

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE DE BIDA 1
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOTECHNOLOGIE

Thèse

Pour l'obtention du Diplôme de Doctorat en Sciences Agronomiques

VALORISATION DES EAUX NON CONVENTIONNELLES EN ARIDOCULTURE

Présentée par : ZOUAOUI Ahmed

Devant le jury :

Président :	Mr BENMOUSSA M.	Professeur	Université Blida1
Directeur de thèse :	Mr SNOUSSI S.A.	Professeur	Université Blida1
Examineur :	Mr BOUTEKRABT A.	Professeur	Université Blida1
Examineur :	Mr ABDELKRIM H.	Professeur	(ENSA El Harrach Alger)
Examineur :	Mr DAOUD Y.	Professeur	(ENSA El Harrach Alger)
Examineur:	Mr BENAZIZA A.	Maitre de Conférences	Université de Biskra

Année universitaire 2015/2016

Remerciements

Louanges à Dieu le tout puissant et le miséricordieux qui a guidé mes pas vers cette issue.

Bien qu'une thèse soit un travail individuel, nombreuses sont les personnes qui ont rendu possible la réalisation de ce travail et que je tiens à remercier ici.

Je tiens à remercier d'abord, mon directeur de thèse monsieur le professeur SNOUSSI Sid-Ahmed, pour m'avoir fait confiance et soutenu tout au long de ces années, pour ses précieux conseils, sa patience, sa disponibilité, ses montagnes d'idées et surtout sa bonne humeur malgré ses multiples charges. Je ne pensais pas que des moments dans un laboratoire pouvaient être aussi animés, agréables et pleines de rires. Merci, de m'avoir suivie, motivé et aidé jusqu'au dernier moment.

Mes remerciements vont aussi au professeur BENMOUSSA Mebrouk de l'université de Blida qui m'a fait l'honneur de présider le jury, aux professeurs ABDELKRIM Hassen et DAOUD youcef de l'ENSA d'El Harrach, Monsieur BOUTEKRABT Ammar professeur à l'université de Blida, ainsi que monsieur BENAZIZA Abdelaziz Maître de conférence à l'université de Biskra d'avoir pris sur le temps pour examiner et juger ce travail.

Je tiens à remercier également Madame professeur BENRIMA Atika, Doyenne de la faculté des sciences de la nature et de la vie, Monsieur DJAZOULI Zahreddine et Madame MARIA Stela Bradea Maîtres de conférences à l'université de Blida pour leur soutien morale, les réflexions et les conseils qu'ils m'ont prodigué.

J'adresse mes sincères remerciements à l'ensemble de mes collègues et amis du département de biotechnologie, que ce soit pour les conseils, les services et plus particulièrement pour l'amitié qu'ils m'ont témoigné.

Mes remerciements vont également à mes parents mes frères et sœurs, qui m'ont encouragée et qui étaient présents en toutes circonstances.

Je clos enfin ces remerciements en dédiant cette thèse de Doctorat à ma femme et mes enfants auprès desquels j'ai trouvé toutes les facilités qui m'ont permis de mener à bien cette thèse. Qu'ils trouvent ici l'expression de toute ma reconnaissance.

Résumé

Dans les zones arides et semi-arides, les besoins en eau des cultures sont élevés alors que l'eau disponible présente une forte minéralisation défavorable en irrigation.

La réaction des plantes à la salinité se fait par des modifications adaptatives, morphologiques, anatomiques, structurales et métaboliques.

Notre étude a porté sur deux glycophytes maraichères dont une moyennement sensible à la salinité, la tomate (var saint pierre) et l'autre sensible, le haricot (var Djadida) cultivées en hors-sol. Les plantes ont été soumises à deux séries de solutions salines (eaux salines naturelles T1, T2, T3) et (eaux salines corrigées T1C, T2C et T3C) comparativement avec une solution nutritive standard T4 (témoin).

L'addition de nutriments aux eaux salines naturelles a amélioré considérablement la croissance et le développement des plantes de tomate comparativement aux plantes de haricot qui se sont traduits par un bon fonctionnement des processus photosynthétiques, et une production de biomasse fraîche et sèche importante.

Les résultats montrent une accumulation plus importante de proline et des sucres solubles dans les différentes parties de la plante qui se sont progressivement fait dans le sens : racine- tige-feuille. L'accumulation de ces deux osmolytes a été plus importante chez la tomate comparativement au haricot et plus particulièrement au niveau des traitements salins corrigés et ce en raison de l'osmolarité importante dans ces milieux nutritifs, ce qui a causé une production accrue d'osmorégulateurs.

La transformation des eaux salines naturelles en solutions nutritives permet de diminuer l'effet de la salinité en améliorant à la fois la production totale et la qualité des fruits. En outre, le cycle de développement des plantes peut devenir très proche de la croissance normale.

Mot clé : zones arides, tomate, haricot, eaux salines naturelles, proline, sucres solubles.

Summary

In the dry-land areas, the water requirements for the crops are high whereas available water presents a strong unfavourable mineralization in irrigation.

The reaction of the plants to salinity is done by adaptive, morphological, anatomical, structural and metabolic modifications.

Our study was carried out on two glycophytes legumes such as tomato (Saint-Pierre Var) and common bean (Djadida Var). The first one was fairly sensitive and the other one was sensitive to salinity. The plants were subjected to two kinds of saline solutions (natural salted water T1, T2, T3) and (corrected salted water T1C, T2C and T3C) compared to standard nutritive solution T4 (which was the check).

The addition of nutrients to natural salted water improved considerably the growth and the development of the tomato plants compared to the bean plants which resulted in a good performance of the photosynthetic process, and an important production of fresh and dry biomass.

The results show a more important accumulation of proline and soluble sugars in the various parts of the plant which gradually were done in the direction: root stem-leave. The accumulation of these two osmolytes were more important in tomato rather than bean and more particularly at the level of the saline treatments and this is due to fact that the osmolarity was important in these nutritive mediums.

The transformation of natural salted water into nutritive solutions allow as to decrease the effect of salinity by improving at the same time the total production and quality of a fruits. Moreover, the development cycle of the plants can become closer to the normal growth.

Keyword: dry-lands, tomato, common bean, natural salted water, proline, soluble sugars.

الملخص

الاحتياجات المائية للمزروعات في المناطق الجافة و الشبه الجافة جد مرتفعة اين تكون المياه المتوفرة مالحة وغير صالحة للري

للتأقلم و التكيف في البيئة المالحة تقوم النباتات بتحولات مورفولوجية ، بنبوية ، تشريحية و حيوية

دراستنا تمت على صنفين من الخضروات الأول متوسطة التأثير بالملوحة و هي الطماطم و الثانية حساسة للملوحة و هي الفاصولياء الخضراء و لقد سقيت النباتات بنوعين من المحاليل المالحة (مياه مالحة طبيعيا T1 ، T2 و T3) و مياهها المعالجة (T1C ، T2C و T3C). و قمنا بمقارنة التغيرات مع محلول مغذي معمم (T4) كشاهد.

ان اضافة العناصر المغذية للمياه المالحة طبيعيا أدت الى زيادة معتبرة في نمو و تطور نباتات الطماطم مقارنة بنباتات الفاصولياء و الذي تمثل بإنتاج كثيف لليخضور و زيادة معتبرة في الكتلة الحوية و الجافة.

أظهرت النتائج تراكم جد معتبر للبرولين و السكريات في مختلف أجزاء النبتة التي كانت تزداد تدريجيا في الاتجاه : الجذور- السيقان – الأوراق

تراكم هذان المركبين كانا اكثر عند الطماطم مقارنة بالفاصولياء و في المياه المعالجة و هذا بسبب الضغط الاسموزي المرتفع في هذه المحاليل المغذية مما سبب انتاج كبير من هذه المواد.

تحويل المياه المالحة طبيعيا الى محاليل مغذية سمح بتخفيض تأثير الملوحة ما ادى الى تحسين الانتاج و نوعية المنتج بالإضافة الى امكانية الحصول على دورة نمو عادية للنباتات

الكلمات الدالة: المناطق الجافة ، الطماطم ، الفاصولياء ، المياه المالحة طبيعيا ، البرولين ، السكريات.

Table des matières

Remerciement

Résumés

Liste des tableaux

Liste des figures

Introduction	1
Chapitre premier: Représentation des régions arides	4
1.1.Répartition géographique.....	4
1.2. Climat.....	4
1.3. Végétation.....	5
1.4. Sols.....	6
Chapitre deuxième: Le stress salin	8
2.1. Définition de la salinisation.....	8
2.2. Causes de la salinisation des sols.....	8
2.2.1. Salinisation primaire.....	8
2.2.2. Salinisation secondaire.....	8
2.3. Causes et effets de la salinisation.....	9
2.4. Salinisation des sols dans les régions arides et semi-arides.....	10
2.5. Classification des sols.....	11
2.6. Caractéristiques des eaux salées.....	12
2.7. Rapport entre la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation.....	13
2.8. Notion de stress.....	13
2.8.1. La plante et le stress.....	14
2.8.2. Perception du stress.....	16
2.8.3. Traduction du signal.....	17
2.9. Les plantes et le stress salin.....	18
2.9.1. Effets du stress salin sur la plante.....	18
2.9.1.1. Effets du stress salin sur la germination.....	19
2.9.1.2. Effets du stress salin sur l'absorption.....	19
2.9.1.3. Effets du stress salin sur la translocation.....	20
2.9.1.4. Effets du stress salin sur la croissance.....	21
2.9.1.5. Effets du stress salin sur l'eau dans la plante.....	22

2.9.1.6. Effets du stress salin sur l'anatomie de la feuille.....	22
2.9.1.7. Effets du stress salin sur le taux des ions.....	22
2.9.1.8. Effets du stress salin sur les enzymes antioxydantes.....	23
2.9.1.9. Effets du stress salin sur le métabolisme de l'azote.....	24
2.9.1.10. Effets du stress salin sur les pigments photosynthétiques et les protéines.....	24
2.9.1.11. Effets du stress salin sur l'ultrastructure de chloroplaste.....	25
2.9.1.12. Effets du stress salin sur la photosynthèse.....	25
2.9.2. La tolérance des plantes au stress salin.....	26
2.9.2.1. Homéostasie ionique.....	28
2.9.2.2. Ajustement osmotique.....	31
Chapitre troisième: Procédé hydroponique et nutrition hydrominérale des plantes.....	38
3.1. Procédé hydroponique	38
3.1.1. Les avantages du procédé hors sol	38
3.1.2. Les inconvénients.....	39
3.2. La nutrition hydrominérale.....	40
3.2.1. La nutrition hydrique.....	40
3.2.2. La nutrition minérale.....	41
3.2.2.1. Importance des éléments minéraux.....	41
3.2.2.2. Les constituants minéraux des plantes.....	41
3.2.2.3. Les symptômes d'excès et de carence en éléments minéraux sur la plante.....	46
3.2.3. Facteurs influençant l'absorption hydrominérale.....	47
Chapitre quatrième : Généralité sur la tomate et le haricot.....	48
4.1. La tomate.....	48
4.1.1. Origine, taxonomie et généralités botaniques.....	48
4.1.2. Exigences pédoclimatiques.....	49
4.1.3. Importance économique de la tomate.....	51
4.2. Le haricot.....	52
4.2.1. Origine, taxonomie et généralités botaniques.....	52
4.2.2. Exigences pédoclimatiques.....	54
4.2.3. Importance économique du haricot.....	54
Chapitre cinquième : Matériels et méthodes.....	56
5.1. Objectif d'expérimentation.....	56

5.2. Matériel végétal.....	56
5.3. Lieu de l'expérience.....	57
5.4. Essai de germination et repiquage.....	58
5.5. Substrat et conteneurs.....	59
5.6. Dispositif expérimental.....	59
5.7. Analyse statistique.....	61
5.8. Description des différents traitements.....	61
5.8.1. Caractéristiques de l'eau utilisée pour la synthèse des différents traitements.....	61
5.8.2. Composition et techniques de préparation des différents traitements.....	63
5.8.2.1. Composition de la solution nutritive standard T4 (témoin) à base d'eau de Blida.....	63
5.8.2.2. Composition du traitement (T1) à base d'eau de Blida.....	67
5.8.2.3. Composition du traitement (T1C) à base d'eau de Blida.....	68
5.8.2.4. Composition du traitement (T2) à base d'eau de Blida.....	69
5.8.2.5. Composition du traitement (T2C) à base d'eau de Blida.....	69
5.8.2.6. Composition du traitement (T3) à base d'eau de Blida.....	70
5.8.2.7. Composition du traitement (T3C) à base d'eau de Blida.....	71
5.9. Entretien des cultures.....	72
5.9.1. Irrigation et estimation des besoins hydrominéraux journaliers des plantes.....	72
5.9.2. Les traitements phytosanitaires.....	73
5.9.3. Palissage.....	74
5.9.4. Ébourgeonnage.....	74
5.9.5. Étêtage.....	74
5.10. Paramètres étudiés.....	74
5.10.1. Paramètres physiologiques.....	75
5.10.2. Paramètres de croissance mesurés.....	77
5.10.3. Paramètres de production et de qualité.....	77
Chapitre sixième: Résultats et discussions.....	81
6.1. Paramètres de croissance.....	81
6.1.1. Aspect général des plantes.....	81
6.1.2. La vitesse de croissance des plantes.....	82
6.1.3. Hauteur des plantes (cm).....	85
6.1.4. Nombre de feuilles.....	86

6.1.5. Diamètre des tiges (mm).....	87
6.1.6. Biomasse fraîche aérienne (g).....	88
6.1.7. Biomasse sèche aérienne (g).....	89
6.1.8. Taux de matière sèche de la partie aérienne (%).....	91
6.1.9. Biomasse fraîche des racines (g).....	92
6.1.10. Biomasse sèche des racines (g).....	93
6.1.11. Taux de matière sèche des racines (%).....	95
6.2. Paramètres physiologiques.....	103
6.2.1. Teneur en proline dans les différents organes de la tomate ($\mu\text{g/g MF}$).....	103
6.2.2. Teneur en proline dans les différents organes du haricot ($\mu\text{g/g MF}$).....	104
6.2.3. Teneur en sucres solubles dans les différents organes de tomate ($\mu\text{g/g MF}$).....	106
6.2.4. Teneur en sucres solubles dans les différents organes du haricot ($\mu\text{g/gMF}$).....	107
6.2.5. Teneur en chlorophylle (A) [$\mu\text{g/g MF}$].....	109
6.2.6. Teneur en chlorophylle (B) [$\mu\text{g/g MF}$].....	111
6.3. Paramètres de production et de qualité	120
6.3.1 paramètres de production.....	120
6.3.1.1. Nombre de fleurs par plant.....	120
6.3.1.2. Nombre de fruits par plant.....	120
6.3.1.3. Taux d'avortement (%).....	121
6.3.1.4. Le rendement par plant en (g).....	122
6.3.2. Paramètres de qualité.....	123
6.3.2.1. Teneur en sucres totaux dans les fruits (%).....	123
6.3.2.2. L'acidité titrable dans les fruits.....	123
6.3.2.3. Taux de vitamines « C » dans les fruits (%).....	124
Conclusion générale	128
perspectives	131
Références bibliographiques	

