeure irrésolue par manque de données historiques et expérimentales et deux hypothèses coexistent : une domestication péruvienne et/ou Mexicaine après migration de formes sauvages (*S. pimpinellifolium*) et/ou semi-domestiquées (*S. lycopersicum* var. *cerasiforme*) d'Amérique du Sud vers l'Amérique centrale (Peralta *et al.*, 2008).

6.2. Les ressources génétiques de la tomate

Les ressources génétiques naturelles de la tomate ont été abondamment exploitées pour l'amélioration variétale en particulier pour l'amélioration de sa résistance à de nombreux agents pathogènes, et plus récemment de ses qualités organoleptiques. Malgré une très grande diversité apparente de taille, forme, couleur des fruits, port des plantes, etc., la tomate cultivée présente une biodiversité génétique très faible à la fois du fait de son introduction récente en Europe et de l'inévitable effet fondation, et du fait de son autogamie.

Les espèces sauvages ont été très utilisées dans les programmes de sélection pour améliorer les caractéristiques agronomiques de l'espèce cultivée. Ainsi tous les gènes de résistance aux maladies des cultivars actuels proviennent des espèces sauvages (Philouze and Laterrot 1992), qui se sont également révélées être une source de variabilité très intéressante pour l'adaptation aux stress ou l'amélioration de la qualité des fruits (Rick 1979), par exemple *S. cheesmaniae* et *S. chmeilewskii* dont les fruits sont riches en matières sèches (Poysa 1993). Ainsi *S. habrochaites* anciennement appelé *Lycopersicon hirsutum*,

dont l'habitat s'étend jusqu'à 3200 m d'altitude, présente une résistance au froid *S. cheesmaniae* qu'on trouve en bord de mer dans les îles Galápagos possède une résistance au stress salin, *S. chilense*, grâce à un puissant système racinaire, et *S. pennellii*, grâce à son aptitude à retenir l'eau dans son feuillage, sont des géniteurs de résistance à la sécheresse (Philouze and Laterrot 1992).

6.3. Les principales banques de gènes de tomate dans le monde

Les principales banques des gènes de tomate dans le monde C.M. Rick, de l'université de Davis en Californie, a été un pionnier en matière de génétique de la tomate et a fait, depuis 1948, de nombreuses expéditions de prospection dans la zone d'origine des *Lycopersicon*. Il a créé une collection unique au monde, qui est gérée par le Tomato Genetics Resource Center (TGRC). La collection de l'Asian Vegetable Research and Development Center (AVRDC) à Taïwan est la plus riche au monde en nombre de lots. D'autres pays ont des collections plus ou moins importantes. Citons au sein de l'Union européenne les Pays-Bas (Wageningen), l'Allemagne (Gatersleben), l'Espagne (Malaga) ; en Europe de l'Est : la Hongrie, la Bulgarie ; en Amérique : le Canada, le Pérou ; en Asie : le Japon, la Chine. (Mathilde et al., 2000).

6.4. La classification botanique

Règne : Plantae

Sous règne : Tracheobionate

Division : Magnolophytae

Classe : Magnolopsidae

Sous classe : Asteridae

Ordre : Solanales

Famille : Solanacée

Genre : *Solanum*

Espèce: *Solanum lycopersicum* Mill

(FAO , 2007 ; IPNI, 2005)

Il existe des différentes variétés de tomates (Fig. 11), nous citons quelques -unes : L'espèce *solanum Lycopersicum* compte plusieurs variétés botaniques, *Solanum Lycopersicum esculentum* à gros fruits, c'est la tomate cultivée de laquelle découlent presque toutes les variétés trouvées sur le marché et *solanum lycopersicum cerasiforme*, la tomate cerise, c'est la seule forme sauvage du genre rencontrée aussi en dehors de l'Amérique du sud (Rick, 1986). Connue dans les Antilles et Guyane françaises sous le nom de tomadose il est possible que la tomate cultivée ait été domestiquée à partir de cette forme sauvage.

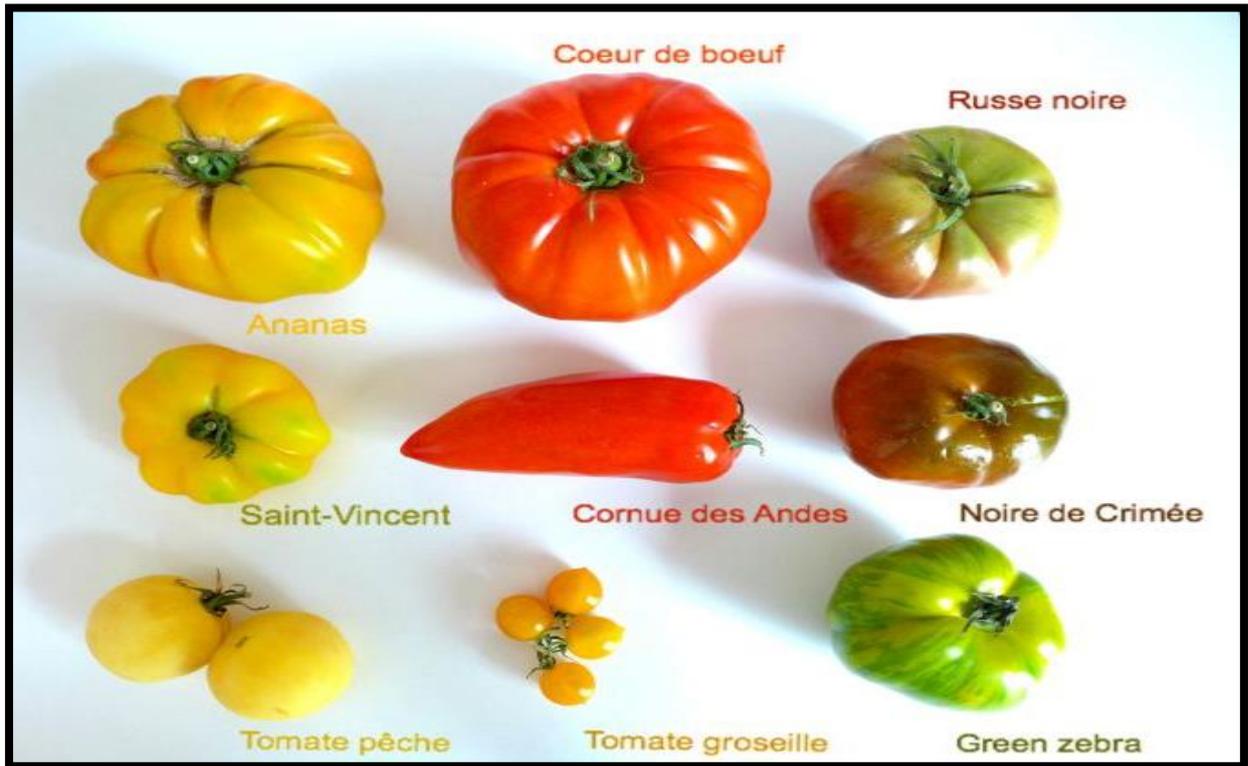


Fig. 11 : Les variétés de la tomate (IPGRI, 1996)

6.5. La description botanique de la tomate

La tomate (Fig.12) est une plante annuelle, qui peut atteindre une hauteur de plus de deux mètres. Cependant, en Amérique du Sud, il est possible de récolter d'une même plante pendant plusieurs années d'affilées. (Chaux and Foury , 1994). La première cueillette de la tomate peut avoir lieu 45 à 55 jours après la floraison, ou 90 à 120 jours après semis. La forme des fruits varie selon le cultivar La couleur variée dans la gamme du jaune au rouge (Chaux and Foury , 1994) (Fig. 7).

On peut distinguer deux types différents de plantes de tomates, selon le mode de croissance

- Le type à croissance indéterminée
- Le type à croissance déterminée

Les deux types de mode de croissance conduisent à deux types de culture tout à fait différents. Il existe également des variétés de tomates à croissance semi-déterminée. Il faut choisir une variété à croissance indéterminée lorsque l'on souhaite une longue période de récolte (*Naika et al., 2005*) . Ces variétés continuent à pousser après la floraison. C'est cette caractéristique qui est désignée par le terme « croissance indéterminée ». Cependant, sous des conditions tropicales, les maladies et les attaques d'insectes freineront la croissance. (*Shankara et al., 2005*).

En général, les tomates à croissance indéterminée ont un feuillage plus important. Il en découle que la température au sein de la culture est relativement basse et que les fruits poussent à l'ombre des feuilles (*Shankara et al., 2005*). Comme ils sont couverts, les fruits ne souffrent pas du soleil et mûrissent plus lentement. Le mûrissage lent et le rapport feuille/fruit élevé améliorent le goût des fruits, notamment le goût sucré. Les variétés à croissance indéterminée nécessitent des tuteurs, des cages ou des treillis pour les appuyer (*Shankara et al., 2005*)

Les variétés à croissance déterminée se supportent elles-mêmes et n'ont généralement pas besoin de tuteurs. Lorsque les conditions météorologiques sont rigoureuses, comme en cas de typhon, il est conseillé de protéger les plantes. Les variétés à croissance déterminée arrêtent leur croissance après la floraison. Elles requièrent moins de main- d'œuvre, c'est pourquoi elles sont souvent choisies pour la culture commerciale. La mise à fruits a lieu dans une période plus courte qui ne dure que deux ou trois semaines et les fruits mûrissent bien plus rapidement que ceux des variétés à croissance indéterminée. (*Shankara et al., 2005*).



Fig. 12 : La plante de la tomate (IPGRI ,1996)

Tab. 2: La description botanique du plant de la tomate

Racine	Forte racine pivotante qui pousse jusqu'à une profondeur de 50 cm ou plus. La racine principale produit une haute densité de racines latérales et adventices.
Tige	Tige Le port de croissance varie entre érigée et prostrée. pousse jusqu'à une longueur de 2 à 4 m. La tige est pleine, fortement poilue et glandulaire.
Feuille	Feuilles disposées en spirale, 15 à 50 cm de long et 10 à 30 cm de large. Les folioles sont ovées à oblongues, couvertes de poils glandulaires. Les grandes folioles sont parfois pennatifides à la base.
Fleurs	L'inflorescence est une cyme formée de 6 à 12 fleurs. Le pétiole mesure entre 3 et 6 cm. Bisexuées, régulières et entre 1,5 et 2 cm de diamètre. Elles poussent opposées aux - ou entre les feuilles. Le tube du calice est court et velu, les sépales sont persistants. En général il y a 6 pétales qui peuvent atteindre une longueur de 1 cm, qui sont jaunes et courbées lorsqu'elles sont mûres. Il y a 6 étamines et les anthères ont une couleur jaune vif et entourent le style qui a une extrémité stérile allongée. L'ovaire est supère avec entre 2 et 9 carpelles. En général la plante est autogame, mais la fécondation croisée peut avoir lieu.
Fruit	Baie charnue, de forme globulaire ou aplatie avec un diamètre de 2 à 15 cm. Lorsqu'il n'est pas encore mûr, le fruit est vert et poilu. La couleur des fruits mûrs varie du jaune au rouge en passant par l'orange. En général les fruits sont ronds et réguliers ou côtelés. Graines nombreuses, en forme de rein ou de poire. Elles sont poilues, beiges, 3 à 5 mm de long et 2 à 4 mm de large. L'embryon est enroulé dans l'albumen. 1000 graines pèsent approximativement 2,5 à 3,5 g.

6.6. Les conditions de culture de la tomate

6.6.1. Le climat et le sol

✓ La température et la lumière

La tomate demande un climat relativement frais et sec pour fournir une récolte abondante et de qualité. Cependant, la plante s'est adaptée à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide. La température optimale pour la plupart des variétés se situe entre 21 et 24°C. Les plantes peuvent surmonter un certain intervalle de températures, mais en-dessous de 10°C et au-dessus de 38°C les tissus des plantes seront endommagés.

La tomate réagit aux variations de température qui ont lieu pendant le cycle de croissance (voir tableau 3). Pour donner quelques exemples, cela affecte la germination des graines, la croissance des semis, la floraison, la mise à fruits ainsi que la qualité des fruits. Lorsque des périodes de froid ou de chaleur perdurent pendant la floraison, la production de pollen sera réduite. Ceci affectera la formation des fruits. Le gel tue les pieds de tomates. Pour éviter des dommages de gel, il est prudent d'attendre la

fin définitive de l'hiver avant de semer. Si l'on sème à l'intérieur, il est possible de le faire plus tôt (dans des pots ou des caissettes). L'intensité de la lumière affecte la couleur des feuilles, la mise à fruits et la couleur des fruits. (Shankara *et al.*, 2005)

Tab. 3 : Les températures requises pour les différentes phases de développement d'un pied de tomate d'après Shankara *et al* (2005)

Phases	Température (T°)		
	Min	Intervalle optimale	Max
Germination des graines	11	16-29	34
Croissance des semis	18	21-24	32
Mise à fruits	18	20-40	30
Développement de la couleur rouge	10	20-40	30

✓ L'eau et l'humidité

Une simple astuce permet de déterminer si les réserves en eau disponibles sont suffisantes pour cultiver la tomate. Si des plantes herbacées (des plantes avec de nombreuses feuilles fines) poussent dans le milieu naturel, il sera possible d'y faire pousser des tomates. Il faut pouvoir compter sur au moins trois mois de pluie. Le stress causé par une carence en eau et les longues périodes arides fait tomber les bourgeons et les fleurs et provoque le fendillement des fruits. Par contre, lorsque les averses sont très intenses et l'humidité est très élevée, la croissance des moisissures et la pourriture des fruits seront plus importants. Les temps nuageux ralentissent le mûrissage des tomates. Cependant, des cultivars adaptés sont disponibles. Les sociétés semencières ont des variétés de tomates spécialement adaptées aux climats chauds et humides. (Shankara *et al.*, 2005)

✓ Le sol

La tomate pousse mieux sur la plupart des sols minéraux qui ont une bonne capacité de rétention de l'eau, une bonne aération et qui sont libres de sels. 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.

La tomate tolère modérément un large intervalle de valeurs du pH (niveau d'acidité), mais pousse le 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. En général, ajouter de la matière organique stimule une bonne croissance. Les sols qui contiennent beaucoup de matière organique, comme les sols tourbeux, sont moins appropriés dûs à leur forte capacité de rétention d'eau et à une insuffisance au niveau des éléments nutritifs. (Naika *et al.*, 2005)

✓ Le choix des variétés

La variété qu'il faut choisir dépend des circonstances locales ainsi que du but visé par la culture. On peut distinguer les variétés locales (races locales non améliorées) et les variétés améliorées (ou commerciales). Ces dernières résultent d'un processus continu de sélection de plantes. Les critères de sélection sont basés sur des caractéristiques telles que le type de fruit, la forme de la plante, la vitalité et la résistance aux ravageurs et aux maladies, mais également sur des facteurs liés au climat et à la gestion. Les agriculteurs/trices ont toujours sélectionné les variétés qui donnent le mieux sous les conditions locales. Il ne faut sélectionner que les fruits des plantes les plus performants et garder les pépins issus de ce dernier pour les utiliser comme graines au cours de la saison suivante. Les agriculteurs/trices peuvent produire leurs propres cultivars, mais il s'agit là d'un processus coûteux qui comporte des risques.

Les sociétés d'amélioration des tomates ont produit ce que l'on appelle les hybrides F1. Ce sont des plantes issues de graines qui ont été multipliées par le biais d'une pollinisation manuelle et où les lignées mâle et femelle des parents sont contrôlées. Les variétés résistantes sont des variétés où l'on a incorporé une résistance spécifique qui est présente dans la graine.

Pour une plante comportant une résistance spécifique, il sera très difficile voire impossible d'attraper la maladie en question. Une résistance particulière peut découler de plusieurs caractéristiques différentes. Dans les conditions défavorables de la saison des pluies, ces variétés donnent un rendement plus élevé que la plupart des cultivars importés selon ICAATTRA (1994).

6.7. La production de la tomate

La tomate est cultivée dans de nombreux pays du monde 170 selon la FAO et sous divers climats, y compris dans des régions relativement froides grâce au développement des cultures sous abri. La Chine est de loin le premier producteur mondial avec un peu plus du quart du total (33,6 millions de tonnes), production destinée essentiellement (environ 85%) au marché intérieur pour la consommation en frais. Sur la période 1961-2007, la production mondiale a été multipliée par près de 4, passant de 22,6 à 102,2 millions de tonnes. Cette évolution a été particulièrement forte en Asie, ainsi la Chine a multiplié sa production par 7 dans la même période, l'Inde par 18,5 (Syngenta, 2009).

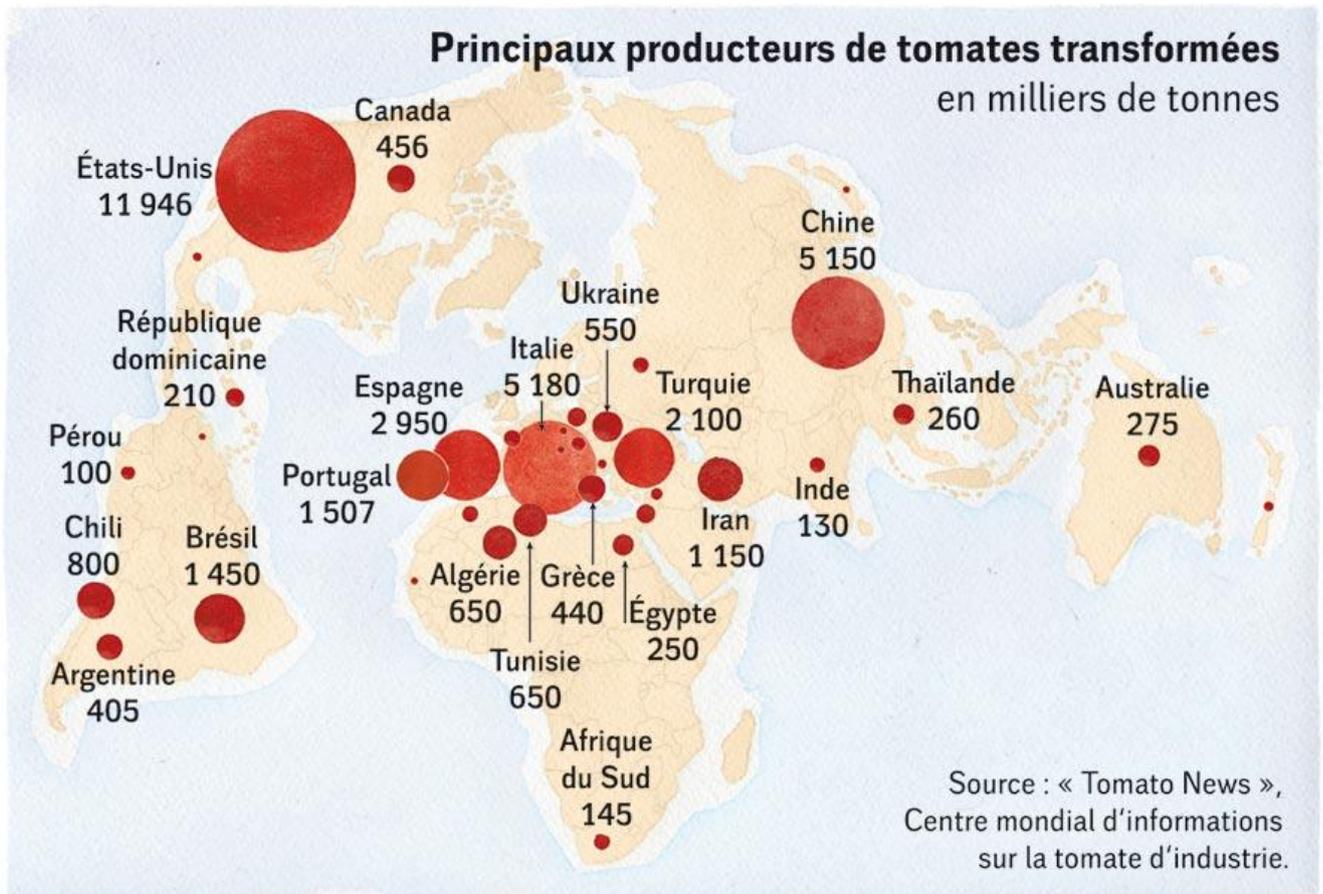


Fig. 13: Principaux pays producteurs de tomate en milliers de tonnes (Tomato News, 2019)

6.8. La culture de la tomate en Algérie :

En Algérie, la culture de la tomate occupe une place privilégiée dans le secteur socio-économique et elle est considérée comme l'une des cultures prioritaires avec une superficie totale avoisinant les 22646 hectares (FAO, 2014). La culture de la tomate a plus de 750 km de Chlef, dans la région de Skikda, Guelma, El-Tarf et Annaba, la principale région de production du pays et la mieux équipée en structures de transformation, des problèmes liés aux disponibilités en eau pourraient entraîner une réduction des quantités récoltées et transformées.

Dans cette région qui assure la majeure partie de l'activité algérienne de transformation, qui devrait atteindre 600 000 tonnes cette année, les surfaces consacrées à la tomate d'industrie auraient par ailleurs enregistré une nette diminution ; selon la direction locale des services agricoles, la région d'El Tarf accueillerait « seulement 2 600 ha pour la saison 2016-2017, alors qu'elle en comptait pratiquement le double (4850 ha) pour 2015-2016 ». (WPTC, 2019) Il ne s'agit que d'un exemple mais il semble bien que les usines de la région n'aient pas été débordées par les livraisons cette année (Fig. 14)

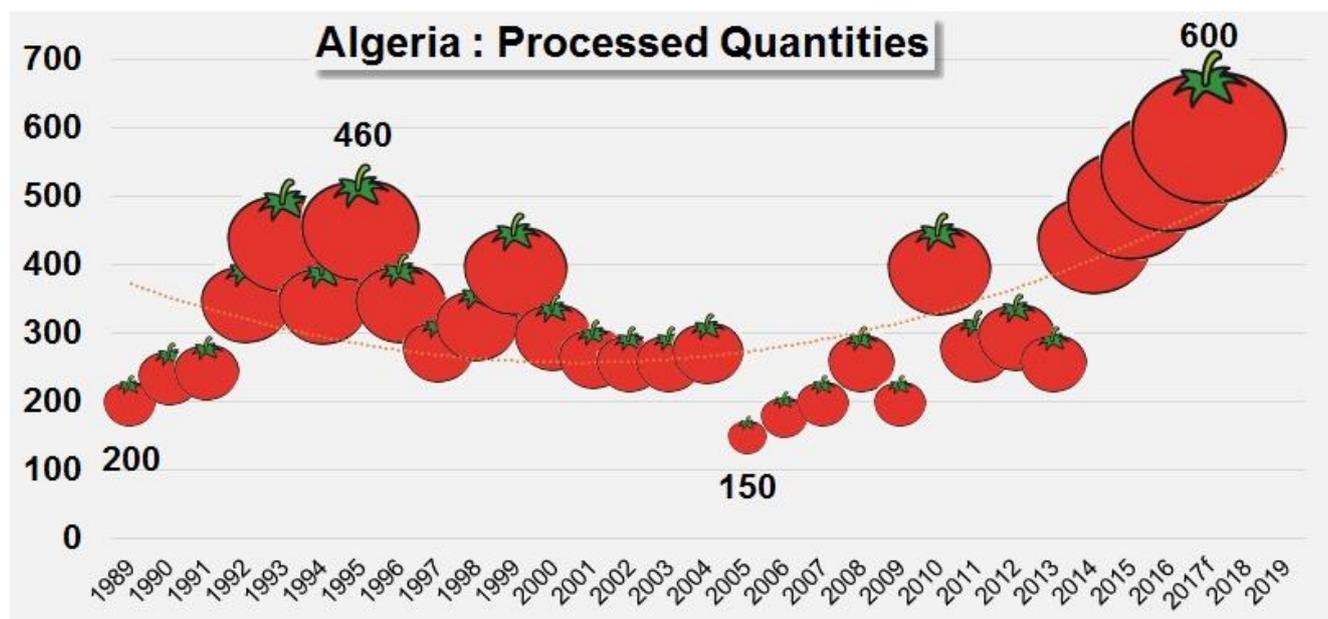


Fig. 14: Evolution des quantités transformées depuis 1989 (WPTC, 2019)

La superficie totale mobilisée par la culture de la tomate d'industrie en Algérie est passée de 12 000 hectares en 2009 à 23 000 hectares en 2015.

6.9. Les bienfaits de la tomate

- C'est une culture potagère à cycle relativement court.
- L'on peut opter pour une période de production courte ou longue.
- La tomate peut être cultivée en champ ouvert et sous abri.
- La tomate s'incorpore bien dans différents systèmes de culture.
- La tomate a une valeur économique élevée.
- Le fruit de la tomate a une teneur élevée en oligo-éléments.
- Les tomates jaunes ont une teneur en vitamine A plus élevée que les tomates rouges, mais les tomates rouges contiennent du lycopène, un antioxydant qui contribue possiblement à la protection vis-à-vis des substances carcinogènes (HDRA, Ryton Organic Gardens).
- Les fruits peuvent être transformés, séchés et mis en conserve

6.10. La récolte et le rendement de la tomate

La cueillette se fait au fur et à mesure de la maturité, de juin –juillet on l'effectue à maturité complète pour consommation immédiate ou pour l'expédition quand le fruit est encore rose, les rendements sont de 40 à 60 tonnes par hectare. (Naika et al., 2005).

6.11. Les maladies et les parasites de la tomate

Les cultures de tomates peuvent être affectées par diverses attaques de ravageurs (insectes, acariens, nématodes, etc.) et de maladies cryptogamiques, bactériennes ou virales par la concurrence de mauvaises herbes et par des accidents de végétation ou des agressions abiotiques, dont l'importance varie selon le type de culture et les conditions climatiques ravageuses et maladies de la tomate sont souvent communs à d'autres espèces de solanacées cultivées, comme l'aubergine ou le tabac (ITCMI, 1994). (Tab.4)

Tab. 4 : Les principales maladies, parasites et insectes de la tomate

Désignation des maladies	Traitement et mesures à Adopter	Produit et doses à utiliser
Botrytis. Cinerea: Efflorescence grisâtre sur parties aériennes Tache circulaire sur les fruits	Pulverization	Benomyl:60gr /l .300gr/ha
Mildiou de la tomate	Pulvérisation préventive sur les jeunes plants et cultures	Manebe:2kg/ha
Maladies à virus Mosaïque de la tomate et du tabac, mosaïque de pomme de terre	Lutte soignée contre les pucerons ; ne pas cultiver les tomates aux abords de pomme de terre , concombre et tabac	BROMOPKOS1.5l à 2l /ha
Parasite et insectes	pulverizations	
Nématodes	Désinfection du sol, il existe des variétés résistantes	Dazomet: (500 à 600kg /ha)

(ITCMI, 1994)

6.12. La tomate et le stress salin :

La tomate, une espèce cultivée dans le monde entier, subit des pertes de productivité importantes en raison de facteurs environnementaux tels que la sécheresse, les inondations, la salinité et la chaleur. (Hortitec, 2018)

Les plantes de tomates arrivent à croître et à se développer dans des conditions de salinité élevée grâce principalement au mécanisme d'ajustement osmotique. Elles adoptent aussi la même stratégie face à la contrainte saline en tolérant une accumulation plus élevée d'ions Mg^{+2} , Na^{+} , SO_4^{-2} et Cl^{-} principalement dans leurs tissus foliaires. La teneur en potassium, même assez faible, suffit à assurer les besoins de croissance. (Snoussi and Abbad, 2012)

La forme de combinaison magnésium - sulfate participe à une meilleure résistance de la tomate aux conditions salines du fait que l'absorption hydrominérale est facilitée par rapport à celle de la combinaison chlorure-magnésium. Enfin, ces résultats seront d'un apport important pour participer à une meilleure conduite de la tomate dans les zones semi-arides et arides où la qualité des eaux fournies pour l'irrigation est défavorable à l'irrigation. (*Ould Djeh et al., 2006*)

La réaction des plantes à la salinité se fait par des modifications adaptatives morphologiques, anatomiques, structurales et métaboliques. Pour détecter la tolérance des plantes à la salinité, il est intéressant de disposer de moyens précis et simples. (Snoussi and Abbad, 2012)

Chez les espèces végétales, glycophytes comme la tomate, la salinité du milieu entraîne, à partir d'un certain seuil, une réduction de la biomasse. Néanmoins, le degré d'inhibition de la croissance dépend du genre, de l'espèce, de la variété, ainsi que du stade de développement de la plante et de la nature de l'organe (Snoussi and Halitim, 1998).

L'accumulation de la proline montre que les plantes de tomate accumulent ce composé protéinique dans les différents organes (racines, tiges et feuilles) dans des proportions variables. Cette accumulation varie d'un organe à un autre, d'une espèce à l'autre, selon la nature et l'intensité du stress. (Snoussi and Abbad, 2012).

Chapitre II: Matériels et méthodes

II. Matériel et méthodes

Le stress salin a un impact négatif sur le comportement de la plante, pour bien analyser, des essais en conditions contrôlées ont été réalisés. Le semis des graines de tomate s'est effectué en boîte de pétri puis le repiquage des plants a été effectués en pot sous une chambre de culture, dans le but de déterminer la relation des protéines avec ces grandes fonctions : histo-morphologiques et physio-biochimique sur deux variétés de tomates industrielles « Rio Grande, Heinz » soumises sous contrainte saline.

1. La conception expérimentale :

Une expérience factorielle a été réalisée en dispositif complètement randomisé avec deux variétés de tomates *Lycopersicum esculentum* Mill var : Rio Grande, Heinz traités avec quatre niveaux de salinité (S₀, S₁, S₂, S₃). Ces géotypes ont fait l'objet de quatre répétitions (R₁, R₂, R₃, R₄) donc ce travail a été exécuté sur « 32 » unités expérimentales.

2. Le matériel végétal utilisé

Les variétés de tomates testées lors de cet essai sont deux variétés industrielles fixes : Rio Grande et Heinz (1350) dans quelques caractéristiques sont énumérés dans le (Tab.5).

Tab. 5 : Les caractéristiques du matériel végétal étudié.

Caractéristiques	Rio Grande	Heinz (1730)
pays d'origine :	États-Unis	États-Unis
Maturité	150 jours	80-100jours
Viscosité	5,5 à 5,7	5,7
Forme du fruit	Ronde légèrement allongée	Rouge aplatis
Poids du fruit	100gr	150 gr
Fermentée	Molle	Excellente
Rendement (Qx/Ha)	240	300 à 350
Résistance aux maladies	V, F1 et F2 Alternaria	<i>Fusarium</i>
Destination	Double fin	Marché au frais et concentré

Rio Grande (Harris Moran Seeds Company, 2000); Heinz 1730 (Atlas Seeds Incorporation, 2001)



Fig. 15: La variété Rio Grande



Fig. 16: La variété Heinz 1730

3. Les traitements proposés et les répétitions composées

3.1. Les traitements proposés :

Le pH de la solution Hoagland a été ajusté avec quelques gouttes d'H Cl ou K Cl à (6,5-7), après l'addition des traitements proposés

Les codes des concentrations	La concentration (mMol)	La nature du sel
S0	0	0
S1	25	Na Cl
S2	50	Na Cl
S3	150	Na Cl

3. 2. La distribution des unités expérimentales et les répétitions composées

	Rio Grande				Heinz 1730			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
R ₁	RR ₁ S ₀	RR ₁ S ₁	RR ₁ S ₂	RR ₁ S ₃	HR ₁ S ₀	HR ₁ S ₁	HR ₁ S ₂	HR ₁ S ₃
R ₂	RR ₂ S ₀	RR ₂ S ₁	RR ₂ S ₂	RR ₂ S ₃	HR ₂ S ₀	HR ₂ S ₁	HR ₂ S ₂	HR ₂ S ₃
R ₃	RR ₃ S ₀	RR ₃ S ₁	RR ₃ S ₂	RR ₃ S ₃	HR ₃ S ₀	HR ₃ S ₁	HR ₃ S ₂	HR ₃ S ₃
R ₄	RR ₄ S ₀	RR ₄ S ₁	RR ₄ S ₂	RR ₄ S ₃	HR ₄ S ₀	HR ₄ S ₁	HR ₄ S ₂	HR ₄ S ₃

L'étude a été mise en pratique sur «32 » unités expérimentales.

4. Les conditions et le mode de culture

L'expérimentation est conduite dans des conditions semi-contrôlées, dans une chambre de culture à la l'université des Frères Mentouri, à 25°C sous une photopériode de 16h de lumière / 8h d'obscurité et de 60±10% d'humidité relative pour l'émission des premières racines et feuilles, Constantine 1, dans un milieu hydroponique (une culture des plantes hors-sol).

La culture hydroponique consiste à émerger la partie racinaire de la plante dans un milieu chimique, ce mode de culture, a été choisi car il permet : un meilleur contrôle et une meilleure homogénéisation de l'apport minéral, l'obtention des racines saines, indemne de toute perturbation pouvant interférer avec la réponse propre des plantes (Dubois, 2001), et permet aussi d'éviter les contraintes du sol, ce qui permet une croissance rapide et un bon développement des plantes dans des conditions totalement contrôlées. En culture hydroponique, on doit tout d'abord germer les plantes jusqu'à obtention des racines pour pouvoir apporter les éléments minéraux qui se trouvent au niveau de la solution nutritive.

4.1. La préparation de la solution nutritive

Pour tous les avantages apportés par cette culture, on a choisi le milieu « Hoagland » qui est constitué d'une quantité précise de macroéléments, microéléments et du fer chélaté avec l'EDTA, dissout dans un volume d'eau déterminé pour satisfaire les besoins des plantes. Pour la préparation du milieu de culture, nous avons utilisé des solutions mères suivantes (Tab. 6) :

Tab. 6 : Solution nutritive de Hoagland

Composition	concentration
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	236.1 g/l
KNO ₃	101.1 g/l
KH ₂ PO ₄	136.1 g/l
MgSO ₄ .7H ₂ O	246.5 g/l
Trace elements (make up to 1 l)	
H ₃ BO ₃	2.8 g
MnCl ₂ .4H ₂ O	1.8 g
CuSO ₄ .5H ₂ O	0.1 g
ZnSO ₄ .7H ₂ O	0.2 g
NaMoO ₄	0.025 g
FeEDTA (200 ml)	
EDTA	2.08 g
FeSO ₄	1.56 g
KOH	11.22 g

(Hoagland and Aron, 1950)

5. Le mode de culture et condition de croissance

5.1. La germination

Les graines sont traitées pendant 10 minutes dans une solution à 50 % d'hypochlorite de sodium, puis lavées et rincées à l'eau distillée en trois reprises. Laissées sécher à l'air libre pendant une demi-heure, les graines sont transférées par la suite dans des boîtes de pétri tapissées de papier-filtre en proportion de 4 répétitions de 20 graines par boîte en présence de concentrations suivantes de NaCl : (S0 : 0, S1 : 25, S2 : 50, S3 : 150) mMol.

Dans des conditions contrôlées de température, humidité et éclairage, le nombre de graines germé dans chacune des concentrations est prélevé toutes les 24 heures pour l'évaluation de l'effet de concentrations croissantes de NaCl sur le pourcentage de germination.

Le comptage des graines est effectué à 24h d'intervalle, afin de déterminer le taux de germination, avec ou sans NaCl. Les observations ont porté sur deux stades de germination des graines, à 48 h et 96 h du semis.

- ❖ **Le taux de germination (Tg%)** est exprimé par le rapport du nombre de graines germées sur le nombre total de graines. (Djavanshir and Pourbeik, 1976)

$$Tg\% = 100(XT / N)$$

XT : est le nombre total de graines germées

N : le nombre total des graines mises à germer.

5.2. La mise en pot et le suivi expérimental

Au stade 3-4 feuilles, les plantules sont transplantées dans des pots en plastique remplis de solution nutritive en présence et en absence du NaCl aux concentrations (S0 : 0 ; S1 : 25 ; S2 : 50 et S3 : 150) mMol. Les milieux culture sont aérés puis renouvelés régulièrement.

À l'apparition des premières feuilles, la fréquence d'arrosage est de deux fois par semaine avec un taux de 60 % de la capacité de rétention (soit 114 ml par pot). Cet apport est renouvelé pour éviter l'épuisement des éléments nutritifs et l'accumulation des sels dans le substrat par évaporation de l'eau chaque quinze jours.

Après un séjour de 80 jours (stade de 5 à 8 feuilles) dans le milieu hydroponique, les plantules sont retirées et on a calculé dans la première étape sur la cinquième feuille, quelques paramètres morphologique et physiologique de la partie aérienne et souterraine, et dans la deuxième étape quelques paramètres biochimiques et histologiques. Cette expérience a été répétée 4 fois pendant chaque étude.

5.3. L'étude analytique et paramètre mesuré

5.3.1. L'étude morphologique

❖ Les paramètres morphologiques de la partie aérienne sont les suivantes :

- La surface foliaire (S_f « cm^2 »)
- Le poids spécifique foliaire (P_{sf} « mg/cm^2 »)
- Le nombre des feuilles (N_f)
- La longueur des tiges (L_t « cm »).
- Le poids frais total (P_{ft} « mg »)

-La surface foliaire (S_f « cm^2 »)

La surface foliaire qui concerne la troisième feuille, est mesurée à l'aide d'un planimètre électronique AM350, selon la formule :

$$S_f (\text{cm}^2) = L (\text{cm}) \times I (\text{cm}) \times k$$

L = longueur de la feuille

I = Largeur de la partie médiane

$K = 0,746$ (Prévot *et al.*, 1991)

-Le poids spécifique foliaire (P_{sf} « mg/cm^2 »)

Les feuilles sont pesées immédiatement pour obtenir le poids frais (PF) puis avec les mêmes feuilles on a déterminé la surface foliaire (SF) selon la méthode de (Paul *et al.*, 1979). Le poids spécifique foliaire (PSF) est déterminé par la formule suivante (Araus *et al.*, 1998 in Zeghida *et al.*, 2004) :

$$P_{sf} (\text{mg}/\text{cm}^2) = P_f / S_f$$

- Le nombre des feuilles (N_f)

On a procédé au comptage des feuilles formées pour chaque plant

-La longueur des tiges (L_t « cm »)

Cette mesure a été effectuée à l'aide du papier millimétrique (mm)

- Le poids frais total (P_{ft} « mg »)

Les pesés de la masse fraîche totale (la partie aérienne et racinaire) sont effectués à l'aide d'une balance électronique de précision, du type Model- Citizen XK3190-A7M

❖ **Les paramètres morphologiques de la partie souterraine sont les suivants :**

On a séparé la partie aérienne et la partie racinaire après séchage pendant 48 heures à 80 °C, pour déterminée :

-Le poids frais de la racine (Pfr mg) :

À l'aide d'une balance électronique de précision, du type Model- Citizen XK3190-A7M.

-La biomasse racinaire (Br) par unité de volume du milieu (Br/Uvm mg/cm³) :

La masse racinaire par unité de volume du milieu est égale à la biomasse racinaire fraîche par unité de volume du milieu :

$$\mathbf{Br / Uvm = Brf / 20}$$

Brf : Biomasse racinaire fraîche

20 = représente le volume total du milieu (cm³).

-Le rapport de la biomasse sèche racinaire/biomasse sèche aérienne (Bsr/Bsa)

Les plantes sont coupées au collet (séparation des racines des parties aériennes) ; les deux parties sont pesées après un passage à l'étuve à 80°C pendant 48 heures pour déterminer le poids sec de chaque partie.

- Bf : biomasse fraîche de la matière d'échantillon
- Bs : biomasse sèche de la matière d'échantillon
- Bt : biomasse de l'échantillon à la pleine turgescence

- L'indice de tolérance à la salinité (Its)

L'indice de tolérance à la salinité est calculé par le rapport entre la biomasse sèche racinaire obtenue sur NaCl et celle obtenue sur le milieu dépourvu de salinité (témoin).

$$\mathbf{Its = Bsr \text{ traitement salin} / Bsr \text{ du traitement non traité (témoin)}}$$

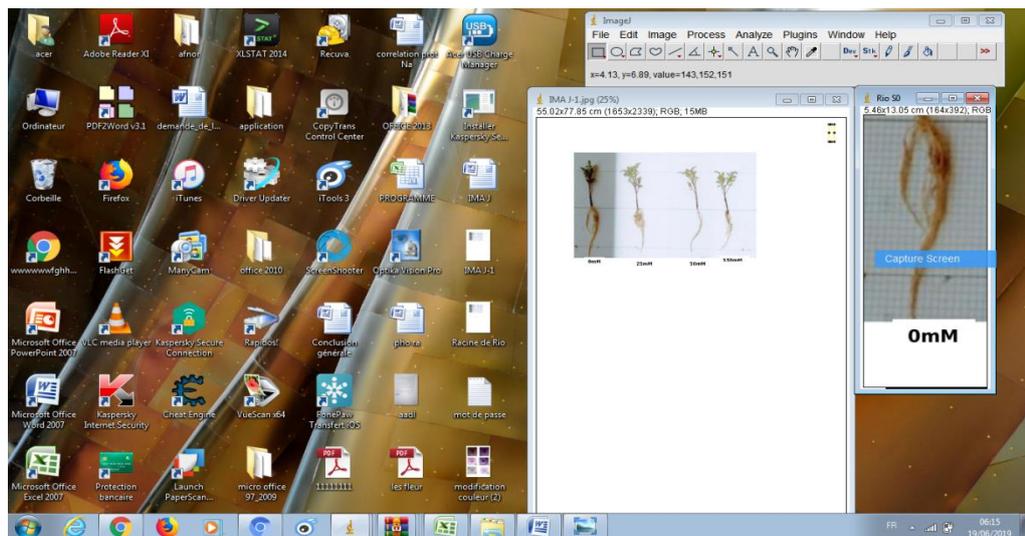
- La surface racinaire (Sr « cm² ») :

Des photos sont réalisées pour évaluer et comparer la densité du système racinaire des plantes des deux variétés cultivées dans la solution nutritive soumise au stress salin au stade 5 feuilles.