Liste des tableaux

Tableau N° 01: Classe de la salinité des sols.....	11
Tableau N° 02: Classification de l'eau selon Maillard, 2001.....	12
Tableau N° 03 : Les symptômes d'excès et de carence en éléments minéraux.....	46
Tableau N° 04 : La production mondiale de tomate en 2011.....	51
Tableau N° 05 : Evolution de la tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2012.....	52
Tableau N° 06 : Principaux pays producteurs des haricots verts en 2011.....	55
Tableau N° 07 : Production du haricot en Algérie.....	55
Tableau N°08 : Moyennes des températures par semaine enregistrées sous serre en (C°).....	57
Tableau N° 09 : Teneur des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida (mg/l) et (meq/l)	62
Tableau N° 10: Composition de l'eau de Blida pH =7,8.....	65
Tableau N° 11: Eau de Blida corrigée (T4) (traitement témoin) pH = 5,8.....	65
Tableau N°12: Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B.	66
Tableau N°13 : Eau d'oued Chélif naturelle, reconstituée avec l'eau de Blida (T1) dont le sodium est lié aux sulfates et le magnésium est lié aux chlorures (pH = 7.34) ...	67
Tableau N°14 : Eau d'oued Chélif corrigé (T1C) dont le sodium est lié aux sulfates et le magnésium est lié aux chlorures (pH = 5.78)	68
Tableau N°15: Eau d'oued Chélif reconstituée avec l'eau Blida (T2) dont le sodium est lié aux chlorures et le magnésium aux sulfates (pH =7,40).....	69
Tableau N°16: Eau d'oued Chélif corrigé (T2C) dont le sodium est lié aux chlorures et le magnésium est lié aux sulfates (pH =5.80)	69
Tableau N°17: Eau d'oued Chélif reconstituée avec l'eau Blida (T3) dont le sodium et le magnésium sont combinés aux chlorures et aux sulfates (pH =7,37).....	70
Tableau N°18 : Eau d'oued Chélif corrigée reconstituée avec l'eau Blida (T3C) dont le sodium et le magnésium sont combinés aux chlorures et aux sulfates (pH =5,87).....	71
Tableau N°19: Doses et fréquence des irrigations.....	73
Tableau N°20: Traitements phytosanitaires réalisés.....	73
Tableau N° 21: Les périodes de coupes effectuées	74
Tableau N° 22: Hauteur des plantes en (cm).....	85
Tableau N° 23: Nombre de feuilles	86
Tableau N° 24: Diamètre des tiges (mm).....	87

Tableau N° 25: Biomasse fraîche aérienne (g).....	88
Tableau N° 26: Biomasse sèche aérienne (g).....	89
Tableau N° 27: Taux de variation de la biomasse fraîche aérienne par rapport au témoin.....	90
Tableau N° 28: Taux de variation de la biomasse sèche aérienne par rapport au témoin.....	90
Tableau N° 29: Taux de matière sèche de la partie aérienne (%)......	91
Tableau N° 30: Biomasse fraîche des racines (g).....	92
Tableau N° 31: Biomasse sèche des racines (g).....	93
Tableau N° 32: Taux de variation de la biomasse fraîche des racines par rapport au témoin.....	94
Tableau N° 33: Taux de variation de la biomasse sèche des racines par rapport au témoin.....	94
Tableau N° 34: Taux de matière sèche des racines (%)......	95
Tableau N° 35: Teneur en proline dans les différents organes de la tomate ($\mu\text{g/gMF}$).....	103
Tableau N° 36: Teneur en proline dans les différents organes du haricot ($\mu\text{g/g MF}$).....	104
Tableau N° 37: Teneur en sucres solubles dans les différents organes de tomate ($\mu\text{g/g MF}$).....	106
Tableau N° 38: Teneur en sucres solubles dans les différents organes du haricot ($\mu\text{g/g MF}$).....	107
Tableau N° 39: Teneur en chlorophylle (A) [$\mu\text{g/g MF}$].....	109
Tableau N° 40: Taux de variation de la teneur en chlorophylle (a) par rapport au témoin.....	109
Tableau N° 41: Teneur en chlorophylle (B) [$\mu\text{g/g MF}$].....	111
Tableau N° 42: Taux de variation de la teneur en chlorophylle (b) par rapport au témoin.....	111
Tableau N°43: Nombre de fleurs par plant.....	120
Tableau N°44: Nombre de fruits par plant.....	120
Tableau N°45: Taux d'avortement (%).....	121
Tableau N°46: Le rendement par plant en (g).....	122
Tableau N°47: Teneur en sucres totaux dans les fruits (%)......	123

Tableau N°48: L'acidité titrable dans les fruits.....	123
Tableau N°49: Taux de vitamines « C » dans les fruits (%).....	124

Liste des figures

Figure 01: Carte mondiale des terres arides.....	04
Figure 02 : Perception et traduction du signal par la plante	16
Figure 03 : Compartimentation et sélection des ions chez la plante en réponse au stress salin.....	30
Figure 04: Exemples d'osmorégulateurs synthétisés par les végétaux.....	32
Figure 05 : Biosynthèse de la proline.....	32
Figure 06 : Rôle de la proline dans la protection des protéines en présence de NaCl.	33
Figure 07 : Essai de germination des graines de tomate et du haricot.....	58
Figure 08 : Aspect général des plantules de tomate et du haricot au début des traitements.....	59
Figure 09: Schéma du dispositif expérimental adopté chez la tomate et le haricot.....	60
Figure 10 : Bloc E.T.M.....	72
Figure 11 : Aspect général des plants de tomate alimentés par les traitements salins naturels comparés au témoin (T4).....	81
Figure 12 : Aspect général des plants de tomate alimentés par les traitements salins corrigés comparés au témoin (T4).....	81
Figure 13 : Aspect général des plants du haricot alimentés par les traitements salins naturels comparés au témoin (T4).....	82
Figure 14 : Aspect général des plants du haricot alimentés par les traitements salins corrigés comparés au témoin (T4).....	82
Figure15 : Vitesse de croissance des plantes de haricot.....	83
Figure16: Vitesse de croissance des plante de tomate.....	84

Introduction

Introduction

La salinité excessive affecte la rhizosphère et limite la répartition des plantes dans leur habitat naturel. Le fort éclaircissement et les rares pluies dans les régions semi-arides et arides qui représentent un tiers de la surface du globe, accentuent la salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures (Denden, *et al*, 2005).

Ce phénomène affecte près de 7% de la surface globale dans le monde. L'Algérie se situe parmi les pays touchés. Presque 3,2 millions d'hectares de la surface sont salins (Djerroudi *et al*, 2010).

L'eau est une ressource indispensable pour les végétaux. Sa présence est une condition incontournable pour que toute plante puisse se développer et assurer ses fonctions physiologiques vitales. Les plantes présentes dans les zones arides et semi arides vont se retrouver exposées à un stress salin (Calu, 2006).

En région méditerranéenne, la salinité constitue une contrainte dans beaucoup de périmètres de grandes cultures où la qualité de l'eau joue un rôle majeur et où la recherche de plantes adaptées à des seuils élevés de salinité devient impérative. La sélection variétale, nécessite la connaissance des mécanismes responsables de la tolérance du végétal à la salinité. (Arbaoui *et al.*, 2000).

La salinité diminue le potentiel osmotique de la solution du sol et réduit par conséquent l'absorption de l'eau par les racines. La turgescence cellulaire est abaissée ce qui entraîne un phénomène de plasmolyse. Seules les plantes dites halophytes s'épanouissent sur un sol riche en sels. La majorité des plantes cultivées appartiennent à des espèces ne tolérant pas la salinité elles sont dites glycophytes.

En effet, selon le degré de salinité dans le milieu, les glycophytes en particulier sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique (Bennaceur *et al*, 2001), biochimique (Grennan, 2006) et minéral (Martinez *et al*, 2007). Ainsi, les plantes réagissent à ces variations de la salinité dans le biotope, soit pour disparaître ou déclencher des mécanismes de résistance à la salinité. Parmi ces mécanismes, l'ajustement osmotique joue un rôle primordial dans la résistance ou la tolérance de la plante à la contrainte saline (Munns, 2002). En effet, la tolérance, dans le cas d'un abaissement du potentiel hydrique, s'exprime par un maintien de la turgescence (Garg *et al*, 2002; Moinuddin *et al*, 2005) grâce au phénomène d'ajustement osmotique. Il permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...) et il peut intervenir à tous les stades du développement du végétal (Grennan., 2006, Martinez *et al*, 2007).

L'effet négatif de la forte salinité peut être observé au niveau de toute la plante comme la mort de la plante et / ou la diminution de la productivité. Beaucoup de plantes développent des mécanismes soit pour exclure le sel de leurs cellules ou pour tolérer sa présence dans les cellules. (Parida et Das, 2005).

La demande croissante en légumes pousse les producteurs à vouloir sans cesse améliorer leurs techniques de production et ce dans le but de faire face à toutes les contraintes possibles. Parmi ces légumes, la tomate constitue une espèce moyennement sensible à la salinité et occupe une place importante à l'échelle nationale et mondiale. En Algérie, la tomate possède un intérêt considérable car elle constitue la 3^{ème} activité agricole, après les céréales et la pomme de terre (MADR, 2013). Aussi le haricot qui est une plante sensible à la salinité constitue une source de protéines diététiques dans beaucoup de pays en développement. Il représente la troisième plus importante récolte des légumineuses dans le monde (Aydin et al, 1997).

Les contraintes agronomiques que l'on pourrait rencontrer au niveau d'une production légumière sont nombreuses, dont l'eau d'irrigation. En effet, l'eau a toujours été un sujet de préoccupation à l'échelle planétaire. Cette ressource indispensable et irremplaçable est particulièrement mal répartie. L'Afrique du Nord et le Moyen-Orient présentent les zones les plus menacées (Mutin, 2009).

Les eaux salées dans la région Saharienne d'Algérie constituent la majorité des eaux d'irrigation disponibles. Elles sont à ranger dans les classes 3 et 4 (Dubost, 1994). Leur effet sur le sol et les végétaux est d'autant plus nocif tant que leur utilisation est mal exploitée.

En revanche, la demande de l'eau douce est constamment en augmentation pour différentes utilisations compétitives ce qui incite une nécessité d'utilisation de l'eau salée en agriculture. Le recours à l'utilisation de l'eau salée devient de plus en plus une nécessité absolue vu l'absence ou la rareté des ressources d'eau douce dans certaines régions. Le manque d'eau de bonne qualité constitue désormais une contrainte majeure lorsque l'on veut créer de nouveaux périmètres irrigués. L'eau salée sera utilisée à l'avenir en raison de la forte demande de l'eau d'irrigation. En outre, l'eau salée constitue la seule eau disponible dans certaines régions. Il devient nécessaire de limiter les seuils de son utilisation, ce qui fait de la valorisation des eaux salées une des préoccupations majeurs dans le monde aujourd'hui.

Dans les zones arides et semi-arides, la pluie ne peut pas être considérée comme une source principale de l'eau pour la plante. En outre, les besoins en eau des

cultures dans ces régions sont élevés, de ce fait la réussite des productions végétales dépend uniquement des eaux souterraines qui présentent souvent une forte minéralisation à son utilisation. Ainsi, la physiologie des plantes poussant dans ces régions est altérée, ce qui réduit leur croissance et par conséquent leur rendement.

Une des possibilités pour développer des productions légumières dans ces régions est d'utiliser la technique hors sol permettant d'économiser l'eau et de s'affranchir des sols atteints par la salinité. La correction de la composition chimique de l'eau d'irrigation permet également d'améliorer la croissance et le développement des cultures dans les régions où l'eau salée cause véritablement un problème.

Dans le cadre de cette approche et afin de mettre en évidence l'effet de la salinité sur le comportement de deux glycophytes cultivées (la tomate et le haricot), nous nous sommes intéressés à l'étude des réponses de deux variétés (Saint-Pierre et Djadida respectivement) soumises à différents types de traitements salins naturels puis corrigés. Pour cela, nous avons procédé à des mesures biométriques, et aux dosages de quelques paramètres physiologiques (proline, sucres solubles et chlorophylle) en cours de culture.

Chapitre premier:
Présentation des régions
arides

Chapitre premier: Présentation des régions arides

Sur la superficie totale des terres mondiales, la zone hyper-aride couvre 4,2 %, la zone aride 14,6 % et la zone semi-aride 12,2 %. Ainsi, près d'un tiers des terres du monde est constitué de terres arides. Au nord du Sahara, celles-ci occupent plus de 600.000 Km² dont 34% en Algérie, 31% en Lybie, 19% au Maroc, 11% en Tunisie et 5% en Egypte (Le Houéroux, 1995 in Maalem et Rahmoune, 2009).

1.1. Répartition géographique

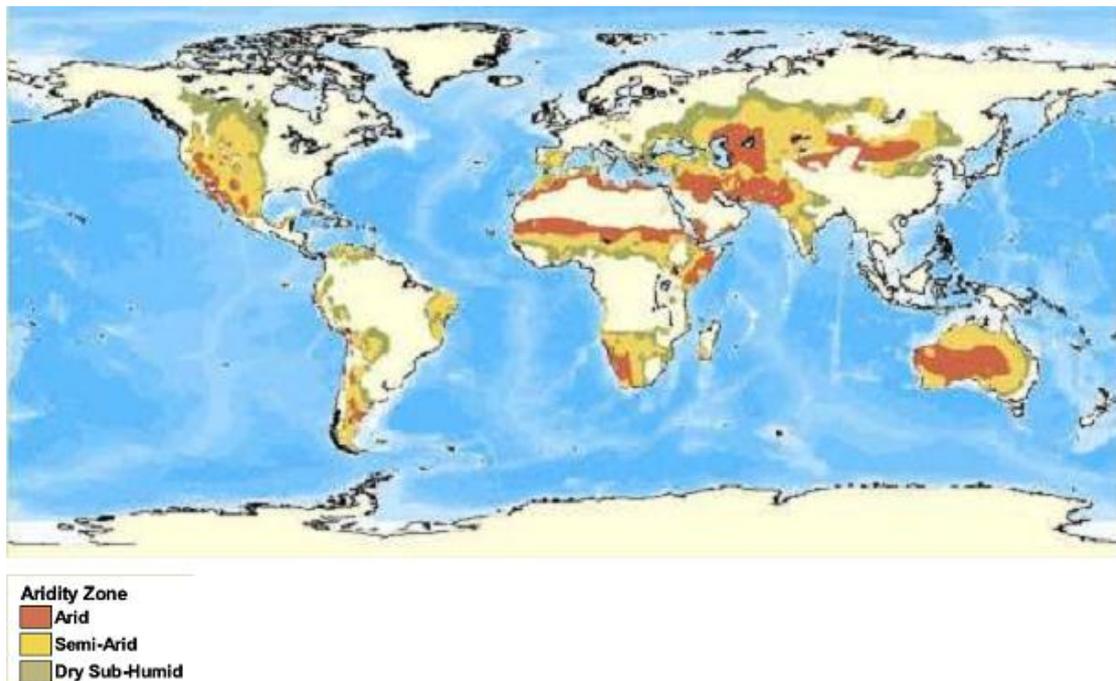


Figure 01: Carte mondiale des terres arides

(Source: Revue des régions arides, 2011)

1.2. Climat

La zone aride se caractérise par une chaleur excessive et une précipitation insuffisante et variable. On y trouve cependant des contrastes climatiques. Ceux-ci résultent en général des différences de température, de saison des pluies et de degré d'aridité. Lorsqu'on décrit la zone aride, on distingue trois grands types de climats: le climat méditerranéen, le climat tropical et le climat continental (FAO., 2005).

Dans le climat méditerranéen, la saison des pluies se situe en automne et en hiver. Les étés sont chauds et secs; les températures hivernales sont douces. Dans le climat tropical, les précipitations se produisent en été. Plus on est loin de l'équateur, plus la

saison des pluies est courte. Les hivers sont longs et secs. Au Sennar, au Soudan, région typique du climat tropical, la saison humide s'étend du milieu de juin à la fin de septembre, suivie d'une saison sèche de près de neuf mois. Dans le climat continental, les précipitations sont régulièrement réparties sur toute l'année, bien qu'il y ait une tendance à plus de pluie en été. A Alice Springs, en Australie, la saison sèche s'étend sur toute l'année (FAO., 2005).

1.3. Végétation

Le couvert végétal dans les régions arides et semi arides ne cesse de se dégrader à cause des contraintes naturelles dont les plus marquantes sont la sécheresse et la salinisation des sols (Houmani, 1997 in Rahmoune et *al.*, 2004) . Depuis longtemps, la végétation particulièrement fragile des zones arides et semi-arides a fait l'objet d'études approfondies. Les formations végétales le plus souvent observées en zone semi-aride correspondent à des paysages de steppes lorsqu'une ou un petit nombre d'espèces vivaces sont très largement représentées, ou à des paysages plus complexes allant de la pelouse au matorral voire à des paysages de type forestier. C'est cette hétérogénéité qui caractérise sans doute le mieux la zone semi-aride. Celle-ci constitue une véritable charnière climatique où peuvent coexister, côte à côte, une végétation arborée et des steppes, des garrigues basses et des pelouses. Les steppes occupent une part considérable de la superficie de l'Afrique du nord, surtout en Algérie où elles constituent une ressource capitale en fourrage, essentiel à l'activité pastorale des régions semi-aride et aride (Le Houérou, 1992). Les steppes du nord de l'Afrique, situées entre les isohyètes annuelles de 100 à 400 mm, couvrent plus de 63 millions d'hectares d'une végétation basse et clairsemée, soumise à une exploitation humaine très ancienne (Aïdoud et *al.*, 2006). Selon Quézel (2000), ces steppes, dont l'origine anthropique est probable dans leur immense majorité, se présentent sous différents aspects : steppes à graminées (*Stipa tenacissima* sur les sols calcaires, *Lygeum spartum* sur les sols gypseux, *Artemisia sp.* sur les sols argileux.) et les steppes à alfa sur les sols lourds.