Afin de déterminer la surface racinaire de nos deux variétés, les images du système racinaire sont traitées à l'aide du logiciel ImageJ. Les étapes à suivre pour déterminer la surface racinaire à l'aide du logiciel ImageJ :

- **L'ouverture du fichier puis sélection de la photo à analyser :**

- Délimiter la racine à mesurer :



5.3.2. L'étude physiologique

- La teneur relative en eau totale (Tre t « % »)

La teneur en eau (Tre t) est calculée par différence entre le poids de la matière fraîche (Pf) de l'échantillon et son poids de matière sèche (Ps), les feuilles et les tiges des plantes coupées au collet sont séparées, après passage à l'étuve pendant 48 h à 80°C. Les échantillons ont été pesés, à des intervalles de temps réguliers, jusqu'à obtention d'un poids constant. (Turner, 1981)

$$\text{Tre t (\%)} = [(Pf - Ps) / (Pt - Ps)] \times 100$$

-La teneur relative foliaire (Tre f « % »)

La teneur relative en eau de la feuille a été déterminée par la méthode décrite par Barrs, (1968). Selon cette méthode, les feuilles sont coupées à la base du limbe, elles sont pesées immédiatement pour obtenir leur poids frais (Pf). Ces feuilles sont mises par la suite dans des tubes à essai remplis d'eau distillée et placées à l'obscurité dans un endroit frais, après 24h les feuilles sont retirées, passées dans un papier buvard pour absorber l'eau de la surface, pesées de nouveau pour obtenir le poids de la pleine turgescence (Pt). Les échantillons sont enfin mis à l'étuve réglée à 80°C pendant 48 heures et pesés pour avoir leur poids sec (Ps). La teneur relative en eau est calculée par la formule suivante (la formule de Clark and Mac-Caig, 1982)

$$\text{Tre f (\%)} = [(Pf - Ps) / (Pt - Ps)] \cdot 100$$

- Le taux de la chlorophylle totale (Ch t « unité de SPAD »)

Le taux de chlorophylle au niveau des feuilles a été mesuré à l'aide d'une chlorophylle mètre SPAD 502 de Minolta Spectrum (Technology Inc., IL. USA, Photo. 1) (Nouri, 2002). C'est un

radiomètre manuel dont la mesure correspond à un rapport entre les réflectances de la feuille dans le rouge (650 nm) et le proche infrarouge (940nm). Les mesures sont effectuées sur l'avant- dernière feuille. Trois mesures, en unités arbitraires, sont prises par plantule.



Photo 1. Chlorophylle-mètre Minolta (SPAD 502)

- La teneur du Na^+ et K^+ dans les deux parties aériennes et racinaires

a. Le principe de la minéralisation:

- Lors du prélèvement, les racines et feuilles sont rincées à l'eau distillée.
- Le matériel frais est placé à l'étuve pendant 24 heures à 400° C.
- 50 mg de matériel sec sont pesés et placés dans une fiole jaugée de 10 ml.
- 4 ml d'acide nitrique à 35% sont ajoutés et les fioles sont placées sur un bain de sable jusqu'à dissolution complète de la matière organique et obtenir un extrait clair.
- La température est progressivement augmentée afin de permettre l'évaporation complète de l'acide nitrique.
- Lorsque les échantillons sont secs, les éléments minéraux sont remis en suspension dans 10 ml d'acide chlorhydrique à 0.1 N et filtrés avec un papier filtre WHATMAN.
(Chapman and Pratt, 1966)

b. le dosage des ions :

Une flamme air-butane pour les dosages du potassium et du sodium (Didier S A and Cas, 1966)

- Le dosage est effectué par spectroscopie à absorption atomique.

- Longueur d'onde pour l'émission du potassium = 768 nm et du sodium = 589 nm
- Les valeurs obtenues en (ppm) sont converties en pourcentage par la formule suivante :

$$\% (\text{Na}^+ \text{ et } \text{K}^+) = \left(\frac{n}{v} \right) \times \left(\frac{v}{10^4} \right) \times P = \text{en g.100 g}^{-1} \text{ de M.S. (David and kaya, 2003)}$$

n : un chiffre gluonométrique

D : dilution= 1

V : volume d'extraction= 100ml

P : poids de l'échantillon



Photo. 2 : Spectrophotomètre à flamme (CFI UV 0001)

5.3.3. L'étude biochimique

Les paramètres biochimiques consistent à mesurer les quantités des constituants des organes biologiques en général sucres solubles ; protéines totales ; acide aminé: proline.

-Le dosage de la proline (Prol « µg/ 100 mg Mf »)

La proline ou acide pyrrolidine 2-carboxyliques est l'un des vingt principaux acides aminés qui entrent dans la constitution des protéines. La proline est facilement oxydée par la ninhydrine ou tricéthohydrindène. C'est sur cette réaction que se base le protocole de mise en évidence de la proline dans les échantillons foliaires (El Jaafari, 1993). La méthode suivie est celle de Troll and Lindsley, (1955), simplifiée et mise au point par (Rasio *et al.*, (1987). Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche dans des tubes à essai contenant 2 ml de méthanol à 40%. Le tout a été chauffé à 85°C dans un

bain-Marie pendant 60 minutes. (Les tubes sont recouverts de papier aluminium pendant le chauffage pour éviter la volatilisation de l'alcool.) Après refroidissement ; on prélève 1 ml d'extraits auquel il faut ajouter :

- 1 ml d'acide acétique (CH_3COOH) ;
- 25 mg de ninhydrine ($\text{C}_6\text{H}_6\text{O}_4$) ;
- 1 ml de mélange contenant : 120 ml d'eau distillée ; 300 ml d'acide acétique ; 80 ml d'acide orthophosphorique (H_3PO_4 , d=1.7).

La solution obtenue a été portée à ébullition pendant 30 minutes à 100°C , la solution vire au rouge, après refroidissement, 5 ml de toluène sont rajoutés à la solution qui est agitée, deux phases se séparent (une phase supérieure à la couleur rouge contient la proline et une phase inférieure transparente sans proline). Après avoir éliminé la phase inférieure, la phase supérieure est récupérée est déshydratée par l'ajout d'une spatule de sulfate de Sodium Na_2SO_4 anhydre (pour éliminer l'eau qu'elle contient). On détermine la densité optique (Do) à l'aide d'un spectrophotomètre (type 20D) sur une longueur d'onde de 528nm.

Les valeurs obtenues sont converties en taux de proline par le biais d'une « courbe d'étalonnage », préalablement établie à partir d'une série de solutions de concentration en proline connue. Cette courbe est utilisée pour déterminer les teneurs en proline dans les feuilles des plantes. (Fig. 17)

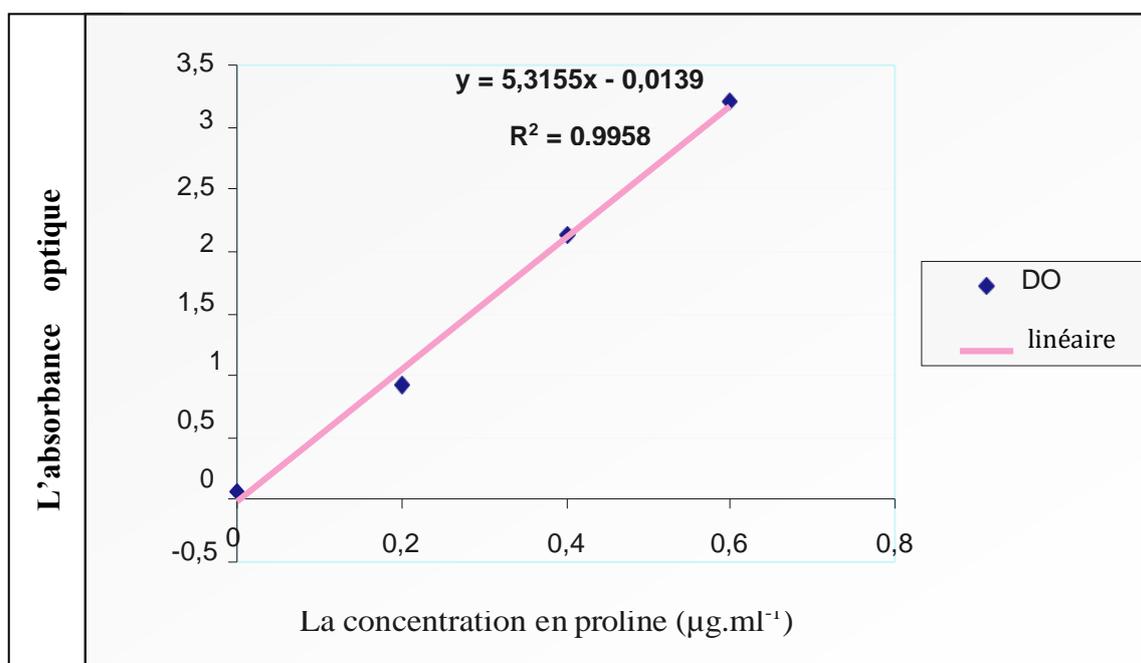


Fig. 17 : Courbe d'étalonnage de la proline

- Le dosage des sucres solubles dans les feuilles (Suc « $\mu\text{g}/100\text{mg}$ Mf »)

Les sucres solubles totaux (saccharose, glucose, fructose, leurs dérivés méthyles et les polysaccharides) sont dosés par la méthode au phénol de Dubois *et al.*, (1956). Elle consiste à prendre 100 mg de matière fraîche, placées dans des tubes à essai, on additionne 3 ml d'éthanol à 80% pour faire l'extraction des sucres. On laisse à température ambiante pendant 48h à l'obscurité. Au moment du dosage les tubes sont placés dans l'étuve à 80°C pour faire évaporer l'alcool. Dans chaque tube on adjoint 20ml d'eau distillée à l'extrait. C'est la solution à analyser. Dans des tubes à essai propres, on met 2ml de la solution à analyser, on ajoute 1ml de phénol à 5% (le phénol est dilué dans de l'eau distillée); on joint rapidement 5ml d'acide sulfurique concentré 96% tout en évitant de verser de l'acide contre les parois du tube. On obtient, une solution jaune orange à la surface, on passe au vortex pour homogénéiser la couleur de la solution. On lâche les tubes pendant 10 minutes et on les place au bain-Marie pour 10 à 20 minutes à une température de 30°C (La couleur de la réaction est stable pendant plusieurs heures.). Les mesures d'absorbances sont effectuées à une longueur d'onde de 485 nm. Enfin des résultats des densités optiques sont rapportés sur une courbe d'étalonnage des sucres solubles (exprimés en glucose). (Fig.18)

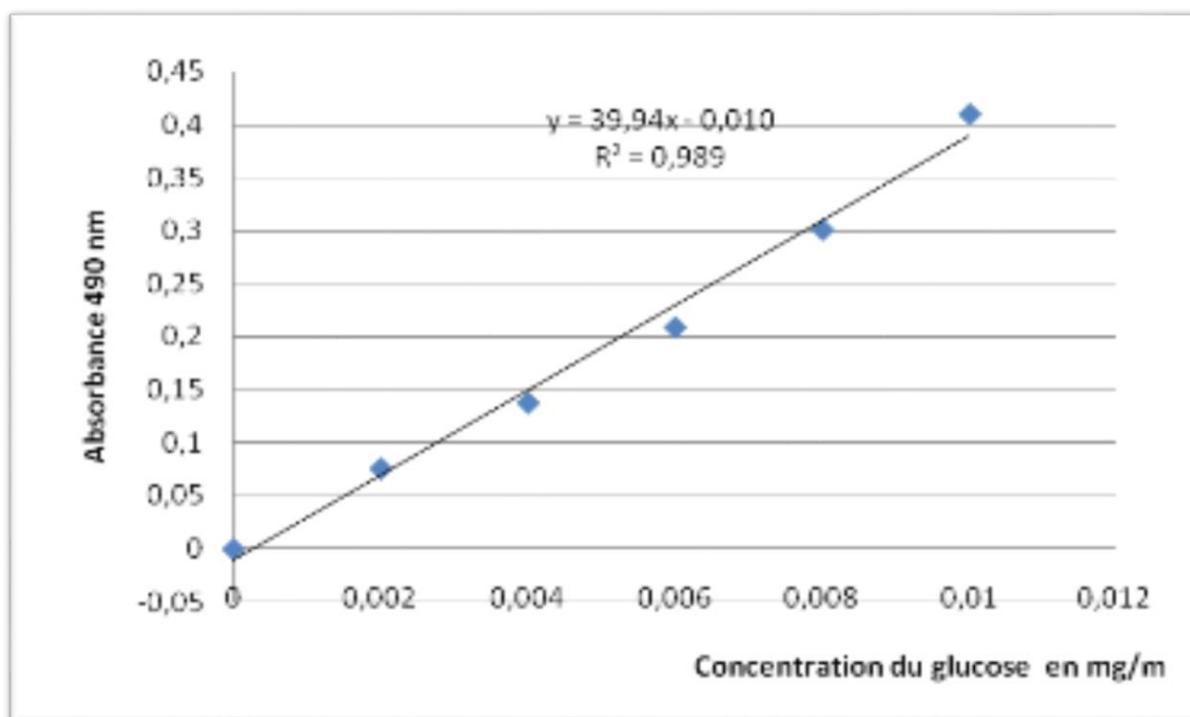


Fig. 18: Courbe d'étalonnage des sucres solubles.

- L'analyse des protéines totales foliaire par SDS-PAGE

a. Le principe

L'électrophorèse a pour but de séparer des molécules chargées au travers d'un gel (un polymère) sous l'effet d'un champ électrique (*Dicko et al., 2006*). L'une des variantes les plus répandues de l'électrophorèse est l'électrophorèse sur gel de polyacrylamide en présence du sodium dodécyl sulfate (SDS-PAGE) décrite par Ulrich Laemmli en 1970 et qui est utilisée pour séparer les protéines en fonction de leur poids moléculaire (*Dicko et al., 2006*).

b. L'extraction des protéines foliaires totales (Prot) :

Les feuilles de deux variétés de tomates ont été utilisées pour la SDS-PAGE. Plusieurs méthodes d'extraction ont été utilisées, la méthode qui a donné des résultats fiables est celle citée par de Leonardis *et al., (2007)* :

- Broyage de 100 mg de matière fraîche (feuilles) dans un mortier avec de l'azote liquide.
- Ajout de 1 ml de solution A (Solution de précipitation). (Annexe. 1).
- Incubation pendant 1 heure à -20°C.
- Centrifugation de 15 min à 13 000 trs.
- Elimination du surnageant.
- Lavage des culots par 1 ml de la solution B (solution de rinçage). (Annexe. 1)
- Incubation pendant 1 heure à -20°C. (Faire une petite centrifugation si le culot s'est détaché).
- Elimination du surnageant.
- Séchage de culots dans l'étuve à 60°C pendant 2 à 3 min (il ne faut pas qu'ils soient trop secs).
- Réduire en poudre les culots (à l'aide d'une baguette en verre).
- Solubilisation de la poudre obtenue dans 100 cl de *Laemmli buffer* (Annexe.1) en vortexant et en mettant à 100°C pendant 5 min.
- Centrifugation de 10 min à 10 000 t/min.

c. Le dosage effectué

Par la technique effectuée de Leonardis *et al., (2007)*

la préparation de la solution Bradford est la suivante:

- 100 g de bleu de Coomassie G 250 (Serva)
- 50 ml d'éthanol à 95%, 4 heures d'agitation (filtre)
- 100 ml d'acide phosphorique 85% ;
- Compléter à 1000 ml H₂O.

- 2 ml de réactif de Bradford sont ajoutés aux extraits à 100 μl .
- La solution obtenue est agitée, la densité optique est lue après 2 minutes de réaction dans les mêmes conditions que pour la courbe d'étalonnage.
- La densité optique du mélange est mesurée à 595 nm.
- La teneur en protéines est déterminée de la façon suivante (Bradford, 1976) :

(μg de protéines. Gramme⁻¹ de matière fraîche)

Où Q = quantité de protéines lue sur la courbe (en μg)

δ = dilution 1/21 (100 μl d'extrait pour 2100 μl du volume final).

P = poids de l'échantillon en gramme

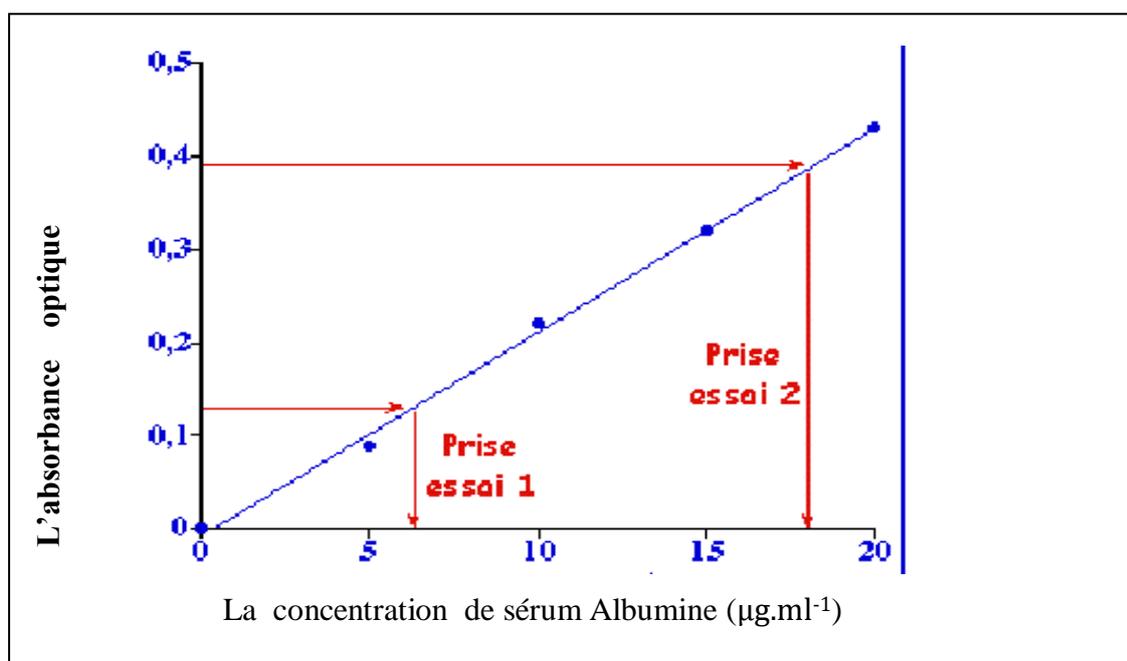


Fig. 15 : Courbe d'étalonnage des protéines

e. Les conditions de migration :

La migration a été réalisée ensuite selon Laemmli, (1970) in *Dicko et al.*, (2006) sur un gel (T= 15%, C = 0.027 sous ampérage constant de 80 mA).

Le premier puits de chaque gel a été consacré aux marqueurs de poids moléculaire : Kit LMW Ge Healthcare UK (Tab. 8).

Tab. 8: Composition du Kit LMW.

Protéine	Poids moléculaire (KDa)
Phosphorylase b	97
Albumine sérique bovine	66
Ovalbumine	45
Carbonique anhydrase	30
Inhibiteur de la trypsine	20.1
Q-Lactalbumine	14.4

f. La révélation

La révélation a été faite par coloration et fixation pendant toute une nuit dans une solution de coloration. (Annexe. 1). La décoloration a été réalisée par plusieurs rinçages à l'eau distillée.

g. Le traitement des données

Les photos des gels obtenus ont été analysées par le logiciel **Photocapt 8**. Qui donne le poids moléculaire en fonction du marqueur du poids (LMW). La présence des bandes est codée par « 1 » et leur absence par « 0 »

5. 3. 4. L'étude histologique

Nous avons utilisé comme technique histologique: la technique des coupes à main levée. Cette dernière a été réalisée sur des racines et feuilles de tomate fixées par le FAA selon les étapes suivantes (Gabe, 1968) :

- Les racines et les feuilles sont sectionnées de façon à obtenir des coupes transversales à l'aide d'une lame à bistouri. Les sections transversales doivent être fines et parallèles sur le plan de coupe.
- Les coupes réalisées sont colorées en utilisant le carmin aluné et le vert de méthyle. L'ensemble est fixé par une lamelle et les mesures ont porté sur la zone subérifiée.
- Le matériel est introduit dans un tube à essai contenant un fixateur de FAA (formole, acide acétique).
- Par ailleurs les échantillons sont lavés à l'eau courante pendant un temps égal à la durée de fixation (24 heures).
- La déshydratation est réalisée par passages successifs dans bains d'éthanol à concentration croissante de 50, 90 et 100%, le fragment végétal perd l'eau de son contenu cellulaire

- L'imprégnation consiste à immerger l'échantillon avec un mélange égal (50%, 50%) de toluène et de paraffine, l'ensemble est mise dans une étuve à 80°C pendant 4 h. pour une première étape. La deuxième est réalisée uniquement à base de paraffine pure afin d'éliminer le toluène du fragment végétal l'ensemble est remise à l'étuve à 80°C pendant une nuit. (Gabe, 1968 ; Nezelof et *al.*, 1972)
- L'inclusion est la phase de réalisation des blocs de paraffine pure dans lesquels sont placés les échantillons. Ces blocs sont fixés sur un microtome motorisé du type LEICA RM 2145 pour la réalisation des coupes avec une épaisseur de 7 µm. (Photo. 3)
- Une fois obtenues, les coupes sont placées sur des lames étalées on ajoute une à deux gouttes d'eau gélatinée assurant une adhésion totale de l'échantillon sur la lame.
- Le déparaffinage est réalisé par deux passages de bain de toluène: un premier chaud afin d'éliminer la paraffine et un deuxième 24 heures après pour éviter le détachement des coupes. La coloration à l'aide d'un colorant à base de carmin aluné et de vert de méthyle où les coupes sont trempées pendant 10 minutes, puis retirées et lavées à l'eau courante. Une à deux gouttes de baume de Canada dissoute dans du toluène sont étalées sur la lame, renforçant la transparence optique, la conservation de la coupe et intensifie la coloration.
- Les coupes sont enfin colorées au vert de méthyle et observées au microscope optique « Olympus» (photo. 4) (Gabe, 1968)



Photo. 3 : Le microtome motorisé modèle (LEICA 2145)



Photo. 4: Le microscope optique « Olympus »

6. L'étude statistique

Afin de définir et de mettre en évidence l'importance des paramètres analysés chez les deux variétés de tomates. Une analyse en composantes principales (ACP) a été réalisée dans le but et de mettre en valeur les facteurs étudiés présente par une matrice de corrélation et identifier le paramètre le plus performant vis- à- vis à la salinité et son effet sur les individus étudiés, ce dernier a été traité par une analyse de la variance à deux facteurs à l'aide d'un progrès statistique (Excel 2017) pour séparer les groupes homogènes observer selon le test de Newman – Keuls au seuil de 1% et 5% .

Chapitre III: Résultats et discussion

1. L'analyse descriptive des effets qualitatifs de la salinité sur les géotypes étudiés :

1.1. L'analyse descriptive au niveau de la matrice de corrélation :

Les coefficients de corrélation entre les paramètres étudiés sont illustrés dans le (Tab. 9). Les résultats de la matrice de corrélation (Tab.9) montre la plus grande corrélation significative positive entre ($Na^+ f / Csf$) avec ($r = 0.9616$) de même pour la plus grande corrélation significative négative entre ($Sr / Na^+ r$) avec ($r = -0.9434$) (Fig. 19 a - 19b).

En effet la plus grande corrélation positive entre la composante principale (Prot) et la biomasse sèche aérienne (Bsa) avec ($r = 0.790$) et la plus grande corrélation négative entre (Prot) et le sodium des feuilles (N^+f) avec ($r = -0.830$). Bien que les autres corrélations varient entre ($r = 0.0375, 0.7321$ et $r = -0.0411, -0.7598$) (Tab. 9).

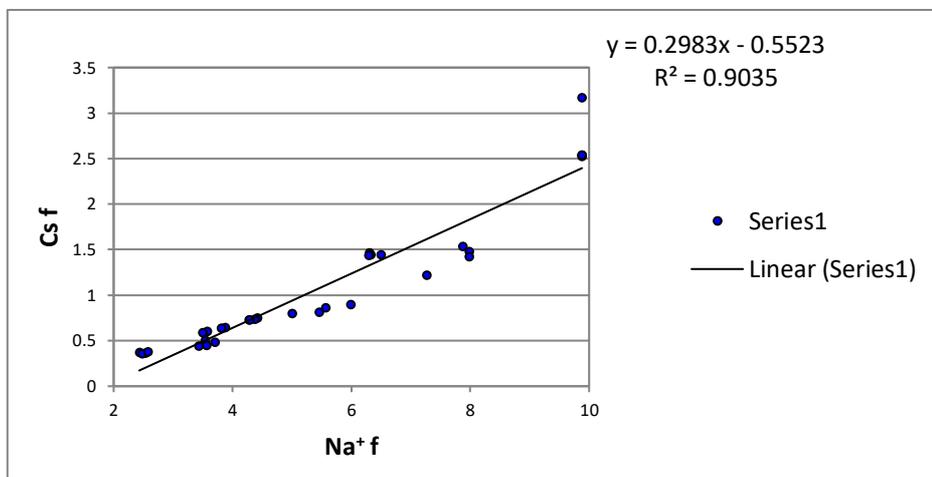


Fig. 19a : l'effet de la salinité sur la relation entre le sodium foliaire ($Na^+ f$) et le coefficient de sélectivité foliaire (Csf)

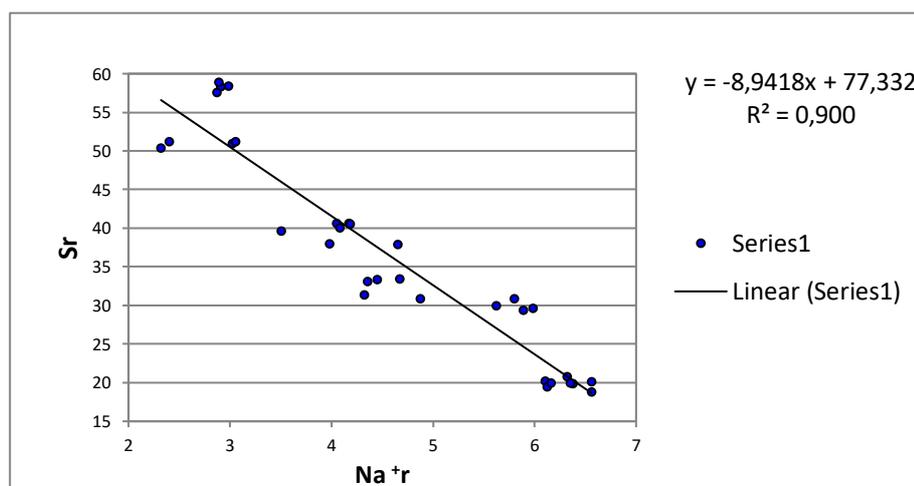


Fig. 19b : l'effet de la salinité sur la relation entre le sodium racinaire ($Na+r$) et la surface racinaire (Sr)

1. 2. L'analyse descriptive au niveau du cercle de corrélation :

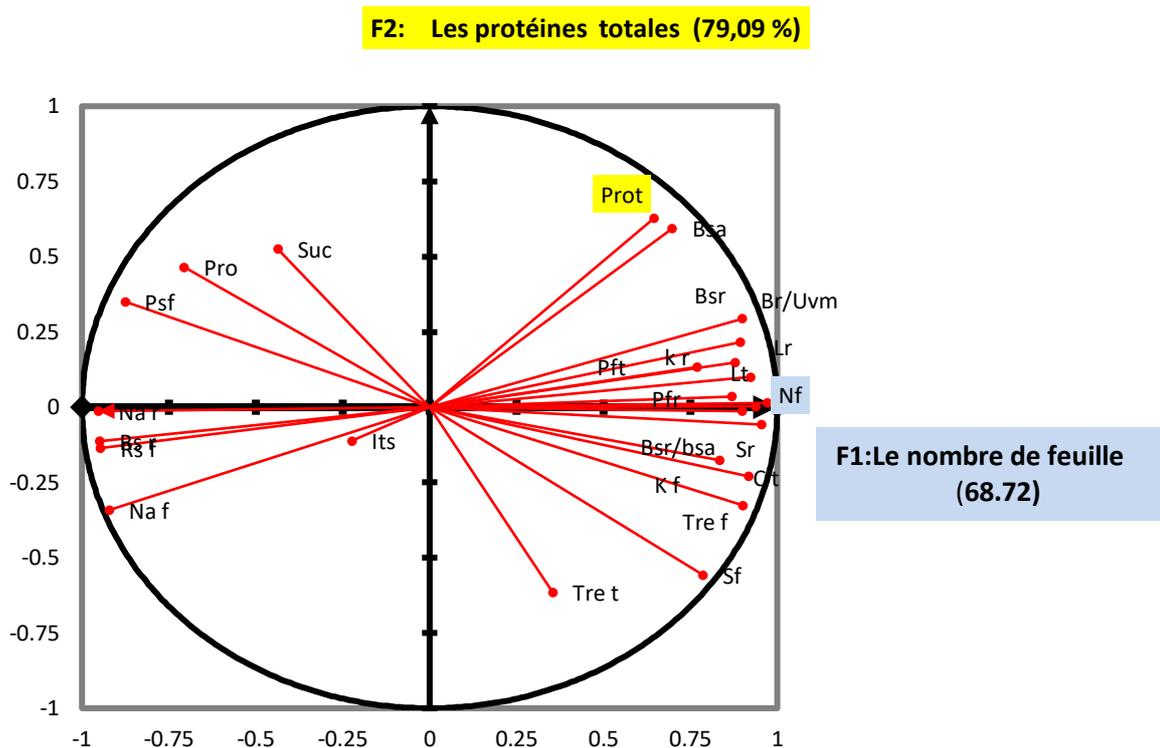


Fig. 20 : Le cercle de coefficient des corrélations des caractères sous des conditions salines.

D'après le cercle de corrélation (Fig.20), la teneur en protéines « Prot » est la plus représentative aux individus avec 62.86% en comparant avec les autres paramètres étudiés, ceci qui contribue à la formation de l'axe principale F2 avec un cumulé de 79.09% en comparant avec l'axe principal F1 avec un cumulé 68.72% représenté par le nombre de feuille « Nf ».

Tab.9: L'efficacité des variables estimées sur les deux génotypes de tomates dans la représentation des deux axes

Les variables	F1	F2
Les paramètres morphologiques		
Sf	0,7861	-0,5570
Psf	-0,8752	0,3504
Nf	0,9717	0,0143
Lt	0,8698	0,0352
Pft	0,9230	0,1007
Pfr	0,9376	0,0031
Lr	0,8785	0,1485
Bsr	0,9002	0,2939
Bsa	0,6979	0,5936
Br/Uvm	0,8945	0,2162
Bsr/bsa	0,8350	-0,1761

Its	-0,2238	-0,1114
Sr	0,9547	-0,0575
Les paramètres physiologiques		
Tre t	0,3543	-0,6152
Tre f	0,9018	-0,3261
Na f	-0,9211	-0,3413
K f	0,9172	-0,2295
Rs f	-0,9463	-0,1356
Na r	-0,9528	-0,0130
k r	0,7691	0,1336
Rs r	-0,9488	-0,1128
Les paramètres biochimiques		
C t	0,8989	-0,0132
Pro	-0,7061	0,4656
Suc	-0,4366	0,5251
Prot	0,6462	0,6284
Le cumulé %	68.72	79.09

1. 3. L'analyse descriptive au niveau du diagramme de distribution des différents génotypes

La distribution des individus autour de l'axe F2 qui représente les protéines totales (Prot) et l'axe F1 qui représente le nombre de feuille, forme trois groupes différents (Fig.21).

- **Le premier groupe** : incluent les deux variétés non stressées « RioS0 et HS0 » avec la variété « Rio » traité avec un niveau faible de la salinité (S1= 25mMol), nous remarquons une forte corrélation à l'axe principal (F1=68.72%), présentant aussi des concentrations élevées en : sucre (Suc), proline(pro), un poids spécifique foliaire (Psf) , sodium de racine(Na⁺r), sodium de feuille(Na⁺f) et le rapport de sélectivité racinaire et foliaire (Rs f et Rs r). Donc on peut dire que la variété « Heinz » suivie le même comportement sous les traitements (S0= 25, S1=50 mMol).

- **Le deuxième groupe** : implique les concentrations (S1 : 25 / S2 :50/ S3:150) mMol de Na Cl de la variété « Rio » qui sont hautement corrélés négativement à l'axe principal (F1= 68.72%) de la variance totale, qui se caractérise par une faible concentration en : potassium de racine (K⁺ r), la surface foliaire(Sf), la teneur en eau totale et foliaire (Tre t et Tre f), le rapport de la biomasse sèche (Bsr/Bsa) et le nombre de feuille (Nf) . En revanche, ces individus sont corrélés à l'axe principal (F2= 79.09%) cela confirme que la salinité provoque la sensibilité de la variété « Rio » induisant des concentrations élevées en : protéines totales (Prot), le poids frais total (Pft), la biomasse racinaire (Br) et la longueur des tiges et racines (Lt, Lr).

- **Le troisième groupe** comprend la variété « Heinz » qui est traité par (S2=50 et S3=150 mMol), on remarque une haute corrélation positive à la deuxième composante principale (F2=79.09%) de la variance totale. Cela confirme une tolérance de la variété «Heinz » aux niveaux élevés de la salinité,

ce qui expriment des fortes doses en : protéines (Prot), le poids frais total(Pft), biomasse racinaire(Br) et le potassium des racines (K^+ r) (Fig. 21).

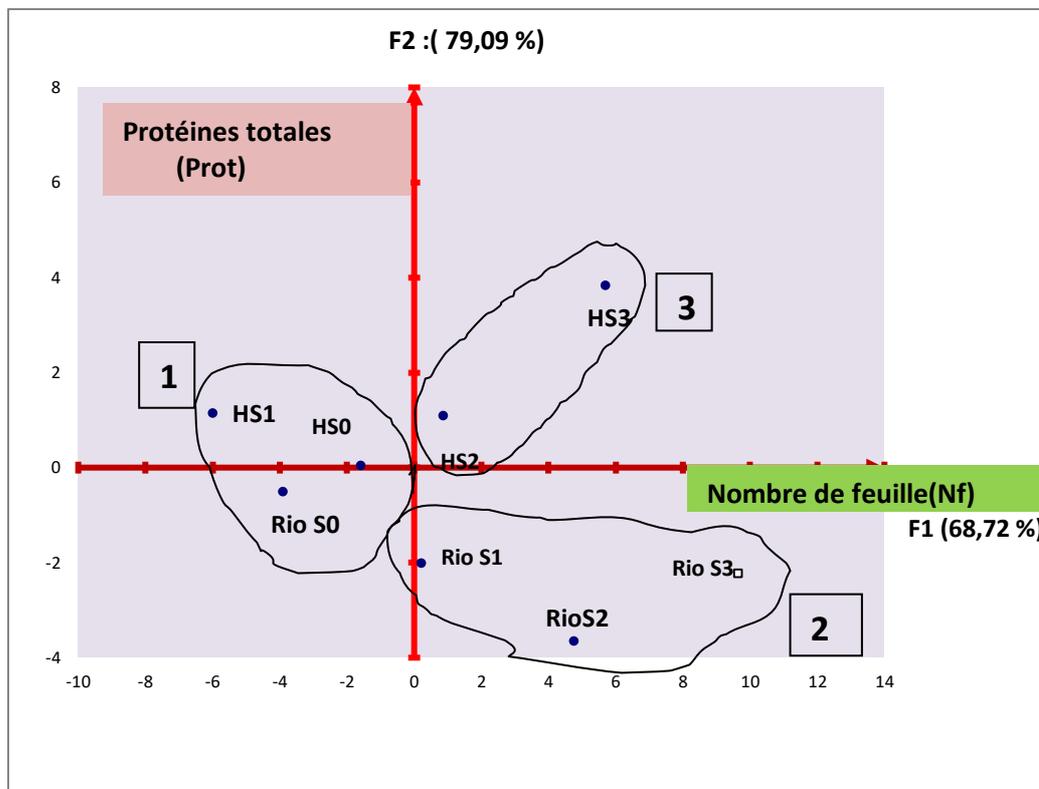


Fig. 21 : L'analyse descriptive au niveau de diagramme de distribution des deux génotypes dans les conditions salines.

2. L'analyse démonstrative des effets qualitatifs de la salinité sur les génotypes étudiés

Les variables « Prot, Nf » qui désignent le meilleur représentant aux individus, prouvent leur effet qualitatif, d'après l'analyse de la variance ANOVA ($P_b < 0,01$). On remarque un effet hautement significatif de la salinité, la variabilité au niveau de 1% (Tab.10).

Tab. 10 : L'analyse de variance à deux facteurs sur l'interaction de la salinité et les variétés étudiés pour la composante principale « Prot »

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	P > F
Variété	2	11,0698	5,5349	118,3622	< 0,0001*** s
Salinité	3	6,1865	2,0622	44,0987	< 0,0001***s
Variété*salinité	3	5,6380	1,8793	40,1893	< 0,0001***s

*, *** test significatif (s) à 0.05 et 0.01 respectivement.

2.1. L’effet de la variabilité

Les deux variétés se comportent différemment sous les conditions salines où on remarque deux groupes différents, quel que soit le niveau de la salinité (Tab. 11):

- Le groupe « **A, C** » inclut les individus (V1) de la variété « Rio grande »
- le groupe « **B** » inclut les individus (V2) de la variété « Heinz »

2. 2. L’effet de la salinité

D’après les études morphologiques, physiologiques et biochimiques, on remarque que les niveaux de salinités proposés ont des effets différents hautement significatifs indépendamment de la variété étudiée, ce qui dégage par l’analyse de variance trois groupes suivants :

- Le groupe « **A** » regroupe les individus non traités au sel « S0 », leur croissance est normale
- Le groupe « **B** » inclut les individus traités au (S1= 25, S2=50 mMol) de Na Cl, donc se sont semi- sensibles pour les deux variétés
- Le groupe « **C** » assure les individus traités aux 150 mMol de NaCl, de ce fait sont très sensible.

2. 3. L’effet de l’interaction entre la variabilité et la salinité

La salinité a un effet sur la variabilité génotypique, ce qui a été pourvus par l’analyse de variance où on remarque que l’effet de l’interaction entre les niveaux salins proposés sur les deux variétés étudiées est hautement significatif et on induit les groupes suivants :

- Le groupe « **A** » inclut les individus non traités (S0) pour les deux variétés (V1 et V2), avec les individus de la variété V2 « Heinz » traité avec les niveaux (S2=50 et S3=150) mMol de Na Cl, cela explique la tolérance de la variété V2 « Heinz » par rapport à la variété V1 « Rio ».
- Le groupe « **B** » comprend le niveau (S1=25mMol) de NaCl qui affecte sur les deux variétés V1 et V2, donc ces individus sont semi-sensibles par ce traitement.
- Le groupe « **C** » implique le niveau (S2=50mMol) de NaCl qui impacte sur la seule variété V1 « Rio », ce qui prouve la sensibilité de cette variété.
- Le groupe « **D** » saisit les individus de la variété V1 « Rio » traités au (S3=150) mMol de NaCl, donc ce sont très sensibles.

Tab. 11: L’effet de l’interaction entre la variabilité et la salinité selon New man keuls au niveau de 5%.

Les individus	Moyenne	Groupes	
V2*0	5,4175	A	
v1*0	5,1825	A	
V2*150	5,1750	A	
V2*50	5,0900	A	
V2*25	4,5300		B
V1*25	4,3208		B
V1*50	3,5675		C
V1*150	2,9267		D
V1*150	2,6500		D

3. L'effet du stress salin sur Le taux de germination des graines (Tg%)

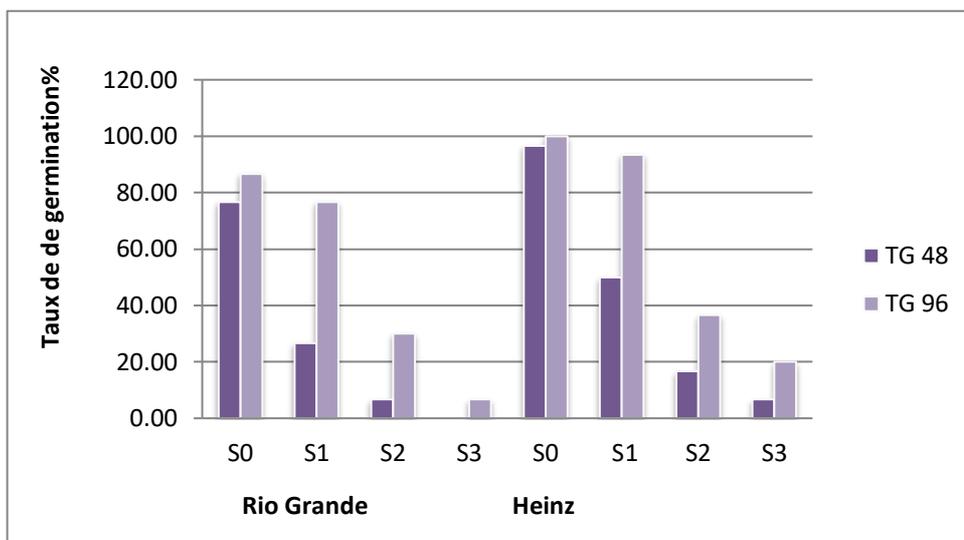


Fig. 22: le taux de germination (Tg) après 48h et 96h chez les deux variétés de tomates

On remarque d'après les résultats de la (Fig. 22), le taux de germination (Tg) après 48h chez la variété « Heinz » présente la plus haute valeur (96.67%) en absence de Na Cl par rapport à la variété « Rio Grande » qui est à (76.67%). Après 96h, le taux de germination augmente seulement chez la variété « Heinz » à (100%) par contre la variété « Rio » est moins avec (23.33%).