Les terrains salés sont fréquents dans les régions aride et semi aride en général et le Maghreb en particulier, aussi bien en zones littorales que continentales (chotts, sebkhas), lesquelles zones sont couvertes d'une végétation qui tolère des niveaux élevés de salinité dans le sol : *Salsolasp.*, *Suaedasp.*, *Atriplexsp.*, *Zygophyllum sp...*

1.4.Sols

Les sols de ces zones arides et semi arides, qui reposent le plus souvent sur des formations marneuses et gréseuses, souffrent davantage à cause de problèmes de dégradation. Cette dégradation du sol affecte ainsi leur fertilité d'où leurs réserves en matières organiques et minérales appauvries. On trouve des profils habituellement peu différenciés et peu développés, les différenciations les plus importantes étant acquises sous l'influence du sodium et du calcaire. (Frossard, 1996 in Rahmoune et *al.*, 2004). Les sols se forment avec le temps à mesure que le climat et la végétation agissent sur le matériau de la roche mère. Les aspects importants de la formation des sols dans un climat aride sont les suivants:

- des changements journaliers importants de température, provoquant la désintégration mécanique ou physique des roches.

- les sables transportés par le vent qui abrasent les surfaces exposées des roches.

La désintégration physique des roches donne des fragments relativement gros; seule l'érosion chimique peut les décomposer en fragments plus petits. Le processus d'érosion chimique est lent dans les zones arides en raison du déficit hydrique caractéristique. D'autre part, les périodes prolongées d'insuffisance hydrique sont importantes et, ainsi, n'entraînent pas l'élimination ou le lessivage des sels solubles dont l'accumulation est renforcée par la forte évaporation. Les brèves périodes de ruissellement de l'eau ne permettent pas une pénétration profonde des sels (qui ne sont transportés qu'à courte distance), d'où une accumulation de ceux-ci dans les dépressions fermées (Ben Naceur et *al.*, 2001 ; Hassani et *al.*, 2008).

Les mêmes auteurs indiquent que la végétation joue un rôle fondamental dans le processus de formation des sols en faisant éclater les particules de roche et en enrichissant le sol par des matières organiques provenant de ses parties aériennes et souterraines. Cependant, le rôle de la végétation est réduit dans les zones arides du fait

de la faiblesse du couvert végétal et du développement limité des parties aériennes. Cela dit, les systèmes racinaires présentent souvent un développement exceptionnel et ont le plus d'influence sur le sol.

La salinisation enregistrée dans les écosystèmes aride et semi-aride résulte de forte évaporation d'eau à partir du sol et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie. Cette salinisation peut aussi provenir d'une irrigation le plus souvent mal contrôlée (Ben Naceur et *al.*, 2001 ; Hassani et *al.*, 2008).

Chapitre deuxième:
Le stress salin

Chapitre deuxième: Le stress salin

2.1. Définition de la salinisation

La salinisation est le processus par le lequel les sels solubles s'accumulent dans le sol et elle a été identifiée comme un processus majeur de la dégradation des terres. Les causes techniques les plus importantes à l'origine de la diminution de la production sur de nombreux périmètres irrigués, particulièrement dans les zones arides et semi-arides. Il est estimé, à partir de diverses données disponibles que : Le monde perd au moins 3 hectares de terres arables chaque minute à cause de la salinité du sol. (Ip GRID, 2006).

2.2. Causes de la salinisation des sols

Bien que l'altération des roches et les minéraux primaires soit la principale source de tous les sels, les sols salés sont rarement formés par accumulation de sels in situ. Plusieurs causes sont à l'origine de ce phénomène (Maillard, 2001).

2.2.1 Salinisation primaire

Près de 80 % des terres salinisées ont une origine naturelle, on qualifie alors la salinisation de «primaire». Dans ce cas, celle-ci est due à la formation des sels pendant l'altération des roches ou à des apports naturels externes :

- Dans les régions côtières, intrusion de l'eau salée ou submersion des terres basses.
- Inondation périodique par de l'eau de mauvaise qualité.
- Remontée d'une nappe phréatique salée près de la zone racinaire (Mermoud, 2006).

2.2.2. Salinisation secondaire:

1) C'est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles causé par l'approvisionnement en eau pour l'irrigation et qui aboutit à la formation d'un sol salin. L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire ; cet apport est toujours associé à un apport de sels. En effet, même une eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous et, si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable. Les échanges de cations entre le sol et l'eau d'irrigation sont le début de la salinisation du sol.

2) L'accumulation de sels solubles à la surface ou en dessous de la surface du sol à des concentrations qui ont des effets négatifs sur la croissance des plantes et/ou sur les sols. Ceci se produit du fait de l'évaporation qui abandonne sur le sol les sels dissous dans l'eau. La

salinisation peut aussi être causée par la remontée capillaire des eaux souterraines salines ou résulter d'une irrigation réalisée avec de l'eau saline. (Iprid, 2006).

2.3. Causes et effets de la salinisation

Les rares précipitations, l'évaporation élevée, l'irrigation avec de l'eau saline, et les pratiques culturales sont parmi les facteurs principaux qui contribuent à la salinité croissante. La salinisation secondaire, en particulier, aggrave le problème où une fois que les superficies agricoles productives deviennent impropres à la culture due à la qualité inférieure de l'eau d'irrigation. (Ashraf et Foolad, 2007)

L'eau saline occupe 71% de la surface de la terre. Environ la moitié des systèmes d'irrigation existant du monde sont sous l'influence de la salinisation. De tels sols défavorables de faible fertilité sont généralement peu convenables pour la production agricole, entraînant la réduction inacceptable de rendement. En raison du besoin accru de distribution de production alimentaire et d'augmentation des sols affectés par salinité, la recherche sur des réponses des plantes à la salinité a rapidement augmenté en quelques dernières décennies (Madhava Rao et *al.*, 2006). Le phénomène d'invasion marine, qui peut s'étendre sur plusieurs kilomètres à l'intérieur des terres est d'un grand risque pour les régions côtières tributaires des eaux souterraines pour leur approvisionnement en eau. Sous certaines conditions, l'eau salée se propage à l'intérieur des terres et contamine les eaux de la nappe située à proximité de la mer. Par ailleurs, l'invasion des eaux douces par les eaux salées aura pour effet une dégradation des sols et une salinisation par suite des irrigations avec ces eaux.

La salinité excessive affecte la rhizosphère et limite la répartition des plantes dans leur habitat naturel. Le fort éclaircissement et les rares pluies dans les régions arides et semi-arides accentuent la salinisation des périmètres irrigués et les rendent impropres aux cultures. (Denden et *al.*, 2005)

En Algérie, ce problème s'est peu posé dans le passé mais durant les dernières années, on a décelé des intrusions des eaux marines dans les nappes côtières d'Annaba et d'Oran (phénomène analogue au niveau de la sebkha). L'exploitation intensive et anarchique des nappes par l'agriculture a créé localement des problèmes de pollution et de dégradation du sol. (Morsli, 2007).

Dans le cadre d'une étude effectuée par Mâalem et Rahmoune, (2009), les résultats obtenus montrent que les trois espèces du genre *Atriplex* (*A. halimus*, *A. canescens* et

A.nummularia) étudiées pourront être très prometteuse en programmes de réhabilitation des zones dégradées pastorale et des sites salée dans les régions arides.

2.4. Salinisation des sols dans les régions arides et semi-arides

En zone aride, la salinité des sols est quasiment tout le temps liée à l'irrigation des terres cultivables. Aborder le thème de la salinité dans ces zones c'est donc s'intéresser en particulier aux pratiques d'irrigation. La salinisation peut s'expliquer entre autre par le fait que bien souvent en zone aride, les lieux d'implantation des périmètres irrigués se trouvent sur des zones où l'eau utilisée n'est pas de très bonne qualité (plus ou moins chargée en sels) ou, si elle l'est, se trouve détournée pour la consommation courante et exponentielle des villes. De plus, la mise en valeur de ces terres (en particulier par des investisseurs privés ou lorsqu'il s'agit de microhydraulique et petits périmètres villageois) ne s'accompagne bien souvent pas des mesures et études nécessaires à la prévention des risques de salinisation (Maillard, 2001).

Deux causes seront plus particulièrement responsables de la salinisation des sols dans les régions aride et semi-aride: l'utilisation d'eau chargée en sels pour l'irrigation et les remontés de nappe par déversement excessif d'eau sur les terres à irriguer :

- Utilisation d'eau trop chargée en sel : dans les régions arides, l'eau de pluie ne peut pas être considérée comme étant la source principale pour la plante, ses effets étant aléatoires en raison de l'irrégularité du climat. La réussite des productions végétales dans ces régions dépend de l'eau souterraine (Snoussi et Halitim, 1998). Lorsque cette dernière est la seule source disponible pour l'irrigation, sa trop grande salinité peut causer une accumulation de sels dans la zone racinaire des cultures. Ce phénomène est généralement accentué lorsque le drainage interne du sol est restreint et que le lessivage (soit par les pluies soit par les doses d'eau appliquées) est inadéquat.

- Dans chaque bassin fluvial, avant l'introduction de pratiques d'irrigation, il existe un équilibre entre la pluviométrie d'une part, et le flux du cours d'eau, le niveau de la nappe, l'évaporation et la transpiration d'autre part. Cet équilibre est perturbé quand d'importantes quantités d'eau sont déversées dans la nappe pour l'irrigation: par les pertes et infiltration des canaux d'irrigation, mais également par les quantités d'eau excessives déversées sur les cultures pour satisfaire leur besoin en évapotranspiration et aussi par l'obstruction des voies de drainage naturelles induite par la construction de nouvelles structures dans la région en question (routes, barrages, etc...). Ces quantités d'eau ajoutées en excès dans la nappe vont élever la hauteur de cette

dernière où vont créer une nappe perchée. Dès que la hauteur de la nappe se trouve à un ou deux mètres de la surface du sol, elle peut contribuer activement à l'évaporation de l'eau du sol et ainsi à la salinisation de la zone racinaire des cultures par accumulation de sels. Ces problèmes de salinisation peuvent être encore accentués lorsque la nappe est déjà relativement haute, ce qui est généralement le cas en zone aride (Maillard, 2001).

2.5. Classification des sols

Basés sur la concentration en sel et le rapport $Na/(Ca + Mg)$, les sols ont été classés comme salins, sodiques ou salin-sodiques. La concentration totale en sels est habituellement mesurée par la conductivité électrique, EC dans les unités de dS m⁻¹, où 1dS m⁻¹ est approximativement égal à une concentration de 10 mM du sel qui dissocie en deux ions monovalents quand ils sont en solution (par exemple NaCl). Les sols salins sont généralement définis en tant que ces sols ayant une EC de 4 dS m⁻¹ ou plus. Des sols sodiques sont définis en tant que ces sols qui ont un rapport d'adsorption de sodium (SAR) supérieur à 15. Le SAR est calculé comme suit :

$$SAR = [Na^+]/[Ca^{2+} + Mg^{2+}]^{1/2} \text{ (Cramer, 2002).}$$

Tableau N° 01: Classe de la salinité des sols

Classe	Conductivité de l'extrait de sol saturé (dS/m)
Non salins	0-2
Légèrement salins	2-4
Modérément salins	4-8
Fortement salins	8-16
Très fortement salins	> 16

(Maillard, 2001)

Tableau N° 02: Classification de l'eau

Classe	EC en dS/m	Concentration en sels totale en mg/l	Type d'eau
non saline	< 0.7	< 500	Eau potable et irrigable
Légèrement saline	0.7 - 2	500 - 1500	Eau d'irrigation
Modérément saline	2 - 10	1500 - 7000	Première eau de drainage et eau souterraine
Très saline	10 - 25	7000 - 15 000	Seconde eau de drainage et eau souterraine
Très fortement saline	25 - 45	15 000 - 35 000	Eau souterraine très salée
saumure	> 45	> 45 000	Eau de mer

(Maillard, 2001)

2.6. Caractéristiques des eaux salées

Toutes les eaux naturelles contiennent des minéraux dissous et des matières gazeuses. (Moughli, 2004 in Ghodbène, 2006). La concentration des sels dans une eau dépend de son origine :

- Eau de pluie: gaz atmosphérique dissous et sels cycliques.
- Eau de surface: sa composition et sa concentration varie dans l'espace et dans le temps. Cette variation dépend de :
 - a) la géologie du bassin versant;
 - b) le climat: la neige contient moins de sel que la pluie;
 - c) l'évaporation : la concentration de solution augmente avec l'augmentation de l'évaporation, ceci entraîne une variation de la salinité d'un cours d'eau avec la saison.
- Eaux souterraines : en général, leur composition est assez variable d'une année (ou saison) à l'autre s'il n'y a pas d'interventions notables de l'homme.

La composition et la concentration de l'eau en sels dépendent de la formation géologique qu'elle traverse, de sa température et de la composition de l'eau de recharge s'il y en a.

2.7. Rapport entre la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation

L'étude pédologique nous a montré que la plupart des sols irrigués sont affectés par la salinité. Cette dernière est liée à la salinité de l'eau d'irrigation. La salinité développée au niveau du sol va de paire avec celle de l'eau d'irrigation. Plus la conductivité électrolytique de l'eau d'irrigation est forte plus la teneur en Na augmente, provoquant ainsi un enrichissement net en sodium soluble. Lorsque la conductivité croît, le faciès chimique passe du type (Ca, Cl) au type (Na, Cl).

Les résultats ont montré que la salinisation était la conséquence d'une irrigation avec des eaux assez concentrées en sel. Bien que dans certains endroits, les eaux ne soient pas très salées, ce sont pourtant elles qui ont donné naissance aux différentes manifestations de salinisation à cause des caractéristiques spécifiques des sols (sols argileux). (Morsli, 2007).

2.8. Notion de stress

La capacité d'un organisme à s'adapter à son environnement est d'une importance vitale. La vie existe à travers le maintien d'un équilibre dynamique complexe de l'environnement interne appelé «homéostasie» qui constitue un défi constant face aux forces adverses intrinsèques ou extrinsèques, réelles ou perçues: les agents stressants (Habib et *al.*, 2001) Le milieu intérieur est le concept original de Claude Bernard (1868) selon lequel l'environnement interne est maintenu dans un équilibre constant même si les conditions du monde environnant changent.

Précisant ce concept, Cannon proposa en 1929 le terme d'homéostasie. Ce terme est issu du grec homo (même, comme) et stasie (se tenir, posture) Cannon a été le premier à étudier les variations des réponses physiologiques aux conditions environnementales menaçantes. Cet auteur fonde sa proposition sur l'idée selon laquelle des états stables comme le taux de glucose, la température corporelle et l'équilibre acido-basique sont étroitement régulés. Cette stabilité nécessite que toute tendance au changement rencontre automatiquement des facteurs de résistance.

Lorsqu'il y a dans l'environnement un changement important ou imprévisible, nouveau ou menaçant, les mécanismes de réponses au stress sont activés. Ces réponses nécessitent l'intervention de l'ensemble du système nerveux central et périphérique, entraînent des réponses neuroendocrines et immunitaires qui activent des fonctions adaptatives de survie et, plus tard, assurent un retour à l'équilibre des patterns homéostatiques. Dans ce cadre, le stress est défini comme une situation qui menace ou est perçue comme une menace de l'homéostasie.

Le terme de stress a été inventé par Hans Selye en 1935. Ce dernier a défini le stress comme une « réponse non spécifique de l'organisme à toute sollicitation ». D'origine anglaise, le mot « stress » était employé en mécanique et en physique et voulait dire « force, poids, tension, charge ou effort ». Ce n'est qu'en 1963 que Hans Selye utilise ce mot en médecine et le définit comme étant « des tensions faibles ou fortes, éprouvées depuis toujours et déclenchées par des événements futurs désagréables ou agréables ».

La transposition au monde biologique proposée par Levitt est assez intéressante (Gravot, 2008). Il définit le stress comme étant tout facteur environnemental susceptible de déclencher chez les plantes des modifications chimiques ou physiques

dommageables. Ces modifications représentent la contrainte qui peut être plastique ou élastique (Levitt, 1972 in Gravot, 2007).

2.8.1. La plante et le stress

Selon Tafforeau, (2002) les végétaux ont commencé à coloniser les continents au silurien, il y a 400 millions d'années. Ce sont les premiers êtres vivants à avoir réussi une telle adaptation et s'ils se sont développés dans le milieu hostile qu'était la terre à cette époque, c'est grâce à la mise en place de systèmes efficaces (photosynthèse, mise en place d'organes spécifiques comme les racines et les feuilles...) Les végétaux ont aussi pu se répandre sur la surface de la planète en mettant en œuvre la pollinisation puis, plus tard, en créant une symbiose avec les insectes via les fleurs. Le règne végétal a réussi à se maintenir et même à prospérer et ce, malgré l'avancée du règne animal. Il semble donc évident que les plantes qui, contrairement aux animaux, sont incapables de se déplacer afin d'échapper à un stress environnemental, ont su développer des stratégies pour répondre aux modifications de leur milieu et pour survivre.

Le quotidien des végétaux n'est pas de tout repos. En effet, sa croissance est, à tout instant, affectée par une multitude de stress environnementaux. Les plantes ont mis en place des mécanismes qui leur sont propres pour percevoir et répondre à toute une série de stress environnementaux tels que la déshydratation, les basses températures, la chaleur, les stress mécaniques comme le toucher ou le vent, les blessures ou encore les infections provoquées par des espèces qui leur sont pathogènes. Tous ces stress environnementaux sont donc perçus par la plante comme des stimuli qui, par un phénomène de transduction du signal au sein de la cellule végétale, vont à leur tour induire tout un ensemble de réponses biochimiques, moléculaires (expression ou répression de certains gènes) ou physiologiques (Tafforeau, 2002).

Ainsi, depuis la vie embryonnaire, le développement des végétaux est fonction non seulement de l'information génétique que ceux-ci portent et qui est spécifique à chaque individu, mais aussi des caractéristiques de l'environnement. Les végétaux sont constamment soumis aux différentes variations environnementales et subissent divers stress biotiques et/ou abiotiques. Aussi, les plantes ont-elles développé des stratégies d'évitement et de tolérance vis-à-vis de ces variations, ce qui leur permet de s'adapter et de s'acclimater aux différentes modifications pour survivre (Elmsehli, 2009).

L'étude des plantes placées dans ces conditions, appelée physiologie des stress, est un aspect important de l'écophysiologie végétale pour trois raisons. D'abord, les plantes répondent souvent aux stress en modifiant leur physiologie et leurs métabolismes normaux; ensuite, l'étude de la physiologie des stress contribue à la compréhension des facteurs qui limitent la répartition des végétaux; enfin, en agriculture, la capacité des cultures à résister aux stress est un facteur important de la détermination du rendement.

Le mécanisme général grâce auquel les plantes réagissent aux stress environnementaux comprend la réception et l'identification du signal, la transmission du signal dans l'ensemble de la plante, puis la modification de l'expression de gènes et du fonctionnement du métabolisme (Nabors, 2008)

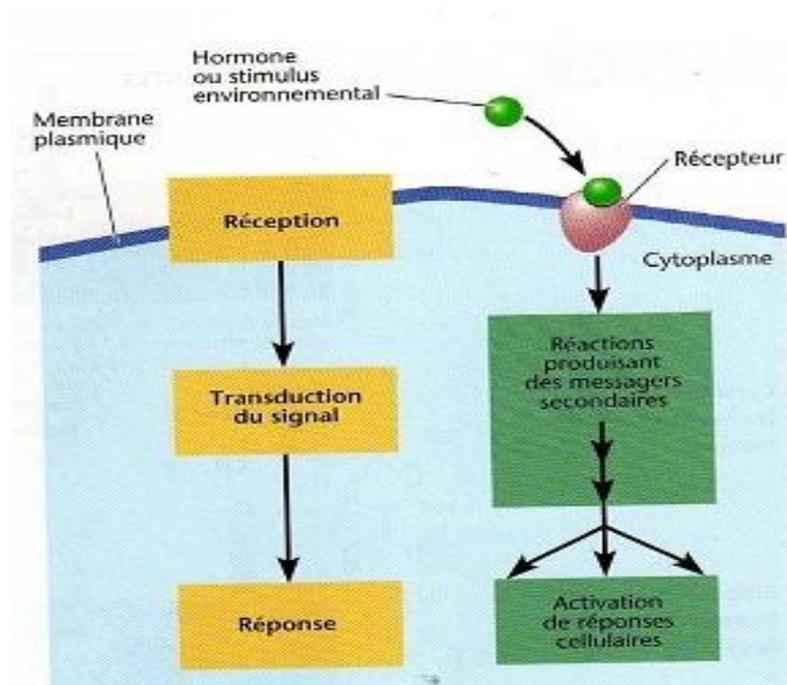


Figure 02 : Perception et traduction du signal par la plante (Nabors, 2008)

2.8.2. Perception du stress

Les végétaux présentent des mécanismes de perception des variations; c'est cette perception qui déclenche les réactions immunitaires chez les plantes et met en route une cascade de réactions qui influencent les métabolismes primaires et secondaires ainsi que l'expression des gènes de défense.

La perception des signaux internes ou externes a pour rôle soit de maintenir un état équilibré des végétaux et de se protéger des dégâts qui peuvent être générés soit

de faciliter l'établissement des interactions bénéfiques pour les plantes (Elmsehli, 2009) Les cellules végétales ne possèdent pas un récepteur ou un senseur spécifique d'un stress donné mais plutôt un ensemble de récepteurs qui vont être sollicités par les différentes composantes du stress. Parmi les récepteurs identifiés, on trouve les canaux (Ca^{2+}). Il y a déjà quelques décennies que le calcium est reconnu comme étant un ion de signalisation ubiquiste chez les végétaux (Tafforeau, 2002). La perception des différents types de stress abiotiques induit un afflux d'ions Ca^{2+} dans les cellules (Lefebvre, 2005).

Les signaux calciques dans le cytoplasme peuvent être vus comme la résultante de deux fonctions opposées : les influx et les efflux dans et hors du cytoplasme des cellules. En effet, on peut considérer que dans la dynamique des signaux calciques, les efflux et les influx sont les déterminants principaux même si les organites et les molécules capables de fixer le calcium peuvent avoir une fonction modulatrice dans la structure de ces signaux. Les recherches actuelles ont permis de mettre en évidence des transporteurs de calcium au niveau de la membrane plasmique, du réticulum endoplasmique, des plastes et de la vacuole, qui peuvent avoir des rôles importants dans la forme et la structure des signaux calciques (Tafforeau, 2002).

En condition de stress thermique ou salin, il a été observé chez les plantes un influx de calcium dans le cytoplasme. Ce calcium provient soit de l'extérieur de la cellule, soit de stocks internes (Knight, 2000) Cet influx résulterait d'une activation des canaux calciques induite par les changements structuraux de la cellule. Cette supposition résulte des études de Pieth, (1999) montrant les liens entre les flux de (Ca^{2+}) et la température, considérant que la réorganisation de cytosquelette et la fluidité de la membrane plasmique sont les premiers changements structuraux liés aux froids (Wang et *al.*, 2001 in Lamzeri, 2007) .

Ripoll et *al.*, (2007) ont montré, sur le modèle de l'induction de méristèmes épidermiques dans l'hypocotyle de lin, que le calcium joue un rôle clé dans la perception, mais aussi dans un mécanisme de mémorisation des signaux abiotiques par les végétaux. En effet, lorsque des plantules de lin, âgées de quelques jours, sont soumises à un stimulus abiotique immédiatement suivi par une déplétion temporaire (de l'ordre de la journée) du calcium dans le milieu de culture, elles développent de nombreux méristèmes dans l'épiderme de leur hypocotyle. Lorsque la déplétion calcique est différée de

plusieurs jours, l'apparition des méristèmes est différée d'autant tout en conservant un déroulement dans le temps très similaire à celui observé lorsque la déplétion n'est pas différée. Cela met en évidence l'existence, chez cette plante, d'un système de mémorisation des signaux abiotiques dépendant du calcium. De nombreux autres exemples de mémorisation de stimuli par différents végétaux ont été décrits par divers auteurs (Thellier et *al.*, 2000 in Ripoll et *al.*, 2007).

2.8.3. Traduction du signal

Suite à la perception du stress, le signal créé par les récepteurs doit être transmis à l'intérieur de la cellule. Cette transduction du signal est assurée par des seconds messagers qui vont activer des voies enzymatiques assurant le fonctionnement de la cascade de réactions et permettant à la cellule de répondre au stress perçu (Vincent, 2006) En effet, toutes les cellules vivantes utilisent un réseau de transduction de signaux pour contrôler la croissance, obtenir des nutriments du milieu extérieur et, bien sûr, réagir avec leurs environnements. Bien évidemment, ces systèmes correspondent à une sorte de langage cellulaire que les biologistes cherchent depuis longtemps à comprendre (Tafforeau, 2002).

2.9. Les plantes et le stress salin

L'eau est une ressource indispensable pour les végétaux. Sa présence est une condition incontournable pour que toute plante puisse se développer et assurer ses fonctions physiologiques vitales. Cependant, suivant le milieu naturel, cette ressource n'est pas toujours facile d'accès dans le sol. Ainsi les plantes présentes sur des surfaces sèches et salées vont se retrouver exposées à un stress hydrique important, contre lequel elles devront lutter pour survivre. Dans le cas d'un stress salin, une double problématique se pose à l'organisme végétal: d'un côté, la présence de sel, en abaissant le potentiel hydrique du sol, menace l'approvisionnement en eau de la plante et de l'autre, l'absorption de sel dans les tissus menace le bon fonctionnement physiologique des cellules. Face à ce danger, toutes les plantes ne sont pas égales. Certaines, nommées glycophytes, ne sont pas capables de supporter la présence de sel. Les halophytes, au contraire, développent des réponses physiologiques pour assurer leur approvisionnement en eau tout en préservant leur métabolisme (Calu, 2006).

2.9.1. Effets du stress salin sur la plante

La salinité du sol ou de l'eau est causée par la présence d'une quantité excessive de sels. Généralement un taux élevé de Na^+ et Cl^- cause le stress salin. Le stress salin a un triple effet: il réduit le potentiel hydrique, cause un déséquilibre ionique ou des perturbations en homéostasie ionique et provoque une toxicité ionique. Cet état hydrique altéré conduit à une croissance réduite et limitation de la productivité végétale. Depuis que le stress salin implique aussi bien le stress osmotique qu'ionique (Hayashi et Murata, 1998 in Parida et Das, 2005), l'arrêt de la croissance est directement relié à la concentration des sels solubles ou au potentiel osmotique de l'eau du sol (Greenway et Munns, 1980 in Parida et Das, 2005). La salinité est un facteur environnemental très important qui limite la croissance et la productivité (Allakhverdiev et *al.*, 2000b in Parida et Das, 2005).

Durant le début et le développement du stress salin à l'intérieur de la plante, tous les processus majeurs tels que : la photosynthèse, la synthèse des protéines, le métabolisme énergétiques... sont affectés. La première réponse est la réduction de la vitesse d'extension de la surface foliaire, suivi par l'arrêt de l'extension avec l'intensification du stress.(Parida et Das, 2005).

2.9.1.1. Effets du stress salin sur la germination

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et, en particulier, par la disponibilité de l'eau dans le sol et la présence de sel (Sharma, 1973, Gutterman, 1993 ; in Ndour et Danthu, 2000) Ainsi, la germination des graines est le stade le plus sensible aux stress salin et hydrique (Boulghalagh et *al.*, 2006). On peut considérer que la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée (Maillard, 2001).

Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (Ungar, 1978 et Kabar, 1986 in Debez et *al.*, 2001) Plusieurs auteurs ont montré un retard de la germination causé par la salinité chez plusieurs espèces (Ndour et Danthu, 2000; Boulghalagh et *al.*, 2006, Benata et *al.*, 2006), même chez des espèces halophytes (Debez et *al.*, 2001; Bajji et *al.*, 2002; Belkhoja et Bidai, 2004; Bouda et *al.*, 2006 et Rahmoune et *al.*, 2008). Des travaux faits sur des halophytes ont montré que l'effet inhibiteur du NaCl sur la germination serait essentiellement de nature osmotique, le sel empêchant l'imbibition de la graine (Katembe et

al., 1998 in Debez et *al.*, 2001) La réduction du potentiel osmotique de la solution du sol empêche l'imbibition de la graine suite à une diminution des activités enzymatiques et une forte absorption de Na^+ par rapport à K^+ , ce qui conduit à une toxicité embryonnaire et un retard dans les processus métaboliques (Oertli ,1976 ; in Adel et Bader, 2002).

2.9.1.2. Effets du stress salin sur l'absorption

Chez les plantes cultivées sur milieu témoin sans sel, la concentration totale de la solution foliaire en solutés organiques tend à diminuer avec l'avancement en âge des plantes, alors qu'un effet opposé est noté pour la concentration inorganique totale de la feuille (Rahmoune et *al.*, 1997 ; Ben Naceur et *al.*, 2002) .

Irriguer avec de l'eau chargée en sels réduit la faculté des racines des plantes à puiser de l'eau du sol. Entre deux irrigations, alors que l'humidité du sol diminue, les sels de la solution du sol peuvent se concentrer à hauteur de 2 à 5 fois leur valeur initiale. Ceci cause une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol et rend encore plus difficile pour les racines d'extraire l'eau du sol. C'est ce qu'on appelle une sécheresse physiologique (Maillard, 2001). Les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter la croissance des racines, ce qui limite les possibilités l'absorption des éléments nutritifs du sol (Tester et Davenport, 2003 in Jabnoute, 2008).

En présence de sel, l'absorption des cations Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} dépasse souvent celle des anions Cl^- , PO_4^{4-} et NO_3^- , ce qui engendre un déficit anionique pour le végétal. Dans les feuilles, les Chlorures (Cl^-) sont toujours accumulés proportionnellement à la teneur globale en sel et en plus grande quantité que le Na^+ (Rahmoune et *al.*, 2000). Le chlore, en entrant en compétition avec le NO_3^- , inhibe dans les plantes sensibles aux sels l'absorption et le transport à longue distance de cet anion vers les parties aériennes et engendre ainsi une carence nutritionnelle qui est estimée par la différence entre la teneur globale en cations majeurs Ca^{2+} , K^+ , Mg^{2+} et Na^+ et la teneur en Cl^- (Slama, 1986 in Lamzeri, 2007). Le stress salin réduit dramatiquement la fixation de l'azote N_2 et l'activité nitrogénase de nodosités chez les légumineuses herbacées (Räsänen, 2002 in Lamzeri, 2007) Pessaraki et Zhou., (1990) ont montré que le stress salin inhibe la fixation du nitrogène chez trois cultivars de *Phaseolus vulgaris L.*

2.9.1.3. Effets du stress salin sur la translocation

La régulation du transport et de la distribution des ions dans les différents organes de la plante et à l'intérieur des cellules est un facteur essentiel du mécanisme de tolérance au sel (Greenway et Munns, 1980). Une étude faite par Haouala et *al.*, (2007) sur le ray-grass anglais montre que cette espèce accumule plus de Na⁺ et Cl⁻ dans ses feuilles que dans ses racines. Le ray-gras apparaît ainsi comme une espèce du type «includer» alors qu'il est classé comme une espèce moyennement sensible à la salinité. Les glycophytes, plantes poussant dans les sols non salés, paraissent généralement incapables d'assurer à la fois un transfert important d'ions des racines vers les feuilles ainsi qu'une compartimentation cellulaire efficace. D'après Greenway et Munns (1980), les plantes les plus résistantes sont celles qui évitent une absorption trop importante d'ions. Certaines glycophytes, comme le cotonnier ou l'orge, transportent et accumulent de grandes quantités de Na⁺ dans leurs feuilles.

Les espèces incapables de compartimenter Na⁺ dans leurs feuilles sont nettement plus sensibles à la salinité. En effet, ces espèces semblent peu efficaces pour abaisser la concentration cytoplasmique de Na⁺, ce qui est peut-être l'une des causes essentielles de leur sensibilité au niveau cellulaire. Cependant, l'incapacité de débarrasser le cytoplasme de Na⁺ a pour conséquence que cet ion est facilement transporté dans le phloème de ces plantes (Zid et Grignon, 1986 in Haouala, 2007).