L'augmentation de la concentration de Na Cl à 50 mMol inhibe plus le (Tg) après 48h chez « Rio Grande » (6.67%) par rapport la « Heinz » (16.67%), de même après 96h la variété « Rio » présente (30%) de (Tg), alors que la « Heinz » montre (36.67%). À 150 mMol, le taux de germination est nul (0%) après 48h chez la variété « Rio », par contre chez la variété « Heinz » est de (6.67%), en 96h de semis des graines les deux variétés sont affectées par la salinité mais le (Tg) reste toujours faible chez la variété « Rio » par rapport à la variété « Heinz ».

On peut conclure que l'application d'un stress salin retarde la germination sous les faibles concentrations 25 et 50 mMol et l'inhibe complètement à des concentrations plus fortes 150 mMol. Le pourcentage germinatif diminue aussi avec l'augmentation du degré de stress et aussi selon la variété, nos résultats montrent un degré d'inhibition important chez la variété « Rio », alors que le pourcentage germinatif est plus élevé chez la variété « Heinz », cette dernière présente une certaine résistance vis-à-vis au stress.

4. L'effet du stress salin sur les paramètres morphologiques :

Les paramètres morphologiques concernés par cette étude englobent ceux, de la partie aérienne et racinaire :

4.1. Les paramètres morphologiques de la partie aérienne

4.1.1. La surface foliaire (Sf « cm² »)

Les résultats mentionnés dans le (Tab 2. Annexe. 2) montrent la diminution de la surface foliaire avec la progression du stress salin. En effet la haute valeur de la Sf se distingue au niveau du témoin pour la variété « Rio Grande » en remarquant une valeur de (13.54cm²). Aussi ce paramètre marque les valeurs les plus élevées au niveau du témoin comparant à d'autres. À l'opposé les moindres valeurs de la S.F existent au niveau de (25 et 50 mMol) chez la « Heinz » que la « Rio » notant une différence de (2.83 et 3,12 cm²) en successifs. L'influence du troisième niveau du stress (150 mMol) affecte sensiblement les deux variétés avec une différence de (4.29cm² « Rio ») et (0.07 cm² « Heinz »)(Fig. 23).

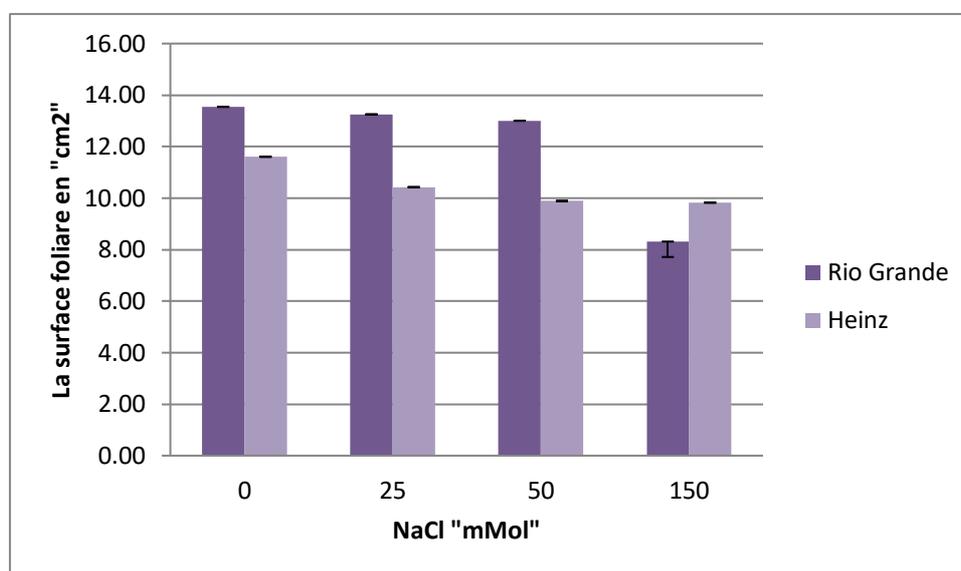


Fig.23 : Effet de la concentration de NaCl sur la surface foliaire chez les deux variétés de tomates.

4.1.2. Le poids spécifique foliaire (Psf « mg/cm² »)

Les résultats notent une variation du poids spécifique foliaire (Psf) chez les deux génotypes étudiés (Tab 2. Annexe 2). Où la variété « Rio » enregistre une faible diminution comparant aux témoins, avec des valeurs de l'ordre de (0.04, 0.03, 0.02 et 0.02) mg/cm² du Psf par opposition la variété « Rio » enregistre une faible progression des teneurs du Psf de l'ordre de (0.05, 0.06, 0.06 et 0.07) mg/cm². Alors les niveaux (25 et 50) mMol affectent faiblement sur le Psf, par contre le niveau (150mMol) simule fortement ce paramètre (Fig. 24).

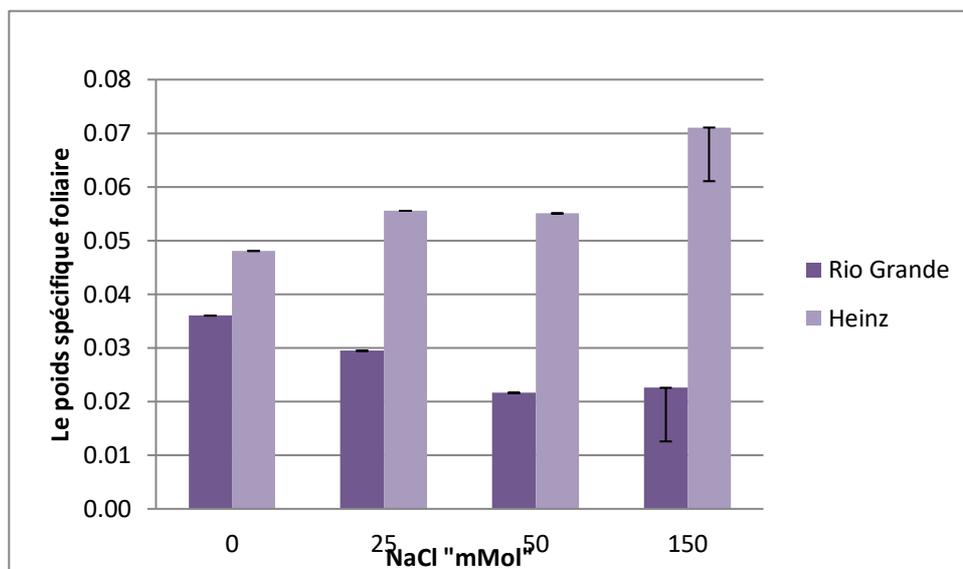


Fig. 24 : Effet de la concentration de Na Cl sur le poids spécifique foliaire chez les deux variétés de tomates.

4. 1. 3. Nombre des feuilles (Nf)

L'étude des résultats (Tab.3. Annexe 2) obtenus montre que l'élaboration du nombre des feuilles par plant est fortement dépendante de l'intensité du stress salin. Les valeurs du nombre des feuilles obtenus dans le témoin indiquent que la variété « Heinz » possède le nombre le plus élevé avec une moyenne de (8.25). À l'opposé, le plus faible nombre des feuilles caractérise la variété « Rio » avec une valeur moyenne de (7.2). Le premier niveau de stress (25mMol) n'affecte que faiblement sur les deux variétés avec une différence de (9.27%) chez la variété « Rio » et (18.18%) chez la variété « Heinz ». Par contre au deuxième niveau de stress (50 mMol), les valeurs extrêmes de ce paramètre distinguées par la variété « Heinz » avec un nombre de « 3 » et un taux de moyenne « 2.95 » pour la variété « Rio ». Enfin sous le niveau (150 mMol), le taux des feuilles s'avère plus faible et la plus grande valeur enregistre chez la variété « Heinz » avec (3.5) tandis que la plus faible moyenne révèle chez la variété «Rio» de (1.5) (Fig. 25).

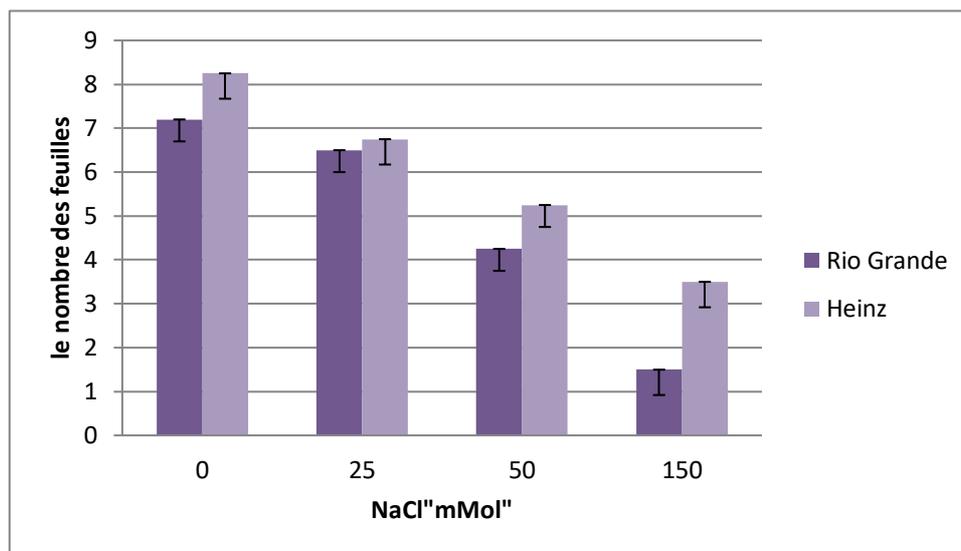


Fig. 25 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur le nombre des feuilles chez les deux variétés de tomates.

4. 1. 4. La longueur des tiges (Lt « cm »)

D'après, les résultats obtenus de la longueur des tiges (Tab 4. Annexe. 2), on remarque que les plantules de la variété « Heinz » représentent une taille des tiges (16.37 cm) plus grandes que celles du « Rio » (14.20) au niveau du témoin. Sous les conditions salines, on note une différence de (1.33, 2.33 et 4.9 cm) perceptivement à la variété « Rio ». En revanche la variété « Heinz » présente une croissance de tige élevée par rapport à la variété « Rio » avec des longueurs qui changent respectivement avec la progression de la salinité (0.92 ; 4.87 et 5.9 cm). Donc, la variété « Heinz » semble avoir certaines propriétés lui permettant une meilleure résistance au stress salin.

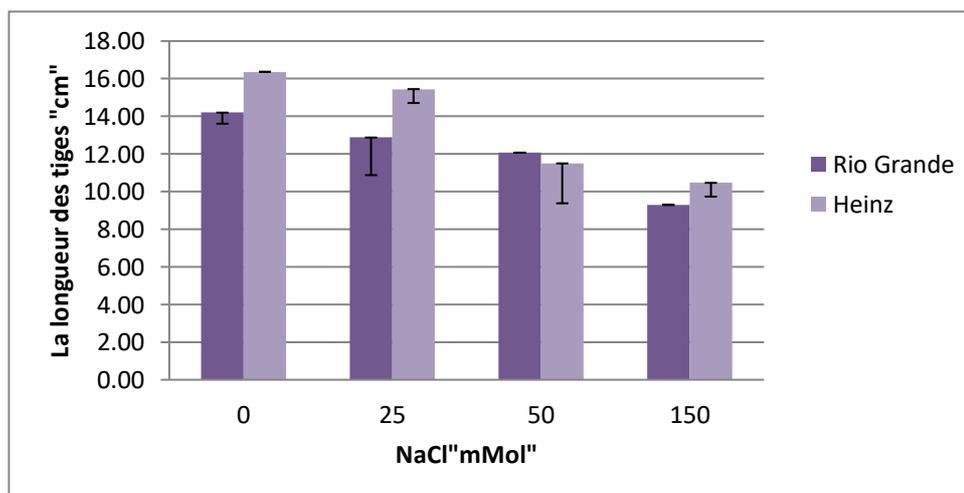


Fig. 26 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur la longueur des tiges chez les deux variétés de tomates

4. 1. 5. Le poids frais total (Pft « mg »)

D'après les résultats de (Tab 5. Annexe. 2), le poids frais total diminue nettement avec l'augmentation du niveau du sel, la haute valeur existe au niveau du témoin de la variété «Rio » avec (180.47 mg) que la variété « Heinz » (171.40) mg. L'influence du stress salin sur la variété « Heinz » débute dès le premier niveau (25mMol) avec un pourcentage exclusif (34.44)% par contre « Rio» est moins influencé (16.1)%. D'autre part la « Rio Grande » montre une faible diminution de son Pft au niveau (50 mMol) à (144.99mg) et une forte régression au troisième niveau à (105.30) mg. Notamment la variété « Heinz » affiche sous les niveaux (50 et 100) mMol une forte régression de son Pft respectivement (113.5 et 122.6) mg (Fig. 27).

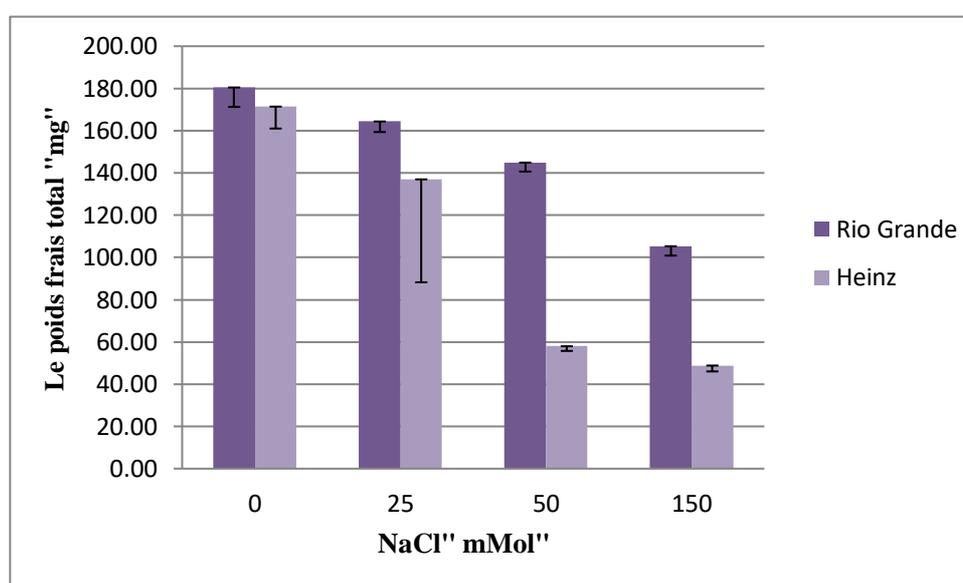


Fig. 27 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur le poids frais total chez les deux variétés de tomates.

➤ Les résultats de l'ANOVA à deux facteurs pour la plupart des paramètres morphologiques aériennes, montrent une différence hautement significative ($p < 0.01$), dans les facteurs : variété, salinité et leur interaction (Tab. 12).

Tab. 12: ANOVA à deux facteurs de l'effet du stress salin sur les paramètres morphologiques de la partie aérienne

Les variations Les paramètres	Variété		Salinité		Variété*salinité	
	F	P	F	P	F	P
La surface foliaire	62,57	< 0,001***	162,49	< 0,001***	21,21	< 0,001***
Le poids spécifique foliaire	62,57	< 0,001***	162,49	< 0,001***	21,21	< 0,001***
Le nombre des feuilles	2,10	0,14 ns	8,63	< 0,001***	0,036	0,99ns
La longueur des tiges	11,37	< 0,001***	32,59	< 0,001***	1,90	0,16ns
Le poids frais total	30,07	< 0,001***	186,10	< 0,001***	3,66	0,03ns

Pr< 0,001*** test hautement significatif à 0.01, Pr> 0,001ns : test non significatif

4.2. Les paramètres morphologiques de la partie souterraine

La quantification des paramètres de croissance de la partie souterraine concerne les descriptions morphologiques telles que: «la longueur des racines, la surface et la biomasse sèche racinaire en milieu salin, et l'étude de l'indice de tolérance à la salinité par rapport à la biomasse sèche racinaire. Les photos (5 et 6) illustrent l'effet de la salinité sur la morphologie racinaire des deux variétés de tomates «Heinz et Rio». Les racines diminuent en longueur et en vigueur avec l'accroissement de la concentration en NaCl.



Photo (5 et 6): L'effet de la salinité sur la morphologie racinaire des deux variétés de tomates (Heinz, Rio)

Cependant ces figures montrent que les deux variétés expriment un système racinaire avec une densité importante de manière significative chez le témoin tandis que les différences apparaissent dans les autres conditions du traitement salin. Nous constatons que la variété « Rio » (photo. 6) sensible aux sels, cette réponse exprime par une densité racinaire très faible, qui évolue plutôt à une élongation de la racine quelle que soit la concentration saline.

En outre, les deux variétés présentent une densité racinaire qui évolue à la baisse avec l'augmentation de la salinité et les racines tendent à progresser beaucoup plus vers la longueur que vers la densité racinaire (photo 5 et 6). Par ailleurs, une étude de quelques paramètres de la croissance racinaire comme la surface et la biomasse sèche des racines réalise, afin d'analyser plus des résultats à interpréter sur nos deux variétés de tomates testées dans les conditions de stress salin.

4. 2. 1. La longueur des racines (Lr « cm»)

On remarque dans le (Tab 6. Annexe 2) qui il y a une grande différence entre les deux variétés ce qui concerne la taille racinaire. À 0 mM de NaCl la variété « Heinz » présente une croissance racinaire plus que la variété « Rio » avec une différence de 61.95%. Par contre au niveau saline (25 ,50) mMol de NaCl la croissance racinaire diminue au fur et à mesure avec l'augmentation du sel chez les deux variétés, mais reste toujours plus élevées chez la variété « Heinz » par rapport à la variété « Rio». Le niveau élevé (150mMol) de Na Cl affecte fortement et similairement sur la croissance racinaire des deux variétés de tomates, où on souligne un pourcentage de diminution atteint jusqu' à (30.60 %) chez la variété « Heinz » et (41.66%) chez la variété « Rio » (Fig. 28).

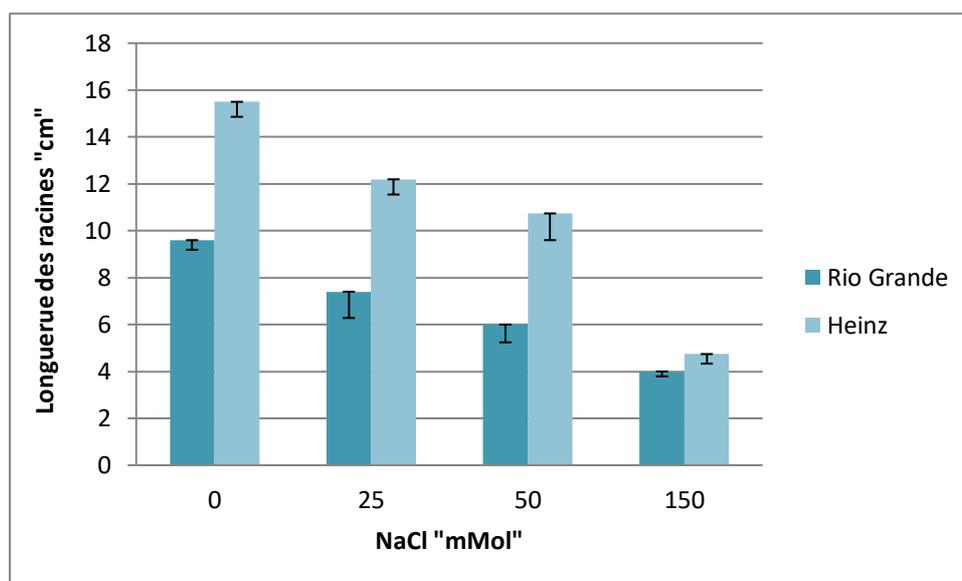


Fig. 28 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur la longueur des racines chez les deux variétés de tomates.

4. 2. 2. La biomasse racinaire par unité de volume (Br/vm « cm³»)

D'après les résultats obtenus dans (Tab 7. Annexe 2), on constate que la salinité affecte à la baisse de la biomasse racinaire par unité de volume (Br/Uvm), cependant les deux variétés expriment une (Br/ Uvm) importante chez le témoin(S0). Une concentration (de 25 mMol) de NaCl induit légèrement une diminution de (Bsr/Uvm) avec un pourcentage de (20.40%) pour la variété « Rio » et une régression de (36.32%) pour la « Heinz ». À (50 mMol) de Na Cl les deux variétés affichent une réduction de (Bsr/Uvm) avec ces pourcentages respectivement de (38.55 et 15.719)% pour la « Rio et Heinz ». À (150mMol) de Na Cl une baisse très marquée de (Bsr/Uvm), cette chute respective avec ces valeurs de l'ordre « Rio et Heinz » avec (39.96 et 32.15%) (Fig.29).

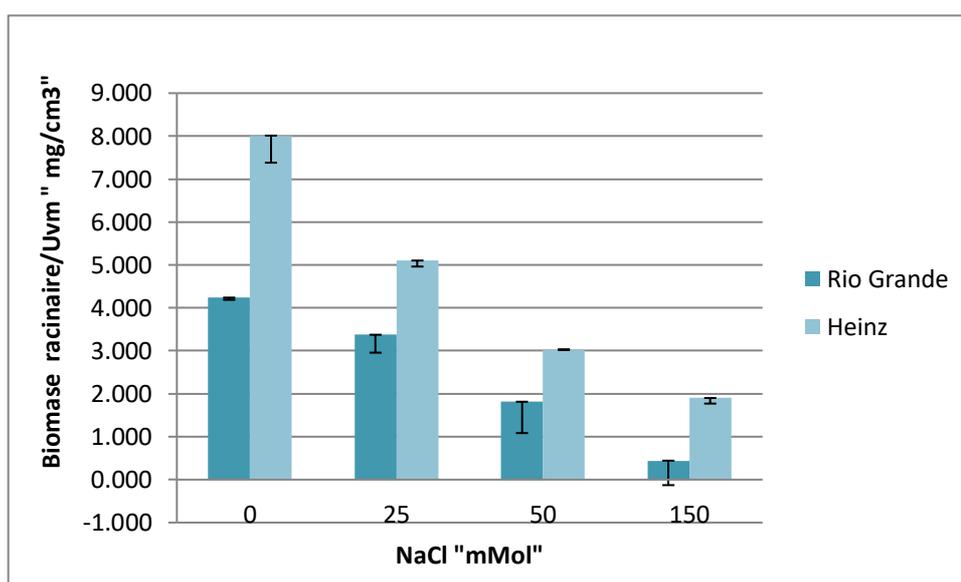


Fig. 29 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur la (Bsr/Uvm) chez les deux variétés de tomates.

4. 2. 3. Le rapport de la biomasse sèche racinaire/biomasse sèche aérienne (Bsr/Bsa)

Les mesures du rapport de la matière sèche sont basées sur la biomasse sèche racinaire (Bsr) et la biomasse sèche aérienne chez les deux variétés cultivées « Rio » et « Heinz ».

Selon les résultats illustrés dans le (Tab 8. Annexe 2), ils révèlent que ce paramètre dépend considérablement du degré de salinité appliqué. La régression de ce rapport chez la plupart des génotypes est dû en grande partie à l'accroissement de la concentration saline appliquée. À l'échelle du témoin S0, les deux variétés « Rio et Heinz » inscrivent les mêmes valeurs avec (Bsr/Bsa =0.75), en effet le niveau (25mMol) de NaCl affecte légèrement et similairement sur les deux variétés avec une diminution de (4%). Dans le traitement conduit à (50mMol), les valeurs de diminutions de ce rapport comprises entre (14% Heinz) et (4% Rio).

L'influence de la salinité est très touchable à ce niveau (150mMol) de NaCl, où on note une forte régression avec valeurs (48 % Rio et 20% Heinz). Donc il y a une distinction comportementale des variétés expérimentées (Fig.30).

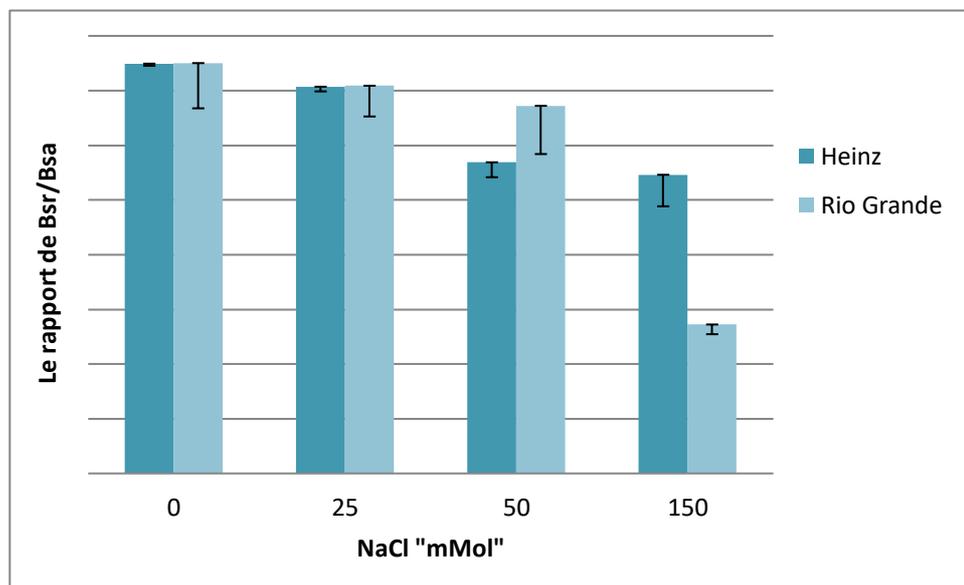


Fig. 30 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur le rapport de (Bsr/Bsa) chez les deux Variétés de tomates.

4. 2. 4. L'indice de tolérance à la salinité (Its)

Le calcul de l'indice de tolérance à la salinité est basé sur la biomasse sèche racinaire des deux variétés étudiées semblent indiquer que la tolérance a tendance à diminuer au fur et à mesure avec l'augmentation du niveau de NaCl dans le milieu de culture (Fig.31).

Les valeurs affichées dans le (Tab 9. Annexe 2), justifie que les deux variétés de tomates enregistrent un indice de tolérance à la salinité (Its) plus importante au niveau de (25mMol) de Na Cl que celui affiché chez les variétés menées sous un stress salin avec 86% « Rio » et 92% « Heinz ».

Il convient de noter que le niveau de tolérance des plantes des deux variétés s'exprime nettement sous les traitements salins de (50 et 150) mMol de Na Cl. Par exemple, les résultats indiquent que les valeurs de l'indice de tolérance à la salinité sous l'effet de (50 et 150) mMol de sels varient entre (0.22-0.62) pour la variété « Rio » et entre 0.68 à 0.55 pour la variété « Heinz ». Donc on remarque que ce paramètre prouve que la variété « Rio » est très sensible par rapport à la variété « Heinz » qui manifeste une tolérance au niveau élevé de stress 150mMol.

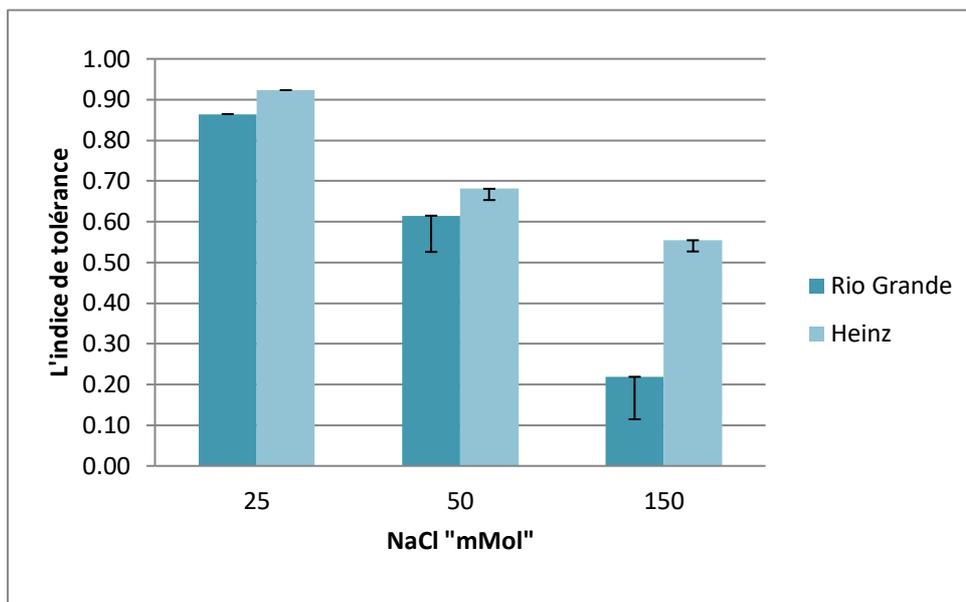


Fig. 31 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur l'indice de tolérance à la salinité (Its) sur les deux variétés de tomates.

4. 2. 5. La surface racinaire (Sr « cm² »)

Les résultats de ce paramètre (Tab10. Annexe 2), présentent une diminution au fur et à mesure avec l'augmentation du niveau des concentrations salines, où on note une forte régression de la surface racinaire au niveau (S3=150) mMol de NaCl avec un pourcentage de (60.93)% Rio et (65.85) % Heinz (Fig. 32).

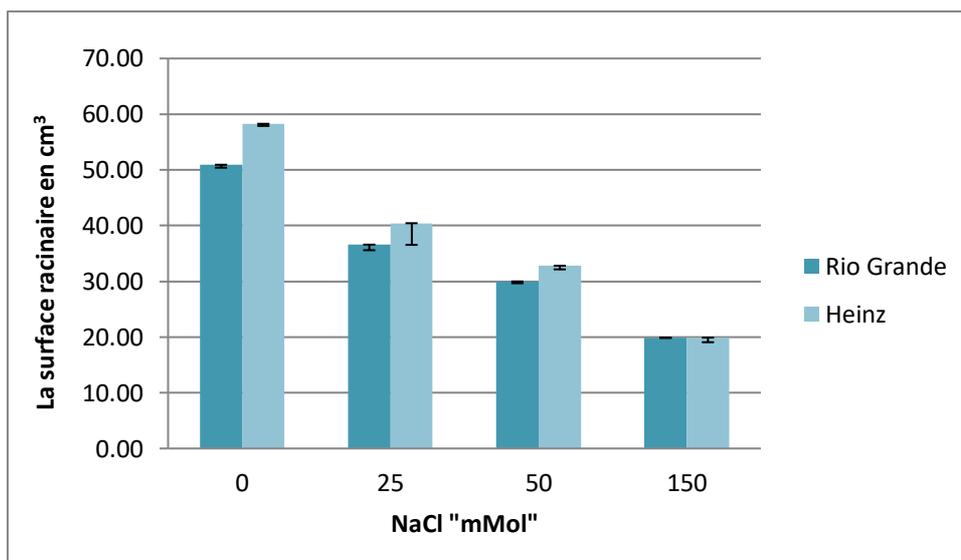


Fig. 32 : Effet de la concentration de l'Na Cl sur la surface racinaire chez les deux variétés de tomates.

➤ Les résultats statistiques de l'ANOVA (Tab.13), affichent que tous ces paramètres sont hautement significatifs avec ($p < 0,1$). Donc on constate qu'il existe une distinction génotypique en réponse à la salinité et les paramètres morphologiques souterrains sont fortement corrélés à la salinité.

Tab. 13 : L'ANOVA à deux facteurs de l'effet du stress salin sur les paramètres morphologiques de la partie souterraine

Les variations Les paramètres	Variétés		Salinité		Variété*salinité	
	F	P	F	P	F	P
La longueur racinaire	78,99	< 0,001***	168,3898	< 0,001***	17,4	< 0,001***
Biomasse racinaire/unité de volume du milieu	104,45	< 0,001***	190,8906	< 0,001***	14,9	< 0,001***
Biomasse sèche racinaire/Biomasse sèche aérienne	24,11	< 0,001***	51,4989	< 0,001***	15,83	< 0,001***
L'indice de tolérance à la salinité	20,95	< 0,001***	403,9012	< 0,001***	13,47	< 0,001***
La surface racinaire	69,09	< 0,001***	695,0384	< 0,001***	7,40	< 0,001***

Pr < 0,001*** test hautement significatif à 0.01.

5. L'effet du stress salin sur les paramètres physiologiques

Afin d'analyser le comportement physiologique de la plante, nous avons déterminé quelques paramètres comme : la chlorophylle totale (Ch t), les concentrations des ions minéraux le sodium (Na^+), le potassium (K^+) et le coefficient de sélectivité (Na^+/k^+) au niveau des feuilles et les racines pour les deux génotypes.

5. 1. La physiologie de la partie aérienne

5.1.1. La teneur relative en eau totale (Tret « % »)

Les résultats illustrés dans le (Tab 11. Annexe. 3), déterminent la teneur relative en eau totale de deux variétés de tomates sous l'effet de la salinité. Où les deux variétés réagissent différemment selon les concentrations salines. La teneur relative en eau traduit le degré d'hydratation des tissus, elle reste relativement élevée et insensible à la salinité quelle que soit la concentration de

NaCl dans le milieu de culture. La teneur relative en eau totale pour les deux variétés de tomates diminue sous l'influence des concentrations salines (Fig. 30); ainsi, les deux variétés «Rio et Heinz » expriment respectivement une (Tre t) maximale pour le témoin en inscrivant « 36.59 et 40.44 »%. Tandis que les variétés cultivées sous stress enregistrent des (Tre t) faibles avec des diminutions successives de (14.34, 20.95 et 31.03) % chez la variété « Rio » et de (17.84, 25.48 et 38.38)% pour la variété « Heinz » (Fig. 33).

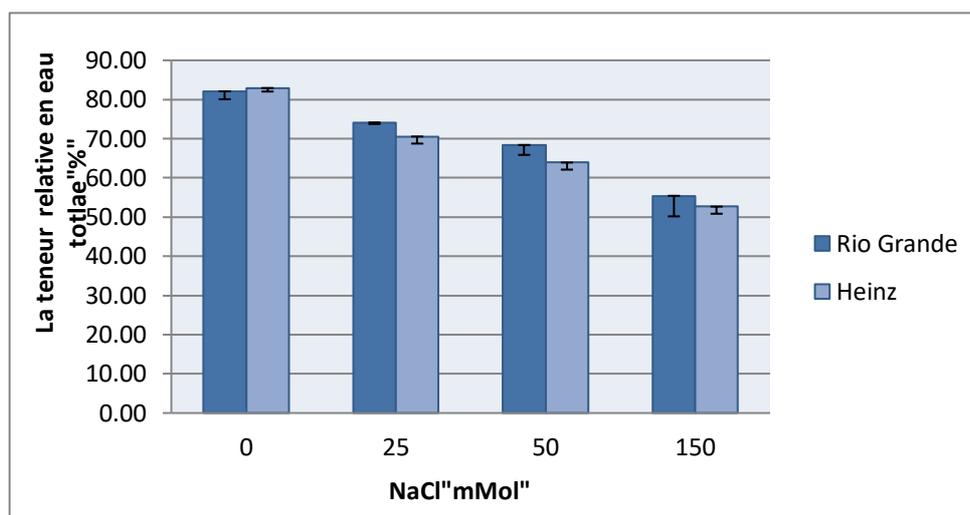


Fig. 33 : Effet de la concentration de NaCl sur la teneur relative en eau totale variétés de tomates.

5. 1. 2. La teneur relative en eau foliaire (Tre f« % »)

Les résultats exemplifiés dans le (Tab 12. Annexe. 3), mentionnent la diminution de la teneur relative foliaire (Tre f) avec l'augmentation des concentrations salines, pour les deux variétés de tomates. Les résultats de là (Tre f) montrent que les deux variétés de tomates réagissent d'une façon similaire (Fig. 24); avec réductions respectivement de (7.97, 13.71 et 26.68) cm² chez la variété « Rio » et de (12.38, 19.02 et 30.26) cm² pour la variété« Heinz »(Fig. 34).

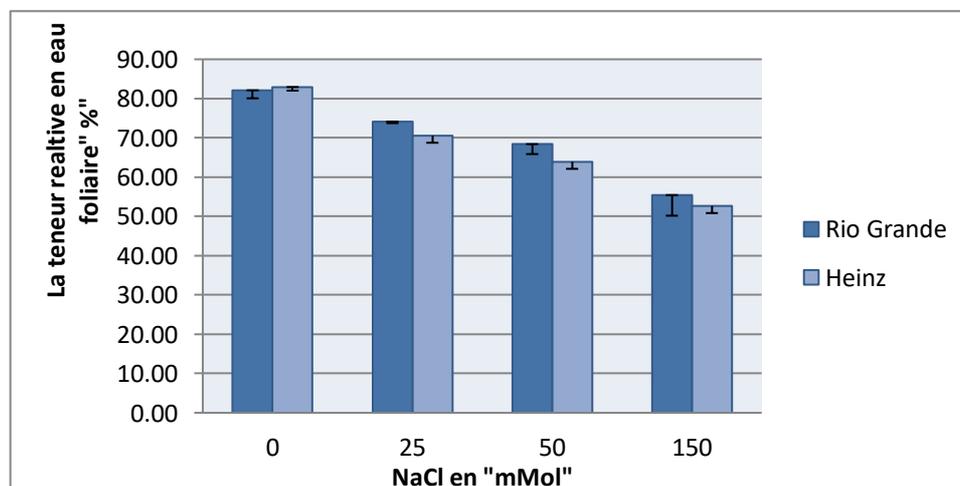


Fig. 34 : Effet de la concentration de NaCl sur la teneur relative en eau foliaire variétés de tomates.

5.1. 3. La teneur en chlorophylle totale « Ch t « unité de SPAD »)

La teneur en chlorophylle totale diminue corrélativement au fil du degré de stress salin chez les deux génotypes de tomates. (Tab 13. Annexe. 3). Sous les conditions non salines, on note que les valeurs du taux de la chlorophylle totale diffèrent selon la variété. Où la variété « Rio » représente une moyenne de (Cht) plus élevé, avec une moyenne de (45) unité de SPAD, par contre la variété « Heinz » représente une moyenne de (Cht) plus faible (43.01) unité de SPAD.

Pour les deux traitements irrigués avec le sel de NaCl (25 et 50) mMol, on remarque que le comportement des deux variétés étudiées semble le même avec des fluctuations très infimes, où la valeur la plus élevée est égale à (33.41) unité de SPAD enregistré chez la variété « Rio » au premier niveau du stress (S1=25mMol) et une valeur plus faible égale à (25.30) unité de SPAD caractérise chez la même variété au deuxième niveau du stress (50mMol). On observe aussi que la variété « Heinz » inscrit des valeurs de (Cht) plus ou moins proches à celles des témoins. Où on note au niveau de (25mMol) de Na Cl, les valeurs de (Cht) sont de (31.18) unité de SPAD, à (50mMol) on marque une moyenne de (27.40) unité de SPAD et le dernier niveau de stress (S3=150) mMol de NaCl, affiche une moyenne de (Chl t) égale à (24.44) unité de SPAD (Fig. 35).

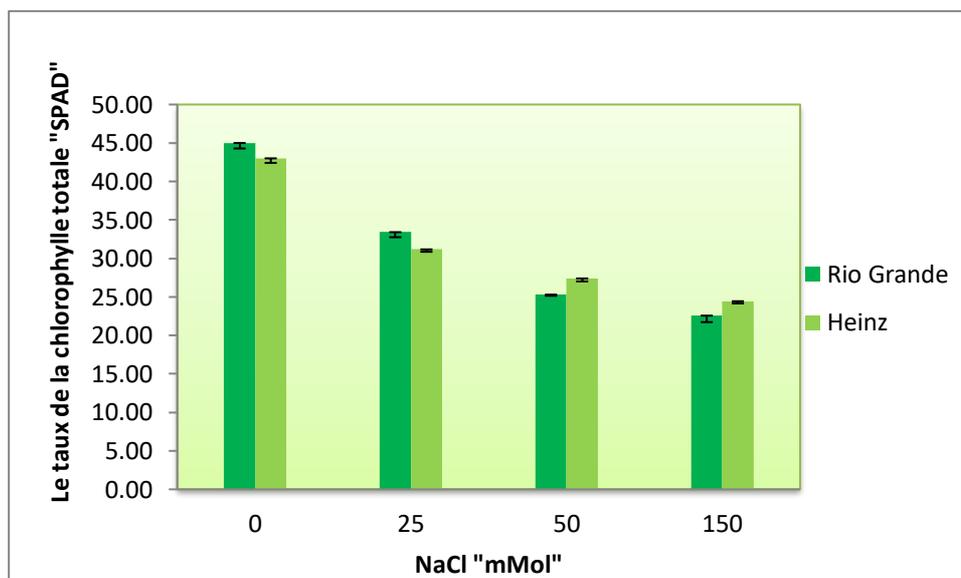


Fig. 35 : Effet de la concentration de NaCl sur le taux de la chlorophylle totale de deux variétés de tomates.