2.9.1.4. Effets du stress salin sur la croissance

La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire ce qui conduit à l'arrêt de l'expansion si la concentration du sel augmente (Wang et Nil, 2000). Le stress salin résulte aussi dans la diminution de la biomasse sèche et fraîche des feuilles, tiges et racines (Chartzoulakis et Klapaki, 2000). La salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire chez la tomate (Mohammad et *al.*, 1998).

En effet, les sels accumulés dans le sol peuvent limiter ou complètement arrêter la croissance du végétal suite à une élévation de la pression osmotique du milieu et/ou à l'effet toxique spécifique des éléments (Arbaoui et *al.*, 1999 b). La salinité diminue la

croissance des glycophytes en modifiant l'équilibre hydrique et ionique des tissus (Greenway et Munns, 1980 ; Ouerghi *et al.*, 1998)

Un stress salin extrême conduit au nanisme et à l'inhibition de la croissance racinaire. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir fini leur croissance et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (Calu, 2006).

2.9.1.5. Effets du stress salin sur l'eau dans la plante

Le potentiel hydrique et le potentiel osmotique des plantes deviennent de plus en plus négatifs avec l'augmentation de la salinité ainsi que la pression de la turgescence (Romeroaranda *et al.*, 2001 in Parida et Das, 2005).

Dans les conditions de concentrations élevées de salinité accrue, le potentiel hydrique de la feuille et la vitesse d'évaporation diminuent significativement chez l'halophyte *S. salsa* alors qu'il n'y a pas de changement dans le contenu relatif en eau (Lu *et al.*, 2002 in Parida et Das, 2005).

2.9.1.6. Effets du stress salin sur l'anatomie de la feuille

La salinité cause une augmentation de l'épaisseur de l'épiderme, l'épaisseur du mésophylle, la longueur des cellules palissadiques le diamètre des cellules palissadiques dans les feuilles de l'haricot, du coton et de l'atriplex (Longstreth et Nobel, 1979 in Parida et Das, 2005). La salinité réduit aussi l'espace intercellulaire dans les feuilles (Delphine *et al.*, 1998 in Parida et Das, 2005).

L'épaisseur du mésophylle et de l'épiderme ainsi que l'espace intercellulaire diminuent significativement dans les feuilles traitées avec le NaCl de la mangrove *B. parviflora* (Parida et Das, 2005).

Le stress salin cause (1) le développement de la vacuolisation et un gonflement partiel du réticulum endoplasmique, (2) le gonflement de la mitochondrie, (3) la vésiculation et la fragmentation du tonoplaste et (4) la dégradation du cytoplasme par le mélange de la matrice cytoplasmique et vacuolaire des feuilles de la patate douce (*Ipomoea batatas*) (Mitsuya *et al.*, 2000 in Parida et Das, 2005).

2.9.1.7. Effets du stress salin sur le taux des ions

L'absorption des hautes concentrations de NaCl engendre une compétition avec l'absorption d'autres ions, spécialement le K^+ , ce qui conduit à une déficience en K^+ . Le traitement accru de NaCl induit une augmentation dans le taux du Na^+ et Cl^- et une diminution dans le taux du Ca^{2+} , K^+ et le Mg^{2+} chez de nombreuses plantes (Khan, 2001 in Haouala et al., 2007). La salinité fait augmenter le contenu de Na^+ , Ca^{2+} et Cl^- chez *Vicia faba* et le rapport K^+/Na^+ diminue (Gadallah, 1999 in Haouala et al., 2007).

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes: la toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique.

L'accumulation des ions Na^+ affecte l'absorption de K^+ et ceci en fonction de la concentration du premier élément, cependant, la présence de Na^+ en faible concentration peut augmenter l'absorption de K^+ , tandis qu'une concentration élevée en Na^+ diminue l'absorption de K^+ chez le riz (Levitt, 1980 in Haouala et al., 2007) et la canne à sucre (Nimbalkar, Joshi, 1975 in Haouala et al., 2007). Cette absorption peut même s'arrêter complètement chez le haricot (Hamza, 1977 in Haouala et al., 2007) et le laurier rose (Hajji, 1980 in Haouala et al., 2007) cultivés en présence de chlorure de sodium (NaCl) à 12 g.l^{-1}

2.9.1.8. Effets du stress salin sur les enzymes antioxydantes

En cas de stress biotique ou abiotique, on observe chez les plantes une production rapide et massive d'espèces réactives de l'oxygène. De nombreuses études ont été menées, notamment chez les plantes, afin de préciser quels facteurs entraînent ce phénomène.

De nombreuses conditions environnementales ont ainsi été définies: la sécheresse, les stress thermiques (hautes et basses températures), l'exposition aux métaux lourds, aux ultraviolets, aux polluants aériens tels que l'ozone et le SO_2 , les stress mécaniques, les carences en nutriments, les attaques de pathogènes, la salinité et les fortes expositions à la lumière (Ben Naceur et al., 2005).

Le stress salin cause un déficit hydrique comme conséquence à l'effet osmotique sur les activités métaboliques des plantes. Ce déficit hydrique cause un stress oxydatif à cause de la formation des espèces réactives de l'oxygène comme les superoxydes, les radicaux hydroxyles et peroxyde.

Les espèces réactives de l'oxygène qui sont le produit des stress hyperosmotique et ionique causent des disfonctionnements dans la membrane et la mort cellulaire (Bohnert et Jensen, 1996 in Parida et Das, 2005). Les plantes se défendent contre ces espèces réactives de l'oxygène par l'induction de l'activité de certaines enzymes antioxydantes comme la catalase, la peroxydase, la glutathion réductase et la superoxyde dismutase, qui éliminent les espèces réactives de l'oxygène. L'activité des enzymes antioxydantes comme l'ascorbate peroxydase, la glutathion réductase, la monodéshydroascorbate réductase (MDHAR) et la déshydroascorbate réductase (DHAR) augmentent sous les conditions de stress salin chez le blé alors que l'ascorbate total et le contenu de la glutathion diminuent (Hernandez et *al.*,2000 in Parida et Das, 2005).

2.9.1.9. Effets du stress salin sur le métabolisme de l'azote

L'activité de la nitrate réductase (NRA) diminue dans les feuilles de beaucoup de plantes pendant le stress salin (Flores et *al.*,2000). La première cause de la réduction de la NRA dans les feuilles est un effet spécifique associé à la présence du sel Cl⁻ dans le milieu externe. Cet effet de Cl⁻ semble être dû à la réduction de l'absorption du NO₃⁻ et par conséquent une concentration réduite du NO₃⁻ dans les feuilles, bien que l'effet direct du Cl⁻ sur l'activité de l'enzyme qui ne peut être écarté (Flores et *al.*,2000).

Chez le maïs (*Zea mays*) le taux des nitrates diminue dans les feuilles, mais augmente dans les racines sous le stress salin et la NRA des feuilles diminue aussi dans la salinité (Abd ElBaki et *al.*,2000 in Parida et Das, 2005).

L'exposition des racines nodulées à NaCl des légumineuses comme le soja et l'haricot cause une réduction rapide de la croissance végétale. (Serraz et *al.*,1998 in Parida et Das, 2005). L'activité de la nitrogénase diminue chez l'haricot par une exposition à courte durée à la salinité.

2.9.1.10. Effets du stress salin sur les pigments photosynthétiques et les protéines

Le taux de la chlorophylle et des caroténoïdes des feuilles diminue en général sous les conditions de stress salin. Les feuilles les plus âgées commencent à développer une chlorose et finissent par tomber pendant une période prolongée de stress salin (Agastian et *al.*,2000). Par contre, Wang et Nil (2000) ont rapporté que le contenu de la chlorophylle augmente sous les conditions de salinité chez *Amaranthus*. Chez *Grevilea* , la protochlorophylle, la chlorophylle et les caroténoïdes diminuent significativement sous le stress salin, mais la vitesse du déclin de la protochlorophylle, la chlorophylle est plus importante que celle de la chlorophylle a et les caroténoïdes. Les pigments anthocyanines augmentent significativement dans ce cas de stress salin (Kennedy et De Fillippis, 1999 in Parida et Das, 2005).Le contenu des protéines solubles des feuilles diminue en réponse à la salinité (Parida et *al.*,2002). Agastian et *al* (2000) ont rapporté que les protéines solubles augmentent à des niveaux bas de salinité et diminuent en hautes concentrations de salinité chez les mûres.

2.9.1.11. Effets du stress salin sur l'ultrastructure du chloroplaste

Chez les plantes traitées avec le NaCl, la microscopie électronique a montré que la structure du thylacoïde du chloroplaste devient désorganisée, le nombre et la taille des plastoglobules augmentent et le taux d'amidon diminue (Hernandez et *al.*,1999 in Parida et Das, 2005). Dans le mésophylle de la patate douce (*Ipomoea batatas*) , les membranes des thylacoïdes sont gonflées et la plupart sont perdues sous un stress salin sévère (Mitsuya et *al.*,2000 in Parida et Das, 2005).

2.9.1.12. Effets du stress salin sur la photosynthèse

Le développement des plantes est le résultat de l'intégration et la régulation des processus physiologiques dont le plus dominant est la photosynthèse. La croissance du végétal autant que la production de biomasse est une mesure de la photosynthèse nette et comme les stress environnementaux affectent la croissance donc affectent la photosynthèse. Le stress salin cause des effets à long et à court terme sur la photosynthèse. Les effets à court terme se manifestent après quelques heures jusqu'à un à deux jours de l'exposition au stress, et la réponse est importante; il y a complètement arrêt de l'assimilation du carbone.

L'effet à long terme s'exprime après plusieurs jours de l'exposition au sel et la diminution de l'assimilation du carbone est due à l'accumulation du sel dans les feuilles en développement (Munn et Termatt, 1986 in Parida et Das, 2005), aussi on a rapporté qu'il y a

suppression de la photosynthèse sous les conditions d'un stress salin (Kao et *al.*,2001 in Parida et Das, 2005) et qu'elle ne diminue pas mais plutôt stimulée par de petites concentrations de sel (Kurban et *al.*,1999 in Parida et Das, 2005). La diminution de la vitesse photosynthétique est due à plusieurs facteurs: (1) la déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO₂,

(2) la toxicité du sel, (3) la réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydroactive des stomates, (4) la sénescence accrue induite par la salinité et (5) le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement dans la structure cytoplasmique. (Iyengar et Reddy, 1996 in Parida et Das, 2005).

2.9.2. La tolérance des plantes au stress salin

Les effets néfastes de la salinité sur la croissance des plantes sont généralement associés au faible potentiel osmotique de la solution du sol et au niveau élevé de toxicité du sodium (et du chlore pour certaines espèces) qui provoquent des perturbations multiples sur le métabolisme, la croissance et le développement des plantes aux niveaux moléculaire, biochimique et physiologique (Yamaguchi et Blumwald, 2006).

La capacité des plantes à réduire les teneurs en sodium dans le cytoplasme semble être un des éléments décisifs de la tolérance à la salinité (Apse et Blumwald 2007). Toutefois, bien que les ions chlorures soient des micro-éléments nécessaires à l'activité enzymatique, à la photosynthèse en tant que co-facteurs, ainsi qu'à la régulation de la turgescence cellulaire, du pH et du potentiel membranaire électrique, ils ne demeurent pas moins toxiques que les ions Na⁺ si leur concentration atteint le seuil critique toléré par les plantes (Teakle et Tyerman 2010).

L'homéostasie ionique cellulaire est un phénomène essentiel et vital pour tous les organismes (Blumwald 2000; Mahajan et *al.* 2008). La plupart des cellules parviennent à maintenir un niveau élevé de potassium et un faible niveau de sodium dans le cytoplasme à travers la coordination et la régulation des différents transporteurs et canaux (Blumwald et *al.*2004).

Il existe deux principales stratégies que les plantes utilisent pour faire face à la salinité : la compartimentation des ions toxiques au sein de la vacuole et leur exclusion hors de la cellule (Munns 2005; Yamaguchi et Blumwald 2006; Apse et Blumwald, 2007). D'autre part, les plantes modifient la composition de leur sève; elles peuvent accumuler les ions Na⁺et Cl⁻ pour ajuster le potentiel hydrique des tissus, nécessaire pour maintenir la

croissance (Munns 2005). Cette accumulation doit être compatible avec une tolérance métabolique de la concentration résultante ou avec une compartimentation entre les divers composants de la cellule ou de la plante. Elle nécessite relativement peu de dépense d'énergie (Cornillon et Palloix, 1995).

Dès lors, une des stratégies d'adaptation consiste à synthétiser des osmoprotecteurs, principalement des composés aminés et des sucres, et à les accumuler dans le cytoplasme et les organites (Ashraf et Foolad, 2007; Chen et Jiang 2010; Ksour i et al. 2010; Majumder et al. 2010). Sous condition de concentrations élevées de sodium, que ce dernier soit compartimenté au sein de la vacuole ou exclu de la cellule, le potentiel osmotique du cytoplasme doit être équilibré à celui de la vacuole et du milieu extérieur afin de maintenir la turgescence cellulaire et l'absorption d'eau nécessaire à la croissance cellulaire. Cela nécessite une augmentation des teneurs en osmolytes dans le cytoplasme, soit par synthèse de solutés (compatibles avec le métabolisme cellulaire) soit par leur absorption de la solution du sol (Chinnusamy et Zhu 2003; Cixin He, 2005). Parmi ces composés synthétisés, figurent certains polyols, des sucres, des acides aminés, des bétaines, mais qui, sur le plan énergétique, sont très coûteux à produire par la cellule (Majumder et al. 2010). Le rôle principal de ces solutés consiste à maintenir un faible potentiel hydrique à l'intérieur des cellules afin de générer une force de succion pour l'absorption d'eau (Yancey et al. 1982; Carpenter et al. 1990). Ces osmolytes, généralement de nature hydrophilique, sont des molécules peu chargées mais polaires et très solubles (Sairam et Tyagi 2004), ce qui suggère qu'ils peuvent adhérer à la surface des protéines et des membranes pour les protéger de la déshydratation (Yancey et al. 1982). Une autre fonction attribuée à ces osmolytes constitue la protection contre l'action des radicaux oxygénés suite au stress salin (Blumwald et al. 2004).

Toutes les plantes ne sont pas égales face au stress salin, suivant leur production de biomasse en présence de sel, quatre grandes tendances ont été discernées:

1- Halophyte vraies: dont la production de biomasse est stimulée par la présence de sel. Ces plantes (*Atriplex sp.*, *Salicornia sp.*, *Sueda sp.* ...) présentent des adaptations poussées et sont naturellement favorisées par la salinité du sol. (Calu, 2006).

2- Halophytes facultatives: présentent une légère augmentation de biomasse à des teneurs faibles en sels: *Plantago maritima*, *Aster tripolium*.... (Calu, 2006).

3- Non halophytes résistants: supportent de faibles concentrations en sels :

Hordeum sp... (Calu, 2006).

4- Glycophytes ou halophobes: sensibles à la présence de sels: *Phaseolus vulgaris*.... La réduction dans le taux de la chlorophylle observé avec l'intensité du stress salin pourrait être attribuée aux conditions dans lesquelles se trouvent les stomates car durant le stress salin, la concentration du CO₂ diminue dans le chloroplaste à cause de la réduction dans la conductance stomatique. (Gama et al.,2007).

2.9.2.1. Homéostasie ionique

a) La compartimentation vacuolaire

Celle-ci consiste à évacuer du cytoplasme les ions Na⁺ en excès vers la vacuole afin d'éviter leur effet toxique et inhibiteur à l'encontre des processus enzymatiques (Flowers et al.1977). Ce mécanisme de compartimentation vacuolaire est assuré par l'action d'un antiport vacuolaire sodium/proton (Na⁺/H⁺) dont l'énergie est fournie par les pompes à protons ATPases (H⁺-adénosine triphosphatases) et PPases (H⁺-pyrophosphatases) vacuolaires (Yamaguchi et Blumwald, 2006). Grâce à ce processus de compartimentation de sodium au sein de la vacuole, la cellule parvient à maintenir une faible concentration de sodium dans le cytoplasme, minimisant ainsi son effet toxique; et d'autre part, l'augmentation concomitante de la concentration de sodium dans la vacuole va engendrer une forte pression osmotique qui va favoriser l'absorption d'eau et donc améliorer la turgescence des cellules (Glenn et al. 1999; Apse et Blumwald, 2007). Chez les plantes de type « incluser », les flux de sodium sont essentiellement ascendants, et le sel est accumulé dans les parties aériennes au niveau des vacuoles. Par contre, chez celles de type « excluser », la plus grande partie du sodium absorbé et véhiculé vers les feuilles est réexportée vers les racines via le phloème (Levigneron et al. 1995; Berthomieu et al. 2003) ou initialement stockée dans les racines.