➤ L'étude statistique de l'ANOVA à deux facteurs, révèlent que les paramètres physiologiques (Tre t, Tre t et Ch t) sont hautement significatifs à ($p < 0.01$) dans les facteurs: variété, salinité et entre l'interaction (variété* salinité), alors que la (Tre f) est le seul paramètre qui ne possède aucune différence significative dans l'interaction entre la variété et la salinité. (Tab. 14)

Tab. 14 : ANOVA à deux facteurs de l'effet du stress salin sur la teneur relative en eau totale (Tre t) et foliaire (Tre f) et la chlorophylle totale (Ch t)

Les variations Les paramètres	Variétés		Salinité		Variété*salinité	
	F	P	F	P	F	P
Tre t « % »	49,50	< 0,001***	221,81	< 0,001***	40,86	< 0,001***
Tre f « % »	17,07	< 0,001***	180,87	< 0,001***	1,82	0,1730ns
Ch t « SPAD »	148,81	< 0,001***	2962,98	< 0,001***	55,21	< 0,001***

Pr < 0,001*** test hautement significatif à 0.01, Pr > 0,001ns : test non significatif

5.1.4. La teneur du « Na⁺ et K⁺ » dans la feuille et leur coefficient de sélectivité (Na⁺/k⁺)

5.1.4.1. La teneur du « Na⁺ » dans la feuille « mg.100 g⁻¹ de Ms »

Les valeurs de ce paramètre (Tab14. Annexe 3) montrent que le témoin de la variété « Rio » possède des teneurs plus élevées par rapport à la variété « Heinz » avec une différence de (1.06 mg.100 g⁻¹ de Ms). Sous l'effet de la contrainte saline, la teneur moyenne en Na⁺ des feuilles augmente avec l'intensité du stress salin chez les deux variétés de tomates, mais elle est plus concentrée chez la variété « Rio », où on observe une teneur élevée en Na⁺ au niveau (S3=150) mMol avec (9.88) mg.100 g⁻¹ de Ms; cependant la variété « Heinz » accumule des faibles teneurs en Na⁺ à tous les niveaux de stress surtout le niveau élevé (S3=150) mMol de Na Cl avec une différence de (3.53) mg.100 g⁻¹ de Ms (Fig. 36).

5.1.4.2. La teneur du « K⁺ » dans la feuille « mg.100 g⁻¹ de Ms »

Les résultats présentés dans le (Tab 14. Annexe 3) expliquent la variation de la teneur du K⁺ en réponse de stress salin, où on signale une diminution nette chez les deux variétés avec l'accroissement de la salinité. Les teneurs du « K⁺ » sont similaires chez les variétés avec une concentration de (7.61) mg.100 g⁻¹ de Ms, en effet l'augmentation du stress affecte légèrement la variété « Heinz » par rapport à la variété « Rio » avec des différences successifs :(6.93, 3.53 et 18.42)% (Fig. 36).

5.1.4.3. Le coefficient de sélectivité foliaire (Csf)

Vraisemblablement, les plantes transportent dans leurs feuilles des quantités importantes de Na⁺ que de K⁺ en raison de l'excès de NaCl dans le milieu en présence de fortes concentrations en sels (Tab 14. Annexe 3). Le rapport de sélectivité Na⁺/K⁺ foliaire chez les deux variétés de tomates « Rio et

Heinz » est inférieur à « 1 » sous le traitement témoin (S0=0), (S1= 25) et (S2=50) mMol de NaCl, et supérieur à « 1 » sous les traitements les plus élevés (S3=150) mMol de Na Cl (Fig. 36).

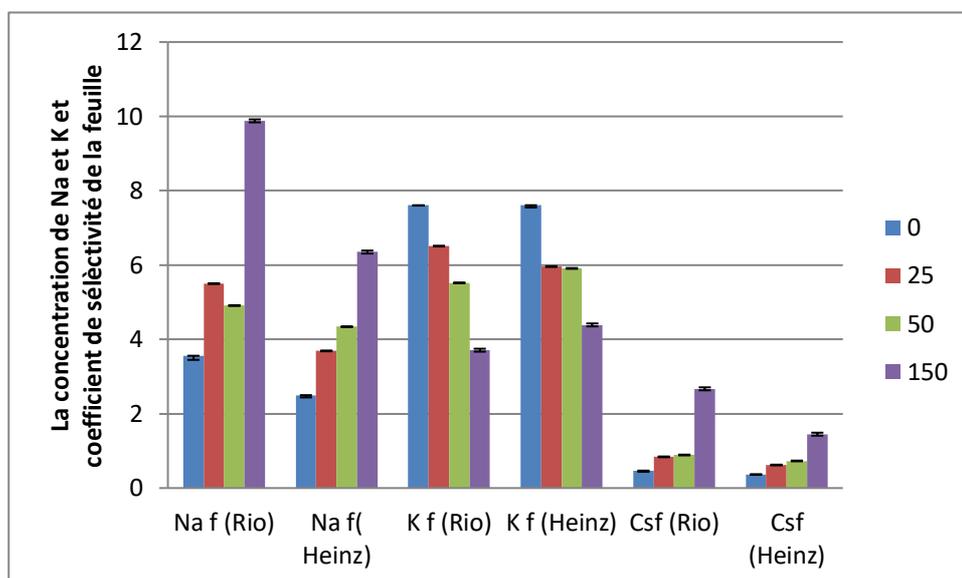


Fig. 36 : Effet de la concentration de NaCl sur la teneur en « Na⁺, k⁺ et le Csf » dans les feuilles de deux variétés de tomates.

➤ L'étude statistique de l'ANOVA à deux facteurs, révèlent que tous les paramètres physiologiques aériens sont hautement significatifs (à pb < 0.01) dans les facteurs : variété, salinité et leur interaction (Tab. 15).

Tab. 15 : ANOVA à deux facteurs de l'effet du stress salin sur les ions (Na⁺, K⁺) et le coefficient de sélectivité (Csf) de la feuille.

Les variations / Les paramètres	Variété		Salinité		variété*salinité	
	F	P	F	P	F	P
Na ⁺ f « mg.100 g ⁻¹ Ms »	663,5	< 0,001***	760,61	< 0,001***	64,27	< 0,001***
K ⁺ f « mg.100 g ⁻¹ Ms »	29,1	< 0,001***	187,76	< 0,001***	15,07	< 0,001***
Csf	137,6	< 0,001***	251,151	< 0,001***	37,12	< 0,001***

Pr < 0,001*** test hautement significatif à 0.01.

5. 2. La physiologie de la partie souterraine

5. 2. 1. La teneur du « Na⁺ » dans les racines « mg.100 g⁻¹ de Ms »

D'après le (Tab 15. Annexe. 3), les résultats affichent que les valeurs des deux variétés sont plus proches au niveau du témoin et aux niveaux faibles de la salinité (S1=25 et S2=50 mMol), par revanche aux concentrations sévères (S3=150Mmol) de NaCl, on relève une différence entre les variétés (1.23 mg.100 g⁻¹ de Ms), où la variété « Rio » accumule plus de (Na⁺) dans ces racines. (Fig. 37).

5. 2.2. La teneur du « K⁺ » dans les racines « mg.100 g⁻¹ de Ms »

Les valeurs de l'accumulation de K⁺ (Tab15. Annexe 3) dans les racines des deux variétés de tomates montrent des résultats approximativement similaire entre le témoin et le niveau faible de la salinité (S1=25 mMol), où on note une régression de (3.13 « Rio » et 1.54 « Heinz » mg.100 g⁻¹ de Ms. Au niveau (50mMol), la teneur de K⁺ dans les racines diminue pour les deux variétés, mais cet effet est moins chez la variété « Heinz » que chez la variété « Rio » avec des diminutions respectivement de (3.13 et 1.54) mg.100 g⁻¹ de Ms en comparant au témoin. Sous les concentrations salines (S3= 150mMol), on mentionne une forte réduction presque similaire chez les deux variétés « Rio, Heinz » par rapport au témoin avec des teneurs respectivement de «3.23 et 3.27) mg.100 g⁻¹ de Ms (Fig. 37).

5. 2. 3. Le coefficient de sélectivité racinaire(Csr)

L'addition de la salinité dans le milieu de la plante provoque une augmentation du coefficient de sélectivité (Csr) dans les racines des deux variétés de la tomate. Les valeurs du coefficient de sélectivité (Csr) de deux variétés « Rio et Heinz » au niveau du témoin, sont faibles respectivement de (0.77et 0.89). Cependant, aux niveaux stressés on affiche une augmentation de ce rapport variant entre 1.33à 3.43) pour la variété « Rio » et entre (0.89 à 2.11) pour la variété «Heinz ». Les racines de la tomate absorbent et accumulent plus de Na⁺ que de K⁺ en milieu salin, ainsi, la variété «Heinz » affiche un coefficient de sélectivité moins que la variété « Rio » respectifs à la salinité de 50 mMol (1.57 et 2.22), à 150 mMol (2.22 et 3.43) (Fig. 37).

➤ L'analyse statistique de l'ANOVA à deux facteurs, note que les paramètres physiologiques Na⁺, K⁺ et le coefficient de sélectivité foliaire est hautement significatif à (pb < 0.01) dans les facteurs : variété, salinité et leur interaction (Tab. 16).

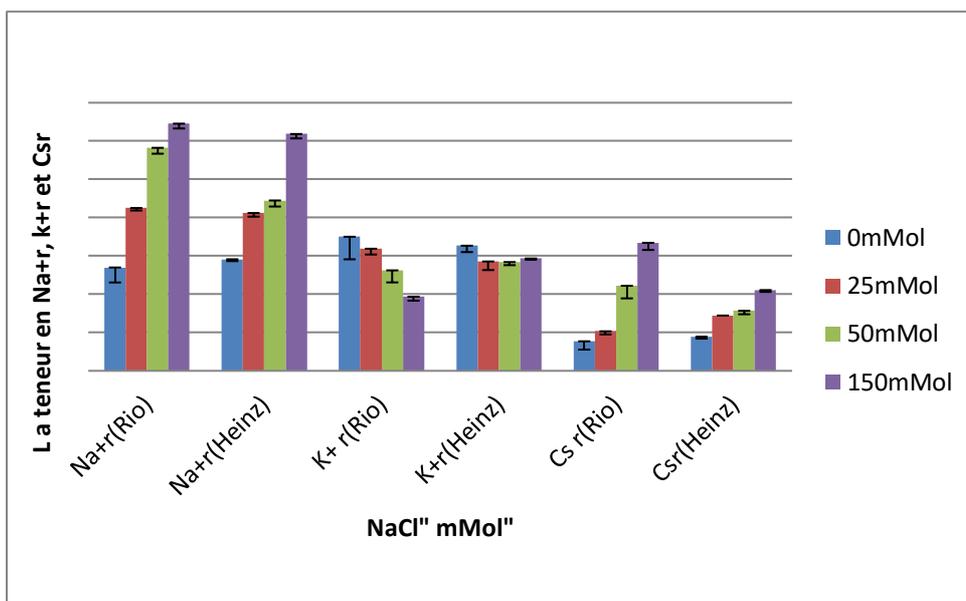


Fig. 37 : Effet de la concentration de NaCl sur la teneur en « Na⁺, k⁺ et le Csr » dans les racines pour les deux variétés de tomates.

Tab. 16 : ANOVA à deux facteurs de l'effet du stress salin sur les ions (Na⁺, K⁺) et le coefficient de Sélectivité(Csr) de la racine.

Les variations	Variété		Salinité		Variété *salinité	
	F	P	F	P	F	P
Na ⁺ r « mg.100 g ⁻¹ Ms »	23,45	< 0,001***	205,48	< 0,001***	11,49	< 0,001***
K ⁺ r « mg.100 g ⁻¹ Ms »	29,11	< 0,001***	187,76	< 0,001***	15,07	< 0,001***
Csr	137,6	< 0,001***	251,15	< 0,001***	37,12	< 0,001***

Pr < 0,001*** test hautement significatif à 0.01.

6. L'effet du stress salin sur les paramètres biochimiques

Les résultats obtenus dans le (Tab 16. Annexe. 4) attestent le comportement biochimique de deux variétés de tomates soumises aux différents niveaux salins par la teneur en proline, en sucres solubles et en protéines totales au niveau de la cinquième feuille.

6. 1. La teneur en proline (Pro « $\mu\text{g}/100\text{mg}$ Mf »)

L'augmentation de la quantité en proline chez les deux variétés étudiées avec les doses élevées est en corrélation positive avec le degré de stress, plus la dose est forte plus le contenu en proline est important. En condition non saline (S0), les teneurs en proline restent faibles et relativement proches entre les deux variétés, avec un maximum de (24.52) $\mu\text{g}/100\text{mg}$ Mf enregistré chez la variété « Heinz » et au minimum (21.72) $\mu\text{g}/100\text{mg}$ Mf, chez la variété « Rio ».

Sous les conditions salines (S1=25) mMol de Na Cl, la variété « Rio » accumule plus que la variété « Heinz » avec une différence de (6.52) $\mu\text{g}/100\text{mg}$ Mf. Aux concentrations élevées (S2=50, S3=150) mMol de NaCl, une accumulation de proline illustrée chez la variété « Heinz » plus que la variété «Rio» avec des différences successives (41.36 et 66.83) « $\mu\text{g}/100\text{mg}$ Mf $\mu\text{g}/100\text{mg}$ Mf (Fig. 38).

6. 2. La teneur en sucre soluble (Pro « $\mu\text{g}/100\text{mg}$ Mf »)

D'après les résultats illustrés dans le (Tab 16. Annexe . 4), on détecte que la teneur en sucre soluble augmente corrélativement au fil du degré de stress chez les deux variétés. Les fortes accumulations des sucres solubles se manifestent au troisième niveau de stress (S3=150) mMol, par contre les plus faibles teneurs en (Suc) paraissent sous le premier niveau de stress (S1=25) mMol de l'NaCl. Sous les conditions non stressantes, une accumulation des sucres solubles note (83.17 et 78.22) $\mu\text{g}/100\text{mg}$ Mf pour les deux variétés «Rio et Heinz » respectivement.

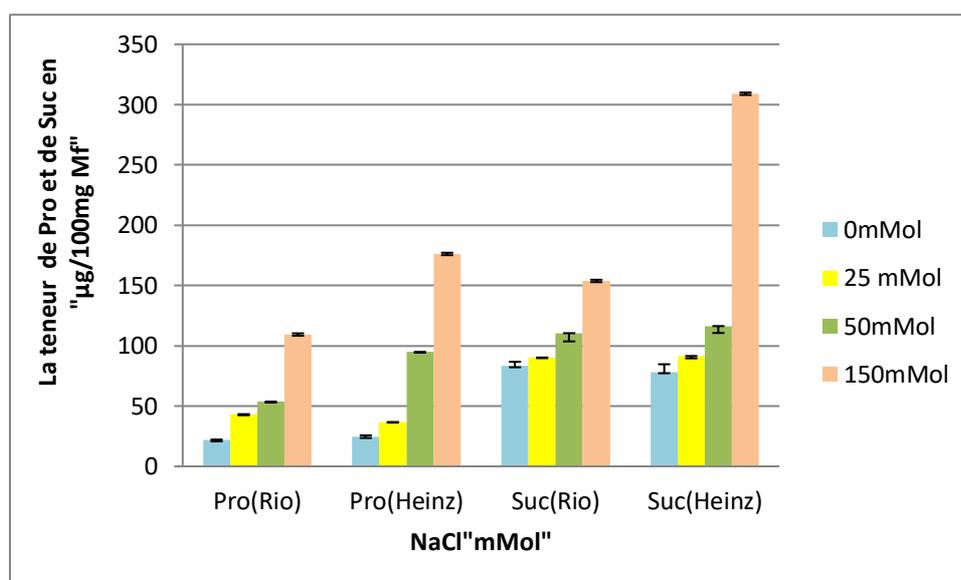


Fig. 38 : Effet de la concentration de NaCl sur la teneur en « proline et sucre soluble » dans les feuilles de deux variétés de tomates.

6. 3. La teneur en protéines totales

Les teneurs en protéines totales foliaires pour les deux variétés de tomates testées ont baissé significativement avec la progression de la salinité (Tab 17. Annexe 4). Ainsi, chez les témoins, les teneurs en protéines sont plus importantes, respectivement chez les deux variétés « Heinz, Rio » qui enregistrent des quantités allant de (5.18 à 5.43) $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ Mf, de Protéines foliaires comparativement aux teneurs en protéines dosées chez les plantes traitées par les niveaux (S1=25) mMol, où on attire une diminution de (14% « Rio ») et (11% « Heinz ») par rapport au témoin. Les réductions les plus importantes sont en présence de (150) mMol de NaCl, dans lequel on constate forte régression chez la variété «Rio » avec (44.86%), tandis que la variété «Heinz » illustre une légère diminution de (4.48%). (Fig. 39)

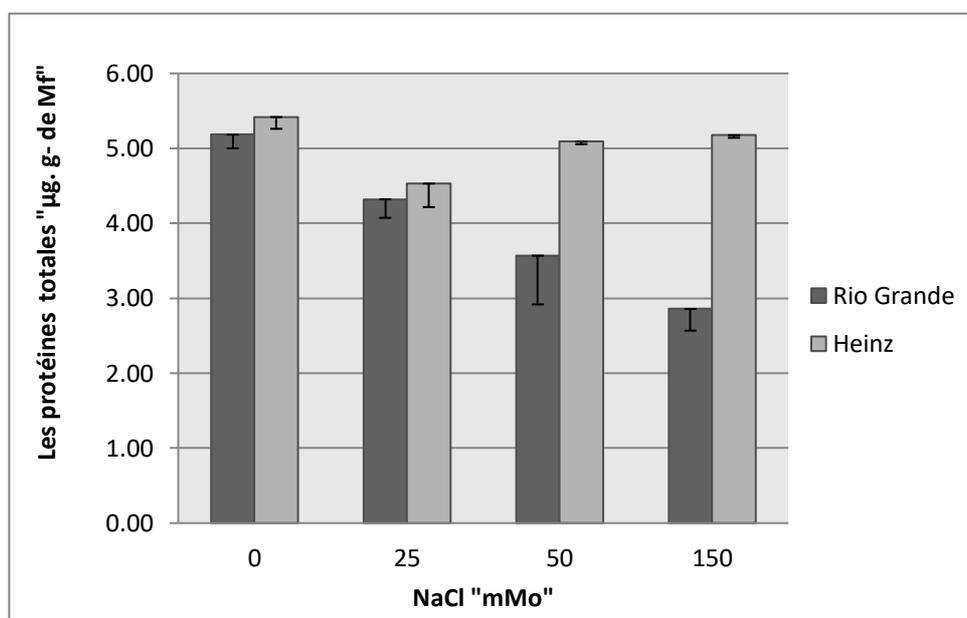


Fig. 39: Effet de la concentration de NaCl sur les protéines totales chez les deux variétés de tomates.

➤ Les calculs statistiques de l'ANOVA à deux facteurs des données présentes dans le (Tab.17), montrent une différence hautement significative ($p < 0.01$), pour les trois facteurs : variété, salinité et l'interaction (génotype* salinité) indiquant l'importance de ces trois paramètres biochimiques pour la sélection.

Tab. 17 : ANOVA à deux facteurs de l'effet du stress salin sur les paramètres biochimiques.

Les variations Les paramètres	Génotype		Salinité		Génotype*salinité	
	F	P	F	P	F	P
Pro « µg/100mg Mf »	2557.9 1	< 0,001***	13257.0 9	< 0,001***	1326.70	< 0,001***
Suc « µg/100mg Mf »	51,03	< 0,001***	447,48	< 0,001***	9,05	< 0,001***
Prot « µg.g ⁻¹ Mf »	118,36	< 0,0001***	44,099	< 0,001***	40,189	< 0,001***

Pr < 0,001*** test hautement significatif à 0.01.

6. 4. L'analyse des profils protéiques par SDS-PAGE

L'étude des protéines totales des feuilles de deux génotypes de tomate par la technique d'électrophorèse (SDS-PAGE) révèle par la coloration en bleu de coomassie un polymorphisme important des diagrammes électrophorétiques (Photo. 7). Le traitement des gels obtenus par le logiciel Soft Photocapt 8 permet une bonne visualisation des bandes ainsi que le calcul de leur poids moléculaire.

D'après la (photo.7), le gel obtenu illustre la présence de (15) bandes différentes aux poids moléculaires allant de (24.00 à 97) KDa (Tab. 17), en effet on détecte 7 bandes chez le témoin de la variété « Rio », et 9 bandes chez le témoin de la variété « Heinz ». Au niveau du stress (S1= 25, S2= 50 et S3= 150) mMol de Na Cl, on mentionne la disparition de 5 bandes chez la variété « Rio ». Tandis que la variété « Heinz » présente une absence de 6 bandes au premier niveau de stress (S1=25 mMol) et une absence de 7 bandes aux niveaux (S2=50 et S3=150) mMol, avec l'apparition de 2 nouvelles bandes (Tab. 18).

La plupart des bandes situées dans la partie supérieure du gel représentent les bandes de haut poids moléculaire (Photo.7). On observe la présence de la bande avec ce poids moléculaire 97.00 KDa chez tous les profils, néanmoins avec une intensité variante d'un profil à l'autre. En effet, une forte intensité au niveau sévère de la salinité (S3=150mMol) chez la variété « Heinz », où on manifeste 5 bandes par rapport à la variété « Rio » qui présente 2 bandes seulement. On assure la présence de certaines bandes aussi bien aux niveaux stressés que le témoin chez la variété « Heinz », alors que d'autres sont présentes /ou absentes aux niveaux stressés et au témoin. Aussi le nombre de bandes est plus élevé chez la variété « Heinz » par rapport la variété « Rio ». Cela indique dire que la variété « Heinz » présente une certaine tolérance au stress salin par rapport à la variété « Rio »(Photo.7).

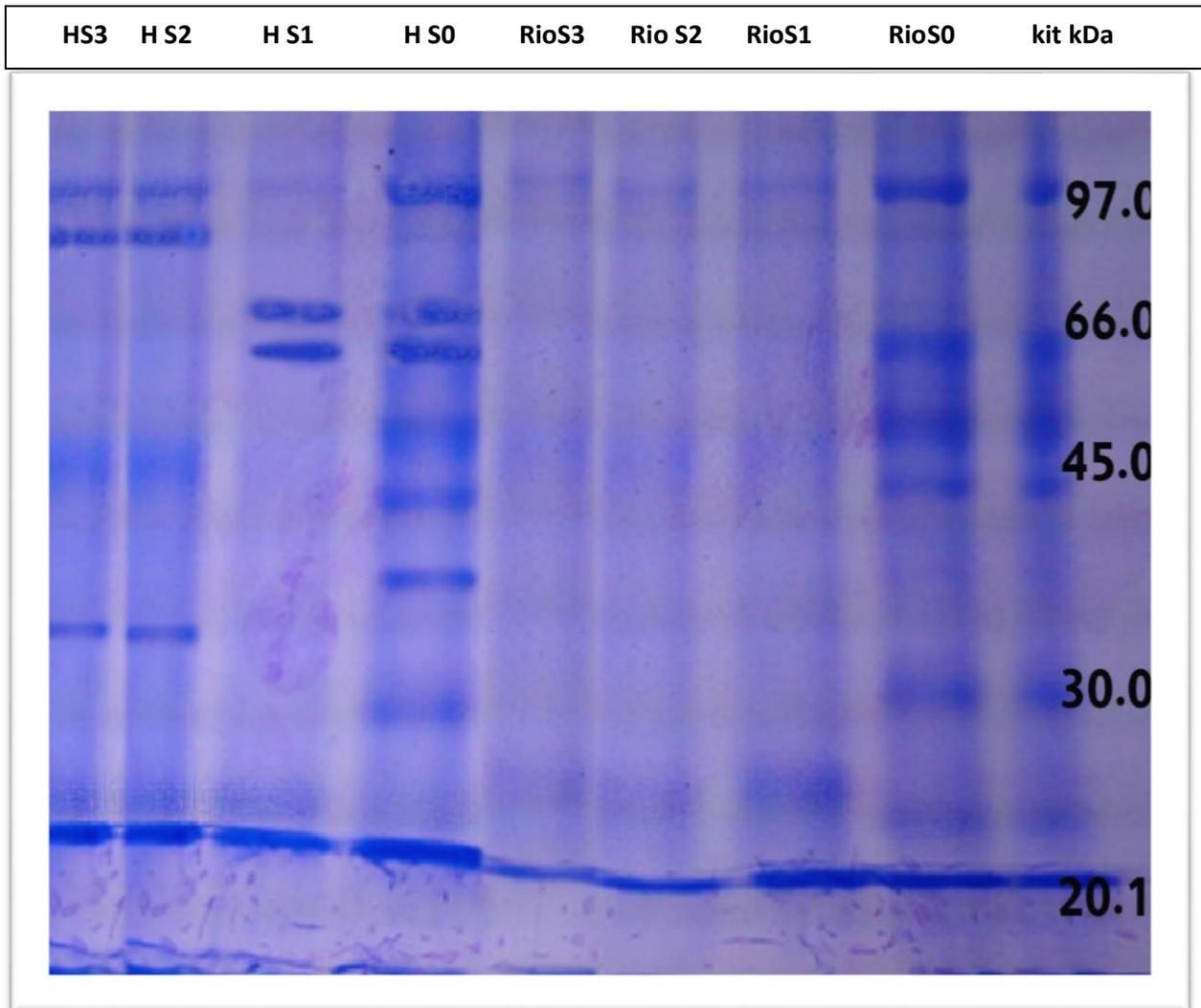


Photo. 7 : Profil électrophorétique SDS-PAGE des protéines totales des feuilles des deux génotypes de tomates soumis à un stress salin.

Tab. 18 : Diagramme présence(+) et absence (-) des bandes dans les feuilles de deux génotypes de tomates à différentes concentrations salines (Na Cl).

N° BANDE	PM (KDA)	Rio S0	Rio S1	Rio S2	Rio S3	Heinz S0	Heinz S1	Heinz S2	Heinz S3
1	97	+	+	+	+	+	-	+	+
2	86	-	-	-	-	-	-	+	+
3	79	-	-	-	-	+	+	-	-
5	66	+	-	-	-	+	+	-	-
7	52	+	-	-	-	+	-	-	-
9	50	-	-	-	-	-	-	+	+
10	45	+	-	-	-	+	-	-	-
11	40	-	-	-	-	+	-	-	-
12	35	-	-	-	-	-	-	+	+
13	30	+	-	-	-	+	-	-	-
14	25	-	+	+	+	+	-	-	-
15	24	+	-	-	-	+	+	+	+

7. L’effet du stress salin sur les paramètres histologiques

La description histologique effectuée sur les deux organes « racine et feuilles » pour les deux variétés de tomates, à différentes concentrations salines.

7. 1. L’anatomie de la racine

On montre de l’extérieur à l’intérieur la présence des tissus suivants :

- Ecorce {
 - (1) Rhizoderme
 - (2) Parenchyme cortical avec des lacunes.
 - (3) Cellule de l’endoderme

- Cylindre centrale {
 - (4) Vaisseau du xylème sous forme de X
 - (5) vaisseau du phloème.

D’après la (Fig. 39a et 39b), on observe qu’il existe une variation de la structure anatomique racinaire en fonction de la variété et de la salinité. On remarque aussi que cette structure est normale dans les conditions non salines, où les cellules du parenchyme corticales sont bien visibles et alignées chez les deux variétés témoins « Rio et Heinz » Photo : A et B .Annexe 5).

Il n’ya pas de grandes différences entre les structures histologiques racinaires des deux variétés

sous le niveau de (25mMol), on constate que le stress affecte légèrement sur la structure anatomique (Photo C et D). De plus le niveau de (50 mMol) de l'NaCl, réduit le nombre d'assises de parenchyme cortical, aussi le nombre de vaisseaux du xylème, et il détruit la structure secondaire (Métaxylème), et garde la structure primaire (protoxylème et protophloème).

Enfin le stress sévère (150mol) simule faiblement sur la variété « Heinz », par rapport à la variété « Rio », où on observe une absence complète de la structure anatomique chez la variété « Rio » par rapport à la variété « Heinz » qui présente une structure incomplète, quelques cellules parenchymateuses avec des protoxylèmes et non pas des métaxylèmes. (Tab. 19 /Photo E- F- G-H Annexe 5)

Tab. 19 : l'analyse de quelques caractères histologiques et anatomiques de la racine de variétés de tomates soumises à différentes concentrations salines.

Les concentration de NaCl« mMol »	Les variétés	Xylème: Cellules /vaisseau	Parenchyme cortical	Observation
0	Rio	6 à 16	8 à 14 assises	Le xylème est sous forme de croix
	Heinz	6à 16	8à14 assises	(+)Xylème II et phloème II
25	Rio	5 à 10	7 à 10 assises	Le xylème est sous forme de croix
	Heinz	6 à16	8 à 12 assises	(+)Xylème II et phloème II
50	Rio	5 à 6	4 à 8 assises	Le xylème ne forme pas la croix (-) Xylème II et phloème II
	Heinz	5 à 6	7 à 10 assises	Le xylème est incomplèt (-) Xylème II et phloème II
150	Rio	(-) la croissance racinaire		
	Heinz	Une croissance imparfaite		

(+) Présence (-) Absence

7. 2. L'anatomie de la feuille

On relève de l'extérieur à l'intérieur les tissus suivants :

Ecorce	}	-Épiderme supérieur (1)
		-Mésophylle hétérogène (2)
		-Épiderme inférieur(6)
Cylindre centrale	}	- Phloème II interne(3)
		- Phloème (4) et xylème (5) superposés

Selon la (Fig. 38 Annexe 5), on remarque qu'il existe une variation dans la structure anatomique foliaire, en fonction de la variété et de la concentration saline. On révèle aussi que cette structure est normale dans les conditions non salines, dans lequel les cellules du mésophylle sont hétérogènes : comprennent le parenchyme palissadique dans la face supérieure et le parenchyme à méat dans la face inférieure, bien visibles et alignées chez les deux variétés « Rio et Heinz ». (Photo A-B)

Les photos (B-C) indiquent que la concentration (25 mMol) de NaCl affecte faiblement sur la structure anatomique, où on détecte l'absence de parenchyme palissadique et les cellules parenchymateuses à méat restent toujours disposées en assises cellulaires, aussi le manque du liber chez les deux variétés avec une intensité de la lignification au niveau du xylème surtout chez la variété « Heinz » par rapport à la variété « Rio ».

Aussi, les transformations structurelles sont bien claires au niveau de (50 mMol) de Na Cl, où on aperçoit une absence de la structure anatomique chez la variété « Rio », déformation de cellules parenchymateuses, avec un nombre très réduit de tissus conducteurs (Photo. F). La variété « Heinz » garde quelques cellules parenchymateuses détruites avec des lacunes entre ces cellules avec une augmentation du degré de la lignification chez les tissus conducteurs primaires (Photo. E).

Enfin le niveau sévère de la salinité (150)mMol , affecte très sensiblement sur les deux variétés, où on ne peut pas faire des coupes histologiques sur la feuille, puisque l'organe est très endommagé par la forte concentration saline.

Tab. 20: l'analyse de quelques caractères histologiques et anatomiques de la feuille des deux variétés de tomates à différentes concentrations salines.

Les concentrations de NaCl « mMol »	Les variétés	Xylème : Cellules /vaisseau	Parenchyme cortical	Observation
0	Rio	8 à 16	7 à 10 assises	Le xylème et le phloème sont superposés et notablement identiques (+) Phloème II
	Heinz	8 à 16	7 à 10 assises	
25	Rio	5 à 10	5 à 9 assises	Le xylème et le phloème sont superposés une élévation de la taille des cellules de parenchymes (-) phloème II Grande lignification
	Heinz	6 à 16	6 à 9 assises	
50	Rio	5 à 6	4 à 8 assises	(-) la structure anatomique
	Heinz	5 à 6	7 à 10 assises	(-) xylème II et phloème II La lignification bien étendue
150	Rio	(-) la croissance foliaire		
	Heinz			

(+) Présence (-) Absence

Chapitre IV: Interprétation des résultats

1. L'effet de la salinité sur la germination

L'influence de la salinité sur le **pouvoir germinatif** des deux génotypes de tomate manifeste une réduction du taux de germination par rapport aux témoins, une réduction d'autant plus importante que la concentration en sel élève. (El Mekkaoui, 1990 ; Kayani *et al.*, 1990). À l'issue de ce travail, les résultats obtenus indiquent que le sel exerce un effet dépressif sur la germination des deux variétés de tomates *Lycopersicum esculentum* « Rio Grande et Heinz ». En effet, après (48h) la plus forte concentration (150mMol) de Na Cl, cause une inhibition totale de ce processus physiologique chez la variété « Rio ». Des résultats analogues ont été observés par (Ben Naceur, 2001) et (Ben kaddour, 2014) sur le blé dur. La variété « Heinz » semble mieux tolérante au stress salin lors de la germination, où on remarque que la plus faible concentration provoque une faible élévation de taux de germination de cette variété. Ce résultat confirme les recherches de Radhouane, (2013) et de Ben Makhoulouf, (2017), sur le blé.

L'étude de l'effet du sel (NaCl) sur la germination des semences est insuffisante pour estimer la tolérance de tomate au stress salin. En effet, la résistance au stress salin peut apparaître au stade de germination.

2. L'effet de la salinité sur les paramètres morphologiques

2.1. L'effet de la salinité sur les paramètres morphologiques aériens

D'une façon générale, les caractéristiques morphologiques s'avèrent d'une faible héritabilité et fortement influençable par les conditions du milieu. Les résultats obtenus dans le (Tab.13) indiquent que dans nos conditions expérimentales l'élaboration de **la surface foliaire** est fortement corrélée aux facteurs salinité et génotype ($p < 0.0001^{***}$). Les espèces sensibles à la salinité, font réduire leur surface foliaire, surtout au cours de la croissance végétative, qui provoque le vieillissement et la chute des feuilles (Chougui, 2005). Une des premières réactions des plantes au stress est de réduire **la surface foliaire** (Lebon *et al.*, 2004).

Le développement végétatif sous conditions limitantes d'alimentation hydrique est fortement perturbé (Ferryra, 2004), la diminution de la surface foliaire est une des réponses des végétaux à la déshydratation, ce qui confirme nos résultats de (Tab.9) avec ($r=0.9140$) de la ($Tre\ foliaire / Sf$) ; ($r = 0.6188$) de la ($Tre\ t / Sf$) et ($r = 0.9140$) de la ($Tre\ f / Sf$). Donc ce paramètre contribue à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante (Lebon *et al.*, 2004). Parmi les marqueurs importants dans la réponse des plantes à la contrainte saline est **le poids spécifique foliaire** qui est considérée comme un critère simple de sélection des génotypes présentant une efficacité élevée de la résistance à la salinité (Ykhlef, 2001).

Le poids spécifique foliaire chez la variété « Heinz » augmente, cela signifie simplement la résistance de cette variété, en revanche à la variété « Rio » diminue cela indique sa sensibilité au stress

salin. Selon les résultats obtenus dans le (Tab.9) il y a une forte corrélation négative entre le (Psf) et la réduction de la surface foliaire (Sf) avec ($r = -0,8538$). Ce qui concorde avec les résultats de (Zeghida et al., 2004).

Le processus de réduction de **la surface foliaire et l'augmentation du poids spécifique** foliaire permettent aux plantes de se confronter au manque d'eau par la réduction de la transpiration (Mouleffe, 2010). Les résultats illustrés dans la matrice de corrélation (Tab.9) prouvent que le stress salin a effet significatif sur les paramètres morphologiques aériens comme le (Nf / Pft) avec ($r = 0,9010$).

Le stress salin agit **sur le nombre des feuilles** par plante (Bouatrous, 2013), la hauteur de la tige et le poids frais (Derkaoui, 2010) de la partie aérienne. Ce qui confirme nos résultats de (Tab. 9) avec ($r = 0,8681$) du (Nf/Lt) et ($r = 0,9106$) du (Pft/Nf). En effet l'élévation du niveau de salinité dans les cylindres aboutit à une réduction conséquente des grandeurs de ces paramètres. De même le sel diminue la croissance de l'appareil végétatif par la réduction du nombre des feuilles (Derkaoui, 2010).

On note que l'effet diminuant de la salinité sur l'élaboration du **poids frais total** est plus conséquent (Zhu, 2001). En effet l'impact de la salinité sur les plantes cultivées glycophytes s'exprime essentiellement par une réduction du taux de croissance ayant pour conséquence une diminution de la vigueur végétative des organes aériens (Greenway and Muuns, 1980)

2.2. L'effet de la salinité sur les paramètres morphologiques souterrains

Les racines représentent les organes qui sont en contact directement avec le milieu où s'installe la salinité et son effet justifie un impact plus important à la morphologie racinaire, quoique cette influence dépende de la nature du paramètre concerné.

Quelques caractéristiques de la racine peuvent jouer un rôle actif dans l'absorption ionique et hydrique comme **la longueur des racines, le poids frais**, le nombre et la surface des poils absorbants (Garcia-Abellan et al., 2015), ceci justifie nos résultats obtenus dans la matrice de corrélation (Tab.9), qui prouve la corrélation significative entre : le poids frais total et le nombre des feuilles (Pft/Nf) avec ($r = 0,9010$), entre le poids frais racinaire et le nombre des feuilles (Pfr/Nf) avec ($r = 0,9149$). Aussi une corrélation significative entre la longueur et le nombre des feuilles (Lr/Nf) avec ($r = 0,8520$). La salinité a des effets néfastes non seulement sur ces paramètres, mais aussi sur d'autres paramètres morphologiques tels que **la surface racinaire (Sr)**, où on enregistre une forte corrélation significative entre (Sr) et (Pfr) avec un ($r = 0,9200$).

Actuellement, Latef and Chaoxing, (2011) établissent que les fortes concentrations salines dans le milieu de culture causent un retard de croissance sur la longueur, la biomasse aérienne et racinaire, cela confirme nos résultats dans le (Tab.9), entre **la biomasse sèche racinaire et la longueur**

racinaire (Bsr/Lr) avec ($r = 0.8788$) et entre la biomasse racinaire sur unité de volume du milieu (Bsr/Uvm) et longueur racinaire (Lr) avec ($r = 0.9355$).

Les travaux d'EL Midaoui *et al* (2007), montrent l'effet de la salinité sur le système racinaire est plus pénalisant au niveau de leur volume et leur longueur au lieu de leur nombre. Aussi, chez le trèfle ils ont observé une chute du nombre de nodules par unité de masse racinaire en fonction du degré de la salinité accompagnée d'une résistance relative de la croissance des racines. Toutefois, il semble que ces réponses dépendent de l'espèce. (Saadllah *et al.*, 2001).

Chez la tomate, les différentes concentrations de sels ont considérablement affecté à la baisse de la biomasse sèche et la surface des racines ; ceci résulte d'une déficience de la photosynthèse, après 15 jours de traitement salin, évoluant vers la sénescence induite sous les niveaux salins rapportée par Taffouo *et al.* (2013). Vraisemblablement, l'ajout de (100 et 150 mMol) de NaCl dans le milieu de culture affecte une diminution de la surface et la biomasse racinaire par rapport au témoin ; cette réduction poursuit de manière importante sous concentration saline (Shiyab *et al.*, 2013).

Ces deux paramètres de croissance (Sr) et (Br) déterminent la capacité de la tolérance à la salinité. En plus, la réduction de ces paramètres morphologiques dans ces conditions est indicative comme facteur limitant de la croissance. Selon Rivero *et al.* (2014), le choc salin peut réduire la capacité d'absorption d'eau de la plante et, finalement, réduit la croissance. Cette diminution de la croissance induite par la salinité chez la tomate est signalée dans d'autres travaux (Ghanem *et al.*, 2011 ; Shiyab *et al.*, 2013 *et* Wang *et al.*, 2015). La réduction de la croissance des plantes dans des conditions salines peut être due soit à la diminution de la disponibilité d'osmoticum, soutenue par les valeurs de la résistance stomatique des plantes, ou à l'accumulation excessive des ions dans les tissus végétaux (Wang *et al.*, 2015).

En outre, nos résultats de (Tab.9) mentionnent une forte corrélation significative entre la réduction de la surface des racines (Sr) et la diminution de nombre de feuilles (Nf) avec ($r = 0.9193$), dans les deux variétés à la suite du stress salin. Cette réduction est un indicateur majeur de la limitation de la croissance (Taffouo *et al.*, 2013). De nombreux travaux rapportent que cette réduction du poids de la biomasse végétale et de la croissance est observée chez le riz (Dhanyalakshmi *et al.*, 2013), la tomate (Taffouo *et al.*, 2013), la fève (Oufdou *et al.*, 2014) et le blé dur (Bouthour *et al.*, 2015).

Ces deux paramètres de croissance (Pfr et Sr) déterminent la capacité de la tolérance à la salinité. En plus, la réduction des paramètres morphologiques dans ces conditions est indicative comme facteur limitant de la croissance. Selon Rivero *et al.* (2014), le stress salin peut réduire la capacité d'absorption d'eau de la plante et, finalement, réduire la croissance. Cette diminution de la croissance induite par la salinité chez la tomate est signalée dans d'autres travaux (Ghanem *et al.*, 2011 ; Shiyab *et al.*, 2013 *et* Wang *et al.*, 2015).

La racine constitue comme un des organes exprimant la sensibilité aux gradients de salinité. En

effet, des travaux sur la tomate enregistrent que le poids sec des racines affiche une baisse lorsque la salinité du milieu augmente (Lovelli et *al.*, 2012). Par ailleurs, nos résultats indiquent que la variété « Heinz » montre une forme de résistance évaluée par **l'indice de tolérance à la salinité** jusqu'au niveau de (150 mMol) de Na Cl. Ceci présume que les variétés de tomates testées semblent mettre en œuvre une stratégie d'évitement du stress. Cette réponse est cependant différente, selon toujours **l'indice de tolérance à la salinité**, entre les deux variétés où la variété « Heinz » exprime un indice de tolérance plus forte que la variété « Rio ».

3. L'effet de la salinité sur les paramètres physiologiques

La diversité de l'influence de la salinité sur la plante offre une gamme importante des critères physiologiques qui peuvent éclaircir la tolérance à la salinité de certaines espèces végétales. L'analyse **de la teneur relative en eau totale (Tre t), la teneur relative en eau foliaire (Tre f)** permet d'élucider d'une manière globale le bilan hydrique de la plante et de mesurer l'aptitude à instaurer une meilleure osmorégulation et de maintenir une turgescence cellulaire (Morant-Manceau et *al.*, 2004). Bien que, le stress salin est un phénomène complexe qui conduit souvent à un stress osmotique dû à la diminution des quantités d'eau disponible au niveau de la plante, suite à la réduction de l'aptitude des plantes à absorber l'eau.

Le statut hydrique de la tomate influencé par le traitement salin, sur les deux paramètres hydriques étudiés (**Tre t et Tre f**). Ces deux derniers diminuent significativement ($P < 0.01$) sous l'effet de la salinité (Tab.15) et nos résultats (Tab.12. Annexe2) montrent que la salinité est inversement proportionnelle à la teneur relative en eau foliaire (**Tre f**), ces résultats concordent avec celles de Ashraf, (2015) sur la tomate. En revanche, les deux paramètres mesurés (**Tre t et Tre f**) révèlent une disponibilité en eau plus élevée que le témoin chez les deux variétés de tomates.

En outre, l'état hydrique de la variété « Heinz » comporte mieux que la variété « Rio », les deux variétés de tomates montrent une sensibilisation aux fortes concentrations salines (150 mMol) de NaCl, puisque, l'effet des sels traduit par la diminution de la disponibilité de l'eau pour la plante, due à l'augmentation de la pression osmotique du milieu, ce qui provoque une diminution de la turgescence. Selon Rivero et *al.*, (2014), (Kaya et *al.*, 2015), le choc salin affecte à la fois la croissance des feuilles et l'état hydrique de la plante. Toute de même, le comportement des deux variétés de tomates par rapport à la teneur en eau en fonction de la salinité semble identique.

Effectivement, face à de fortes concentrations salines, les pertes en eau des feuilles diminuent considérablement afin de conserver une certaine turgescence cellulaire permettant une aptitude à la salinité. Également, plus le stress est sévère, et plus les pertes d'eau par les feuilles ne diminuent pas. Aussi, d'importantes variations des valeurs enregistrent chez les deux variétés, montrent que l'influence

du stress salin à travers les pertes en eau par transpiration exprime beaucoup plus chez la variété « Rio » que la variété « Heinz ».

Aussi, l'effet osmotique produit par la salinité du sol peut causer des perturbations dans l'équilibre hydrique de la plante et l'inhibition de la croissance, en provoquant la fermeture des stomates et la réduction de la photosynthèse (Wang *et al.*, 2015). Ainsi, l'arrêt de la croissance a lieu lorsque la turgescence diminue en dessous du seuil de rendement de la paroi cellulaire, et déshydratation cellulaire débute lorsque la différence du potentiel hydrique est supérieure qui peut être compensée par la perte de turgescence (Amjad *et al.*, 2014). Nos résultats statistiques de la teneur en **chlorophylle totale (Ch t)** prouvent une différence hautement significative ($P < 0.01$) dans le facteur salinisation (Tab.15) et la chute des teneurs en chlorophylle (Ch t) est très remarquable chez les deux variétés « Rio et Heinz » à tous les concentrations salines.

Cependant, la variété « Rio » diminue sensiblement aux niveaux ($S_2=25$ et $S_3=50$ mMol de Na Cl), par rapport à la variété « Heinz » qui montre une diminution légère aux fortes concentrations salines ($S_2=50$ et $S_3=150$) mMol, cela explique la tolérance de cette variété « Heinz » par rapport à la variété « Rio » qui est sensible au stress salin. Ce qui confirme nos résultats dans le (Tab.15) qui expliquent la corrélation hautement significative entre l'interaction (salinité* variété).

La quantité de **la chlorophylle des feuilles** peut influencer par beaucoup de facteurs tels que l'âge des feuilles, la position des feuilles, et les facteurs environnementaux tels que la lumière, la température et la disponibilité en eau (Hikosaka *et al.*, 2006). Ce qui appuie la forte corrélation positive entre la ($Tre t$ et $Ch t$) avec ($r = 0.8948$) dans le (Tab.9) ; la conséquence de la réduction de l'ouverture des stomates visant à limiter les pertes en eau par évapotranspiration et par augmentation de la résistance à l'entrée du CO_2 atmosphérique nécessaire à la photosynthèse (Bousba *et al.*, 2009).

L'évaluation de **la sélectivité et l'accumulation des ions** sont des méthodes les plus importantes pour la compréhension des mécanismes de tolérance à la salinité chez la plante (Sykes, 1985). Le mécanisme de sélectivité ionique inclut la limitation dans l'absorption des ions toxiques et le maintien d'une nutrition minérale normale. Ces plantes pourraient être plus tolérantes au sel que celles qui ne restreignent pas l'accumulation des ions et perdent l'équilibre des éléments nutritifs (Weimberg *et al.*, 1988). Le terme «inclusif» est utilisé pour distinguer ce type de plante (Juan *et al.*, 2005).

L'accumulation des ions a eu lieu chez certaines espèces végétales qui prennent des ions de haute concentration pour l'ajustement osmotique. Les mécanismes physiologiques de cette technique basée sur la séquestration du sel loin des sites métaboliques et synthétisent des solutés compatibles pour l'équilibre osmotique (Flowers, 2004). Le terme «inclusif» est utilisé pour caractériser ce type de plantes (Romero *et al.*, 1997).

Dans notre expérience, les deux variétés de tomates « Rio et Heinz » soumises aux différentes concentrations de NaCl montrent des variations dans **l'accumulation des sels minéraux Na^+ et K^+**

exprimé en (mg.100g⁻¹ de matière sèche), et leurs coefficients dans les feuilles et les racines. En effet, le Na⁺ augmente significativement sous l'effet du stress salin (p<0.01) (Tab. 16), en particulier, pour la variété « Rio » avec des valeurs très élevées. Certainement, cette augmentation de Na⁺, elle résulte de la diminution du potentiel osmotique du contenu cellulaire et d'un niveau élevé d'absorption d'eau (Silva *et al.*, 2015). Sachant, que les plantes tolérantes au sel accumulent de faibles concentrations en Na⁺, par contre, les variétés sensibles présentent des concentrations en Na⁺ très élevées dans le système végétatif, lorsqu'elles sont soumises au stress salin (Shaddad *et al.*, 2013). Alors, d'après nos résultats (Fig. 33) la variété « Rio » est sensible et la variété « Heinz » est tolérante au stress salin.

Les résultats de (Tab.9), prouvent une corrélation positive entre la composante principale (Prot) et le sodium des feuilles (Na⁺f) avec (r = 0.8299). D'après la (Fig. 36) on remarque que la variété « Rio » diminue sa teneur en (Prot) progressivement avec l'augmentation du Na Cl (Benkhaled *et al.*, 2003), en même temps cette variété « Rio » accumule plus de (Na⁺) dans ces feuilles, par rapport à la variété « Heinz » qui montre une accumulation moins de (Na⁺) dans ces feuilles surtout au niveau sévère (150mMol de Na Cl), (Fig. 33). Donc cette dernière variété (Heinz) comporte mieux avec les niveaux sévères de la salinité (S2=50 et S3=150) mMol de Na Cl. ces résultats expliquent le comportement différent de ces deux variétés « la tolérance de la variété Heinz » et « la sensibilité de la variété Rio ». Ces conclusions correspondent avec plusieurs recherches comme (Ben-khadour, 2014) sur le blé dur, (Amrouche, 2017).

La teneur de (K⁺) dans les feuilles et les racines des deux variétés de tomates, diminue significativement (P<0.01), et sensiblement aux fortes concentrations de sel (Na Cl), (Tab.16), Cependant, cet ion (K⁺) s'accumule plus dans les feuilles que dans les racines. Ainsi, **le coefficient (Na⁺/K⁺)** que ce soit dans les feuilles ou les racines s'accroît avec l'élévation des concentrations de salinité.

Les observations de la (Fig. 33- 34) prouvent que le sodium reste prédominant dans les organes feuilles et racines, relativement à l'ion (K⁺), car ce dernier est légèrement présent avec des quantités plus ou moins importantes uniquement dans les racines des plantes témoins. Aussi, d'après le (Tab.9) on note une corrélation négative entre la composante principale (Prot) et **le coefficient de sélectivité foliaire (Csf)** avec (r = - 0.8000) et entre la composante principale « la protéine » (Prot) et **le coefficient de sélectivité racinaire (Csr)** avec (r = -8000). Le coefficient de sélectivité (Na⁺/K⁺) est largement supérieur à 1 dans les feuilles et les racines ; ces observations montrent que le sodium surpasse le potassium. Selon Almeida *et al.*, (2014) chez la tomate, la tolérance à la salinité est souvent associée aux capacités particulières de maintenir une teneur élevée en (K⁺). Auparavant, Taffouo *et al.*, (2010) relatent que la tolérance à la salinité chez la tomate, est principalement liée à la capacité de maintenir un rapport faible de (Na⁺/K⁺) de la plante.

En effet, la capacité des végétaux d'exclure le Na^+ absorbé et la capacité des cellules à retenir (K^+) peut contribuer à la fois à ce trait de la tolérance à la salinité (Almeida *et al.*, 2014). Selon Taffouo *et al.*, (2010) la diminution du rapport (Na^+/K^+) et la sélectivité de (Na^+) réduit la translocation de la racine aux feuilles et contribue à la tolérance à la salinité des glycophytes sensibles.

Effectivement, le coefficient de sélectivité dans les feuilles des plantes stressées au sel salin est un meilleur indicateur global de la capacité de la plante à choisir et à utiliser le (K^+) sous l'effet de sel, c'est ce qu'expliquent Asins *et al.*, (2012), le maintien d'un faible coefficient (Na^+/K^+) est important pour la tolérance à la salinité. Nos observations dégagent des résultats qui montrent que la salinité influe significativement ($p < 0.01$) sur l'ion (K^+) dans les racines pour les deux variétés (Fig. 33 et 34), qui diminue ; en revanche, il augmente dans les feuilles. Les teneurs élevées en (Na^+) dans les organes inhibent la rentrée du (K^+) ou augmentent la fuite des tissus et réduisent la croissance des cellules.

4. L'effet du stress salin sur les paramètres biochimiques

Plusieurs auteurs affirment que l'augmentation de **la teneur en proline** est reliée directement à l'application du stress salin (Ben Kaddeur, 2014). L'accumulation de la proline existe chez de nombreuses espèces et dans les différentes situations de stress (osmotiques, salins, thermiques) (Blum, 1996). Plus le niveau de stress appliqué augmente plus les teneurs en proline deviennent plus remarquable (Bouزيد, 2010). Il paraît que la proline peut conférer la tolérance des plantes aux stress par le développement d'un système antioxydant qui peut jouer un rôle d'indicateur d'ajustement osmotique (Eliane *et al.*, 2007.)

Les observations dans le (Tab. 16) expriment que le contenu de la proline dans les feuilles des deux variétés de tomates « Rio et Heinz » augmente significativement sous l'effet de la salinité et avec une corrélation hautement significative ($p < 0,001$)

Les résultats obtenus (Tab. 9) semblent indiquer que les contenus en proline (Pro) sont hautement corrélés négativement avec la surface foliaire (Sf) avec ($r = -0.9026$) et fortement corrélés positivement avec le poids spécifique foliaire avec ($r = 0.9189$), cette corrélation négative entre l'accumulation de la proline et la surface foliaire est observée chez différentes espèces de blé dur (Nouri, 2002), chez la luzerne (Hireche, 2006) et chez la tomate (Arbaoui, 2016).

La variété « Heinz » assure une teneur en « Pro » plus que la variété « Rio », cela veut dire que cette variété est tolérante au stress salin par rapport à la deuxième variété « Rio ». Qui prouve que l'acide aminé proline joue un rôle dans les réponses adaptatives des plantes au stress osmotique et il intervient dans le mécanisme de défense tel un régulateur contre les contraintes abiotiques (Shahba *et al.*, 2014).

Également, plus le stress est sévère, et plus les pertes d'eau par les feuilles ne diminuent pas. Aussi, la variation des valeurs enregistrées chez les deux variétés, indique que l'influence du stress salin à travers la teneur relative foliaire (Tre f) et l'augmentation de contenu en proline s'exprime beaucoup plus chez les plantes de tomates (Rivero et *al.*, 2014), ce qui concorde avec nos résultats obtenus dans le (Tab. 9) qui motivent une forte corrélation positive entre la proline et la teneur relative foliaire (Pro / Tre f) avec ($r = 0.9014$).

L'accumulation de la proline peut être due à une augmentation de la synthèse de cet acide aminé ou à la protéolyse des protéines déjà synthétisées et sa libération (Delauney and Verma, 1993). Aussi l'accumulation de cet acide aminé peut en effet jouer un rôle dans l'osmorégulation des cellules en cas de déficit hydrique et servir comme indicateur à la sécheresse et/ou un détecteur de stress (Aspinall and Paleg, 1981 ; Grote and Claussen, 2001).

Les niveaux sévères du stress salin augmentent **la teneur des sucres solubles** dans les deux variétés de tomates « Rio et Heinz ». Ces observations sont en accord avec celles de Nawaz et *al.* (2013), Hameed et *al.* (2013) et Adda et *al.* (2014). Certaines investigations menées par Parvaneh et *al.* (2012) concluent que les concentrations en sucres (les polysaccharides de réserve) s'élèvent toujours après une exposition de la plante à la salinité. D'autres comme Wu et *al.* (2013), évoquent l'importance de ces accumulations des solutés organiques (glucides solubles et insolubles) qui jouent un rôle important dans l'augmentation de la pression osmotique interne. Cette réaction de la plante a déjà été considérée comme une réponse au stress salin (et *al.*, 2006).

La plante de la tomate testée à l'égard des **protéines foliaires solubles(Prot)** répond significativement au stress salin ($P < 0,001$). Dans cette investigation, on détecte que le contenu des protéines foliaires solubles (Prot) dans les feuilles de la variété de tomate « Rio » diminue progressivement avec le degré de l'NaCl. Mais la variété « Heinz » régresse son contenu de protéines totales seulement au premier niveau de sel (S1=25 mMol) de Na Cl, c'est-à-dire au premier contact avec le sel (Doganlar et *al.*, 2010),

Aussi, la réduction de la quantité des protéines en milieu salin, est due aux changements dans l'activité cytoplasmique et de leur niveau à la suite de la perturbation du mécanisme de synthèse. Cependant, la réduction des taux des protéines totales foliaires de *Phaseolus vulgaris* soumise à la salinité, est surtout liée à l'inhibition de la voie métabolique des protéines (Doganlar et *al.*, 2010).

En revanche, la teneur en protéines peut également être affectée négativement ou positivement par le stress de sel. Les résultats de Kapoor and Srivastava (2010) sur *Vigna mungo* L et Sibole et *al.* (2003) sur le trèfle (*Medicago citrina* L.) accordent nos résultats (Fig.36), où on analyse une augmentation de la teneur en protéines lors de l'augmentation de la concentration saline (S2=50 et S3=150 mMol) chez la variété « Heinz ». De même, Ashraf and Harris (2004) constatent, chez les variétés tolérantes au sel d'orge, de tournesol, du mil (céréale) et du riz, une augmentation de la teneur

en protéines solubles. Aussi, Tort and Turkyilmaz(2004), confirment une grande augmentation du contenu des protéines chez l'orge, après un traitement salin.

Le choix de ce paramètre métabolique est reconnu comme un bon indicateur de l'état physiologique de la plante (Doganlar et al., 2010). Où on inscrit dans les résultats (Tab.16) une corrélation significative entre (**Prot**) / (**Na⁺ f**) avec ($r = -0.8299$). En effet, le principal effet du stress salin est la perte de l'eau intracellulaire, les plantes ont tendance à accumuler de nombreux métabolites tels que « les solutés compatibles » qui empêchent la perte d'eau de la cellule et protègent les protéines cellulaires (Mahajan and Tuteja, 2005).

La séparation **des protéines par électrophorèse** sur gel de polyacrylamide donne un profil caractéristique du génotype et reproductible si les techniques standardisent. La différence entre profils réside dans l'intensité relative des bandes colorées ainsi que dans le nombre de bandes obtenues. Chaque bande d'un profil électrophorétique compose de plusieurs protéines de structure différente mais de mobilité identique.

Par ailleurs, la présence des bandes communes entre les deux génotypes indique que les protéines contenues dans les feuilles de tomate sont présentées à des concentrations variées tout dépend du génotype (Jasso et al., 2002). Cette différence d'accumulation peut résulter d'une différence dans la régulation du gène ou dans l'organisation du génome par la présence d'un nombre élevé de copies de ce gène (Labhilili et al., 1995).

Des changements dans le profile protéique : l'inhibition de certaines protéines, la surexpression de certaines d'autres et l'apparition de nouvelles protéines interviennent suite aux stress massifs environnementaux parmi lesquels le stress salin. Ils ont une grande importance dans l'adaptation des plantes au stress. (Yordanova et al., 2004).

Une partie des protéines induites ont une fonction directe dans l'augmentation de la tolérance au stress (protéines fonctionnelles), d'autres ont une fonction dans la chaîne de transduction (protéines régulatrices) qui aboutissent à la production des protéines fonctionnelles (Schulze et al., 2005). Les protéines de stress jouent un rôle dans l'adaptation de la plante, et de ce fait, de nombreux chercheurs abordent la résistance aux stress par l'isolement et l'étude de ces molécules. (Lamaze et al., 1995).

La diminution de la **teneur foliaire en protéines solubles** sous stress salin serait en partie due à l'effet inhibiteur de Na Cl sur la nodulation et sur la fixation symbiotique de l'azote (Ben khaled et al., 2003).

Plusieurs auteurs rapportent que l'altération de la diffusion intra-nodulaire de l'oxygène (Gomaz, 2003) et l'inhibition de l'activité enzymatique de la glutamine synthétase (GS) et le glutamate synthase dépendante de NADH (NADH-GOGAT) (Honrubia, 2003) sous la contrainte saline sont parmi les facteurs limitant la biosynthèse protéique. Les protéines de stress jouent un rôle dans

l'adaptation de la plante, et de ce fait, de nombreux chercheurs abordent la résistance au stress par l'isolement et l'étude de ces molécules. (Temagoult, 2009).

5. L'effet du stress salin sur les paramètres histologiques

Les coupes anatomiques des deux variétés de tomates cultivées aux différentes concentrations salines, illustrent qu'il y a une transformation et perturbation au niveau du développement histologique des feuilles et des racines de deux variétés de tomates (Fig. 37 et 38). En effet, **l'étude anatomique de la racine, la feuille** prouve que **le nombre des vaisseaux du xylème** diminue avec la salinité, cela est dû en partie à la répression du développement du métaxylème (El –Rodeny and El Okkiah 2012), (Hameed et al., 2013). On conclut que le nombre important du métaxylème, il joue un rôle dans la conduction de l'eau et les nutriments, particulièrement sous des conditions salines.

En outre, les résultats obtenus par Akram et al. (2002) prouvent une diminution dans **les assises de parenchyme cortical et médullaire** en présence de NaCl chez le blé. Cela confirme nos résultats dans le (Tab. 18). De plus, l'agrandissement de la taille de cellules parenchymateuses au niveau faible de la salinité (25 mMol), suivi d'une augmentation de l'épaississement dans leurs parois (Fig. C et D), par revanche au niveau de (50-150)mMol, l'épaisseur des cellules parenchymateuses diminuent. En concordance avec les résultats de Bouassaba (2018).

Cependant, **la structure anatomique racinaire et foliaire** des deux variétés de tomates soumises à (25 mMol) de NaCl ne révèle aucune modification au niveau des vaisseaux de xylème, seul le nombre des faisceaux conducteurs reste variable (Córdoba et al., 2001). Le nombre d'assises de parenchyme cortical est nettement plus réduit aux fortes concentrations de sel (Hasiao and Xu, 2000). De même pour le xylème, l'augmentation de la salinité, dû a une diminution du **nombre des cellules par faisceaux** (Villar , 2011). Les résultats d'Akram et al. (2002) indiquent que le diamètre des cellules des différents tissus change selon la concentration du sel chez le blé.

Chez certaines plantes succulentes, la réaction inverse, la surface des parenchymes corticaux et médullaires augmente face au stress salin, phénomène qui observe chez le (*Cynodon dactylon* L.) (Hameed et al., 2010). Ould el hadj (2001) argumente que les plantes de tomate soumises à un stress de 100 mMol/l de NaCl, souffrent de légères lésions apparaissent au niveau de la moelle des tiges et lorsque la concentration en sel passe à 1500 mMol/l, la moelle est fortement détruite, un second changement concerne la diminution du diamètre des vaisseaux de xylème et l'augmentation de leur nombre sous les traitements 150 mMol/l de NaCl. C'est ce qui convient avec nos résultats de (Tab. 18 - 19) / (Fig. 37 - 38), où on note une absence structurale de la croissance primaire et secondaire chez la variété « Rio » et une absence de la croissance secondaire chez la variété « Heinz », au niveau de la racine. En face l'organe de la feuille démontre que les deux variétés « Heinz et Rio » sont très sensibles aux fortes doses de la salinité (150 mMol).

D'après les travaux de Gabriel *et al* (2010), seules les fortes concentrations en sels (150 mMol) peuvent consulter des modifications anatomiques sur les racines d'une graminée : *Chloris gayana*. La description de l'anatomie est très intéressante pour caractériser le système racinaire et foliaire de la plante (Jourdan, 1995 ; Pagès, 1995 et Bensaada, 2015).

Conclusion générale et perceptives

Conclusion générale et perceptives

La caractérisation des deux variétés de tomates sous l'effet du stress salin, permet d'analyser la relation entre les protéines et ces caractères morphologiques, physiologiques, biochimiques et histologique, aussi d'identifier la variété tolérante et sensible. En effet, l'étude de cette relation permet de contrer les dommages oxydatifs, conférant au génotype tolérant à la salinité.

L'objectif de notre travail est l'étude de l'effet du chlorure de sodium (NaCl) sur la germination, ainsi sur la croissance morphologique physiologique, biochimique et anatomique chez les deux variétés de tomates *Lycopersicon esculentum* Mill ; variété « Heinz, Rio Grande ». En vue d'une sélection précoce des génotypes tolérants au stress salin afin de les utiliser dans les programmes des zones touchées par le phénomène de salinité en Algérie.

Afin de déterminer les conditions optimales de **germination** à utiliser lors de l'étude de la contrainte saline, nous utilisons quatre concentrations différentes (0, 25, 50 et 150) mMol de NaCl. Les résultats obtenus montrent une grande variabilité de réponses des deux variétés. Où, la concentration (S3=150) mMol inhibe complètement le taux de germination chez la variété « Rio » tandis-que la variété « Heinz » donne un taux de (6.67%).

À la lumière des résultats obtenus dans **l'étude morphologique**, on confirme que le stress salin est étroitement dépendant et favorisé par des réponses morphologiques différentes, de la partie aérienne ainsi que de la partie racinaire, dans lequel nos résultats sont les suivants :

- a réduction du taux de croissance aérienne (**la longueur des tiges, racines et nombre des feuilles**)
- L'augmentation du **poids spécifique foliaire(Psf)**, qui considère comme un marqueur de tolérance, chez la variété « Heinz » plus que la variété « Rio », notamment à la forte concentration (150mMol), qui révèle la tolérance de la variété « Heinz » et la sensibilité de la variété « Rio ».
- La diminution de la **surface foliaire(Sf), racinaire(Sr)** au fur et à mesure avec l'augmentation des niveaux salins.
- L'évaluation de **l'indice de tolérance à la salinité (Its)**, motive que la variété « Heinz » a un **(Its)** plus que la variété « Rio », cela confirme la sensibilité de cette dernière et la tolérance de la variété « Heinz »
- La réduction du **poids frais racinaire** ainsi que le **poids frais total** surtout chez la variété « Rio »

Conclusion générale et perceptives

- La régression de la **biomasse sèche racinaire par unité de volume (Bsr/Uv)** ainsi que le rapport de la biomasse sèche racinaire et aérienne (**Bsr/Bsa**).

Également, la salinité évoque des mécanismes de résistance morphologiques variés selon la variété, qui lui permet de se confronter à ce stress, où le génotype Heinz illustre une certaine résistance par rapport le génotype « Rio ».

Par ailleurs, **l'étude physiologique** sur la partie aérienne et racinaire, prouve que l'accumulation des osmotocums lors d'un stress salin reste un paramètre de résistance déterminant et le bilan hydrique a été affecté par les fortes concentrations salines, chez les deux génotypes. Nos résultats sont les suivants :

- Une diminution de la **teneur relative en eau totale (Tre t)** et **foliaire (Tre f)**.

• **Les teneurs des ions minéraux Na^+ , K^+ et leurs coefficients** varient selon la concentration saline et la variété. Les feuilles et les racines accumulent plus de Na^+ aux fortes concentrations salines et principalement chez la variété « Rio » que la variété « Heinz ». En revanche, l'accumulation du K^+ des feuilles et des racines de deux variétés de tomates ralentit sensiblement sous les concentrations les plus élevées, cependant, cette accumulation du K^+ reste beaucoup plus foliaire que racinaire et plus intense dans la variété « Rio » que la variété « Heinz ». Le coefficient de sélectivité Na^+/K^+ aussi bien des feuilles où des racines croît avec l'élévation des niveaux de salinité. En revanche, ce coefficient diminue chez la variété tolérante que sensible notamment chez la variété « Heinz » moins que la variété « Rio ».

• L'analyse statistique prouve des corrélations significatives entre le (Na^+/Rsr) ($r = 0.9239$) ; le (Na^+/Rsf) avec ($r = 0.9616$) ; la ($\text{Tre f}/\text{Cht}$) avec ($r = 0.900$) ; la ($\text{Tre f}/\text{k}^+\text{f}$) avec ($r = 0.9007$)

- la chlorophylle totale (**Ch t**) diminue avec l'augmentation saline

En effet, les changements physiologiques qui apparaissent sont hautement corrélés avec les changements morphologiques, où on remarque des fortes corrélations significatives entre (Na^+/Sr) avec ($r = -0.9434$) ; (Na^+/Sr) avec ($r = 0.900$) ; ($\text{Tre f}/\text{Sr}$) avec ($r = 0.9322$). (Tab. 9)

D'autre part, **l'étude biochimique** au niveau de la cinquième feuille montre des corrélations hautement significatives entre la salinité et la proline(Pro), les protéines totales

Conclusion générale et perceptives

(Prot) ($P < 0.001$). (Tab. 16). Cette approche biochimique dans les conditions salines enregistre ces résultats suivants:

- L'accumulation des **sucres solubles(Suc)**, la **proline(Pro)**
- Les teneurs en **protéines totales foliaires (Prot)** influent par les différentes concentrations salines et l'analyse statistique prouve une corrélation significative entre la composante principale (**Prot**) et le sodium des feuilles (**Na⁺f**), avec ($r = -0.8299$).
- Des changements dans le profil protéique, par électrophorèse sur gel de polyacrylamide en condition dénaturante (SDS-PAGE), surtout aux fortes concentrations.
- l'analyse des gels obtenus détecte au total de 15 bandes différentes d'un poids moléculaire allant de (24.00 à 97) KDa, la plupart de ces bandes sont observées chez les variétés témoins que les stressés, d'autres existent chez la variété « Heinz » stressée, ce qui indique :
 - L'inhibition de certaines protéines ; la surexpression de certaines d'autres
 - L'apparition de nouvelles protéines fonctionnelle.

Enfin, la dernière **étude histologique**, montre que l'accroissement de la salinité induit des fortes transformations au niveau de la structure des racines et feuilles, suivant ces résultats :

- La réduction du **nombre de xylème**, d'**assises de parenchyme cortical**
- Un manque de la **formation secondaire (métaxylème)**
- La déformation du xylème notamment la variété « Rio »
- L'absence de la **croissance racinaire** chez la variété « Rio », de même pour la croissance foliaire pour les deux variétés, à la forte concentration saline (150mMol),
- L'augmentation de la **taille et la lignification des cellules parenchymateuses**

En générale, les dépendances apparues entre la situation saline et les paramètres morphologiques, physiologiques, biochimiques et anatomiques dictent que la composante principale (**Prot**) raccorde avec plusieurs paramètres surtout au niveaux **physiologiques**, cependant la tolérance de la variété « Heinz » et la sensibilité de la variété « Rio » favorise par l'accumulation de métabolite primaire telles que : les **sucres , prolines et protéines totales** , ces accumulations de ces métabolites chez les deux variétés de tomates, impliquent dans les mécanismes d'ajustement osmotique et surviennent comme osmoprotecteurs. Les protéines

Conclusion générale et perceptives

totales peuvent considérer comme « **marqueur biochimique** » du degré de la tolérance au stress salin et par conséquent elles peuvent être utilisées pour la sélection précoce des variétés tolérantes au sel chez l'espèce étudiée.

Bien que ce travail tente d'analyser la relation entre les protéines et ces différents caractères de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) vis-à-vis du stress salin, plusieurs autres questions restent encore posées et nécessitent d'être approfondies à savoir :

- ❖ L'étude de l'effet du stress salin en fonction du stade de développement pour déterminer celui qui serait le plus sensible à la salinité ; et celui à partir duquel le sel n'a plus d'effet, pour programmer l'intervention des irrigations avec l'eau saline en pépinière avant la transplantation.
- ❖ Compte tenu de l'importance de cette espèce dans la réhabilitation des sols dégradés surtout dans les régions arides et semi-arides, il est important de multiplier les essais sur d'autres provenances
- ❖ Identifier des osmorégulateurs autres que la proline pour mieux élucider l'ajustement osmotique qui est un mécanisme très développé par les plantes pour faire face au stress osmotique
- ❖ Procéder à la discrimination génétique entre les différents génotypes étudiés en utilisant les techniques de biologie moléculaire afin d'identifier les gènes responsables pour la tolérance à la salinité et sélectionner les génotypes les plus résistants

*Références
bibliographiques*

- Abdi S., and Zitouni A., 2014.** Dosage de l'acide abscissique en conditions de stress hydrique et thermique et étude des mécanismes de tolérances chez quelques variétés du blé dur . *Plant Physiol* 33 : 123-130.
- Adda A ., Regagba Z., Latigui A., and Merah O., 2014.** Effect of salt stress on -amylase activity, sugars mobilization and osmotic potential of *Phaseolus vulgaris* L. Seeds var. Cocorose. *Journal of biological science*, 14: 370-375.
- Ainaoui S., and Lafala Z., 2016.** Etude comparative de l'effet du stress hydrique sur le Comportement de quatre génotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.). *Biology and Biotechnology*, 41: 20-31.
- Afzal I., Shahzad M.A, Basra M.F, Nawaz A., 2006.** Alleviation of Salinity Stress in Spring Wheat by Hormonal Priming with ABA, Salicylic Acid and Ascorbic Acid. *International Journal of Agriculture Biology* 1, 23-28.
- Aghaei K., hsanpour AA., Komatsu S., 2008.** Proteome analysis of potato under salt stress. *Journal of Proteome Research* 7 (11), 4858-4868.
- Ajmal Khan M., Irwin A., Ungar and Allan M. Showalter 2000.** The effect of salinity on the growth, water status, and ion content of a leaf succulent perennial halophyte, *Suaeda fruticosa* L. Forssk. *Journal of Arid Environments* 45: 73–84.
- Akram M., Ahmed A., et JanM M., 2002.** The medicinal plants of saly range. *J. Biol. Sci.*, 2:1053-1046.
- Alem C., Amri A., 2005.** Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Biology and Biotechnology*, 4. 1: 20-31.
- Alem C., Labhilili M., Brahimi K., Jlibene M., Nasrallah N., and Filali-Maltouf A., 2002.** Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies*, Vol. 325 :1097-1109.
- Al-Karaki G.N., 2000.** Growth of mycorrhizal tomato and mineral acquisition under salt stress. *Mycorrhiza*, Vol. 10: 51-54.
- Allagulova C.R., Gimalov, F.R., Shakirova, F.M., and Vakhitov, V.A., 2003.** The plant
- Allen R. D., 1995.** Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiol*, Vol. 107: 1049-1054

Références bibliographiques

- Almeida P., de Boer G., and de Boer A. H. 2014.** Differences in shoot Na⁺ accumulation between two tomato species are due to differences in ion affinity of HKT1;2. *J. Plant Physiol.* 171, 438–447
- Amjad M., Akhtar J., HAQ M.A., Imran S., and Jacobsen S. E., 2014.** Soil and foliar application of potassium enhances fruit yield and quality of tomato under salinity. *Turkish Journal of Biology*, 38(2), 208-218.
- Amokrane M.S., 2004 :** Etude de la variabilité de la germination sous stress salin chez quelques populations d'espèce de *Medicago. L*, Thèse d'ingénieur Agronome. INA El Harrach.
- Amrouche I., 2017.** Effet du stress abiotique sur l'accumulation des protéines totales chez deux variétés de blé dur (*Triticum durum Desf.*). Thèse de l'étude supérieure. Université de Constantine.
- Amtmann A. and Sanders D., 1999.** Mechanisms of Na⁺ uptake by plant cells. *Adv. Bot. Res.* 29, 76-112
- Antipolis S., 2003.** Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens. Les cahiers du plan bleu, Vol.2 : 44-49
- Araus J.L., Casadeus J., and Amaro T., Asbati A., and Nachit M.M., 1998.** Relationship between ash content, carbon isotope discrimination and yield in durum wheat. *Australian Journal of plant Physiology* 25: 835-842.
- Arbaoui M., 2016.** Effets du Stress Salin sur des Plantules de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) Cultivées sur Substrat Sableux amendé en Bentonite. Thèse de Doctorat Sciences Biologiques. Université. Ahmed Ben Bala . Oran.
- Ashraf A., and Khanum A., 1997.** Relationship between ion accumulation and growth in two-spring wheat lines differing in salt tolerance at different growth stages. *J. Agron. Crop Sci.*, 178: 39–51
- Ashraf M., 2002.** Salt tolerance of cotton: some new advances. – *Crit. Rev. Plant Sci.* 21(1): 1– 30.
- Ashraf M., and Harris J C., 2004.** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. *Plant Science*, 166: 3–16.
- Ashraf M., and Harris P.J.C., 2004.** Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants, *Plant Science*. 166 :3-16.
- Asins J. M., Villalta I., Aly M. M., Olias R., Morales P. A., Huertas,R., 2012.** Two closely linked tomato HKT coding genes are positional candidates for the major tomato QTL involved in Na⁺/K⁺ homeostasis. *Plant Cell Environ.* 36, 1171–1191.

- Aspinall D., and Paleg L.G., 1981.** Proline accumulation. Physiological aspects In: Paleg LG and Aspinall D (ed) Physiology and Biochemistry of Drought Resistance in Plants, Academic Press, New York, pp 205-241.
- Atlas Seeds Incorporation, 2001.** PO Box 1312. Suisun City CA 94585.
Email: Atlasmgt@worldnet.att.net.
- Azevedo Neto A., Prisco J., Eneas-Filho J., De Abreu C., Gomes-Filho E., 2006.** Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and saltsensitive maize genotypes. Environ Exp Bot 56:87-94.
- Aziz, I., Khan, M.A., 2001.** Effect of seawater on the growth, ion content and water potential of *Rhizophora mucronata* Lam. J. Plant Res. 114, 369–373.
- Babu, M.A., Singh, D. and Gothandam, K.M. 2012.** The effect of salinity on growth, hormone and mineral elements in leaf and fruit of tomato cultivar PKM1. J Anim Plant Sci 22:159–164.
- Bandehagh A., Salekdeh GH., Toorchi M., Mohammadi A., Komatsu S., 2001.** Comparative proteomic analysis of canola leaves under salinity stress. Proteomic 11(10):1965-1975.
- Barrs H., 1968.** Determination of water deficit in plant tissues. In: Water Deficit and Plant Growth. Koslowski T. Academy Press. New York. 235-368 p.
- Bayuelo-Jiménez J., Craig R. and Lynch J.P., 2002.** Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth. Crop Sci., 42, 2184-2192.
- Belaygue C., Wery J., Cowan A.A., and Tardieu F., 1996.** Contribution of leaf expansion, rate of leaf appearance and stolon branching to growth of plant leaf area under water deficit in white clover. Crop Sci. 36:1240-1246.
- Beldjoudi Z., Bradai R., Daoud Y., 2009.** Influence de la salinité sur la nutrition du minérale du blé dur . Webreview ; Recherche agronomique N :14 .
- Ben Kaddeur M., 2014.** Modifications physiologiques chez des plantes de blé (*Triticum durum* Desf) exposées à un stress salin. Thèse de Doctorat. Univ badji mokhtar – annaba
- Ben Khaled L., Morte Gomez A., Honrubia M., & Oihabi A., 2003.** Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé avec *Rhizobium*. Agronomie, 23, 571-580
- Ben Naceur ., 2001. Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Meddahi M. L., et Selmi M., 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés magrébines de blé. Science, Changements Planétaires et Sécheresse 12 : 167 - 174.

- Bensaada K., 2015.** Etude du développement, de l'architecture et de la croissance racinaire de plantules de palmier dattier sous stress salin. Thèse de doctorat. Université d'Oran.
- Berthomieu P., Conéjero G., Nublat A., Brackenbury W.J., Lambert C., Savio C., Uozumi N., Oiki S., Yamada K., Cellier F., Gosti F., Simonneau T., Essah P.A., Tester M., Véry A-A., Sentenac H. and Casse, F., 2003.** Functional analysis of AtHKT1 in *Arabidopsis* shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance, *EMBO J.* 22: 2004-2014.
- Berthomieu P., Conejero G., Nublat A., Brackenbury W.J., Lambert C., Savio C., Uozumi N., Oiki S., Yamada K., Cellier F., 2003.** Functional analysis of AtHKT1 in *Arabidopsis* shows that Na⁺ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. *EMBOJ.* 22: 2004–2014p
- Bharadwaj R., Roy M., Ohyama T., Sivan-Loukianova E., Delannoy M., Lloyd T.E., Zlatić M., Eberl D.F., Kolodkin A.L., 2013.** Cbl-associated protein regulates assembly and function of two tension-sensing structures in *Drosophila*. *Development* 140(3): 627--638.
- Binzel M.L., Reuveni M., 1994.** Cellular mechanisms of salt tolerance in plant cells. *Hort. Rev.*, 16: 33-69.
- Blom-Zandstra M., Vogelzang S.A. et Veen B.W. ,1998.** Sodium fluxes in sweet pepper exposed to varying sodium concentrations. *J. Exp. Bot.* 49: 1863-1868.
- Blumwald, E. Aharon G., and Apse M., 2000.** Sodium transport in plants *Biochim. Biophys. Acta* 1465, 140-151.
- Bouatrous y., 2013.** Effet du stress salin et l'haplodiploïdisation chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.). Thèse de Doctorat en Sciences en Biologie Végétale. Université. Constantine
- Boughanmi N., Michonneau P., Verdus MC., Piton F., Ferjani E., Bizid E., 2003.** Structural changes induced by NaCl in companion and transfer cells of *Medicago sativa* blades. *Protoplasma* 220: 179–187p.
- Boumendjel M. M., Houhamdi M.F., Samar H., Sabeg A., Boutebba M., 2012.** Effet des traitements thermiques d'appertisation sur la qualité biochimique, nutritionnelle et technologique du simple, double et triple concentré de tomate. *Sciences et Technologies*, 36: 51-59
- Bounaqba S., 1998.** Analyse des déterminants de la tolérance à NaCl chez le blé tendre, le triticale et l'orge. Utilisation de la fluorescence chlorophyllienne dans le diagnostic de l'état fonctionnel du photosystème II. Thèse de Doctorat. Université. Tunis

- Bousba R., Ykhlef N. & Djekoun A., 2009.** Water use efficiency and flag leaf photosynthetic in response to water deficit of durum wheat (*Triticum durum Desf*). World Journal of Agricultural Sciences 5. 5: 609 -616 p
- Bousbaa R., 2012.** Caractérisation de la tolérance à la sécheresse chez le blé dur (*Triticum durum Desf*). Analyse de la physiologie et de la capacité en production. Thèse . Université Mentouri. Constantine : 4-13-14-17-36-38.
- Bouthour D., Kalai T., Chaffei H.C., Gouia H., and Corpas F.J., 2015.** Differential response of NADP-dehydrogenases and carbon metabolism in leaves and roots of two durum wheat (*Triticum durum Desf*.) cultivars (Karim and Azizi) with different sensitivities to salt stress. Journal of Plant Physiology. Volume 179, Pages 56–63
- Bouid S., 2010 .** Étude de l'effet de la salinité et de la présence du molybdène sur le comportement écophysologique de deux variétés de plantes de l'espèce *Phaseolus vulgaris* L Thèse magister, Univ Mentouri Constantine. P: 6 -9-4.
- Bradford M.M., 1976.** Rapid and Sensitive Method for the Quantitation of Microgram Quantities of Protein Utilizing the Principle of Protein-Dye Binding. Analytical Biochemistry, 72, 248-254.
[http://dx.doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](http://dx.doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Brugnoli E., and Björkman O., 1992.** Growth of cotton under continuous salinity stress : Influence on allocation pattern, stomatal and non-stomatal components of photosynthesis and dissipation of excess light energy. Planta, 187 : 335-347.
- Campbell S. A., and Close T. J., 1997.** Dehydrins: Genes, proteins and association with phenotypic traits. *New Phytol.* 137 :61-74.
- Chaffei C., Pageau K., Suzuki A., Gouia H., Ghorbel MH., Masclaux-Daubresse C., 2004.** Cadmium toxicity induced changes in nitrogen management in *Lycopersicon esculentum* leading to a metabolic safeguard through an amino acid storage strategy. *Plant Cell Physiol.* 45:1681–1693.
- Chapman H.D., and Pratt P.F., 1961.** Methods of analysis for soils, plants and waters. University of California, Los Angeles, 60-61, 150-179.
- Chattopadhyay A., Subba P., Pandey A., Bhushan D., Kumar R., Datta A., Chakraborty**
- Chaux C., and Foury C., 1994.** Les productions légumières: Légumineuses potagères Légumes fruits. Edition Lavoisier, Paris. pp. 125-153.
- Cheeseman J.M., 1988.** Mechanisms of salinity tolerance in plants. *Plant Physiology* 87: 547- chloride and sodium sulphate. *Physiologia Plantarum* 120: 482-490 .