La compartimentation du NaCl dans les vacuoles représente le mécanisme principal de détoxification du sel chez les halophytes (Borsani et al. 2003), tandis que les glycophytes ont recours au mécanisme d'exclusion du sodium des cellules (au niveau de la membrane plasmique) des parties aériennes vers les racines (Munns 2002; Tester et Davenport 2003; Blumwald et al.2004). Une différence majeure entre les glycophytes et les halophytes repose sur le fait que ces dernières accumulent et stockent environ 90 % du sodium dans la partie aérienne dont au moins 80 % dans les feuilles (Tester et Bacic 2005), alors que les glycophytes limitent le mouvement d'ions vers la partie aérienne en contrôlant l'influx

xylémique d'ions (Hasegawa et *al.* 2000). Par ailleurs, les halophytes utilisent ce mécanisme de compartimentation de sodium dans la vacuole a fin de pouvoir générer un potentiel osmotique au sein des cellules, nécessaire à l'absorption de l'eau au niveau des sols salés. Ainsi, l'accumulation du sodium dans le compartiment vacuolaire semble avoir un double rôle, celui de la protection du cytoplasme contre la toxicité du sodium et celui de son utilisation en tant qu'osmoticum dans la vacuole (Blumwald et *al.* 2000; Bartels et Sunkar, 2005).

b) Exclusion des ions toxiques

L'autre stratégie permettant aux plantes de survivre en condition de stress salin consiste à exclure le sodium du cytoplasme vers l'extérieur de la cellule. Dans ce cas, les plantes limitent l'entrée des éléments salins et les rejettent dans le compartiment apoplasmique (Blumwald et *al.* 2004; Munns 2005).

L'exclusion commence avec la sélectivité de la membrane racinaire, ce qui peut résulter d'une réduction de la perméabilité passive, de la présence de transporteurs sélectifs et d'un transport vers le milieu extérieur des ions déjà absorbés (Apse et Blumwald 2007). Tous ces mécanismes ne sont pas exclusifs, et la résistance des plantes dépend souvent d'une série de mécanismes potentiellement additifs.

L'exclusion du sodium est réalisée par l'action combinée d'une série de protéines de type SOS (« salt overly sensitive ») (Zhu 2003). SOS1, qui est également un antiport Na^+/H^+ mais localisé au niveau de la membrane plasmique, joue un rôle primordial dans ce mécanisme d'exclusion de sodium vers le milieu extérieur (Shi et *al.* 2003; Zhu 2003; Mahajan et *al.* 2008). Afin de réduire l'accumulation de sodium au niveau de la partie aérienne de la plante, ce complexe protéique SOS interagit avec le transporteur HKT1 (Rus et *al.* 2001) lui aussi situé sur la membrane plasmique et qui est responsable de la recirculation du sodium des feuilles vers les racines via le phloème (Berthomieu et *al.* 2003; Hauser et Horie 2010). Il existe une corrélation positive entre l'exclusion des sels et la tolérance à la salinité chez plusieurs espèces (Storey et Walker 1999; Lee et *al.* 2003; Munns et James 2003; Poustini et Siosemardeh 2004; Zhu et *al.* 2004; Munns et *al.* 2006).

Chez les variétés de vigne et le peuplier tolérant la salinité, l'exclusion des ions Na^+ et Cl^- constitue le principal mécanisme qui leur permet de s'adapter au stress salin (Garcia et Charbaji 1993; Hamrouni et *al.* 2003; Storey et *al.* 2003; Hamrouni 2009; Sun et *al.* 2009). Les transporteurs CCC (« cation-chloride cotransporter »), récemment identifiés par Colmenero-Flores et *al.* (2007), étant responsables du transport à longue distance des

chlorures, seraient également impliqués dans le mécanisme de leur exclusion (Br umos et *al.* 2009).

c) Ajustement ionique

L'augmentation des concentrations vacuolaires de sodium induit la nécessité et le besoin d'élever la pression osmotique des autres compartiments cellulaires afin de maintenir leur volume (Amtmann et Leigh, 2010). Quoique la synthèse et l'accumulation de composés solubles compatibles contribue au maintien de la croissance cellulaire en conditions de stress ionique, les plantes ont développé d'autres moyens non moins efficaces tels que l'ajustement ionique afin de réduire et d'équilibrer la concentration d'ions dans le but d'ajuster la pression osmotique au niveau du cytoplasme (Sairam et Tyagi, 2004; Shabala et Cuin, 2007). Ce dernier objectif peut être assuré par une augmentation des concentrations de potassium, outre celle des composés osmotiques compatibles (Munns et Tester 2008). En outre, le potassium joue un rôle également dans le contrôle de la turgescence cellulaire (Sairam et Tyagi 2004). Afin de préserver les réactions métaboliques et de maintenir un rapport K/Na viable, les cellules végétales doivent ajuster leur teneur en potassium entre 100 et 200 mmol/L (Maathuis et Amtmann, 1999).

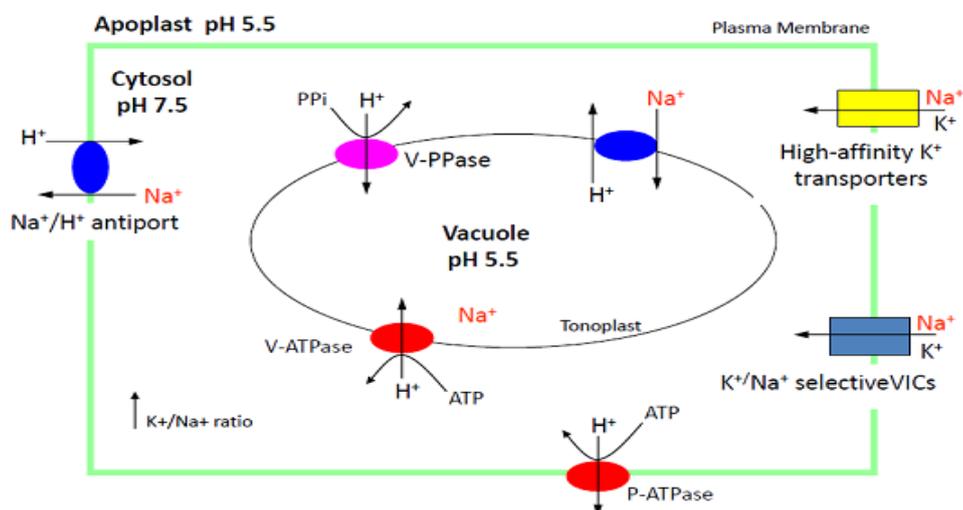


Figure 3 : Compartimentation et sélection des ions chez la plante en réponse au stress salin (Mansour et al., 2003 in Jebnour, 2008)

2.9.2.2. Ajustement osmotique

Face à l'augmentation des forces de rétention de l'eau dans un sol en 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 (Tahri et *al.*, 1998). Ces solutés ont des propriétés physiques et biologiques compatibles, même à forte concentration, avec les fonctions métaboliques.

L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence. L'accumulation de ces composés a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Cette accumulation varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (Acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes (El Midaoui et *al.*, 2007)

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation aux stress ionique et osmotique qui s'exprime par la capacité d'un végétal à accumuler, au niveau symplasmique et de manière active des ions tels que les K^+ , Na^+ et Cl^- ou des composés organiques tels les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructanes) et certains amino-acides (proline, glycine bêtaïne, β -alaninebêtaïne, prolinebêtaïne)

Ce phénomène permet le maintien de nombreuses fonctions physiologique (photosynthèse, transpiration, croissance...) et peut intervenir à tous les stades du développement du végétal. Il permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes, la proline semblant jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol vacuole et de régulation du pH (Hassani et *al.*, 2008).

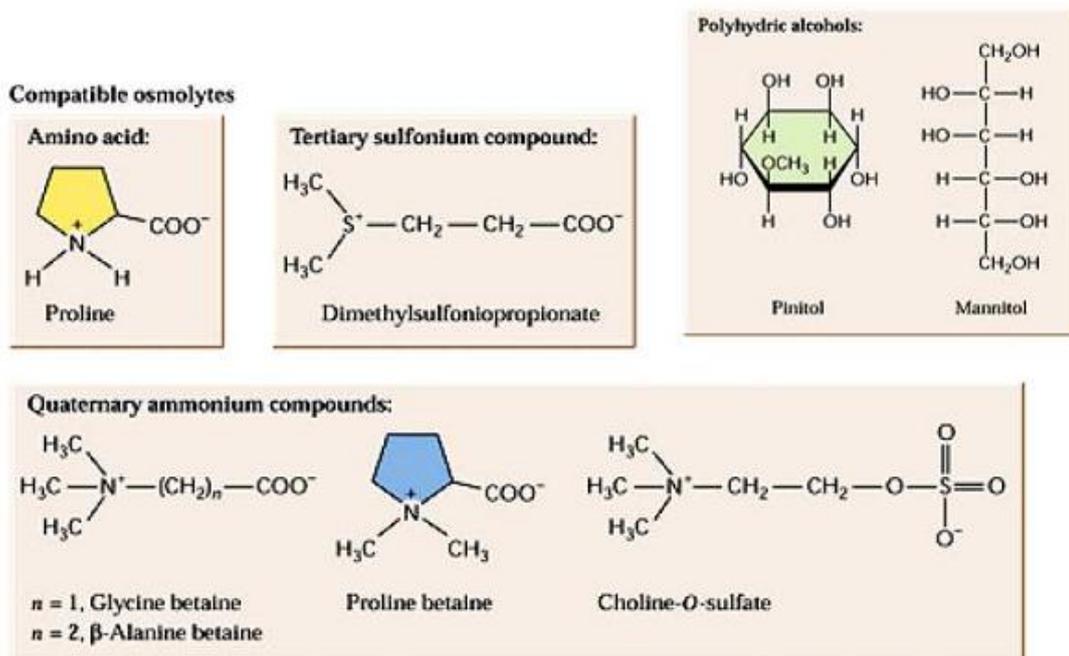


Figure 4: Exemples d'osmorégulateurs synthétisés par les végétaux

(D'après Larcher, 1996 cité par Calu, 2006)

Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente l'une des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques. Son rôle d'osmoticum a été rapporté par de nombreux auteurs. L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires: stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines.

La proline serait synthétisée à partir de l'acide glutamique via l'acide 5 carboxylique 1 pyrroline (P5C) mais également via l'arginine et l'ornithine (Tahri et *al.*, 1998).

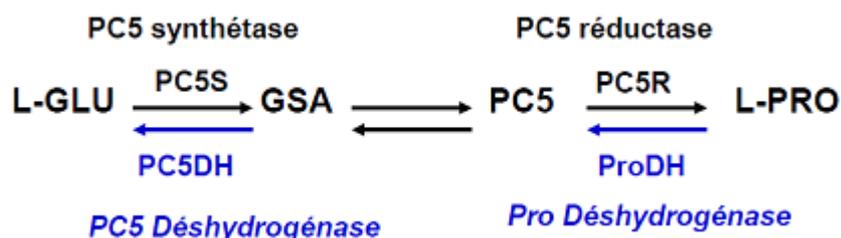


Figure 5 : Biosynthèse de la proline

Les sucres peuvent servir de composés solubles compatibles pour cet ajustement osmotique, comme de nombreuses autres molécules. De nombreuses études ont mis en évidence l'accumulation de sucres solubles lors de la dessiccation. Différents sucres solubles peuvent être présents dans les tissus bien hydratés, mais le saccharose est

préférentiellement accumulé dans les tissus en déshydratation. De même, la synthèse des sucres et des polyols (glycérol, mannitol, inositolméthyl..) est stimulée par un stress salin.

Les composés inorganiques peuvent aussi avoir un effet dans la régulation osmotique et dans la tolérance à la salinité. Il semblerait même que ce type de molécules soit plus efficace que les composés organiques. En effet leur concentration peut être très élevée dans la vacuole et l'apoplaste pour un coût énergétique très faible (Hare et *al.*, 1998 in Lamzeri, 2007).

En plus de l'ajustement osmotique, les solutés compatibles ont un rôle dans la stabilisation des membranes. Les osmorégulateurs préservent l'intégrité des membranes thylakoïdes et plasmiques après un stress salin (Rhodes et Hanson, 1993 in Jabnoue, 2008) Les solutés compatibles ont également une fonction de stabilisation de la conformation des protéines et des propriétés d'antioxydants.

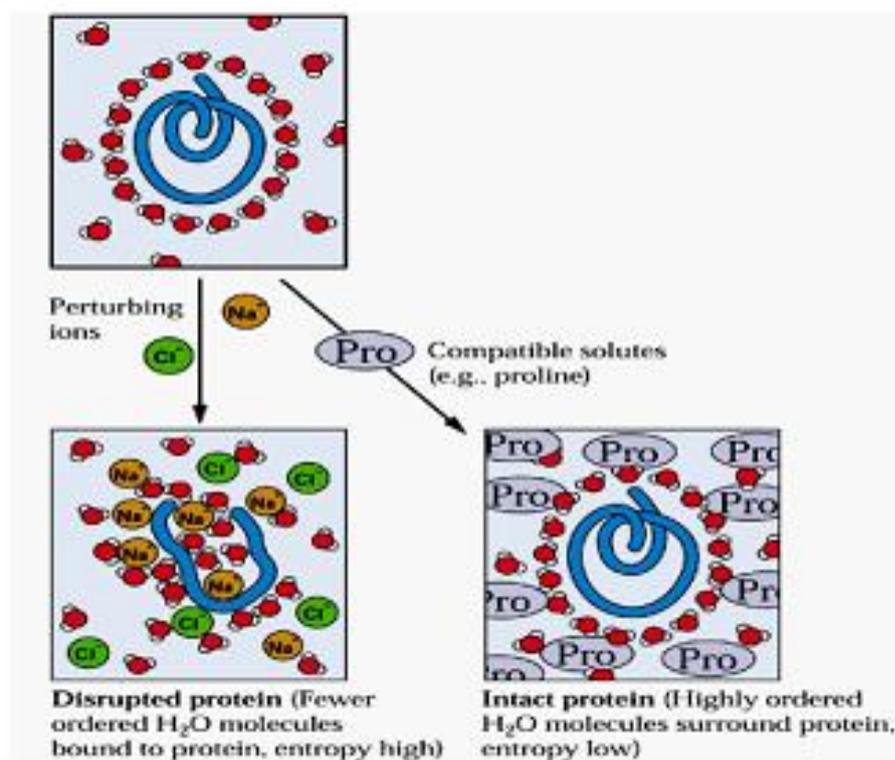


Figure 6 : Rôle de la proline dans la protection des protéines en présence de NaCl

a) La proline

Les teneurs en proline s'accroissent rapidement chez de nombreuses mono- ou dicotylédones soumises à un stress salin (Silva-Ortega et al. 2008). Cette augmentation de la concentration de proline cytoplasmique est consécutive à la stimulation de sa synthèse, résultant d'une élévation des quantités des messagers codant pour l'enzyme qui convertit le glutamate semi-aldéhyde en proline. Il existe deux voies de biosynthèse de la proline chez les plantes, celle de l'ornithine et celle du glutamate. Cette dernière semble être prédominante sous conditions de stress (Silva-Ortega et al. 2008). Il semble que la stimulation de la synthèse de proline soit parallèle à une activation globale d'une voie métabolique partant du glutamate semi-aldéhyde et conduisant à la proline, mais aussi aux polyamines, via l'ornithine et l'arginine (Bartels et Sunkar, 2005). La proline agit en tant que composé soluble compatible dans l'ajustement osmotique pouvant atteindre de fortes concentrations sans exercer d'effet toxique comme le cas des ions (Yancey et al. 1982; Silva-Ortega et al. 2008). En plus du rôle osmotique attribué à la proline, celle-ci intervient dans la détoxification des formes actives d'oxygène (Hong et al. 2000; Kocsy et al., 2005) et la stabilisation des protéines (Ashraf et Foolad 2007; Majumder et al. 2010), protégerait l'intégrité de la membrane plasmique (Mansour, 1998) et constituerait une source de carbone et d'azote (Sairam et Tyagi, 2004). La dégradation de la proline au niveau des mitochondries est directement couplée au transport d'électrons et à la synthèse d'ATP au niveau de la chaîne respiratoire (Sairam et Tyagi 2004).