- Cherbuy B., 1991** : Les sols salés et leur réhabilitation .Etude bibliographique. 124p.
- Cheverry C., 1995.** Plant behaviour in saline environment. Action eau ; n°4, Séance spécialisée du 22 mars 1995 ; Ed. Acad. agro, Paris, France, P: 49.
- Chinnusamy V., and Zhu J.K., 2003.** Plant responses to abiotic stress. Topics in current genetics. Vol. 4. Sous la direction de H. Hirt et K. Shinozaki. Springer-Verlag, Berlin. P: 242–271.
- Chinnusamy, V., Jagendorf, A., Zhu, J. K. 2005.** Understanding and improving salt tolerance in plants. *Crop Science*, 45: 437- 448.
- Chougui S., 2005.** Effet de l'interaction fer-salinité sur certains processus métaboliques et sur la croissance des plants de tomates (*Lycopersicum esculentum* Mill). Thèse de doctorat. Université de Constantine.
- Clarck J.M and Mac-Caig T.N. 1982.** Excised leaf water relation capability as an indicator of drought resistance of Triticum genotypes. *Canada Journal Plant Science* 62,571-576.
- Clarkson D.T., 1993.** Roots and the delivery of solutes to the xylem. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.* 341: 5-17.
- Claussen, M., 1997.** Modeling biogeophysical feedback in the African and Indian Monsoon region, *Clim. Dyn.*, 13, 247-257.
- Close t. J. 1996:** Dehydrins : Emergence of a biochemical role of a family of plant dehydration proteins. *Plant Physiol.* 97: 795-803.
- Cordoba A ., Garcia Seffino L., Moreno H ., Grunberg K. and Zenoff A., 2001.** Caractérisation of the effect of high salinity on roots of (*Chloris gayana*) Kunth: carbohydrate and lipid accumulation and growth. *Grass and Forage Science* 56:162-168.
- Courtois-Moreau CL., Pesquet E., Sjodin A., Muniz L., Bollhoner B., Kaneda M.,**
- Cramer G.R. and D.C. Bowman., 1993.** Cell elongation control under stress conditions. In: *Handbook of Plant and Crop Stress*, M Pessarakli (Ed.). Marcel Dekker, New York, pp. 303- 319.
- of *Populus* stem. *Plant J.* 58: 260-274p.
- Cramer G. R., Van Sluyter S. C., Hopper D. W., Pascovic D., Keighley T., and Haynes, P. A., 2013.** Proteomic analysis indicates massive changes in metabolism prior to the inhibition of growth and photosynthesis of grapevine (*Vitis vinifera* L.) in response to water deficit. *BMC plant biology*, 13(1), 49.

- Chakraborty S., Chakraborty N., 2011.** Analysis of the grasspea proteome and identification of stress responsive proteins upon exposure to high salinity, low temperature, and abscisic acid.
- Samuels L., Jansson S., Tuominen H., 2009.** A unique program for cell death in xylem fibers of populus stem. *Plant Journal*. 58(2):260-74.
- Schachtman D. and Liu W ., 1999.** Molecular pieces to the puzzle of the interaction between potassium and sodium uptake in plants. *Trends Plant Sci.* 4, 281-287
- treatment. *Phytochemistry* 72: 1293–1307p.
- Davenport R., James R.A., Zakrisson-Plogander A., Tester M., Munns R. , 2005 .** Control of sodium transport in durum wheat. *Plant Physiol* , 137: 807-818.
- Das A. B., and Strasser R.J., 2013.** Gènes induits par la salinité et bases moléculaires des stratégies de tolérance au sel dans les mangroves, dans *Physiologie du stress moléculaire des plantes* , eds GR Rout et AB Das (Springer), 53–86.
- Daunay M C., 2008.** Eggplant. Pages 163-220 in: *Vegetables II: Fabaceae, Liliaceae, Solanaceae, and Umbelliferae.* J. Prohens and F. Nuez, eds. Springer, New York.
- David H., Kaya. C., 2003.** Supplementary Potassium Nitrate Improves Salt Tolerance in Bell Pepper Plants, *Journal of Plant Nutrition* . 26 (7): 1367-1382
- David R., 2004.** Line, *Handbook of Chemistry and Physics 84th edition (2003/2004)*, CRC Press.
- Davies W.J., Kudoyarova G., and Hartung W., 2005.** Long-distance ABA signaling and its relation to other signaling pathways in the detection of soil drying and the mediation of the plant's response to drought. *J. Plant Growth Regul.* 24:285–95.
- Debez A., Chaibi W., Bouzid S., 2001.** Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplex halimus* L. *Cah. Agric.*, 10(2): 135-138.
- Dehnoun D., 1998.** Etude comparative de la dynamique des sels dans les régions sahariennes (régions d'adrar) .Thèse d'ING .INA 68 p.
- Delauney A. J., Verma D.P.S., 1993.** Proline biosynthesis and osmoregulation in plants. *Plant*
- Demiral T., and Turkan I., 2005.** Comparative lipid peroxidation, antioxidant defense systems and proline content in roots of two rice cultivars differing in salt tolerance. *Environ. Exp. Bot.*, 53: 247-257.
- Derkaoui K M., (2010).** La réponse morphologique et physiologique et anatomique des racines de la tomate vis-à-vis le stress salin. Mémoire de magistère. Univ d'Oran.

Devron J., and Sifi B., 2003. Fixation symbiotique de l'azote et développement durable dans le bassin méditerranéen. Editions Quae, 417 p.

Djerroudi, O., Bissati, S., Belkhodja, M. 2011. Biochemical response of two *Atriplex* species (*Atriplex halimus* L. and *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt) under salt stress conditions. IJPPB, 3: 163-168.

Dhanyalakshmi K. H., Vijayalakshmi C., and Boominathan P., 2013. Evaluation of physiological and biochemical responses of rice (*Oryza sativa* L.) varieties to salt stress. Indian Journal of Agricultural Research, 47(2).

Dicko M.H., Gruppen H., Voragen A.G.J. & van Berkel W.J.H., 2006. Biochemical characterization of major sorghum grain peroxidase. FEBS J., 273, 2293-2307.

Dicko M. H., Gruppen H., Zouzouho O. C., Traoré A. S., van Berkel W. J. H., Voragen A. G. J., 2006. Effects of germination on amylases and phenolics related enzymes in fifty sorghum varieties grouped according to food-end use properties. J. Sci. Food Agric. Vol. 86

Didier de Saint. Amand j., Cas G., 1966. Méthodes de dosage effectuées par autoanalyse au laboratoire de Diagnostic foliaire de l'ORSTOM.

Dietz K J., Tavakoli N., Kluge C., Mimura T., Sharma S., Harris G., Chardonens A., Gollack D., 2001. Significance of the V-type ATPase for the adaptation to stressful growth conditions and its regulation on the molecular and biochemical level. J Exp Bot, 52:1969-1980.

Djavanshir K., Pourbeik H., 1976. Germination value-A new formula. *Silvae Genetica* 25(2):79-83.

Doganlar, Z.B., Demir, K, Basak H., and Gul, I., 2010. Effects of salt stress on pigment and total soluble protein contents of three different Journal of stress physiology & Biochemistry Vol. 8 No. 1: 2012 -191.

Dubois M., Gilles K., Hamilton J., Rebers P., Smith F., 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances. Analytical Chemistry, 28: 350-356.

Journal, 4, 215-223.

Epstein E., Norlyn J.D. , Ruch D.W. , Kinsbury R.W. , Cunningham A.F. , Wrona A.F., 1980. Saline culture of crops: a genetic approach, Science (2310) 399-404.

Al-Karaki G.N., 2000. Growth of Mycorrhizal Tomato and Mineral Acquisition under Salt Stress. Mycorrhiza, 10, 51-54.

Références bibliographiques

El Jaafari S., 1993. Contribution à l'étude des mécanismes biophysiques et biochimiques de résistance à la sécheresse chez le blé. Thèse de doctorat, Faculté des Sciences agronomiques de Gembloux: 3-34

El Mekkaoui M., 1990. Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé dur (*T. durum* Desf.) et l'orge (*Hordium. vulgare* L.) : Recherche de tests précoces de sélection. Thèse de Doctorat. USTL, Montpellier.

El Midaoui M., Benbella M., Aït Houssa A., Ibriz M. et Talouizte A. 2007. Contribution à l'étude de quelques mécanismes d'adaptation à la salinité chez le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.) Revue HTE N°136 •pp. 29 -34

El-Hendawy S. E., Hu Y., Schmidhalter U., 2005. Growth, ion content, gas exchange and water relations of wheat genotypes differing in salt tolerance. *Aust. J. Agric. Res.*, 56: 123 - 131.

Eliane Cristina G.V., Ivan S., Marcos P., Carlos A.S., Hugo Bruno C.M., Celso J.M. & Ellis R.J. 2007. The molecular chaperone concept. *Semin. Cell Biol.* 1: 1 - 9 p.

Eraslan, F., Inal, A., Gunes, A., Alpaslan, M., and Atikmen, N. C. 2015. Comparative Physiological and Growth Responses of Tomato and pepper Plants to Fertilizer Induced Salinity and Salt Stress. *Fresenius Environmental Bulletin*, 24(5 A), 1774-1778.

El-Rodeny W.M., EL-Okkiah A. F. S., 2012 . Egypt. J. Bot. 2nd International conference, 29-30 April, Minia Univ. 37.

El-Shintinawy F., Hassanein RA., 2001. Changes in growth, protein patterns and DNA fingerprints of NaCl stressed treated with arginine, putrescine or phenylenediamine. *Egyptian J. Biotechnol.* 10: 405-415.

FAO., 2000. Global Forest Resources Assessment 2000 –Main report. FAO Forestry Paper No. 140. Rome. www.fao.org/docrep/004/y1997e/y1997e00.

FAO ., 2007. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Agriculture Series No. 38. ISSN 0081-4539.

FAO. 2014. Base de référence mondiale pour les ressources en sols. Système international de classification des sols pour nommer les sols et élaborer des légendes de cartes pédologiques.

FAO., 2008. Terrestrial Database (www.fao.org/agl/agl.1/terrastat).

Fernandez-Blaster G., Cerda A., Martinez V., 1997: Role of calcium in short-term responses of bean to osmotic or saline shocks. *J. of plant physiology*; 1997; 151: 741-747.

- Ferryra T. 2004.** Lipid dynamics in yeast under haem-induced unsaturated fatty acid and/or sterol depletion. *Biochem J* 378(Pt 3):899-908
- Flexas J., Bota J., Galme´ S. J., Medrano H., Ribas-Carbo´ M., 2006.** Keeping a positive carbon balance under adverse conditions: responses of photosynthesis and respiration to water stress. *Physiologia Plantarum* 127, 343–352.
- Flowers T. J., 2004.** Improving crop salt tolerance. *Journal of Experimental Botany*, 55(396), 307-319.
- Flowers T.J., and Yeo A.R., 1986.** Ion Relations of plants under drought and salinity. *Australian Journal of Plant Physiology* 13: 75-91.
- Flowers TJ., and Yeo AR., 1988.** Ion relation of salt tolerance. In: Baker DA, Hall JL, eds. *Solute transport in plant cells and tissues*, Harlow, UK: Longman Scientific and Technical, 392–413
- Flowers TJ., Hajibagheri M.A., Clipson NJW., 1986.** Halophytes. *The Quarterly Review of Biology* 61: 313–337.
- Flowers TJ., Dalmond D., 1992.** Protein synthesis in halophytes—the influence of potassium, sodium and magnesium in vitro. *Plant and Soil* 146,153–161
- Flowers T. J., Koyama, M. L., Flowers, S. A., Sudhakar, C., Singh, K. P., and Yeo, A. R., 2000.** QTL: their place in engineering tolerance of rice to salinity. *Journal of Experimental Botany*, 51(342), 99-106.
- Franchis L., and Ibanez F., 2003.** Threats in soil in Mediterranean countries document review. Sophia-Antipolis, Plan Bleu.
- Flowers TJ. 1985.** Physiology of halophytes. *Plant and soil* 89:41-56.
- Gabe M., 1968.** *Technique histologique*. Masson et Cie, éditeurs, Paris. 50 (6): 702-707.
- Garcia A., Rizzo C.A., UD-DIN J., Bartos S.L., Senadhira D., Flowers T.J. et Yeo A.R., 1997.** Sodium and potassium transport to the xylem are inherited independently in rice and the mechanism of sodium: potassium selectivity differs from rice and wheat. *Plant Cell Environ.* 20:1167-1174.
- Garcia-Abellan J. O., Fernandez-Garcia N., Lopez-Berengue C., Egea I., Flores F. B., Angosto T. and Olmos E. 2015.** The tomato res mutant, which accumulates JA in roots in non-stressed conditions, restores cell structure alterations under salinity. *Physiologia plantarum*, 155(3), 296-314
- Garg A., Kim K., Owens J., Ranwala T., Choi A., Kochian Y.V. and Wu R.J., 2002:** Trehalose accumulation in rice plants confers high tolerance levels to different abiotic stresses. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 99: 15898-15903.
- George E., and Brown Jr., 2008.** *Research Databases. Bibliography on Salt Tolerance.* USDAARS. US Dep. Agric. Res. Serv. Riverside, CA. <http://www.ars.usda.gov/Services/docs>.

Références bibliographiques

- Ghoulam C., Foursy A., and K. Fares., 2002.** Effects of salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environ. Exp. Bot.*, 47, 39-50.
- Gimenez C., Mitchell V.J., and Lawlor D.W., 1992.** Regulation of photosynthetic rate of two sunflower hybrids under water stress. *Plant Physiology* 98, 516-524.
- Glenn E.P., Brown J.J., Blumwald E., 1999.** Salt tolerance and crop potential of halophytes. *Crit Rev Plant Sci* 18: 227–256.
- Gómez A.M., 2003.** Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium. *Agronomie*, 23: 553-560.
- Gorham J., 1993.** Genetics and physiology of enhanced K⁺/Na⁺ discrimination. In: Randall, P. eds. genetic aspects of plant mineral nutrition. *Kluwer academic publishers*, Dordrecht the Netherlands, PP: 151-159.
- Graam T., Boyer J.S., 1990.** Very high CO₂ partially restores photosynthesis in sunflower at low water potentials. *Planta* 181, 378-384.
- Greenway H., and Munns, R., 1980.** Mechanism of Salt Tolerance in Nonhalophytes. *Annual Review Plant Physiology*, 31, 149-190.
- Gregory B., 2005.** Ecophysiologie de semis de conifers étomycorhizés en milieu salin et sodique. Université Lava Canada.
- Grieve C. M., Wang D., and Shannon M. C., 2003.** Salinity and irrigation method affect mineral ion relations of soybean. *Journal of Plant Nutrition* 26: 901–913.
- Grote D. and Claussen W. 2001.** Severity of root rot en tomato plants caused by *Phytophthora nicotianae* under nutrient and light stress conditions. *Plant Pathology* 50: 702-707.
- Gueta-Dahan Y., Yaniv Z., Zilinskas BA., Ben-Hayyim G., 1997.** Salt and oxidative stress: similar and specific responses and their relation to salt tolerance in Citrus. *Planta* 203: 460–469p.
- Gupta A.S., and Berkowitz G.A., 1987.** Osmotic adjustment, symplast volume and nonstomatally mediated water stress inhibition of photosynthesis in wheat. *Plant Physiol* 85: 1040-1047.
- Gupta U.C., and Macleod J.A., 1999.** Relationship between soybean seed selenium and harvested grain selenium. *Canadian Journal of Soil Science* 79: 221–223.
- Gupta B., and Huang B., 2014.** Mechanism of salinity tolerance in plants: Physiological, biochemical, and molecular characterization. *International Journal of Genomics*, 2014: 701596

Références bibliographiques

- Halitim A., 1985.** Contribution à l'étude des soles salées des zones arides (hautes plaines steppique de l'Algérie), morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols, Thèse doctorat Es. Sci Univ Renne P 384.
- Hameed M., Ashraf M., Naz N., and Al-Qurainy F., 2010.** Anatomical adaptations of *Cynodactylon(L)PERS.*, from the salt range Pakistan , to salinity stress. I. Root and stem anatomy. *Pak. J. Bot .*, 42(1) :279-289.
- Hasegawa P. M., Bressan R. A., Zhu J. K., Bohnert H.J., 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 51: 463-499.
- Hamdy A., Lieth H., Mezher Z., 1995.** Halophyte performanace under high salinity levelsian overview saline irrigation, halophyte production and utilization. roject. N° IG. 18. CT.96.55: 20-58.
- Hamla C., 2016.** Caractérisation des gènes de tolérance à la sécheresse chez le blé dur : étude du rôle des déhydrines et des aquaporines. Thèse de Doctorat. Université Constantine. p32-33.
- Hamza M., 1967.** Influence de diverses concentrations de chlorure de sodium sur la croissance de jeunes plantes de *Triticum sativum*. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 176: 1997- 2000.
- Harris Moran Seeds Company, 2000.** Plantes potagères Alger-Clouse-Maghreb-EURL-2000-250671
- Hasiao T. C., and Xu L. K., 2000.** Sesity of growth of root versus leaves to water stress : biophysical analysis and relation to water transport *Journal of Experimental Botany* 51: 1595- 1616.
- Hernández JA., Talavera JM., Martínez-Gómez P., Dicenta F., Sevilla F., 2001.** Response of antioxidant enzymes to plum pox virus in two apricot cultivars. *Physiol Plant.* ;111:313–321.
- Hireche Y. 2006.** Réponse de la luzerne (*Medicago sativa* L.) au stress hydrique et à la profondeur de semis ; Thèse Mag Agr, université Hadj Lakhdar Batna ; p26
- Hikosaka K., Ishikawa K ., Borjigidai A ., Muller O., and Onoda Y., 2006.** Temperature acclimation of photosynthesis: mechanisms involved in the changes in temperature dependence of photosynthetic rate. *J. Exp. Bot.* **57** : 291-302 p.
- Horie T., and Schroeder JI., 2004.** Sodium transporters in plants. Diverse genes and physiological functions. *Plant Physiology* 136: 2457-2462.
- Honrubia M. 2003.** Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium. *Agronomie*, 23: 553-560.

- Hoagland D.R., and Arnon D.I., 1950.** The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil. California Agricultural Experiment Station, Circular-347.
- Houerou H. N., 1986.** Salt –Tolerant plants of economic value in the Mediterranean basin. Reclamren Reveg Res 5:319.
- Horvat D. , Mijic A., Krizmanic M., Liovic I., Bilandzic M., Duvnjak T , Zdunic Z , Krizmanic G., 2006.** Combining abilities and gene effect for 1000 seed weight and hectoliter mass in sunflower (*Helianthus annuus L.*) *Seed Science Journal*, Vol.23 No.4
- Hortitecnew, 2018.** Portail Marocain de l'horticulture [https://Hortitechnews \(@Hortitechnews\)](https://Hortitechnews (@Hortitechnews))
- Hu Y., Fricke Y.W. and Schmidhalter U., 2005.** Salinity and the growth of non-halophytic grass leaves: the role of mineral nutrient distribution. *Funct. Plant Biol.* 32:973- 985.
- Islam E, Yang X, Li T, Liu D, Jin X, Meng F., 2007:** Effect of Pb toxicity on root morphology, physiology and ultrastructure in the two ecotypes of *Elsholtzia argyi*. *J Hazard Mater* 147(3):806–816.
- Immamulhuq S.M., and Larher F ., 1986.** Dynamics of Na⁺ ,K⁺ and proline accumulation in salt trated vigna sinensis l. And Phaseolus aurens L .*J Plant phsiol* ,119 ,133- 147.
- IPGRI, 1996.** Descripteurs de la tomate (*Lycopersicum*, spp). Disponible sur : <http://www.Biodiversityinternational.org /fileadmin/biodiversity/publication/pdfs/488.pdf ?cache=1242836409>
- IPNI, 2005.** The International Plant Names Index
- ITCMI 1994 ;** Guide pratique ; la culture de la tomate industrielle S.ACHABANE; Imp Elouafak.
- Jabnoute M., 2008.** Adaptation des plantes au stress Salin : caractérisation de la transporteur de sodium et potassium de la famille HKT chez le riz .Thèse doctorat, univ Montpellier II.
- Jamil M., Deog Bea l., kang young J., Ashraf, Sheong Chum M l., And Eui Shik l.R., 2006.** Effect of salt (NaCl) stress on germination and early seeding growth of four vegetables species. *Jcea.* 7: 273-282
- Jasso D., De Rodriguez., Romero-Garcia J., Rodriguez-Garcia R., & Sanchez J. L., 2002.** Characterisation of proteins from sunflower leaves and seeds: Relationship of biomass and seed yield.143–149. In: J.
- Jordan C ., 1995.** Modélisation et développement du système racinaire du pamlier à huile (*Ealseis gueneensis Jacp*). Thèse de doctorat. Biologie des systèmes intégrés, Agronomie et Environnement. 278p

Références bibliographiques

- Juan M., Ruiz B., Rivero R., and Romero M., 1988.** L. Nicotine-free and salt-tolerant tobacco plants by grafting to salinity-resistant rootstocks of tomato *Physiologia Plantarum* 124: 465–475. 2005.
- Karous C., 2007.** Contribution à l'étude des mécanismes de tolérance à la salinité au stade juvénile chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.) : aspects physiologique, biochimique et moléculaire. Thèse de doctorat en agronomie et science de la production végétale. INAT, Tunis : 211p.
- Kafkai U., 1991.** Root growth under stress. In: Waisel Y., Eshel A. & Kafkafi U., eds. *Plant roots: the hidden half*. New York, USA: Marcel Dekker, 375-391.
- Kapoor K., Srivastava A., 2010.** Assessment of salinity tolerance of *Vinga mungo* var. Pu-19 using ex vitro and in vitro methods *Asian J. Biotechnol.*, 2 (2) pp. 73-85
- Kara S., and Zerguine M., 2016 .** Dosage des anthocyanes et de la glycine bétaine en conditions de stress hydrique et étude des mécanismes de tolérances chez dix variétés du blé dur (*triticum durum* Desf.). Mémoire. Université des Frères Mentouri Constantine1. p : 1-9-19-28-29-34
- Kara S., and Zerguine M., 2016.** Dosage des anthocyanes et de la glycine bétaine en conditions de stress hydrique et étude des mécanismes de tolérances chez dix variétés du blé dur (*triticum durum* Desf.). Mémoire. Université des Frères Mentouri Constantine1. p : 1-9-19-28-29-34
- Katembe J., I.A. Ungar and P. Mitchell. 1998:** Effect of salinity on germination and seedlings growth of two *Atriplex* species (Chenopodiaceae). *Ann. Bot.*, 82: 167-175.
- Katerji N., van Hoorn J.W. Hamdy A., and Mastrorilli M., 2004.** Comparison of corn yield response to plant water stress caused by salinity and by drought. *Agric. Water Manage.* 65: 95-101.
- Katerji N., Van Hoorn J.W., Hamdy A., Mastrorilli M., and Moukarzel E., 1994.** Osmotic adjustment of sugar beets in response to soil salinity and its influence on stomatal conductance, growth and yield. *Agric. Water Manage.* 34, 57-69.
- Kaya C., Ashraf, M. and Sönmez O., 2015.** Promotive effect of exogenously applied thiourea on key physiological parameters and oxidative defense mechanism in salt-stressed *Zea mays* plants. *Turk J Bot.* 39: 786-795.
- Kayani , S. A. Naqvi, H. H, and Ting, I.P., 1990 .** Salinity effects on germination and mobilization of reserves in jojoba seed. *Crpo Sci* .30 : 704- 708.
- Kenfaoui A ., 1997.** La salinité des eaux d'irrigation Ecole nationale du genie Rural, des eaux et des forets (ENGREF). Vol : 1, p : 11.

- Khan MA., and Abdullah Z., 2003.** Salinity-sodicity induced changes in reproductive physiology of rice (*Oriza sativa*) under dense soil conditions. *Env. Exper. Bot.* 49: 145-157
- Karuppasamy K. S., Kumar S. R., Krishnakuma S., Varshini V., Susithra N., Kavitha S., and Rajendran V., 2014.** Effect of Sodium Chloride on Soluble Protein, Nitrate Reductase Activity, Proline and Catalase Enzyme Activity of Green Gram Cultivars (Co6 And Co8). *Legume Genomics and Genetics*, 5(5).
- Kumar A., Bhatla S. C., 2006.** Polypeptide markers for low temperature stress during seed germination in sunflower. *Biologica Plantarum.* 50 (1): 001–160.
- Kurban H.H., Saneoka K., Nehira R., Adila G.S., Premachandra and K. Fujita., 1999.** Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral composition in leguminous plant alhagi pseudoalhagi (bieb.). *Soil Sci. Plant Nutr*, 45: 851–862.
- Kylin A., 2005.** Metabolic and biochemical aspects of salt tolerance. In: Poljakoff-mayber and J. Gale, Eds. *Palnts in saline environments.* Springer-verlag, New York: 147-167.
- Latef A. A. H. A., and Chaoxing H., 2011.** Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Scientia Horticulturae*, 127(3), 228-233.
- Labhilili M., Joudrier P and Gautier M F., 1995.** Characterization of cDNAs encoding *Triticum durum* dehydrins and their expression patterns in cultivars that differ in drought tolerance. *Plant Science* 112:219-230.
- Lacan D., 1991.** Transport de Na⁺ entre les cellules de la racine et la sève du xylème. Thèse de doctorat Montpellier II. p94
- Lacan D., and Durand M., 1995.** Na⁺ and K⁺ transport in excised soybean roots. *Physiol. Plant.* 93: 132- 138.
- Lacan D., and Durand M., 1996.** Na⁺-K⁺ exchange at the xylem/symplast boundary. *Plant Physiol.* 110: 705-711.
- Lachaal M., 1998 .**Variabilité de la réponse à la salinité chez la lentille, et variation en fonction du stade de développement. Thèse de doctorat. Université de Tunis II. Faculté des sciences de Tunis.
- Laemmli U. K., 1970.** Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *NATURE* 227(5259): 680-685.

- Lamaze T., Tousch D., Sarda X., Grignon C., Depigny-THIS D., Monneveux et Belhassen E., 1994.** Résistance de plantes a la sécheresse : mécanismes physiologiques. *Le sélectionneur Français* 45 : 75-85.
- Lasram M., 1995.** Salinity problems in the mediterranean's area, Ed. Academie de Paris , N 2 , Séance spécialisée du 22 Mars 1995.
- Läuchli A., 1976.** Symplasmic transport and ion release to the xylem. In *Transport and Transfer Processes in Plants*, I.F. Wardlaw and J.B. Passioura, eds (New York: Academic Press), pp. 101-112.
- Läuchli A., and Epstein E., 1990.** Plant responses to saline and sodic conditions. In K. K. Tanji (Ed.), *Agricultural salinity assessment and management*, New York: American Society of Civil Engineers. pp. 113-137.
- Läuchli A., and Grattan S. R., 2007.** Plant Growth and Development under Salinity Stress. In M. A. Jenks, P. M. Hasegawa & S. M. Jain (Eds.), *Advances in Molecular Breeding Toward Drought and Salt Tolerant Crops*, (pp. 1-32): Springer Netherlands.
- Lebon E., Pellegrino A., Tardieu F., Lecoeur J., 2004.** Shoot development in grapevine (*Vitis vinifera*) is affected by the modular branching pattern of the stem and intra- and inter-shoot trophic competition. *Ann Bot.* 2004 Mar; 93(3):263-74.
- Lecoeur J., Wery J., Turc O., and Tardieu F., 1995.** Expansion of pea leaves subjected to short water deficit: cell number and cell size are sensitive to stress at different periods of leaf development. *Journal of Experimental Botany*, 46 1093-1101
- Leonardis A. M., Marone D., Mazzucotelli E., Neffar F., Rizza F., Di Fonzo N., ,2007.** Durum wheat genes up-regulated in the early phases of cold stress are modulated by drought in a developmental and genotype dependent manner. *Plant Sci.* 1721005–1016
- Levigneron A., Lopez F, Varisuyt G, Berthomien P et Casse-delbar T., 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahier d'agriculture.* (4): 263-273.
- Levigneron A., Lopez F., Vansuyt G., Berthomieu P., Fourcroy P. et Casse-Delbart F., 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahiers d'études et de recherches Francophones/Agricultures.* 4:263-273.
- Levitt J., 1980.** Responses of Plants to Environmental Stresses. Volume II, 2nd ed. *Academic Press*, New York.

Références bibliographiques

- Lohaus G., Hussmann M., Pennewiss K., Schneider H., Zhu J.J., and Sattelmacher B., 2000.** Solute balance of a maize (*Zea mays* L.) source leaf as affected by salt treatment with special emphasis on phloem retranslocation and ion leaching. *J. Exp. Bot.*, 51: 1721-1732.
- Lopez F. B., C. Johansen, and Y. S. Chauhan. 1996.** Effects of timing of drought stress on phenology, yield and yield components of short-duration pigeonpea. *J. Agron. Crop Sci.* 177, 311-320.
- Lovelli S., Scopa A., Perniola M., Di Tommaso T., and Sofo A., 2012.** Abscisic acid root and leaf concentration in relation to biomass partitioning in salinized tomato plants. *Journal of plant physiology*, 169(3), 226-233.
- Maas E.V., and Poss J.A., 1989.** Salt sensitivity of wheat at different growth stages. *Irrig. Sci.* 10:29-40.BJJ78G
- Maas E.V., and Grieve C.M., 1990.** Spike and leaf development in salt-stressed wheat. *Crop Science* 30: 1309–1313.
- Madhava Raok V., 2006.** *Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants.* Springer edition. pp:1-14.
- MADR ., 2009.** Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural , Direction des Statistiques.62.
- Mansour R., Grissa K., Lebdi I., La Torre L., Zappalà and Russo A., 2003.** Preliminary study on mealybugs in two vineyards of the Cap-Bon Region (Tunisia). *Tunis. J. Plant Prot.* 4: 185-196.
- Mashali A., Suarez D.L. Nabhan H., Rabindra R., 2005.** Integrated management for sustainable use of salt-affected soils. Rome: FAO Soils Bulletin, now printing.
- Maser P., Eckelman B., Vaidyanathan R., Horie T., Fairbairn DJ, Kubo M., Yamagami M., Yamaguchi K., Nishimura M., Uozumi N., 2002.** Altered shoot/root Na⁺ distribution and bifurcating salt sensitivity in *Arabidopsis* by genetic disruption of the Na⁺ transporter AtHKT1. *FEBS Lett*, 531:157-161.
- Mahajan S., Tuteja N., 2005.** Cold, salinity and drought stresses: An overview π *Archives of Biochemistry and Biophysics* .444 (2005) 139–158.
- Mallek-Mallej E., Boulesnam F. and Ben Salem M., 1998.** Effet de la salinité sur la germination de graines de céréales cultivées en Tunisie. *Cahiers Agricultures* 1998 ; 2 : 153-6.

Références bibliographiques

- Mathilde C ., Carole C., Vera S C., André M., René D., Patrick R ., 2000 .** Valorisation des ressources génétique de la tomate par l'utilisation de marqueurs moléculaires. Casiers agricultures 9 : 197-210.
- Meloni D.A., Oliva M.A., Ruiz H.A., Martinez C.A., 2001.** Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr*, 24: 599-612.
- Meyer T. S., and Lamberts B. L., 1965.** Use of Coomassie brilliant blue R250 for the electrophoresis of microgram quantities of parotid saliva proteins on acrylamide-gel strips », *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - General Subjects*, vol. 107, p. 144–145
- Mouhouche B., and Boulassel A., 1999 ;** Contribution à une meilleure maîtrise des pertes en eau d'irrigation et de la salinisation des sols en zones arides .*Recherche agronomique - INRA (Algérie)*, n .4 p. 15-23.
- Moinuddin Fischer R.A., Sayre K.D., and Reynolds M.P., 2005.** Osmotic Adjustment in wheat in relation to grain yield under water deficit. *Environments Agronomy. Journal* 97, 1062– 1071
- Mouellef A., 2010.** Caractères physiologiques et biochimiques de tolérance du blé dur (*Triticum durum* Desf.) au stress hydrique. Mémoire de magistère. Université de Mentouri. Constantine. P93
- Morant-Manceau A., Pradier E., & Tremblin G., 2004.** Osmotic adjustment, gas exchanges and chlorophyll fluorescence of a hexaploid triticales and its parental species under salt stress. *Journal of Plant Physiology*, 161(1), 25-33.
- Munns, D. N., H. H. Keyser, V. W. Fogle, J. S. Hohenberg T. L. Righetti, D. L. Lauter, M. G. Zaroug, K. L. Clarkin and K. A. Whitacre. 1979.** Tolerance of soil acidity in symbioses in culture: of *Vigna radiata* with rhizobia. *Agron. J.* 71:256-260.
- Munns R., Greenway H. and Kirst G.O., 1983.** Halotolerant eukaryotes. In *Physiological Plant Ecology. III. Responses to the Chemical and Biological Environment*. Eds. O L Lange, P S Nobel, CB Osmond and H Zeigler. pp. 59-135. *Encycl. Plant Physiol., New Series, Vol. 12C*. Springer, Berlin.
- Munns R., 1993.** Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. *Plant, Cell and Environment* 16: 15-24.
- Munns R., Schachtman D., and Condon., 1995.** The Significance of a Two-Phase Growth Response to Salinity in Wheat and Barley. *Functional Plant Biology*, 22(4), 561-569.

- Munns R., and Rawson H.M., 1999.** Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Australian Journal of Plant Physiology*; 26:459–464
- Munns R., Hare R. A., James R. A., and Rebetzke G. J., 2000.** Genetic variation for salt tolerance of durum wheat. – *Aust. J. Agric. Res.* 51: 69– 74.
- Munns R., 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25: 239–250.
- Munns R., 2005.** Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.*, 167, 645-663
- Munns R., James RA., Läuchli A., 2006.** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot.* 57: 1025–1043p.
- Munns R., Richard A.J. and Lauchli A., 2006.** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 57, No. 5, pp. 1025-1043
- Munns R., 2007.** Utilizing genetic resources to enhance productivity of salt-prone land. *CAB Rev.: Perspectives in Agric. Veterinary Sci. Nutr. Nat. Res.* 2. No. 009.
- Munn R., and Tester M., 2008.** Mechanisms of Salinity Tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
- Munns R., Tester M., 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annu Rev Plant Biol* **59**: 651-681
- Naika S., Van Dam B., Florijn A., 2005.** La culture de la tomate : production, transformation et commercialisation. Edition Agromisa Foundation, coll. Agrodok, Wageningen. 105 p.
- Nezelof C., Galle P. et Hinglais N., 1972.** Les examens de Laboratoire: Techniques microscopiques. Flammarion et Cie, éditeurs, France. 1 vol. (287 p.)
- Niu X., Ressian R.A., Hasegawa P.M., Pardo J.M., 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*, 109. 3: 735- 742.
- Niu G., 2004.** Impact of drought on salinity tolerance of landscape woody plants irrigated with reclaimed water. gniu@ag.tamu.edu.
- Nouri L., 2002.** Ajustement osmotique et maintien de l'activité photosynthétique chez le blé dur Desf. En conditions de déficit hydrique. Thèse. Biologie végétale. pp381-393.

Références bibliographiques

- Omami N. E., 2005.** Submitted in partial fulfillment of the requirements. Ph.D. Horticulture University of Pretoria. Sci 44:133–14
- Omrani A ., 1993,** Evolution spatial de la salinité st du CaCO₃ total et actif de l'horizon de surface dans les sols salés de H'MADNA (Relizane) .Thèse Ing ISA de Tiaret.
- Orcutt D.M., Nilsen E.T., 2000.** The physiology of plants under stress-soil and biotic factors: 684pp.
- Osman A., 1982.** The future of arid zones .1éth congress intern .Sci .Of .Soil Managing and resources, P:101-105.
- Oufdou K., Benidire L., Lyubenova L., Daoui K., Fatemi Z. E. A., and Schröder P. 2014.** Enzymes of the glutathione–ascorbate cycle in leaves and roots of rhizobia-inoculated faba bean plants (*Vicia faba* L.) under salinity stress. *European Journal of Soil Biology*, 60, 98-103.
- Ould El hadj K. A. 2001.** Contribution à l'étude de réponses métaboliques de la tomate la salinité Thèse de doctorat en Science de la Vie et de l'Environnement, Université de Rennes-I (France).P 117.
- Ould Djeh T-k., Dali N., Bettaieb T., Ben Salah A., 2006.** Influence métabolique du CO₂ atmosphérique sur la tomate cultivée en milieu saumâtre. *Cahiers Agricultures*. Volume 15, Numéro 5, 441-7.
- Pagès L., 1995.** Architecture racinaire: analyse et modélisation. INRA . Centre d'Avignon Unité de recherche en Ecophysiologie et Horticulture. P 1-8
- Panet I., Pollitz F., Mikhailov V., Diament M., Banerjee P., and Grijalva K., 2010.** Upper mantle rheology from GRACE and GPS post-seismic deformation after the 2004 Sumatra-Andaman earthquake. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems*, sous presse.
- Parida A.K., Das A.B., 2005.** Effects of NaCl stress on nitrogen and phosphorous metabolism in atrue mangrove *Bruguiera parviflora* grown under hydroponic culture. *J Plant Physiol* **161**:921-928
- Parent C., Capelli N. and Dat J., 2008.** Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. *C. R. Biologies* 331 (2008) 255-261.
- Paul M. H., Planchton C. et Ecochard R., 1979.** Etude des reallions entre le developement foliaire, le cyle de développement et la productivité chez le soja. *Amélio plants*. 29 : 479-492
- Peralta I E., Spooner DM, Knapp S., 2008.** Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; Solanaceae). *Systematic Botany Monographs* 84:1-186.

- Perez-Alfocea F., Balibrea M. E., Santa Cruz A., and Estan M. T., 1996.** Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. *Plant and Soil*, 180(2), 251-257.
- Perez-Alfocea F., Balibrea M.E., Alarcon J.J. et Bolarin M.C., 2000.** Composition of xylem and phloem exudates in relation to the salt-tolerance of domestic and wild tomato species. *J. Plant Physiol.* **156**: 367-374.
- Peterson C. A., and Enstone D.E., 1996.** Functions of passage cells in the endodermis and exodermis of roots. *Physiol. Planta.* **97**: 592-598.
- Philouze J, Laterrot H., 1992.** La tomate . In: Gal lais A, Bannerot H, eds, Amélioration des espèces végétales cultivées. INRA, : 379-91.
- Pical C., Kopka J., Mueller-Roeber B., Hetherington A.M., and Gray J.E., 1997.** Isolation of two cDNA clones for phosphoinositide-specific phospholipase C from epidermal peels (accession number X95877) and guard cells (accession number Y11931) of *Nicotiana rustica*. *Plant Physiol.* 114, 748.
- Pilot G., Gaymard F., Mouline K., Cherel I., Sentenac H., 2003.** Regulated expression of Arabidopsis shaker K⁺ channel genes involved in K⁺ uptake and distribution in the plant. *Plant Mol Biol*, 51: 773-787.
- Pitman M.G., 1977.** Ion transport into the xylem. *Annu. Rev. Plant Physiol.* **28**: 71-88.
- Pitman M.G., 1988.** Whole Plants. In *Solute Transport in Plant Cells and Tissues* (eds D.A. Baker J.L. Hall), pp. 346-391.
- Price A.H., and Hendry G.A.F., 1991.** Iron-catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals. *Plant Cell Environ.* 14:477-484.
- Poysa V., 1993.** Use of *Lycopersicon cheesmanii* and *L. chmielewskii* to increase dry matter content of tomato fruit. *Canadian Journal of Plant Science* 73:273-279.
- Pujol J.A., Calvo J.F. and RamírezDíaz L., 2001.** Seed germination, growth and osmotic adjustment in response to NaCl in a rare succulent halophyte from south eastern Spain. *Journal: Wetlands*, Vol.: 21, N° 2, pages: 256-264.
- Prévo L., Aries F., Monestiez P., 1991.** Modélisation de la structure géométrique du maïs. *agronomie* 11, 491-503.

Références bibliographiques

- Rahnama H., Ebrahimzadeh H., 2005.** The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities in potato seedling. *Biol Plant* 49(1):93-97.
- Ranc N., Munos S., Santoni S., Causse M., 2008.** A clarified position for *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* in the evolutionary of tomatoes (solanaceae). *BMC Plant Biology* 8, Article 130
- Rasio A., Sorrentino G., Cedola M.C., Pastore D., and Wittner G., 1987.** Osmotic and elastic adjustment of durum wheat leaves under stress conditions. *Genetic Agr.* **41**: 427 - 436 p.
- Rathinasabapathi B., Sigua C., Ho J., Gage D.A., 2000.** Osmoprotectant b-alanine betaine synthesis in the Plumbaginaceae: S-adenosyl-Lmethionine dependent N-methylation of b-alanine to its betaine is via N-methyl and N,N-dimethyl b-alanines. *Physiologia Plantarum* 109: 225±231.
- Reddy AR., Chaitanya KV., and Vivekanandan M., 2004.** Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *J Plant Physiol* 161:1189-1202.
- Reinhardt D.H. and Rost T.L., 1995.** Salinity accelerates endodermal development and induces an exodermis in cotton seedlings in cotton seedling roots. *Environ. Exp. Bot.* **35**: 563-574
- Ren Z.H., Gao J.P., Li L.G., Cai X.L., Huang W., Chao D.Y., Zhu M.Z., Wang Z.Y., Luan S. et Lin H.X., 2005.** A rice quantitative trait locus for salt tolerance encodes a sodium transporter, *Nat. Genet.* **37**: 1141-1146.
- Rengasamy P., 2002.** *Transient salinity and subsoil constraints to dryland farming in Australian sodic soils: an overview.* *Aust. J. Exp. Agric.* 42, 351-361.
- Rick C M., 1979.** Biosystematic studies in *Lycopersicum* and closely related species of *Solanum* In: J. G. Hawkes R N Lester and A.D. Skelding, *The Biology and Taxonomy of Solanaceae.* Academic Press, New York, PP. 667-677.
- Rivero R.M., Teresa C. M., Mittle R., Francisco Rubio F., Garcia-Sanchez F., and Martinez V., 2014.** The combined effect of salinity and heat reveals a specific physiological, biochemical and molecular response in tomato plants *Plant, Cell and Environment*, 37, 1059–1073.
- Rodriguez MC., Petersen M., Mundy J., 2010.** Mitogen-activated protein kinase signaling in plants. *Annu Rev Plant Biol* **61**: 621-649.
- Rhodes D., Nadloska-Orczyk A., and Rich P.J., 2002.** Salinity, osmolytes and compatible solutes. Dans *Salinity: environment- plants-molecules.* Sous la direction de A. Lauchli et U. Luttge. Kluwer, Boston. p. 181–204.

Références bibliographiques

- Romero L., Belakbir A., Ragala L., and Ruiz J. M., 1997.** Response of plant yield and leaf pigments to saline conditions: effectiveness of different rootstocks in melon plants (*Cucumis melo* L.). *Soil Science and Plant Nutrition*, 43(4), 855-862.
- Romero-Aranda R., Soria T., Cuartero J., 2001.** Tomato plant water uptake and plant-water relationships under saline growth conditions. *Plant Sci.* 160: 265–272p.
- Rossignol M., 2001.** Analysis of the plant proteome. *Current Opinion in Biotechnology*, 12:131–134.
- Rukey M., 2010.** Diverse accumulation of several dehydrin-like proteins in cauliflower (*Brassica oleracea* var. botrytis), *Arabidopsis thaliana* and yellow lupin (*Lupinus luteus*) mitochondria under cold and heat stress. *plant Biology*. 10 :1-17pp.
- Rus A., Yokoi S., Sharkhuu A., Reddy M., Lee BH., Matsumoto TK., Koiwa H., Zhu JK., Bressan R. A., Hasegawa P. M., 2001.** AtHKT1 is a salt tolerance determinant that controls Na⁺ entry into plant roots. *Proc Natl Acad Sci U S A.* Nov 20; 98(24):14150-5.
- Ruiz – Lozano J.M., Porcel R., Azcon C., and Aroca R., 2012.** Regulation by arbuscular mycorrhizae of the integrated physiological response to salinity in plants: new challenges in physiological and molecular studies. *Journal of Experimental Botany*, 63(11), 4033-4044.
- Saadallah K., Drevon J.J., Abdelly C., 2001.** Nodulation et croissance nodulaire chez le haricot (*Phaseolus vulgaris*) sous contrainte saline, *Agronomie* 21 627–634.
- Saadollah, 2005.** Evaluation of salt-tolerant genotypes of durum wheat derived from in vitro and field experiments, Elsevier, *Field Crops Research*, pp345–354.
- Saboora A., Kiarostami K., Behroozbayati F., Hajhashemi S ., 2006.** Salinity tolerance of wheat genotype at germination and early seedling growth. *Pak J Bio Sci* 9(11):2009-2021.
- Shabala S., and Munns R., 2012.** Salinity stress: physiological constraints and adaptive mechanisms. *Plant stress physiology*, 59-93.
- Salisbury F.B., and Ross C.W., 1992.** *Plant Physiology*. Wadsworth Publ. Company, Belmont.
- Sanger F., and Coulson A.R., 1978.** The use of thin acrylamide gels for DNA sequencing , *FEBS Lett.*, vol. 87, p. 107-110
- Santos A. B., Mazzafera P., 2013.** Aquaporins and the control of the water status in coffee plants. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*, 25(2): 79-93.
- Schachtman D. and Liu W ., 1999.** Molecular pieces to the puzzle of the interaction between potassium and sodium uptake in plants. *Trends Plant Sci.* 4, 281-287.

- Schreiber L., Hartmann K., Skrabs M. et Zeier J., 1999.** Apoplastic barriers in roots: Chemical composition of endodermal and hypodermal cell walls. *J. Exp. Bot.* **50**: 1267-1280.
- Schulze M.D., Seavy N. E. and Whitacre D. F., 2000.** A comparison of phyllostomid bat assemblages in undisturbed Neotropical forest and in forest fragments of a slash-and-burn farming mosaic in Peten, Guatemala. *Biotropica* 32:174–184.
- Schuppler U., He P., John PCL., Munns R., 1998.** Effect of water stress on cell division and cell-division-cycle 2-like cell-cycle kinase activity in wheat leaves. *Plant Physiology* 117, 667–678.
- Schwartz C., 2007.** Salinisation des sols : processus, causes, effets et gestions des sols salés.
- Shaddad M. A. K., HM A. E. S., and Mostafa D., 2013.** Role of gibberellic acid (GA3) in improving salt stress tolerance of two wheat cultivars. *International Journal of Plant Physiology and Biochemistry*, 5(4), 50-57.
- Shabala S., and Munns R., 2012.** Salinity stress: physiological constraints and adaptive mechanisms. *Plant stress physiology*, 59-93.
- Shahba Z., Baghizadeh A., Yousefi M., and Ohadi M., 2014.** Effect of salicylic acid on oxidative stress caused by NaCl salinity in *Lycopersicum esculentum* Mill. *Research Journal of Environmental Sciences*, 8(1), 49.
- Shankara N., Joep L. J., Marja G., Martin H., Barbara D., 2005.** La culture de la tomate production, transformation et commercialisation. ISBN Agromisa: 90-8573-044-9. ISBN CTA: 92-9081-300-8
- Shi H. and Zhu J. K., 2002.** Regulation of expression of the vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter gene AtNHX1 by salt stress and abscisic acid. *Plant Mol. Biol.* 50(3): 543–550.
- Shiyab, S. M., Shatnawi, M. A., Shibli, R. A., Al Smeirat, N. G., Ayad, J., and Akash, M.W. 2013.** Growth, nutrient acquisition, and physiological responses of hydroponic grown tomato to sodium chloride salt induced stress. *Journal of plant nutrition*, 36(4), 665-676.
- Shi H. and Zhu J. K., 2002.** Regulation of expression of the vacuolar Na⁺/H⁺ antiporter gene AtNHX1 by salt stress and abscisic acid. *Plant Mol. Biol.* 50(3): 543–550.
- Shi H., Ishitani M., Kim C., Zhu J K., 2000.** The *Arabidopsis thaliana* salt tolerance gene SOS 1 encodes a putative Na⁺/H⁺ antiporter. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 97, 6896-6901.
- Silva E. N., Silveira J. A. G., Rodrigues C. R. F., & Viégas R. A., 2015.** Physiological adjustment to salt stress in *Jatropha curcas* is associated with accumulation of salt ions, transport

and selectivity of K⁺, osmotic adjustment and K⁺/Na⁺ homeostasis. *Plant Biology*, 17(5), 1023-1029.

Sibole J., Cabot V., Poschenrieder C., and Bacelo J., 2003. Efficient leaf ion partitioning, an overriding condition for abscisic acid controlled stomatal and leaf growth responses to NaCl salinization in two legumes. *J Exp Bot* 54:2111-2119.

Slama F., 2004. La salinité et la production végétale. Centre de publication universitaire, Tunis.163P.

Smirnoff N., 1993. The Role of Active Oxygen in the Response of Plants to Water deficit and desiccation. *New Phytologist*, 125, 27-58.

Snoussi S. A. and Abbad., 2012. Production de la proline chez la tomate dans un environnement salin. *Agrobiologie* : 2 ,52-56 .

Snoussi S.A., and Halitim A., 1998 . Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées”, *Etude et Gestion des Sols*, 5, 4, 289 - 298.

Song J., Feng G., Tian C., and Zhang F., 2005. Strategies for Adaptation of *Suaeda physophora*, *Haloxylon ammodendron* and *Haloxylon persicum* to a Saline Environment During Seed-Germination Stage. *Annals of Botany*. 96: 399-405.

Soltani A., Hajji M., et Grignon C., 1990. Recherche de facteurs limitant la nutrition minérale de l'orge en milieu salé. *Agronomie*, 10 : 857-866.

Sobhanian H., Razavizadeh R., Nanjo Y., Ehsanpour A. A., Rastgarlazi F., Motamed N., 2010. Proteome analysis of soybean leaves, hypocotyls and roots under salt stress. *Proteome Sci*. 8, 1-15. Doi: 10.1186/1477-5956-8-19.

Srivastava O.P., Gupta R., Asomugha C.O., 2016. The common modification in alpha-crystallin in the lens, N101D, is associated with increased opacity in a mouse model. *J. Biol. Chem*

Sunarpi Horie T., Motoda J., Kubo M., Yang H., Yoda K., Horie R., Chan WY., Leung HY., Hattori K., Konomi M., Osumi M., Yamagami M., Schroeder JI., Uozumi N., 2005. Enhanced salt tolerance mediated by AtHKT1 transporter-induced Na unloading from xylem vessels to xylem parenchyma cells. *Plant J* 44: 928-938.

Sudhakar C., Lakshmi A., Giridarakumar S., 2001. Changes in the antioxidant enzyme efficacy in two high yielding genotypes of mulberry (*Morus alba* L.) under NaCl salinity. *Plant Sci* 141:613-619.

Sykes S. R., 1985. A glasshouse screening procedure for identifying citrus hybrids, which restrict

chloride accumulation in shoot tissues. *Crop and Pasture Science*, 36(6), 779-789.

Syngenta, 2009: Swiss-based global company that produces agrochemicals and seeds World tomato export have increased by 30 per cent over the last 5years

Taffouo, V. D., Nouck, A. H., Dibong, S. D., and Amougou, A. 2013. Effects of salinity stress on seedlings growth, mineral nutrients and total chlorophyll of some tomato (*Lycopersicum esculentum*L.) cultivars. *African Journal of Biotechnology*, 9(33). *J Exp Bot* 53: 1781-1791

Taiz L., and Zeiger E., 2002. *Plant Physiology* (Third Edition). Sinauer Associates, Inc., Publishers, Sunderland, 67-86.

Taleisnik E., and Grunberg k., 1994. Ion balance in tomato cultivars differing in salt tolerance. I. Sodium and potassium accumulation and fluxes under moderate salinity. *Physiol. Plant.*, 928-534.

Tavakkoli E., Rengasamy P., Mcdonald GK., 2010. The response of barley to salinity stress differs between hydroponics and soil systems. *Functional Plant Biology*; 37:621–633.

Taylor, F.J.R., Sarjeant, W.A.S., Fensome, R.A. and Williams, G.L., 1986. Proposals to standardize the nomenclature in flagellate groups currently treated by both the Botanical and Zoological Codes of Nomenclature. *Taxon*, 35(4), p.890-896.

Teakle N., Flowers T., Real D., Colmer T., 2007. *Lotus tenuis* tolerates the interactive effects of salinity and waterlogging by 'excluding' Na⁺ and Cl⁻ from the xylem. *J Exp Bot* 58: 2169-2180

Tester M., Davenport R., 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann Bot.* 2003 Apr;91(5):503-27.

Temagoult M., 2009. Analyse de la variabilité de la réponse au stress hydrique chez des lignées recombinantes de Tournesol (*Helianthus annuus* L.). Mémoire de magistère en Biotechnologies Végétales.

Temagoult M., 2009. Analyse de la variabilité de la réponse au stress hydrique chez des lignées recombinantes de Tournesol (*Helianthus annuus* L.). Mémoire de magistère. Univ. Constantine.

Tester M., Davenport R., 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants *Ann. Bot.*, 91, pp. 503-507

Tester M., and Davenport R., 2003. Na⁺ tolerance and Na⁺ transport in higher plants. *Ann. Bot.* 91: 503-527

- Teszara W., Mitchell V., Driscoll SP., Lawlor DW., 2002.** Effects of water deficit and its interaction with Co₂ supply on the biochemistry and physiology of photosynthesis in sunflower
- Tort N., Turkyilmaz B., 2004.** A physiological investigation on the mechanisms of salinity tolerance in some barley culture forms J.F.S., 27 pp. 1-16
- Troll W., Lindsley J., 1955.** A photometric method for the determination of proline. The Journal of Biochemistry, 215: 655-660.
- Turner N.C., 1981.** Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. Plant and Soil (58) 336-339.
- Tyerman S.D. and Skerrett IM., 1999.** Root ion channels and salinity. Sci. Hort. 78, 175- 235.
- Villar, E. , 2011.** RNA-Seq reveals genotype-specific molecular responses to water deficit in eucalyptus. BMC Genomics, v. 12, n. 538, p. 1-18.
- Villiers AJ., Van Rooyen M.W., Theron G.K., and Classens A.S., 1995.** The effect of leaching and irrigation on the growth of atriplex semibaccata. Ladegradation and rehabilitation 6, 125-131.
- Vitamvas P., Kosava K., Prasil T., 2007 .** Proteomie analysis in plant stress research. Czech J Genet plant Breed 43: 1-6.
- Wahid A., 2004.** Analysis of toxic and osmotic effects of sodium chloride on leaf growth and economic yield of sugarcane. Botanique, Bulletin of Academia Sinicia, VOL. 45: 133-141.
- Wanjogu, S.N., E.M. Muya, P.T. Gicheru and B.K. Waruru. (2001).** Soil degradation: Management and rehabilitation in Kenya. Proceedings of the FAO/ ISCW expert consultation on Management of Degraded Soil in Southern and Eastern Africa (MADS-SEA) 2nd Networking meeting, Pretoria, South Africa, PR102-113
- Wessler SR, Bureau TE and white SE., 1995.**enhances expression of the endogenous MsPRP2 gene in alfalfa and improves salinity tolerance of the plants. Plant Physiol, 120: 473-80.
- Wang G., Vinocur P., Altmn A., 2004.** Plant responses to drought, salinity and extreme temperatures: towards genetic engineering for stress tolerance, plant, P:1-14
- Wang B.W., KIM H.Y., Lee H., K.I.M.K., Deng X., Kwak S., 2009.** Analysis of antioxidant enzyme activity during germination of alfalfa under salt stress and drought stress. Plant Physiology and Biochemistry, 47: 570-57.

- Wang, F., Xu, Y. G., Wang, S., Shi, W., Liu, R., Feng, G., and Song, J. 2015.** Salinity affects production and salt tolerance of dimorphic seeds of *Suaeda salsa*. *Plant Physiology and Biochemistry*, 95, 41-48.
- Warnock S.J., 1988.** A review of taxonomy and phylogeny of the genus *Lycopersicon*. *Hortscience* 23:669-673.
- Weimberg, R., and Shannon, M. C. 1988.** Vigor and salt tolerance in 3 lines of tall wheat grass. *Physiologia Plantarum*, 73(2), 232-237.
- Winicov I.I., Bastola D.R., 1999.** Transgenic overexpression of the transcription factor alfin1
- Winter E., 1982.** Salt tolerance of *Trifolium alexandrinum* L. III: effects of salt on ultrastructure of phloem and xylem transfer cells in petioles and leaves. *Aust. J. Plant Physiol.* 9: 239–250p.
- Wolf O., Munns R., Tonnet M.L. et Jeschke W.D., 1990.** Concentrations and transport of solutes in xylem and phloem along the leaf axis of sodium chloride treated *Hordeum vulgare*. *J. Exp. Bot.* **230**: 1133-1142.
- Wolf O., Munns R., Tonnet M.L. et Jeschke W.D., 1991.** The role of the stem in the partitioning of Na⁺ and K⁺ in salt-treated barley. *J. Exp. Bot.* **42**: 697-704.
- Wyn Jones RG., Gorham J., 2002.** Intra- and inter-cellular compartmentation of ions. In: Läuchli A, Lüttge U, eds. *Salinity: Environment - Plants - Molecules*. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer, 159-180
- Wu Y., DiMaggio PA Jr ., Perlman DH., Zakian VA ., Garcia BA.,2013.** Novel phosphorylation sites in the *S. cerevisiae* Cdc13 protein reveal new targets for telomere length regulation. *J Proteome Res*12(1):316-27
- WPTC, 2014.** The World Processing Tomato Council. <https://www.worldtomatocongress.com>.
- Yadav R., Flowers T.J. et Yeo A.R., 1996.** The involvement of the transpirational bypass flow in sodium uptake by high- and low-sodium-transporting lines of rice developed through intravarietal selection. *Plant Cell Environ.* **22**: 329-336.
- Yamaguchi-Shinozaki K., and Shinozaki K., 2007.** Gene networks involved in drought stress response and tolerance. *J Exp Bot* 58: 221-227
- Yazici I., Türkan I., Sekmen A.H., & Demiral T., 2007.-** Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environ. Exp. Bot.*, 61, 49-57.

- Yeo A.R. and Rowers T.J., 1998.** Accumulation and localization of sodium ions within the shoots of rice (*Oryza sativa*) varieties differing in salinity resistance. *Physiol. Plant.* 56: 343-348.
- Yeo A.R., and Flowers T.J., 1986.** Salinity resistance in Rice (*Oryza sativa* L.) and a pyramiding approach to breeding varieties for saline soils. *Aust. J. Plant Physiol.* **13**: 161-173.
- Yeo A.R., Flowers S.A., Rao G., Welfare K., Senanayake N. et Flowers T.J., 1999.** Silicon reduces sodium uptake in rice (*Oryza sativa* L.) in saline conditions and this is accounted for by a reduction in the transpirational bypass flow. *Plant Cell Environ.* **22**: 559-565.
- Yeo A.R., Yeo M.E. et Flowers T.J., 1987.** The contribution of an apoplastic pathway to sodium uptake by rice roots in saline conditions. *J. Exp. Bot.* **38**: 1141-1153
- Ykhlef N., 2001.** Photosynthèse, Activité photochimique et tolérance au déficit hydrique chez le blé dur (*Triticum durum* ; Desf). Thèse de doctorat. Univ. Mentouri .Constantine
- Yokoi S., Quintero F.J., Cubero B., Ruiz M.T., Bressan R.A., Hasegawa P.M., Pardo J.M., 2002.** Differential expression and function of Arabidopsis thaliana NHX Na⁺/H⁺ antiporters in the salt stress response. *Plant J.*, 30: 529–539.
- Yordanova J., Kolev V., Hohnsbein J., Falkenstein M., 2004.** Sensorimotor slowing with aging is mediated by a functional dysregulation of motor-generation processes: evidence from high-resolution ERPs. *Brain* 127 351–362. 10.1093/brain/awh042 .
- Zeghida A., Amrani R., Djennadi F., Ameroun R., Khldoun A.A. & Belloucif M., 2004.** Etude de la variabilité de réponse des plantules de blé dur (*Triticum durum* Desf) à la salinité. Céréaliculture. ITGC. 42. Constantine : 5p.
- Zhang J., and Davies W.J., 1989.** Abscisic acid produced in dehydrating roots may enable the plant to measure the water status of the soil. *Plant, Cell & Environment* 12: 73–81.
- Zhu J. k., 2003.** Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in plant biology*, 6, 441-445.
- Zhu J.K., 2001.** Plant Salt Tolerance. *Trends in Plant Science*, 6, 66-71.
- Zhu Z., Labbé S., Peña M.M., Thiele D.J., 1998.** Copper differentially regulates the activity and degradation of yeast Mac1 transcription factor. *J Biol Chem* 273(3):1277-80.
- Zid E., and Grignon C., 1991.** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes au stress. Cas des stress salin et hydrique. L'Amélioration des Plantes pour l'Adaptation aux Milieux Arides. Ed. AUPELF-UREF, John Libbey Eurotext, Paris: 91-108.

Références bibliographiques

Zörb C., Noll A., Karl S., Leib K. and Yan F. 2005. Molecular characterization of Na⁺/H⁺ antiporters (ZmNHX) of maize (*Zea mays* L.) and their expression under salt stress. *J. Plant Physiol.*, 162: 55-66.

Annexes

Annexe 1

• Solutions et tampons utilisés pour SDS-PAGE

Solution mère d'acrylamide à 35% (à préparer avec gants et masque)

Acrylamide	35 g
Eau distillée qsp	100 ml

Solution mère de bis acrylamide à 2% (à préparer avec gants et masque)

Bis acrylamide	2 g
Eau distillée qsp	100 ml

Solution stock de SDS à 10%

Eau distillée qsp	100 ml
-------------------	--------

Solution d'APS (Ammonium Persulfate) à 1% : à préparer extemporanément

APS	0.1 g
Eau distillée qsp	10 ml

Solution de coloration (pour deux gels)

TCA 60%	100 ml
(60gTCA/100ml Eau distillée)	
Eau distillée qsp	500 ml

Solution mère de Bleu de Coomassie R-250 25 ml

Bleu de Coomassie R250	10 g
Ethanol 95° qsp	1000ml

- L'éthanol doit être mis en agitation dans l'éprouvette, avec un barreau aimanté.
- Le bleu de Coomassie est ensuite ajouté (sinon le bleu prend en masse au fond du contenant).
- Laisser en agitation au moins deux heures, puis filtrer la solution.

Tampon Tris-HCl pH 8.8 (à préparer sous la hotte, avec gants et masque)

Tris (hydroxyméthyl aminomethan)	60.57g
Eau distillée	400 ml
Ajuster à pH 8.8 avec du HCl fumant	8 à 10 ml
Eau distillée qsp	500 ml

Tampon de dénaturation (Laemmli)

Tris-HCL 6,8	12.5 ml
SDS	2 g
Glycérol	10 ml
β -mércaptoéthanol	2 ml
Bleu de Bromophénol	0.0025 g
Eau qsp	100 ml

Tampon Tris HCl pH 6.8 (à préparer sous la hotte, avec gants et masque)

Tris (hydroxyméthyl aminomethan)	30.285g
Eau distillée	200 ml
Ajuster à pH 6.8 avec du HCl fumant	19.5 ml
Eau distillée qsp	250 ml A

Tampon d'électrophorèse

Glycine	70.55 g
Tris (hydroxyméthyl amino Ethan)	15 g
SDS	5 g
Eau distillée qsp	5000 ml

- **Solutions de l'extraction des protéines totales**

Solution (A) de précipitation (placer au froid)

TCA (100%)	10 ml (10g TCA/100ml acetone)	→ 10%
β-mercaptoéthanol	70 µl	→ 0.07%
Acetone qsp	100ml	

Solution (B) de rinçage (placer au froid)

β -mercaptoéthanol	70 µl	→ 0.07%
Acétone qsp	100ml	

- **Préparation des gels**

(Quantités pour une cuve de deux gels)

Gel de séparation (running gel) T= 15% et C = 0.027%

Acrylamide à 35%	33.37 ml
Bis acrylamide à 2%	16.20 ml
Eau distillée	8.83 ml
Tris – HCl pH 8.8	18.8 ml
SDS à 10%	0.8 ml
APS à 1%	2.5 ml
Temed	50 µl

Gel de concentration (stacking gel) T= 4%

Acrylamide à 35%	2 ml
Bis acrylamide à 2%	0.6 ml
Eau distillée	20.4 ml
Tris – HCl pH 6.8	3.4ml
SDS à 10%	0.28 ml
APS à 1%	1.4ml
Temed	30 µl

Annexe 2

Tab. 1 : Taux de germination (Tg)

Variétés	Niveau de NaCl « mM »	Tg (48h)	Tg (96)
Rio Grande	0	76,67	86,67
	25	26,67	76,67
	50	6,67	30,00
	150	0,00	6,67
Heinz	0	96,67	100,00
	25	50,00	93,33
	50	16,67	36,67
	150	6,67	20,00

Tab. 4 : Résultats des moyennes du poids spécifique foliaire

Variétés	Niveau de NaCl « mM »	Moyenne	Ecart-Type
Rio Grande	0	0,04	0.00
	25	0,03	0.00
	50	0,02	0.00
	150	0,02	0.00
Heinz	0	0,05	0.00
	25	0,06	0.00
	50	0,06	0.01
	150	0,07	0,01

Tab. 2 : Résultats des moyennes de la surface foliaire

Génotype	Niveau de Na Cl « mM »	Moyenne	Ecart-Type
Rio Grande	0	13,54	1.03
	25	13,25	1.23
	50	13,00	1.55
	150	8,31	0.47
Heinz	0	11,61	0.42
	25	10,43	0.02
	50	9,89	0.52
	150	9,82	0,6

Tab. 3 : Résultats des moyennes du nombre des feuilles

Génotype	Niveau de Na Cl « mM »	Moyenne	Ecart-type
Rio Grande	0	7,2	0,58
	25	6,5	0,58
	50	4,25	0,50
	150	1,50	0,58
Heinz	0	8,25	0,5
	25	6,75	0,5
	50	5,25	0,5
	150	3,50	0,58

Tab. 5 : Résultats des moyennes de la longueur de tige

Variétés	Niveau de Na Cl « mM »	Moyenne	Ecart-Type
Rio Grande	0	14,20	0,59
	25	12,875	2,00
	50	12,07	0,00
	150	9,30	0,00
Heinz	0	16,37	0,00
	25	15,45	0,74
	50	11,50	2,12
	150	10,47	0,73

Tab. 6 : Résultats des moyennes du poids frais total

Variétés	Niveau de Na Cl « mM »	Moyenne	Ecart-Type
Rio Grande	0	180,47	9,19
	25	164,36	4,98
	50	144,90	4,25
	150	105,30	4,41
Heinz	0	171,40	10,39
	25	136,96	48,72
	50	57,94	2,21
	150	48,80	2,77

Tab. 7 : Résultats des moyennes de la longueur racinaire

Variétés	Niveau de NaCl « mM »	Moyenne	Ecart-type
Rio Grande	0	9,6	0,64
	25	7,4	0,65
	50	6	1,14
	150	4	0,41
Heinz	0	15,5	0,41
	25	12,19	1,12
	50	10,74	0,76
	150	4,74	0,21

Tab. 9 : Résultats des moyennes du rapport (Bsr/Bsa)

Variétés	Niveau de NaCl « mM »	Moyenne	Ecart-type
Rio Grande	0	0,75	0,08
	25	0,71	0,06
	50	0,67	0,09
	150	0,27	0,02
Heinz	0	0,75	0,00
	25	0,71	0,01
	50	0,57	0,03
	150	0,55	0,06

Tab. 8 : Résultats des moyennes de la (Bsr/Uvm)

Génotype	Niveau de NaCl « mM »	Moyenne	Ecart-type
Rio Grande	0	4,239	0,05
	25	3,374	0,42
	50	1,814	0,73
	150	0,442	0,57
Heinz	0	8,011	0,63
	25	5,102	0,14
	50	3,026	0
	150	1,901	0,13

Tab. 9 : Résultats des moyennes de l'indice de tolérance

Variétés	Niveau de NaCl « mM »	Moyenne	Ecart-type
Rio Grande	25	0,86	0,09
	50	0,61	0,10
	150	0,22	0,03
Heinz	25	0,92	0,03
	50	0,68	0,03
	150	0,55	0,05

Tab. 10 : Résultats des moyennes de la surface racinaire

Variétés	Niveau de NaCl « mM »	Moyenne	Ecart-type
Rio Grande	0	50,93	0,38
	25	36,59	3,89
	50	29,98	0,65
	150	19,90	0,83
Heinz	0	58,28	0,53
	25	40,44	1,00
	50	32,80	0,32
	150	19,91	0,05

Annexe 3

Tab. 11 : Résultats des moyennes de la Tret

Variétés	Niveau de NaCl « mM »	Moyenne	Ecart-type
Rio Grande	0	82,10	0,90
	25	74,14	1,80
	50	68,40	1,81
	150	55,43	1,82
Heinz	0	82,93	2,03
	25	70,56	0,39
	50	63,92	2,53
	150	52,67	5,25

Tab. 12 : Résultats des moyennes de la Tre f

Variétés	Niveau de NaCl « mM »	Moyenne	Ecart-type
Rio Grande	0	50,93	0,38
	25	36,59	3,89
	50	29,98	0,65
	150	19,90	0,83
Heinz	0	58,28	0,53
	25	40,44	1,00
	50	32,80	0,32
	150	19,91	0,05

Tab. 13 : Résultats des moyennes de la chlorophylle totale

Variétés	Niveau de NaCl « mM »	Moyenne	Ecart-type
Rio Grande	0	45,00	0,71
	25	33,41	0,66
	50	25,30	0,16
	150	22,57	0,84
Heinz	0	43,01	0,59
	25	31,18	0,31
	50	27,40	0,39
	150	24,44	0,28

Tab. 14: Résultats des moyennes de la teneur en (Na⁺) ; (K⁺) et coefficient de sélectivité (Csf) dans la feuille

Niveau de NaCl « mM »	Paramètres	Moyenne	Ecart-Type
0	Na+f(Rio)	3,56	0,11
	Na+f(Heinz)	2,50	0,06
	K+ f(Rio)	7,61	7,61
	K+ f(Heinz)	7,61	0,06
	Csf (Rio)	0,47	0,03
	Csf (Heinz)	0,37	0,01
	Na ⁺ f (Rio)	5,50	0,41
25	Na ⁺ f (Heinz)	3,69	0,18
	K ⁺ f (Rio)	6,51	0,21
	K ⁺ f(Heinz)	5,96	0,04
	Csf(Rio)	0,84	0,05
	Cs f(Heinz)	0,62	0,03
	Na ⁺ f (Rio)	4,91	0,34
	Na ⁺ f (Heinz)	4,34	0,07
50	K ⁺ f (Rio)	5,52	0,36
	K ⁺ f (Heinz)	5,91	0,024
	Csf (Rio)	0,89	0,32
	Csf (Heinz)	0,73	0,01
	Na ⁺ f (Rio)	9,88	0,002
150	Na ⁺ f(Heinz)	6,35	0,10
	K ⁺ f(Rio)	3,71	3,71
	K ⁺ f (Heinz)	4,39	0,08
	Csf (Rio)	2,67	0,32
	Csf (Heinz)	1,45	0,01

Tab. 15: Résultats des moyennes de la teneur en (Na⁺) ; (K⁺) et coefficient de sélectivité (Csr) dans la racine

Niveau de NaCl « mM »	Paramètres	Moyenne	Ecart-Type
0	Na ⁺ r (Rio)	2,70	0,39
	Na ⁺ r (Heinz)	2,91	0,05
	K ⁺ r (Rio)	3,50	0,59
	K ⁺ r (Heinz)	3,27	0,17
	Csr (Rio)	0,77	0,22
	Csr (Heinz)	0,89	0,05
25	Na ⁺ r (Rio)	4,25	0,63
	Na ⁺ r (Heinz)	4,12	0,06
	K ⁺ r (Rio)	3,19	0,10
	K ⁺ r (Heinz)	2,86	0,15
	Csr (Rio)	1,33	0,22
	Csr (Heinz)	1,44	0,08
50	Na ⁺ r (Rio)	5,82	0,15
	Na ⁺ r (Heinz)	4,45	0,16
	K ⁺ r (Rio)	2,62	0,31
	K ⁺ r (Heinz)	2,84	0,08
	Csr (Rio)	2,22	0,33
	Csr (Heinz)	1,57	0,09
150mMol	Nar (Rio)	6,45	0,13
	Na ⁺ r (Heinz)	6,18	0,11
	K ⁺ r (Rio)	1,94	0,10
	K ⁺ r (Heinz)	2,93	0,03
	Csr (Rio)	3,34	0,19
	Csr (Heinz)	2,11	0,05

Annexe 4

Tab. 16 : Résultats des moyennes de teneur en proline, sucre soluble

Variétés	Niveau de NaCl « mM »	Moyenne		Ecart-type	
		Proline	Sucre soluble	Proline	Sucre soluble
Rio Grande	0	0,47	83,17	0,50	3,50
	25	51,12	90,26	0,90	0,53
	50	53,53	110,43	0,47	6,82
	150	109,32	153,76	0,47	6,45
Heinz	0	24,52	78,22	1,18	1,88
	25	36,76	91,52	0,48	5,71
	50	111,16	116,33	0,48	6,04
	150	175,60	173,98	3,44	1,71

Tab. 17 : Résultats des moyennes de la teneur en protéine foliaire

Variétés	Niveau de NaCl « mM »	Moyenne	Ecart-type
Rio Grande	0	5,18	0,18
	25	4,32	0,25
	50	3,57	0,65
	150	2,86	0,29
Heinz	0	5,42	0,16
	25	4,53	0,31
	50	5,09	0,04
	150	5,18	0,03

Résumé

Le présent travail a pour objectif de déterminer la relation des protéines et les fonctions physio-biochimiques et histo-morphologiques de deux variétés de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill var : RioGrand, Heinz) en conditions salines. A cette effet quatre expériences factorielles ont été réalisé dans une solution Hoagland dans un dispositif en bloc complètement randomisé avec quatre concentrations de NaCl (S_0 : 0, S_1 :25, S_2 :50, S_3 :150) mMol et quatre répétions, le travail a été exécuté sur 32 unités expérimentales pour chaque expérience dans des conditions contrôlées. Pendant la phase de germination l'observation morphologique a montré que la forte concentration saline (150 mMol) a un effet dépressif sur le pouvoir germinatif pour les deux variétés. Le suivi de la croissance et le développement de la plantule dans les conditions salines ont permis de conclure que la salinité a diminué considérablement les paramètres physio -biochimiques ainsi que morphologiques (Sf ,Psf , Nf , Pft, Bsr, Bsa, Sr ,Tre , Chlt, K^+_r , K^+_f , Prot) comparant au témoin par contre une accumulation remarquable des osmorégulateurs (Pro , Suc)ceci cohérent avec l'accrétion de l'ion de Na^+ qui reflète sur le coefficient de sélectivité Na^+ /K^+ dans les feuilles et racines .L'analyse de la composante principale (ACP) expliquée par les protéines totales (ProT) a révélé de de très hautes corrélations significatives (positif , négatif) avec les paramètres étudiés cette dernière semble avoir clarifié l'état de ces deux variétés (RioGrand ,Heinz)dans les conditions salines il se dégage que ces deux génotypes ont manifesté des comportements différents sous les hautes concentrations salines (150 mMol) ou on note au niveau de l'étude histologique une absence structurale de la croissance primaire et secondaire et une augmentation de la taille de la lignification des cellules parenchymateuses chez la variété sensible (RioGrand) où l'indice de sensibilité (Is) a confirmé sa sensibilité et une absence de la croissance secondaire chez la variété tolérante (Heinz) au niveau de la racine cette différence réside dans l'intensité des bandes colorées ainsi que dans le nombre de bandes obtenues chaque bande d'un profil électrophorétique se compose de plusieurs protéines de structure différentes .

Mots clés : salinité, physiobiochimique, histo-morphologique, profil électrophorétique.

الملخص

يهدف هذا العمل إلى تحديد علاقة البروتين بالوظائف الفزيو-بيوكيماوية و المرفو-تشريحية لـصنفين من نبات الطماطم (*Lycopersicon esculentum* Mill var : RioGrand , Heinz) تحت الظروف الملحية . لهذا الغرض أجريت أربعة تجارب عاملية في محلول Hoagland بتصميم القطاعات العشوائية الكاملة تضمنت أربعة تراكيز ملحية من NaCl ($S_0: 0, S_1: 25, S_2: 50, S_3: 150$) mMol كررت كل معاملة أربعة مرات و بالتالي فكل تجربة إحتوت 32 وحدة تجريبية تحت ظروف مراقبة . خلال مرحلة الإنبات أظهرت الملاحظات المرفولوجية أن التركيز الملحي العالي (150 mMol) له تأثير جد حاد على القدرة الإنباتية لكلا الصنفين . إن متابعة نمو و تطور الشتلات تحت الظروف الملحية أدت إلى إستنتاج أن الملوحة خفضت بشكل كبير المعايير الفزيو-كيماوية و المرفولوجية (Sf ,Psf , Nf , Pft , Bsr ,Bsa, Sr ,Tre , ChlT, K^{+r}, K^{+f} , Prot لمنظمات الأسموزية (Pro , Suc) و هذا بالتوافق مع تراكم أيون Na⁺ الذي إنعكس على معامل الانتقائية إن تحليل المركبات النموذجية (ACP) أوضحت أن البروتينات الكلية هو المتغير الذي أظهر الفعل النوعي للملوحة و له إرتباطات جد معنوية مع المتغيرات الأخرى المدروسة (إيجابية و سلبية) كما يبدو أن هذا المتغير أوضح حالة هاذين الصنفين (RioGrand ,Heinz) تحت الظروف الملحية و أن هذين الصنفين الوراثيين سلكا سلوكات مختلفة خاصة تحت التراكيز الملحية العالية (150 mMol) أين تم تسجيل على المستوى الدراسة التشريحية غياب النمو البنيوي الأولي و الثانوي و زيادة في حجم التلجن للخلايا البرنشيمة عند الصنف الحساس (RioGrand) حيث أن مؤشر الحساسية (Is) أكد حساسيتها و عدم وجود نمو ثانوي عند الصنف المقاوم (Heinz) على مستوى الجذور هذا الاختلاف يكمن في عدد الأشرطة الملونة المتحصل عليها حيث كل شريط من مظهر الرحلان الكهربائي يتكون من عدة بروتينات ذات بنية مختلفة.

الكلمات المفتاحية: الملوحة، الفزيو-كيماوية، المرفو-تشريحية، مظهر الرحلان الكهربائي

Abstract

The present work aims to determine the protein relationship and the physio-biochemical and histo-morphological functions of two tomato varieties (*Lycopersicon esculentum* Mill var: RioGrand, Heinz) in saline conditions. For this purpose, four factorial experiments were carried out. In a Hoagland solution in a fully randomized block device with four concentrations of NaCl (S_0 : 0, S_1 : 25, S_2 : 50, S_3 : 150) mMol and four repeats, the work was performed on 32 experimental units for each experiment under controlled conditions. During the germination phase morphological observation showed that the high saline concentration (150 mMol) has a depressive effect on the germination capacity for both varieties. Growth monitoring and seedling development in saline conditions led to the conclusion that salinity significantly decreased the physio-biochemical and morphological parameters (Sf, Psf, Nf, Pft, Bsr, Bsa, Sr, Tre, ChIT, $K^+ r$, $K^+ f$, Prot) compared to the control against a remarkable accumulation of osmolgulators (Pro, Suc) this consistent with the accretion of the Na^+ ion which reflects on the coefficient of selectivity Na^+ / K^+ in the leaves and roots of the main component explained (ACP) by the total proteins revealed of very high significant correlations (positive, negative) with the studied parameters this last one seems to have clarified the state of these two varieties (RioGrand, Heinz) in the saline conditions it emerges that these two genotypes showed different behaviors under the high saline concentrations (150 mMol) or we note at the histological study level a structural absence of the growth pri mayor and secondary and an increase in the size of parenchymal cell lignification in the susceptible variety (RioGrand) where the sensitivity index (Is) was confirmed Its sensitivity and an absence of secondary growth in the tolerant variety (Heinz) at the root level this difference lies in the intensity of the bands as well as in the number of bands obtained each band of an electrophoretic profile composed of several proteins of different structure.