L'accumulation de la proline chez diverses espèces de plantes stressées a été corrélée à leur capacité de tolérance, et sa concentration est généralement plus élevée chez les plantes tolérantes que les plantes sensibles (Ashraf et Foolad, 2007). Toutefois, dans certains cas, cette relation ne semble pas être valable, tel le cas de certaines variétés de riz (Lutts et al. 1999) et de sorgho (de-Lacerda et al. 2003), pour lesquelles, l'accumulation de proline semble plutôt être une simple réaction de la plante qu'un comportement d'adaptation et de tolérance au stress.

b) Les sucres

Plusieurs études physiologiques ont démontré que l'accumulation des sucres et des polyols, principalement suite à l'hydrolyse de l'amidon (Hoekstra et al. 2001; Phillips et al. 2002), était stimulée par un stress salin chez différentes espèces végétales (Bartels et Sunkar 2005; Majumder et al. 2010).

Une forte corrélation a été établie entre l'accumulation des sucres et le niveau de tolérance à la salinité (Taji *et al.* 2002; Bartels et Sunkar, 2005). L'augmentation de la concentration des polyols entraîne une augmentation du potentiel osmotique du cytoplasme, ce qui permet une plus grande compartimentation de sodium dans la vacuole. De plus, ces polyols agissent en tant qu'osmoprotecteurs des membranes et des protéines, probablement en éliminant les radicaux libres d'oxygène (Bohner *et al.* et Jensen, 1996). Ils peuvent également servir de source de carbone pendant la période de stress durant laquelle les photosynthétats sont peu disponibles (Vernon *et al.* 1993). D'autres études font état d'augmentation de teneur en acides organiques (malate, citrate ...), parallèlement ou non à celles des sucres-alcools ou des composés aminés. Chez le plantain, ce phénomène est consécutif à la stimulation de l'activité de β - carboxylation (Levigneron *et al.* 1995). Chez la vigne, les acides organiques les plus accumulés suite à l'effet du stress salin sont le tartrate et le malate (Cramer *et al.* 2007). Les sucres pourraient agir en tant qu'osmoticum, protéger des macromolécules spécifiques (enzymes) et contribuer à la stabilité des structures membranaires (Su *et al.* 1999; Bartels et Sunkar 2005). L'apport de ces composés osmoprotecteurs dans le milieu ne modifie pas le comportement des plantes soumises à un stress salin. Pour estimer leur impact réel sur la tolérance, il faudrait pouvoir modifier leur concentration endogène, donc leur métabolisme. À cet égard, la sur-expression d'un ADNc codant un précurseur de la biosynthèse du mannitol chez des plantes de tabac et *Arabidopsis* a permis d'obtenir un phénotype de tolérance à la salinité (Tarczynski *et al.* 1993; Thomas *et al.* 1995). Bien que le mannitol réduise partiellement la quantité d'ions inorganiques accumulés dans le cytoplasme, son effet protecteur en tant que composé soluble compatible semble être suffisant pour assurer une meilleure croissance chez les plantes transgéniques (Tarczynski *et al.* 1993). Chez des lignées de riz transgéniques, Su *et al.* (1999) ont démontré que la biosynthèse et l'accumulation de mannitol étaient positivement corrélées avec la tolérance à la salinité des plantes. Ainsi, les travaux menés sur les molécules osmoprotectrices ont ouvert la voie à l'amélioration de la tolérance des plantes au stress salin, via le génie génétique (Munns 2005).

c) Les bétaines

La betterave est à l'origine du nom bétaine, car elle en contient des quantités importantes. Les bétaines, qui ont la particularité d'être méthylées, sont issues soit de la proline, soit d'autres acides aminés (Rathinasapabathi, 2000). Elles interviennent au niveau

de l'ajustement osmotique, de l'osmoprotection et de la protection des enzymes (Gorham, 1992). En cas de stress salin, on considère que l'intensification du métabolisme de la choline (précurseur de la glycine bêtaïne) peut participer au maintien des flux transmembranaires, par un renouvellement plus intense de la phosphatidylcholine, choline phosphorylée qui est la composante majeure des membranes cellulaires (Levigneron et al. 1995). La glycine bêtaïne est principalement présente au niveau des chloroplastes où elle joue une fonction vitale dans la protection des membranes thylakoïdes et par conséquent dans le maintien de l'efficacité photosynthétique (Ashraf et Foolad, 2007) et aussi dans l'osmoprotection en stabilisant les macromolécules et en préservant les membranes sous stress (Yancey 1994; Naidu 2003; Majumder et al. 2010). Certaines plantes cultivées accumulent aussi ce composé lorsqu'elles sont soumises à un stress salin; c'est le cas de l'épinard, du tournesol, du blé, de l'avoine et du maïs (Levigneron et al. 1995; Ashraf et Foolad 2007). Chez ces espèces, les génotypes tolérants accumulent en réponse au stress plus de glycine bêtaïne que les génotypes sensibles. Cependant, cette relation n'est pas toujours vérifiée mais peut même s'inverser. En effet, aucune corrélation significative n'a été signalée entre l'accumulation de glycine bêtaïne et la tolérance à la salinité chez différentes espèces de *Triticum*, *Agropyron*, et *Elymus* (Wyn Jones et al. 1984); de plus, des lignées de trèfle égyptien sensibles au sel ont affiché des concentrations de choline et bêtaïne supérieures à celles des lignées tolérantes (Varshney et al. 1988). De même, la quantité de glycine bêtaïne chez des plantes transgéniques de tabac et d'*Arabidopsis* (sur-exprimant des gènes de synthèse de la glycine bêtaïne) n'est pas forcément corrélée à leur niveau de tolérance à la salinité (Huang et al. 2000; Chen et Murata 2002), et cela serait probablement dû au manque de disponibilité de la choline, un des précurseurs de la synthèse de glycine bêtaïne. Ainsi, lors de la sur-expression d'osmolytes tels que la glycine bêtaïne, il est important de considérer d'autres facteurs qui peuvent intervenir dans l'adaptation des plantes au stress, notamment la disponibilité du substrat et le flux métabolique suivi par le ou les précurseurs (Huang et al. 2000; Rathinasapabathi, 2000). La relation entre l'accumulation de bêtaïne et la tolérance au stress salin semblerait être liée à l'espèce, voire même au génotype (Ashraf et Foolad, 2007). Notons en fin que l'application exogène de glycine bêtaïne a permis d'améliorer la tolérance et le comportement de certaines plantes (tabac, blé, avoine, riz, soja, tomate et haricot) vis-à-vis des stress hydrique (Borojevic et al. 1980; Agboma et al. 1997 a, 1997 b, 1997c ; Naidu et al. 1998; Weibing et Rajashekar 1999) et salin (Makela et al. 1998a, 1998 b; Lutts 2000).

Chapitre troisième:
Procédé hydroponique et
nutrition hydrominérale des
plantes

Chapitre quatrième : Généralités sur la tomate et le haricot

4.1. La tomate

4.1.1. Origine, taxonomie et généralités botaniques

Il est fort probable que l'aire d'origine de la tomate se situe tout le long des côtes de l'Amérique du Sud, de l'Equateur au Chili. Elle est domestiquée à partir de l'espèce *Lycopersicon esculentum* var *cerasiforme*, qui fut introduire en Méso-Amérique et cultivée uniquement dans la région de Vera Cruz par les Aztèques.

La tomate appartient au genre *Lycopersicon* qui fait partie de la famille Solanaceae. Le genre *Lycopersicon* comprend neuf espèces (Rick et Holle 1990), *L. peruvianum*, *L. pimpinellifolium*, *L. hirsutum*, *L. cheemannii*, *L. parviflorum*, *L. chilense*, *L. chmielewskii*, *L. pennellii* et *L. lycopersicum*, distribuées entre deux sous genres caractérisés par la couleur typique de leurs fruits à maturité, soit *Eulycopersicon* aux baies rouges comestibles et *Eriopersicon* aux baies vertes non comestibles. Tous les membres du genre *Lycopersicon* possèdent des fleurs hermaphrodites avec des parties male et femelle fonctionnelles, tous ces membres sont auto-incompatibles, avec comme exception *L. pimpinellifolium* et certaines variétés cultivées de *L. esculentum* qui est capable d'auto pollinisation. Cette classification a évolué avec plusieurs études utilisant différents types de marqueurs moléculaires (Tam et al., 2005). Avec la découverte récente d'une nouvelle espèce endémique aux Iles Galapagos d'une part, et l'étude combinant la systématique phénotypique et moléculaire, d'autre part Spooner et al. ont reclassé la tomate dans le genre *Solanum* (Spooner et al., 2005) et cette nouvelle classification est composée de treize espèces (Peralta et al., 2005).

Suite à la germination des graines, les deux premières feuilles sont simples et alternées, alors que celles qui suivent sont composées de 5 à 9 folioles de dimensions variables. La tomate a un système racinaire important. De nombreuses racines primaires, secondaires, tertiaires prennent naissance sur un pivot puissant. Les racines peuvent atteindre 85 à 90cm de long, mais les principales racines nourricières se rencontrent entre 25 et 35cm de profondeur. L'axe principal de la jeune plante est de type monopodial. Cependant, une fois que l'apex entre en floraison et produit des fleurs, la croissance devient de type sympodial. Cette deuxième forme de croissance est caractérisée par 3-4 nodules de croissance végétative avant la formation d'une inflorescence terminale. Les tiges sont vertes pourvues de poils blanchâtres. Elles portent les feuilles, les fleurs et les fruits. Le plus souvent, elles sont retombantes et demandent à être attachées sur des tuteurs. Deux grandes catégories de tiges

sont distinguées, les tiges à croissance déterminée, leur croissance s'arrête après avoir émis un nombre variable de bouquets de fleurs et permet une récolte unique et mécanique en plein champ. Elles donnent des pieds qui ont 60 à 80cm de hauteur. Ce sont des variétés dites d'industrie, destinées à la transformation. Les tiges à croissance indéterminée sont des tiges dont la croissance ne s'arrête pas tant que la condition climatique est favorable. Elles donnent des pieds atteignant 1,40 à 1,60m et parfois plus. De telles variétés nécessitent une culture tuteurée et demandent à être palissées. Les feuilles sont découpées et composées, à folioles ovales, un peu dentées sur les bords grisâtres à la face inférieure. Elles répandent une odeur caractéristique, due à la solanine. La morphologie des feuilles varie considérablement en fonction de l'espèce.

Les inflorescences sont des grappes plus ou moins ramifiées formant des bouquets.

Suivant le mode de croissance des tiges, de 1 à 4 feuilles, en moyenne, séparent 2 bouquets successifs. Le nombre de fleurs par bouquet diminue au fur et à mesure que l'on s'approche de l'extrémité des tiges. Les fleurs, de couleur jaunâtre, forment habituellement une grappe de 4 à 8 spécimens, mais les types à petits fruits peuvent produire une grappe de 30 à 50 fleurs. Les fleurs sont principalement auto-pollinisées par le vent. L'ovaire comporte deux carpelles soudés à la placentation axile et les placentas sont proéminents. Chez les plantes cultivées, il y a souvent 3 ou 5 loges par suite de la formation de cloisons surnuméraires.

Le fruit de la tomate est une baie, il est situé au dessus du plan d'insertion des pièces florales, il dérive du développement accru de l'ovaire après fusion des parois des carpelles (Gillapsy et al ., 1993). Cette baie peut être de couleur rouge, verte, jaune ou orangée, de forme ronde plus au moins allongée, lisse ou creusée de sillons. La pulpe charnue de la baie est divisée en loges (3-5) qui contiennent des graines d'un tégument gélifié.

4.1.2. Exigences pédo-climatiques

Ayant une origine tropicale, la tomate a des exigences particulières. Elle est sensible au froid, craint beaucoup le gel et les vents chauds et est très exigeante en température. La température est le facteur déterminant dans la production de la tomate. Elle influence la croissance végétative, la formation des grappes florales, la fructification, le développement des fruits, le mûrissement et la qualité des fruits. Les basses températures (<10°C) ralentissent la croissance et le développement des plantes. Il en résulte un raccourcissement des entre-nœuds et la formation d'un feuillage abondant au détriment de la production, en plus d'une ramification des bouquets et des difficultés de nouaison. Par contre, les températures élevées favorisent la croissance de la plante au détriment de l'inflorescence qui

peut avorté (Chibane, 1999). Les températures optimales sont comprises entre 20 et 25°C le jour. Les températures nocturnes optimales sont de l'ordre de 13-17°C.

La culture de la tomate peut supporter une humidité relative qui varie de très faible à très élevée. Une humidité relative de 75% est jugée optimale. La croissance est généralement favorisée par un taux élevé d'humidité relative, et un taux élevé durant le jour peut aussi améliorer la fructification. Elle permet d'avoir des fruits de bons calibres, avec moins de gerçures et sans défaut de coloration. Lorsque ce taux est bas, l'irrigation est absolument nécessaire, par contre lorsqu'il est élevé, des maladies peuvent se manifester, notamment le botrytis et le mildiou.

La tomate est exigeante en énergie lumineuse et un manque peut inhiber l'induction florale. De même, la réduction de la lumière baisse le pourcentage de germination du pollen. Pour la culture des tomates, l'éclairage a plus d'importance durant les journées courtes et sombres de la fin d'automne et de l'hiver.

En général, la tomate n'a pas de besoins particuliers en matière de structure du sol. Néanmoins, elle s'adapte bien dans les sols profonds, meubles, bien aérés et bien drainés. Une texture sablonneuse ou sablo-limoneuse est préférable (Elattir et al., 2003).

La culture de la tomate tolère une large gamme de pH, néanmoins, sur des sols à pH basique, certains micro-éléments (Fe, Mn, Zn, Cu) restent peu disponibles à la plante. La tomate est classée parmi les plantes à tolérance modérée vis à vis de la salinité. Cependant, la baisse de rendement atteint les 10% pour une salinité de l'ordre de 2,5 g/l et de 25 % pour une salinité de l'ordre de 4 g/l, avec une réduction du calibre du fruit (Elattir et al., 2003)..

4.1.3. Importance économique de la tomate

a) Dans le monde

La tomate est une culture importante de l'économie mondiale. Elle représente l'un des légumes les plus consommés car elle fournit des nutriments essentiels dans l'alimentation humaine (RAZDAN et MATTOO, 2006).

La tomate est cultivée dans plusieurs pays et à travers le monde entier. En ce qui concerne la consommation en frais, la production mondiale de tomates s'élevait en 2010 à 620,28 millions de tonnes pour une surface de 4,63 millions d'hectares, soit un rendement moyen de 27,3 tonnes à l'hectare.

Le tableau 04 donne la production en tonne des 10 premiers pays producteurs (FAO STAT, 2012).

Tableau N° 04 : La production mondiale de tomate en 2011.

Pays	Production(T)	Pays	Production(T)
1- Chine	48576853	11-Mexique	2435790
2- Inde	16826000	12-Russie	2200590
3- USA	12624700	13-Ukraine	2111600
4- Turquie	11003400	14-Nigéria	1504670
5- Egypte	8105260	15-Tunisie	1284000
6- Iran	6824300	16-Portugal	1245360
7- Italie	5950220	17-Maroc	1236170
8- Brésil	4416650	18-Grèce	1169900
9- Espagne	3821490	19-Syrie	1154990
10-Ouzbékistan	2585000	20-Iraq	1059540

(FAO STAT, 2012)

b) En Algérie

La tomate occupe une place remarquable dans l'économie agricole algérienne. C'est une culture très répondeue, des milliers d'hectares y sont consacrés chaque année. C'est un légume de base pour la population algérienne. Elle prend le deuxième rang en cultures maraîchères après la pomme de terre. Le tableau suivant montre l'évolution de la superficie, de la production et du rendement de la tomate fraîche en Algérie durant les dix dernières années (MADR, 2013).

Tableau N° 05 : Evolution de la tomate maraichère en Algérie entre 2003 et 2012.