Key words: salinity, physio-biochemical, histo-morphological, electrophoretic profile



Characterisation of two varieties of tomato (*Lycopersicon esculentum*) with saline resistant

Chahrazed Dersouni*, Saida Chougui

Department of Biology and Ecology, University of Constantine1, Algeria

Key words: Tomato, Salinity, Vegetative parameters, Biochemical parameters, Nutritious solution.

<http://dx.doi.org/10.12692/ijb/12.4.43-54>

Article published on April 048, 2018

Abstract

During this study we have determine the effect of salt stress on the growth and biochemical parameters of plants. To do so, two tomato varieties were studied: *Rio Grande* and *Heinz* which differ in their origins and their adapting behaviour to abiotic stress. The two ecotypes originated from America. In order to select tomato genotypes that are more tolerant to salinity, an experiment was carried out and repeated three times. The salinity stress factor comprised two genotypes and three levels of salinity stress. The percentage of the dry and fresh matter and the stem length, the length of both young and old leaves, decreases with the rise in salinity in the two varieties with a slighter decrease in the *Rio Grande* variety compared to that of the *Heinz*. The foliar surface was more affected by salinity in the *Rio Grande* compared to the *Heinz*. Likewise, the contents in proline increased significantly more in the *Heinz* than in the *Rio Grande*. The results also show that the content of proteins is smaller in *Rio Grande* than in *Heinz*. These results seem to show that the *Rio Grande* variety studied is more sensitive to salinity within the tested limits than the *Heinz* variety. Static analyses show there is difference significant between salinity and the two varieties and between the vegetative and biochemical parameters, for the test of Fisher.

* **Corresponding Author:** Chahrazed Dersouni ✉ chahrazeddarsouni@yahoo.fr

Introduction

The functional biology of salt stress adaptation in plants is matter of current debate, in the 20th century, tomato (*Lycopersicon esculentum*) is eaten all over the world. It has become one of the most produced vegetables in the whole world (122 million tons in 2005): FAO Statistical database, 2008. Destined to be consumed fresh or after being modified industrially, tomatoes are an important source of minerals, vitamins, antioxidants and fibre in human diet.

The tomato has established itself as a model for several species with agronomical interest such as grapes, peaches, melon, apples or strawberries. Moreover, this species presents numerous biological advantages (short biological cycle, easy crossbreeding, genetic modification with *Agrobacterium*, small sizegenome, very large genetic diversity).

It is sensitive to moderate salt concentrations in the soil. However, many authors reveal a great variability amongst tomato genomes in their response to salinity according to Cuartero and Fernandez-Munez, 1999; Manaa *et al.*, 2011.

Salts present in the soil and in irrigation waters perturb the germination of grains, affect the growth of the seedlings and, consequently, the culture production. Na⁺ Cl⁻ ions that are accumulated in plant tissues of above ground organs, can equally provoke toxicity in the plant, Munns and Teter, 2008. Moreover, their effects on the plant osmotic potential, high concentrations of NaCl cause a toxicity linked to excessive presence of Na⁺ ions which interfere with K⁺ ions. The salinity affects all physiological processes of the plant as well as its development and its growth.

The summary of organic compounds or osmoprotectants, is one of the strategies deployed by the plant in order to attenuate the effect of salinity. Proteins, soluble sugars, amino-acids and especially proline, count amongst these organic compounds

which play a major role in the osmotic adjustment of the plant already perturbed by the excessive presence of ions. The tolerance of the plants to salt depends on their upholding of a sufficient absorption of essential nutrients such as K⁺, notably in presence of an excess in Na⁺. Shabala and al., 2005.

Genetic variability between species facilitates the screening and/or the selection of more tolerant plants at more or less high concentrations of salt. This variability is therefore necessary for any program aiming at selecting genotypes that are resistant to salt. Thus, it was indicated in several plant species: amongst 14 accessions of soft wheat Goudarzi and Pakniyat, 2008 ; 60 melon cultivars Kusvuran and al., 2007 ; 7 barley cultivars Chen *et al.*, 2005 and amongst 18 tomato cultivars Turhan and al., 2009. Thus, it has been reported in several plant species: between 14 accessions of soft wheat Goudarzi and Pakniyat, 2008 ; 60 melon cultivars Kusvuran *et al.*, 2007 ; 7 barley cultivars Chen and al., 2005 and between 18 tomato cultivars Turhan and al., 2009.

The objective of this work is the assessment of the degree of sensitivity ortolerance at the germination level first, and then at the vegetative stage of seedlings, of two tomato varieties of which one (*Heinz*) and the other (*Rio Grande*) to determine their behavior in the face of the increase in salt stress want to improving their productivity in the areas where they are grown.

Material and methods

Culture and treatment of tomato grains:

To study the effect of varying degrees of salinity on germination capacity, tomato seeds from 2 genotypes *Rio Grande* and *Heinz* were put to germinate during 48h at 22°C, in darkness. This was realised after disinfecting the seeds with sodium hypochlorite at 2% during 10 minutes, then rinsing them carefully with distilled water in petri boxes (30 grains) lined with 3 layers of filter paper soaked with distilled water for the « control » plants. By contrast, the « salinity » treatment consisted of bringing 0, 25, 50 or 150 mm of NaCl to the distilled water. Under controlled

conditions of temperature, humidity and lighting, the number of germinated grains in each of the concentrations is collected every 24 hours for the evaluation of the effect of growing concentrations of NaCl on the percentage of germination.

In addition, the plants that were issued from germination in an environment free from NaCl, are transplanted in trays filled with inert coarse sand and are watered with Hoagland nutritive solution modified by Jemal and al. 2005, whose composition is as follows: 1,5 mM of Ca (NO₃)₄ H₂O, 0,5 mM of MgSO₄·7 H₂O, 1 mM of KNO₃, 1 mM of KH₂PO₄, 1 μM of KH₂PO₄·7 H₂O, 30 μM of H₃BO₃, 50 μM of Fe-EDTA, 10 μM of MnSO₄, 1μM of ZnSO₄·7H₂O. At the 3-4 leaves stage, the seedlings are transplanted into plastic pots filled with nutritive solution in presence or absence of NaCl at the following concentrations (0, 17, 50, 85 et 130 mM). Culture media are aerated then regularly renewed.

After a period of 14 days in the hydroponic environment, the seedlings are removed, the number of leaves is counted and the foliar surface is measured. The length of the stem as well as the root, the length of young leaves and that of old ones are also measured. Then, the above-ground part is separated from the root part and the dry matter of the

part above-ground is determined after drying during 48 hours at 80°C.

Next, the above ground part is separated from the root part and the dried matter of the aerial portion is fixed after drying during 48 hours at 80 °C. The weighing is carried out using electronic precision scales of the type Model- Citizen XK3190-A7M. Total protein synthesis is achieved according to the method of Bradford. 1976. Finally, the foliar proline content is determined according to the method of Bates *et al.*, 1973, Marin and al., 2009. The results have been subjected to analysis of Anova and the averages were compared with the help of the Fisher test. 1953. Baed on the LSDT method (Least Significant Difference test) using a software called XLSTAT 2012-2013 for Windows). Each average is assigned a letter. Averages followed by the same letter are not significantly different at the 5% probability level.

Results and discussion

We have noticed that salinity in the limit value of the examined concentrations significantly reduced the germinating capacity of grains from both varieties from the first concentration of 25 mM. These results are in agreement with some of the works already published, Lachhab and al., 2013, Ould Mohamdi and al., 2011.

Table 1. Represents the number of germinated grains at all concentrations with both varieties and their germination percentage.

Variety \ Duration	Rio Grande				Heinz			
	0mM	25mM	50mM	150mM	0mM	25mM	50mM	150mM
50h	23	8	2	0	29	15	5	0
70h	26	23	9	2	30	28	11	6
%Germination	86,6	76,6	30	6,6	100	93,3	36,6	20

Averages followed by different in the same column for each treatment differ significantly (probability < 0.05).

On the tomato in their work on cucumber Cuartero. 1999, Amini and Ehsanpour, 2005, reported that increasing saline concentrations in the medium, not only induce considerably reductions in the percentage of germination but they also slow down the speed of germination of a few tomato cultivars exposed to salt stress.

Effect of NaCl on the morphological parameters

The salinity effect is not homogenous for all organs and the morphological response of the latter are different, Hilal and al., 1998. And sometimes they are even opposite between the Juvenal and adult stages, Munns and al., 1986, Zid and al., 1989.

Table 2. Represents the effect of NaCl on the morphological parameters.

Variety	NaCl (mM)	SL (cm)	RL (cm)	FM (mg)	DM (mg)	LA (cm ²)	NL	OLL	YLL
<i>Rio Grande</i>	0	14,20±0,72	9,6±0,6	0,46±0,01	0,06±0,01	4,2±0,1	8±1	8,2±1	8,9±0,7
<i>Rio Grande</i>	25	12,4±2,33	10,4±0,5	0,37±0,02	0,03±0,01	2,7±0,2	7±0,6	7,3±0,6	7,1±0,25
<i>Rio Grande</i>	50	12±1	11,8±1,3	0,22±0,17	0,02±0,01	1,2±0,51	5,6±1	6,1±0,6	5,7±0,21
<i>Rio Grande</i>	150	9,3±1,41	13,6±0,5	0,11±0,01	0,02±0,00	0,9±0,05	2,4±1	4,9±0,6	3,1±0,25
<i>Heinz</i>	0	16,4±0,7	10,5±0,5	0,89±0,11	0,08±0,01	7,7±0,51	11±1	10,3±0,6	10±0,15
<i>Heinz</i>	25	15,2±0,7	11,6±0,3	0,57±0,08	0,07±0,02	6,5±0,29	9,3±1,15	8,9±1	8,5±1
<i>Heinz</i>	50	12,3±2,4	13,9±1,1	0,38±0,05	0,06±0,02	4,2±0,31	6±1	6,6±0,6	6,5±0,58
<i>Heinz</i>	150	11,3±0,9	15,8±0,9	0,27±0,03	0,04±0,01	2,5±0,45	4±0,6	5,5±0,6	4,7±0,58

SL=long stem, RL=long root, FM=fresh matter, DM=dry matter LA= leave area NL=number of leaf, OLL=ould leaves length, YLL=yield leaves longht.

On stem and root:

According to our results (Table 2), after 90h explain that the seedlings of the *Heinz* variety show a size of stem and roots larger than that of *Rio Grande*. At 0 mM of NaCl, the two varieties germinate but the *Heinz* presents a higher growth (of stem and root), indicating specific characteristics for each variety. On the other hand, at 25 and 50 mM of NaCl: The growth (of stem and root) has decreased with both varieties while remaining always higher with the *Heinz* variety compared with the *Rio Grande*. At 150 mM one notices a sharp decrease with *Rio Grande* compared to *Heinz* (Fig.1 and 2). Thus, the *Heinz* variety seems to have certain properties enabling it to have a better resistance to salt stress.

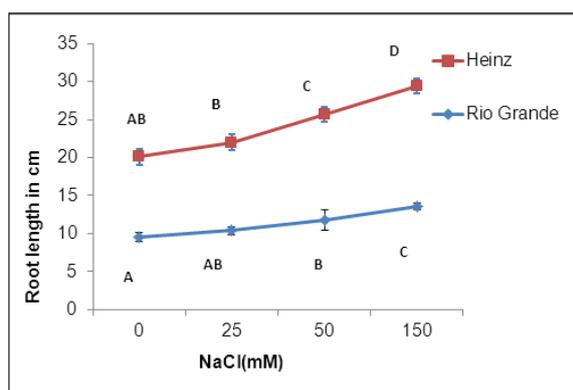


Fig. 1. Effect of the concentration of NaCl on the root length with both varieties of tomatoes. Each value represents an average of 3 out of 3 repetitions \pm gap.

Salinity reduced the growth of the over-ground parts of the tomato more than it did its roots. This resistance of the tomato roots system to salt stress

may be due to a reduction of carbon allocation for foliar growth in favour of roots growth, Brungnoli and al., 1992. The decrease in the growth may also be linked to some perturbations of growth regulating rates (Abscisic acid and cytokinins) induced by salt, Kuiper and al., 1990.

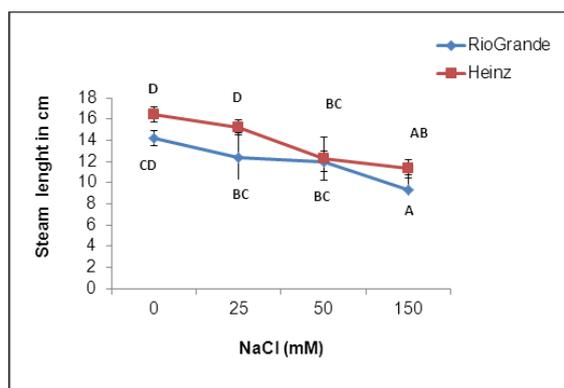


Fig. 2. Effect of the concentration of NaCl on the stem with both varieties of tomatoes. Each value represents an average of 3 out of 3 repetitions \pm gap.

On dry and fresh matter

After a culture period of 80 days, fresh and dried matter of both varieties is determined (Table 2). Whether salt is present or not in the nutritive solution, the *Heinz* variety produces more fresh matter than the *Rio Grande* variety (Fig. 3 and 4). Similar results were reported by Ben Khaled and al., 2003. Indeed in the control solution, fresh matter with the *Heinz* variety equals (0.89 mg) and only (0.457 mg) with the *Rio Grande*, under saline constraint, NaCl concentration at 150 mM reduces significantly the production of fresh biomass with the

Heinz variety (22.97%) compared to the fresh biomass of the *Rio Grande* (30%) (Fig. 6).

According to Ben Ahmed and al., 2008, the depressive action of salt manifests itself equally by the reduction of the production of dry matter of the different organs of the plant. Also, it manifests itself equally by a reduction in the length of the plants according to Singh and Passad. 2009.

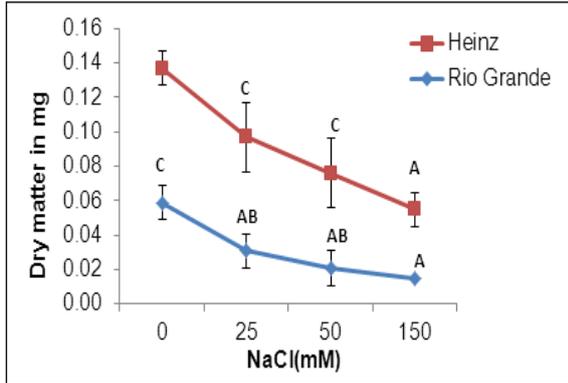


Fig. 3. Effect of the concentration of NaCl in dry matter with both tomato varieties. Each value represents an average of 3 repetitions ± gap.

The depressive action of salt manifests itself by a reduction in the production of dry matter by different organs of the plant and sometimes by a reduction in the photosynthesis capacity due to a decrease in CO₂ stomatal conduction under salt stress according to Santiago and al., 2000. It is attributed to a combination of the osmotic effect and the specific effects of Na⁺ and Cl⁻ ions, Turan and al., 2007; Taffou and al., 2010.

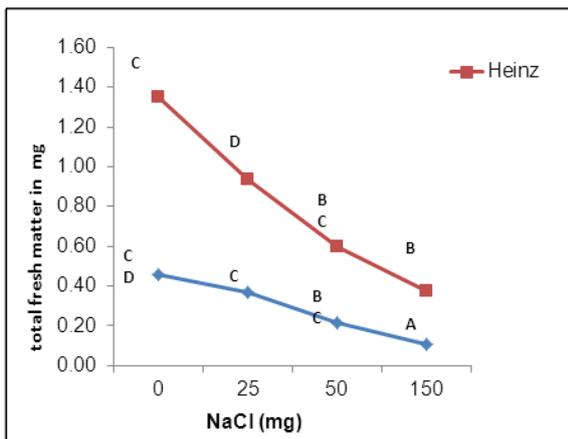


Fig. 4. Effect of the concentration of NaCl in fresh matter with both tomato varieties. Each value represents an average of 3 repetitions ± gap.

It is also established that salinity decreases the production of biomass through a limitation of the absorption of potassium and of calcium, Lachââl M and., 1995. And of their transport of ions Soltani and al., 1990. A supplement of Ca₂₊ in the culture medium corrects these effects, Rengel and al., 1992.

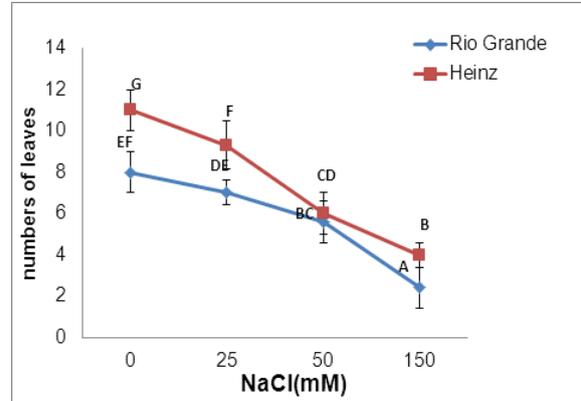


Fig. 5. Effect of the concentration of NaCl on the number of leaves with both tomato varieties. Each value represents an average of 3 repetitions ± gap.

On number of leaves and the leaf area:

In addition, salinity causes a similar and gradual decrease of foliar surface in both tomato varieties until it reaches 12%, compared to the controls at the highest dose of NaCl (150 mM) for the *Heinz* as well as for the *Rio Grande* (Fig. 6).

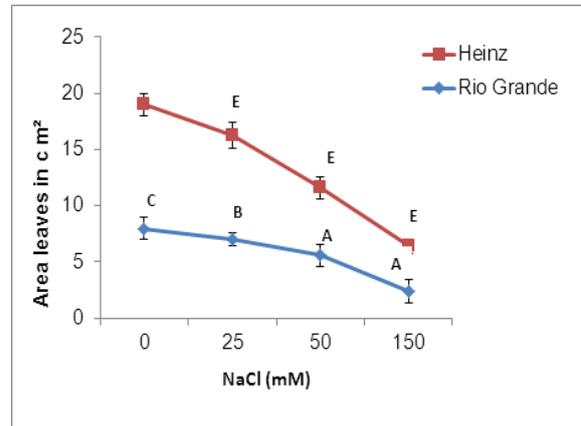


Fig. 6. Effect of the concentration of NaCl on the area leaves with both tomato varieties. Each value represents an average of 3 repetitions ± gap.

A rising colour gradient going from yellow-brown for old leaves to dark green for the young ones has been equally registered for both tomato varieties under a treatment of 150 mM of NaCl (Fig. 7 and 8). The number of leaves is higher with *Heinz* than with *Rio*

Grande for the three stress levels (Fig. 5). Similar results were reported by Ben Khaled and al., 2003. This may be attributed to high accumulation of toxic Na^+ ions; according to Lachââl *et al.*, 1996.

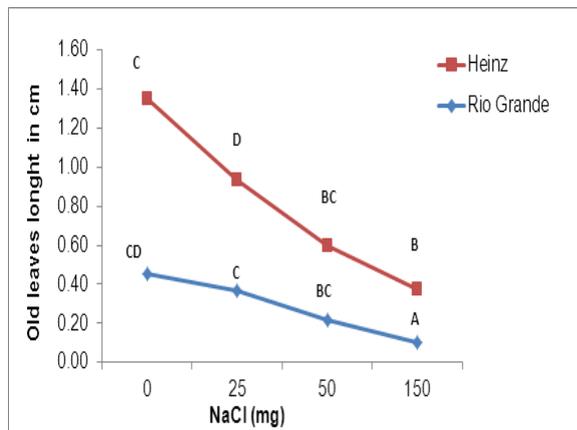


Fig. 7. Effect of the concentration of NaCl on old leaves with the two varieties of tomato. Each value represents an average of 3 repetitions \pm gap.

Effect of NaCl on the proline content

The results have shown a high proline content with plants coming from an environment where the ground is considered to be saline, the accumulation of proline being an adaptation mechanism to salinity with this species according to Morsy. 2008. (Fig.9) show that in the absence of salt stress, *Heinz* accumulates more proline in its leaves ($0.273 \mu\text{g/g}$), its content is significantly different from that of the *Rio Grande* ($0.25 \mu\text{g/g}$). On the other hand, in the presence of NaCl the *Rio Grande* accumulates more proline with a significant difference (37%) at the third NaCl level (150 nM).

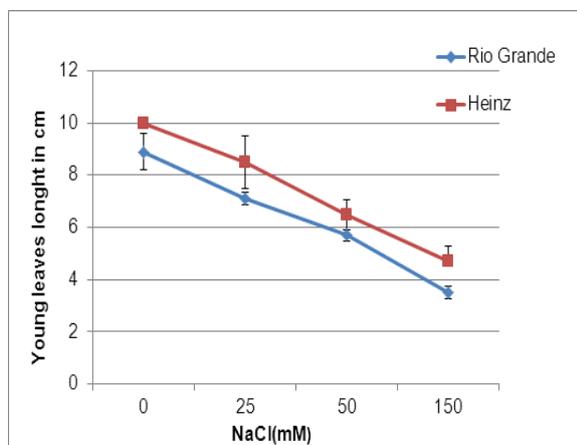


Fig. 8. Effect of the concentration of NaCl on young with the two varieties of tomato. Each value represents an average of 3 repetitions \pm gap.

This figure shows also that it is severe salt stress that engendered the high proline accumulations, and it is *Rio Grande* that was most affected (Fig.9). It should be noted, that the moderate constraint did not lead to significant modification of this substance. The interaction of proline treatment being significant, it stipulates that each variety has behaved differently when faced with salt stress.

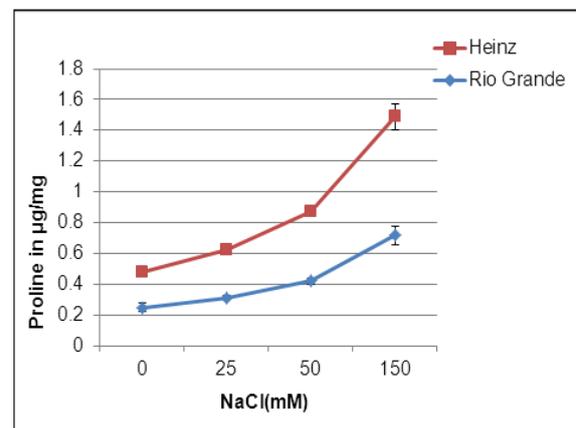


Fig. 9. The content of proline in the two species of tomato (*Rio Grande*, *Heinz*). Each value represents an average of 3 repetitions \pm the gap.

The study of the nitrogen metabolism of a plant undergoing an abiotic constraint shows a varying global accumulation of amino acids, according to the nature of the applied stress and of the studied taxon, Ranieri and al., 1989; Belanger and al., 1990. The proline accumulation was independent of NaCl presence in the nutritive solution but it varied according to the varieties. Several authors, including Hernandez and al., 2000; Khedr and al., 2003; Claussen. 2005; Debnath and al., 2008, had mentioned that this amino acid was part of the osmoticum plants synthesise once they are exposed to water or salt stress. Its role is necessary for the osmotic adjustment in order to balance the osmotic potential of the ground in accordance with what has been demonstrated by other works including those of Gadallah. 1999. And Demir. 2000. Proline is considered to be an indicator of metabolic constraint. It is not specified (salinity constraint or thermal, water). Its accumulation is a common characteristic to numerous monocotyledons subjected to salt stress according to Moulineau. 1993; Zoumarou-Wallis. 1996; Nayar and Walia. 2003; Ashraf and Harris.

2004. The application of a severe salinity constraint has multiplied the proline content of both tomato varieties. It could be used as criteria for early selection of salinity-tolerant legumes, Messai and al. 2006.

Effect of NaCl on total proteins

By means of an electrophoresis of total proteins (Fig.10), one notices the presence of 5 major bands (A, B, C, D and E) which are present in the two varieties and only one band (F) exists with Heinz at the

100mM level of NaCl. These bands are light in the absence of NaCl (0 mM) and in the higher concentration of (150 mM of NaCl). By contrast, at average concentrations 25 and 50 mM in NaCl, the bands are clearly defined. Also, one observes a band (F) only with Heinz at the 100 mM level of NaCl, which means a specific protein for this variety. When there is germination, one notices a perceptible decrease of protein bands (A to F) in relation with the expression of proteases.

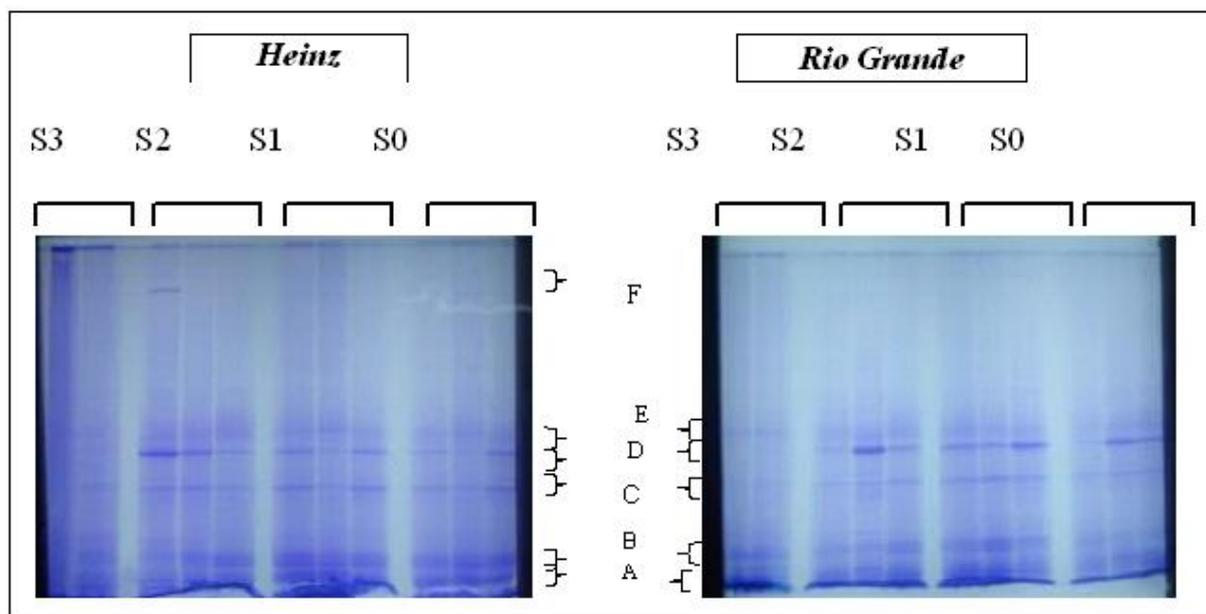


Fig. 10. The analysis of protein profiles by electrophoresis on SDS-PAGE of protein totals of both tomato varieties.

Evolution of the protein content in both varieties has also known a varying response amid the seedlings of both varieties. The reduction in the content of the soluble protein totals under salt stress has been reported by several authors including Khosravinejad and al., 2009, in their work on two varieties of barley Amini and Ehsanpour. 2007.

Mohameden and al., 2011; in their work on the tomato variety (Campbell 33 and Mongal), the salinity induces the reduction of certain soluble proteins and that this variation in the proteins content does not necessarily give to the plant a tolerance to salt stress. These differences may correspond to the characteristics of each variety. One

notices that there are different proteins which are squeezed out in the germination of both varieties. This indicates the presence of enzymatic activity protease which degrades these proteins. This is not the case for the profile corresponding to the concentration of 50 and 150 mM. In other words, with salt concentration of 150 mM where there is no germination, proteins remain intact and do not degrade. There is no protease expression at this level of salt concentration.

Conclusion

When faced with salinity, plants develop a series of mechanisms which can be of morphological, biochemical, physiological or molecular order. The

processes which favour tolerance to salt stress and which help to support an excess of ions can act in a supplementary or synergic manner. We propose to follow the physiological behaviour and the agronomic performance of the cultivated plants in nutritive solutions, and in particular, their growth, their development in saline conditions, under controlled laboratory conditions. The comparison between the varieties of plants cultivated in the nutritive solution or not, will enable us to evaluate the importance and the efficiency of the growth with the tolerance to salinity. In our study, we concerned ourselves with the accumulation of proline with the proteinic synthesis and a few vegetative parameters. Indeed, in the case of a saline constraint, the tomato adjusts its osmotic potential through accumulation of proline which increases proportionately to the applied salt stress. However, we should not neglect the significant role played by proline in the tolerance to stress where its potential role as an indicator of tolerance in the genetic enhancement programs for certain species. Furthermore, we have established that the reduction of certain proteins is a genetic characteristic.

Acknowledgements

We sincerely thank Professor Chougui Saaida (My supervisor) for a review of the manuscript. I want to thank Professor Baka.M. (Head of Department of Biology and Ecology University 1 Constantine Algeria) for their technical and physical support in conducting various experiments in my laboratory.

References

Agriculture Technology Transfer Bulletin.

1999. Monthly Bulletin of Information and Liaison of the National Program of Transfer of Technology in Agriculture. N° 57, June 1999.

Amor H. 1991. Study of salinity in vitro and in vivo in *Lycopersicon esculentum* and some wild species of tomatoes. Graduate Studies, University of Mohammed, Algeria, 99 p.

Amini F, Ehsanpour A. 2005. Soluble proteins, proline, carbohydrates and Na⁺/K⁺ Changes in Two

Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars under in vitro Salt Stress. American Journal of Biochemistry and Biotechnology **1(4)**, 204-208.

Anonym. 2006. Diagnosis of nutritional disorders of plants. Agronomic and Veterinary Institute Hassan II, Maroc, 7 P. Bates LS, Waldren RP, Teare I. Rapid determination of free proline for water studies Plant Soil **1973**, 39-2058.

Ashraf M, Harris P. 2004. Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Science **166**, 3-16.

Baatour O, M'rah S, Ben Brahim N., Boulesnem F, Lachaal M. 2004. Physiological response of the pesse (*Lathyrus sativus*) to the salinity of the medium. Review of Arid Regions 346-358 p.

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

Belanger R, Manion P, Greffin D. 1990. Amino acid content of water-stressed plantlets of *Populus tremuloides* clones in relation to clonal susceptibility to *Hypoxylon mammatum* in vitro. Canada **68**, 26-29.

Ben Ahmed H, Arafat M, Zid E. 2008. Salinity tolerance of a short cycle Poaceae: Foxtail (*Setaria verticillata* L.). Accounts Biologies **331**, 164-170.

Besri M. 1991. Verticillium wilt of tomato grown under plastic tunnel in Morocco. Acta Horticulturae (ISHS) **287**, 355-360.

Bohnert H, Nelson D, Jensen R. 1995. Adaptations to environmental stress, Plant Cell **7**, 1099-1111.

Brungnoli E, Bjorkman O. 1992. Growth of cotton under continuous salinity stress: Influence on allocation pattern, stomatal and non stomatal

components of photosynthesis and dissipation of excess light energy, *Planta*, **187**, 335–347.

Bradford M. 1976. A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding, *Analytical Biochemistry* **72**, 248–254.

Burton K. 1956. A study on the condition and reaction mechanism of diphenylamine for the colorimetric estimation of deoxyribonucleic acid. *Biochemical Journal*. Feb **62**, 315–323.

Chaudhry Z, Shahida H. 1994. Effect of NaCl stressed on DNA, RNA AND soluble protein contents of Chen Z, Newman I, Zhou M, Mendham N, Zhang.

Shabala S. 2005. Screening plants for salt tolerance by measuring K⁺ flux: a case study for barley. *Plant Cell* **28**, 1230–1246.

Claussen W. 2005. Proline as a measure of stress in tomato plant. *Plant Science* **168**, 241–248.

Board of state. 2007. Annual Concurrent Engineering Research and Applications Conference of the International Society for Productivity Enhancement Collaboration
<http://ce.lit.inpe.br/>

Cuartero J, Fernandez-Munez R. 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticultura* **78**, 83–125.

Djerroudi Z, Moulay B, Samia B, SOUMIA H. 2010. Effect of Salt Stress on the proline Accumulation in Young Plants of *Atriplex Halimus L.* Sahariennes: préservation et valorisation. Université of Ouargla, Algérie.

Dreier W, Göring M. 1974. Der einfluss hoher salzkonzentration auf verschieden physiologische parameter von maiswurzeln. *Win Z. HU Berlin, Nath Naturwiss R*, **23**, 641–644.

Debnath M. 2008. Responses of *Bacopa monnieri* to salinity and drought stress in vitro. *Journal medicinal Plant Research* **11**, 347–351.

Demir Y. 2000. Growth and proline content of germinating wheat genotypes under ultraviolet light. *Turk journal Bot* **24**, 67–70.

FAO (Food and Agricultural Organization). 2008. Land and plant nutrition management service. Available online at:
<http://www.fao.org/ag/agl/agll/spush/>

Fisher Test. 1953. Nom normality and test of variances, *Biometrika*, **3(4)**, 318–335.

Gadallah M. 1999. Effects of proline and glycine betaine on *Vicia fabae* responses to salt stress. *Biol. Plant* **42**, 249–257.

Grote D, Claussen W. 2001. Severity of root rot in tomato plants caused by *Phytophthora nicotianae* under nutrient and light stress conditions. *Plant Pathology* **50(6)**, 702–707.

Hoagland DR, Arnon DI. 1950. The Water-Culture Method for Growing Plants without Soil. California Agricultural Experiment Station, Circular-347.

Hilal M, Zenoff A, Ponessa G, Moreno H, Massa E. 1998. Saline stress alters the temporal patterns of xylem differentiation and alternative oxidative expression in developing soybean roots, *Plant Physiology* **117**, 695–701.

Hernandez J, Olmos E, Corpas F, Sevilla F, Del Rio L. 1995. Salt-induced oxidative stress in chloroplasts of pea plants, *Plant Science*, **105**, 151–167.

Goudarzi M, Pakniyat H. 2008. Evaluation of wheat cultivars under salinity stress based on some agronomic and physiological traits. *Journal Agricola Soc. Science* **4 (2)**, 81–84.

- Kharoub K.** 2007. Identification and molecular study of halophilic aerobic bacteria and archaeobacteria of sebkhia Ezzemoul (Ain M'Lila). University of Constantine Algeria.
- Kuiper D, Schuit J, Kuiper P.** 1990. Actual cytokine concentrations in plant tissue as indicator for salt resistance in cereals, Genetic Aspects of plant mineral nutrition. 307–314 p.
- Khosravinejad F, Heydary R, Farboodnia T.** 2009. Effect of salinity on organic solutes contents in barley. Pak. Journal Biological Science **12(2)**,158-162.
- Kusvuran S, Yasar F, Ellialtioglu S, Abak K.** 2007. Utilizing some of screening methods in order to determine of tolerance of salt stress in the melon (*Cucumis melo* L.). Research Journal Agricola Biological Science **3(1)**, 40-45.
- Khedr A, Abbas M, Amal A, Quick P, Gaber M.** 2003. Proline induces the expression of salt-stress-responsive proteins and may improve the adaptation of *Pancreaticum maritimum* L; to salt stress. Journal of Experimental Botany, **54(392)**,2553-2562.
- Mohameden M, Driss B, Ali S.** 2011. Study of the effect of salt stress (NaCl) in two tomato varieties (Campbell 33 and Mongal). University of Nouakchott, Mauritania.
- Laaziza B, Asuncion, Mario, Abdullah Oihabi.** 2003. Effect of salt stress in hydroponics on clover inoculated with *Rhizobium*. Agronomy, EDP Sciences, 553-560 p.
- Lachââl M, Abdely C, Grignon C, Soltani A, Hajji M.** 1996. Variation in salt sensitivity at developmental stage in the lens (*Lence culinaris* L). Agronomy **16**, 381-390.
- Lachaal M, Abdely C, Soltani A, Hajji M, Grignon C.** 1995. Physiological response of some spontaneous and cultured legumes with saline stress, in: Symposia n° 77, INRA, Paris, 93–109 p.
- Lachhab I, Louahlia S, Laamarti M, Khalil H.** 2013. Effect of salt stress on germination and enzyme activity in two genotypes of *Medicago sativa*, 513, 514-516.
- Manaa A, Ben A, Bouchet J, Aschi-Smiti S, Causse M, Faurobert M.** 2011. Salt and genotype impact on plant physiology and root proteome variations in tomato. Journal Experimental Botany17, 1–40.
- Marin M, Marin JA.** 1998. Excised rootstock roots cultured in vitro. Plant Cell Reports **18**, 350-355.
- Mermoud A.** 2006. Soil Physics Course: Control of soil salinity. Federal Institute of Technology in Lausanne 23 p.
- Monneveux P, Nemmar M.** 1986. Contribution to the study of drought resistance in soft wheat (*Triticum aestivum* L.) in Durum wheat (*Triticum durum* Desf.) : study of proline accumulation during the development cycle. Agronomy **6**, 583-590.
- Moulineau C.** 1993. Variations under water stress of the free amino acid content of foliar millet. In Africa. Genetic and agro-physiological diversity: Potentialities and constraints for improvement and culture. Eds, Serge Hamon and ORSTOM, 231-244.
- Morsy A.** 2008. Ecophysiological Studies on *Atriplex farinosa* Forssk. Under Different Habitat Conditions. Univ. Ain Shams, Caire, Egypte. Australian Journal of Basic and Applied Sciences, p. 272-281.
- Munns R, Termaat A.** 1986. Whole plant responses to salinity, Aust. J. Plant Physiological **13**, 143–160.
- Nayyar H, Walia D.** 2003. Water stress induced proline accumulation in contrasting wheat genotypes as affected by calcium and abscisic acid. Biological Plant **46**, 275-279.

- Nieman R, Clark R, Ogata G, Maas E.** 1987. Effect of salt stress on adenine and uridine phosphate pools, of suckers soluble in nucleic acid in pepper and safflower shoots. USDA, ARS, Salinity laboratory in the USA, Riverside, California, United States.
- Ojeda H, Carbonneau A.** 2000. Influence of water stress on the growth of water 163p.
- Passam H, Kakouriotis D.** 1994. The effects of osmoconditioning on the germination emergence and early plant.
- Ould Mohamdi M, Driss B, Ould mohamed S.** 2011. Etude de l'effet du stress salin (NaCl) chez deux variétés de tomate (Campbell 33 et Mongal). International Journal Biological of Chemical Science.
- Philippe M, Edith C, Jérôme S.** 2003. Influence of nutrient solution concentration on growth and mineral nutrition of tomato. Laboratory of Agronomy Environment Ecotoxicology, National Agronomic School of Toulouse, BP 107, 31325 Castanet Tolosan, France.
- Paul M, Planchton C, Ecochard R.** 1979. Study of relationships between foliar development, development cycle and soybean productivity. Annal Amélioration Plants **29**, 479-492.
- Perez-Alfocea F, Balibrea m, Cruz A, Estan M.** 1996. Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in commercial tomato hybrid. Plant and Soil **180**, 251-257.
- Ranieri A, Bernard R, Lanese P, Soldantini G.** 1989. Changes in free amino acid content and protein pattern of maize seedlings under water stress. Environmental and Experimental Botany **29**, 351-357.
- Qader F.** 1997. Contribution to the study of some physiological and biochemical effects on the salinity of the medium in relation to the pathogenic power of *Septoria tritici* in wheat cultivars. Higher study, University First Mohamed, Oujda, 142 p.
- Rengel Z.** 1992. The role of calcium in salt toxicity, Plant Cell Env. **15**, 625-632.
- Richards L.** 1969. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. United States. Department of Agriculture. Agricultural handbook n°60, 160 p.
- Santiago L, Lau, Melcher P, Steele, Goldstein G.** 2000. Morphological and physiological responses of hawaiian *Hibiscus tiliaceus* populations to light and salinity. International Journal Plant Science **161**, 99-106.
- Shabala S, Shabala L, Volkenburgh E, Newman I.** 2005. Effect of divalent cations on ion fluxes and leaf photochemistry in salinized barley leaves. Journal Experimental Botany **56**, 1369-1378.
- Soltani A, Hajji M, Grignon C.** 1990. Research on the limiting factors of mineral nutrition of barley in salty environment, Agronomy **10**, 857-866.
- Taffouo V, Wamba F, Youmbi E, Nono G, Amougou A.** 2010. Growth, yield, water status and ionic distribution response of three bambara groundnut (*Vigna subterranea* L.) landraces grown under saline conditions. International Journal Botany **6**, 53-58.
- Troll W, Lindsley J.** 1955. A Photometric method for the determination of proline. Journal Biological Chemical **215**, 655-660.
- Turhan A, Seniz V, Kusçu H.** 2009. Genotypic variation in the response of tomato to salinity. Africa Journal Biotechnology **8**, 1062-1068.
- Zid E, Grignon C.** 1991. Early selection tests for plant resistance to stress. Case of salt and water stress. Plant breeding for adaptation to arid environments. Eddition Aupelf-Uref. John Libbey Eurotext, Paris 91-108.

Zid E. 1989. Study of foliar necrosis in different species of citrus grown in the presence of NaCl, Forensic Science Review Journals. Tunis 4.

Zoumarou-Wallis N. 1996. Study of hydric constraints in millet (C4) and wheat (C3). Diploma of Advanced Studies Faculty of Science of Tunis. University of Tunis 2, 75 p.