Années	Superficies Ha	Productions Qx	Rendements Qx/Ha
2003	18650	4569330	245.0
2004	19432	5121950	263.6
2005	21089	5137795	243.6
2006	20436	5489336	268.6
2007	20079	5673134	282.5
2008	19655	5592491	284.5
2009	20789	6410343	308.4
2010	21358	7182353	336.3
2011	20575	7716055	375.0
2012	21542	7969630	370.0

(MADR, 2013)

4.2. Le haricot

4.2.1. Origine, taxonomie et généralités botaniques

Le haricot commun, *Phaseolus vulgaris* L., a été domestiqué en Amérique centrale et en Amérique du Sud il y a plus de 9 700 ans. Des graines sèches furent introduites et semées au XVI^e siècle en Europe puis, sa culture s'est rapidement diffusée dans les zones méditerranéennes et subtropicales (Peron, 2006).

L'haricot commun est produit principalement en Amérique latine et en Afrique ; il est répandu surtout dans la zone Amazonienne du Brésil, dans les Cordillères des Andes et en Amérique centrale, tandis qu'en Afrique, il est produit principalement en Afrique centrale et Orientale (Nyabyenda, 2005).

Le haricot *Phaseolus vulgaris* L. est une plante annuelle appartenant à l'ordre des légumineuses et à la famille des légumineuses dont le nombre chromosomique est $2n = 22$ (CHAUX et FOURY, 1994). Le genre *phaseolus* renferme plus de 200 espèces inscrites au catalogue officiel établi par le C.T.P.S et représente de grandes diversités d'adaptation. A l'intérieur de l'espèce, la variabilité génétique est extrêmement importante et se révèle par l'autogamie. Elle caractérise le port des plantes, la forme, les couleurs des fleurs, des graines, des gousses et bien d'autres traits morphologiques ou physiologiques. Les croisements interspécifiques avec les autres espèces sont difficiles à réaliser et n'ont été que peu utilisés en sélection (GALLAIS et BENNROT, 1992). Les travaux de sélection ont donné naissance à un grand nombre de nouveaux cultivars, mieux adaptés aux exigences de la production moderne.

Selon CHAUX et FOURY (1994), la racine d'haricot se forme progressivement après le stade de germination, elle est formée par une racine principale et des racelles de plus en plus fines,. Elle est pivotante et capable d'aller chercher l'eau profondément dans le sol. Les racines présentent des renflements ou nodosités. Elles sont le siège de phénomènes de nodulation par symbiose avec une bactérie du genre *Rhizobium* qui peut fixer l'azote atmosphérique et fournir de l'ammonium (GUIGNARD, 1998).

La tige du haricot est herbacée parfois lignifiée à la base. Généralement elle est angulaire mince, volubile chez les variétés à rames avec une longueur différente d'après la variété : 30 à 50cm pour les variétés naines et jusqu'à 02m (même plus) pour les variétés à rames (KOLEV, 1976).

Les feuilles de *Phaseolus* sont entières, légèrement pubescentes à trois nervures qui partent de la base. Cette plante possède deux types de feuilles. Elle forme sur le deuxième

nœud deux premières feuilles appelées feuilles primaires. C'est à partir du troisième nœud qu'elle développe les feuilles typiques du haricot.

D'après GALLAIS et BENNROT (1992), les deux premières feuilles sont simples et s'attachent face à face sur la tige alors que toutes celles qui suivent sont trifoliolées disposées d'une façon alterne, habituellement ovales. Elles mesurent entre 7,5 et 14 cm de long sur 5,5 à 10 cm de large. Les folioles latérales sont asymétriques, la centrale est symétrique.

Les fleurs sont autogames de types cinq (10 étamines dont 9 soudées et une libre). A l'aisselle des feuilles apparaissent les fleurs groupées en inflorescences de 4 à 10 fleurs (KOLEV, 1976). Selon PERON (2006), la floraison est terminale que ce soit sur la tige ou sur les rameaux, la fleur de couleur blanche ou violette produit des gousses allongés, plates ou plus ou moins arrondis, leurs couleurs varient selon les cultivars, du vert pâle ou du jaune au vert foncé. Elles sont parfois tachées de couleurs diverses à maturité et peuvent être renforcées par des fibres ligneuses formant un parchemin sur les côtés. La longueur des gousses varie en fonction de la variété et en fonction du nombre et de l'espacement entre les graines. Chaque gousse renferme deux à douze graines.

4.2.2. Exigences pédo-climatiques

C'est une plante de climat chaud, nécessitant donc des températures assez élevées. Sa germination n'est normale qu'au dessus de 14 à 15°C, le haricot est une plante très sensible à l'influence de la température. Cette sensibilité varie selon les variétés. Les haricots à rames demandent une température un peu élevée que les haricots nains. La température optimale pour sa germination et sa croissance est entre 22 et 25°C, le zéro de végétation est de 10°C et les fortes chaleurs sont néfastes à la germination, la floraison et la fécondation des fleurs et par conséquent la formation des gousses de qualité (Peron., 2006).

Le haricot est une espèce hygrophile, l'apport d'eau est à peu près le même pendant une bonne partie de cycle végétatif. L'excès comme le manque d'humidité sont préjudiciables pendant la floraison et la fructification. Le haricot exige beaucoup d'eau or l'insuffisance de l'humidité au cours de cette phase de développement diminue considérablement le rendement, alors qu'un excès de celui-ci (au dessus de 80 %) allonge la période de fructification et favorise l'attaque par l'anthracnose (Bezapaly, 1984).

Le haricot est une plante exigeante en lumière surtout pendant les premières étapes de son développement, la quantité des gousses et l'augmentation des rendements sont favorisées par une bonne luminosité. Une déficience de lumière au moment de la floraison,

entraîne l'avortement des fleurs (Peron, 2006). Une intensité lumineuse de 2400 lux serait suffisante pour la croissance et la fructification (Indrea et al, 1988).

Le haricot préfère un sol léger, meuble et riche en éléments fertilisants et ne contient pas des résidus. Les meilleurs rendements sont obtenus dans des sols dont le pH oscille entre 5,8 et 6 (Schvartz et al, 2005). Le haricot est considéré parmi les espèces sensibles à la salinité, et ne tolère qu'une faible concentration saline dont l'intervalle se situe entre 1,5 et 2 g/l. La salinité réduit la croissance des plantes de *Phaseolus vulgaris* de 25 % et peut entraîner des baisses de rendements appréciables (Khadri et al., 2006).

4.2.3. Importance économique du haricot

a) Dans le monde

Le haricot *Phaseolus vulgaris* est une source de protéines diététiques dans beaucoup de pays en développement (Durante et Gius, 1997 in Bayuelo-Jiménez et al. 2002). Quant au secteur de culture, le haricot représente la troisième plus importante récolte des Légumineuse dans le monde. (Aydin et al. 1997).

Tableau N° 06 : Principaux pays producteurs des haricots verts en 2011

Pays	Production (tonnes)	Pays	Production (tonnes)
Etats-Unis d'Amérique	861190	Turquie	78871
France	340376	Iraq	77693
Maroc	157232	Pologne	68580
Philippines	116302	Argentine	46540
Mexique	110623	Japon	45375

(F.A.O STAT, 2012)

b) En Algérie

Le haricot est une plante cultivée dans tout le territoire Algérien. Le haricot est placé en 13^{ème} position des cultures maraîchères, soit 2.16% de la production totale produite. Parmi les légumes, le haricot occupe la 3^{ème} position avec une surface de 14.57% et ce par rapport à la superficie totale réservée au maraîchage (MADR ,2002),.

Le tableau suivant nous donne l'évolution de la superficie et de la production au cours de ces dernières années.

Tableau N° 07 : Production du haricot en Algérie.

	Haricot vert			Haricot sec		
	Superficie (ha)	Production (Qx)	Rendement (Qx/ha)	Superficie (ha)	Production (Qx)	Rendement (Qx/ha)
2002	6400	297500	46.5	1190	8640	7.3
2003	6730	406810	60.4	1560	10960	7.0
2004	7534	411000	54.6	1992	15810	7.9
2005	6928	332650	48.0	1206	6660	5.5
2006	7766	355076	45.7	1496	9145	6.1
2007	8532	413220	48.4	1394	9170	6.6
2008	8622	401208	46.5	1040	5441	5.02
2009	8918	450964	50.6	1616	11588	7.2
2010	9599	534874	55.7	1214	8449	7.0
2011	9197	545812	59.3	1218	9525	7.8
2012	10707	607867	56.8	1573	10240	6.5

(MADR, 2013)

Chapitre cinquième:
Matériels et méthodes

Chapitre cinquième: Matériels et méthodes

5.1. Objectif d'expérimentation

Le but de ce travail est de comparer l'influence de trois eaux salines naturelles puis corrigées sur la croissance et le développement de deux espèces la tomate et le haricot variété " saint pierre et Djadida" respectivement.

Le travail consiste à analyser l'eau saline de l'oued Cheliff et de la reconstituer avec l'eau de Blida compte tenu d'une part l'impossibilité de l'approvisionnement de cette eau durant toute notre expérimentation, et des besoins élevés en eau des plantes en cours de culture de l'autre part. Cette reconstitution naturelle est réalisée dans un premier temps avec un choix de sels appropriés afin qu'un total anions et cations soit le plus proche possible de l'analyse initiale.

Le seconde volet du travail consiste à élaborer des milieux nutritifs où les éléments sodium et magnésium soit lie tantôt aux sulfates, tantôt aux chlorure et ce dans le but d'identifier l'éventuel combinaison de sels qui manifeste l'agressivité la plus accrue vis-à-vis des deux espèces testées.

Divers paramètres morphologiques et physiologiques sont mesurés en cours de culture.

5.2. Matériel végétal

La tomate et le haricot sont parmi les produits légumiers les plus demandés sur le marché agricole algérien. Ces plantes présentent une sensibilité moyenne à élevée respectivement à la salinité.

Les espèces utilisées durant notre expérimentation sont :

a) La tomate (*Lycopersicum esculuntum*), variété Saint-pierre dont les semences proviennent de l'institut technique des cultures maraichères et industriels (ITCMI) de Staouali. Cette variété présente les caractéristiques suivantes:

- Fixée demi précoce et productive;
- Les fruits sont de forme cylindrique, à couleur rougeâtres;
- Moyennement tolérante à la salinité;
- Bonne aptitude à la fructification.

b) Le haricot (*Phaseolus vulgaris*) est une espèce qui se développe rapidement, mais qui est sensible à la salinité. Sa tolérance aux sels est faible. Elle est de l'ordre de 0.5 à 2g/l. la variété testée est Djadida.

C'est une variété très cultivée en Algérie qui possèdent les caractéristiques suivantes :

- type mangetout, variété naine ;
- Bonne vigueur ;
- Feuilles longues de couleur verte claire à Fleurs blanches ;
- Gousses de longueurs moyennes (16 cm), et de diamètre de (10 mm) à couleur verte foncée sans fil ;
- La graine est de couleur marron noirâtre;
- Résistance : BCMV, mildiou poudreux

5.3. Lieu de l'expérience

L'expérimentation a été réalisée à la station expérimentale du département d'agronomie de Blida, dans une serre en polycarbonate dont l'orientation est nord sud. L'aération est assurée par plusieurs fenêtres placées latéralement de part et d'autres de la serre. Des radiateurs sont installés au niveau de la serre pour assurer le chauffage pendant les périodes froides.

Le tableau 08 indique les moyennes des températures par semaine enregistrées au niveau de la serre, durant trois moments de la journée ,09^h ,12^h , et 16^h

Tableau 08 : Moyennes des températures par semaine enregistrées sous serre en (C°):

périodes	Températures			périodes	Températures		
	09 ^h	12 ^h	16 ^h		09 ^h	12 ^h	16 ^h
30-11-10 au 09-12-10	15.5	25	22.3	08-02-11 au 17-02-11	13.2	23.8	23.35
10-12-10 au 19-12-10	11.9	20.3	20.1	18-02-11 au 27-02-11	12	21.9	23.3
20-12-10 au 29-12-10	12.4	21.8	20.9	28-02-11 au 09-03-11	13.2	26.7	25.9
30-12-10 au 08-01-11	13.2	24.4	23	10-03-11 au 19-03-11	14.4	25.4	25.85
09-01-11 au 18-01-11	16.8	25	23.75	20-03-11 au 29-03-11	15.5	30	28.5
19-01-11 au 28-01-11	12.4	20.3	19.25	30-03-11 au 08-04-11	19.3	32.6	30.1
29-01-11 au 07-02-11	13.3	20.4	21.4	09-04-11 au 18-04-11	19.1	28.7	29.4

Durant notre expérimentation, nous pouvons dire que les températures pendant le cycle végétatif répondaient aux besoins des plantes, mis à part durant les périodes froides où on a enregistré quelques chutes de température qui n'ont causé aucun dégât physiologique sur les plantes.

5.4. Essai de germination et repiquage

La germination a été réalisée dans des boîtes de pétri contenant du papier filtre imbibé d'eau et déposées dans une étuve réglée à 25°C pendant deux jours pour le haricot et une semaine pour la tomate. L'eau distillée est ajoutée en cas de dessèchement du papier filtre.

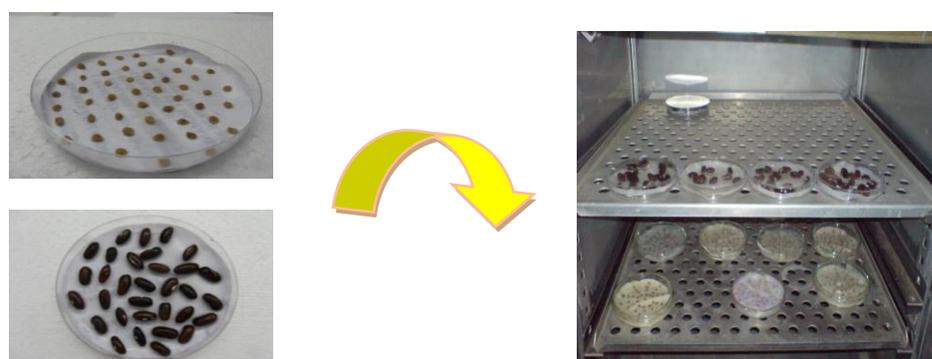


Figure 07 : Essai de germination des graines de tomate et du haricot.

Après la germination des grains, un repiquage des jeunes germes en place définitive a été réalisé le **12/12/2010** pour le haricot et le **29/12/2010** pour la tomate à raison de deux germes par pot.

Les jeunes plantules sont irriguées jusqu'à l'apparition des deux feuilles cotylédonaire avec l'eau courant tiède pour favoriser la reprise des jeunes plantules jusqu'à la date du **22/12/2010** pour le haricot et **08/01/2011** pour la tomate. Après ce stade, les jeunes plantules sont irriguées par une solution nutritive standard (T4) composée des macros et des micros éléments et ce dans le but d'avoir un matériel végétal vigoureux et homogène de départ.

A la date du **07/01/2011** soit **26** jours après le repiquage, nous avons procédé à l'application des différents traitements pour le haricot, ainsi pour la tomate le **25/01/2011** soit **27** jours après repiquage où les plantes semblaient être homogènes.



Figure 08 : Aspect général des plantules de tomate et du haricot au début des traitements

5.5. Substrat et conteneurs

Le substrat utilisé dans notre expérimentation est du gravier roulé d'oued 3 à 8 mm de diamètre. Il provient de la carrière de Chebli situé à 25 Km d'Alger.

Afin d'écartier tous les risques de contamination, une procédure de désinfection du substrat a été effectuée comme suite :

- Lavage à l'eau afin de supprimer les particules terreuses et les débris végétaux
- Remplissage des pots avec le gravier lavé.
- Désinfection du gravier avec une solution Hypochlorite de sodium diluée de concentration initiale 12°, durant 24h.
- Rinçage abondant de tous les pots à l'eau courante pour éliminer toutes les traces de l'eau de javel fortement nocives pour les jeunes plantes.

Les conteneurs utilisés dans notre expérimentation sont des pots en plastique, de couleur marron ayant une capacité de 5 litres pour la tomate. Les pots utilisés pour le haricot sont de couleur noire ayant une capacité de 3 litres. Tous les pots présentent des orifices de drainage à leur base permettant l'évacuation de la solution nutritive excédentaire.

5.6. Dispositif expérimental

Notre expérimentation a été menée selon un dispositif expérimental aléatoire en randomisation totale à un facteur. Il est composé de sept (7) traitements qui ont été distribués selon la table de permutation des nombres aléatoires de 1 à 10. Chaque traitement est composé de huit (08) observations, Soit 168 plants au total par espèces.

La méthode destructive a été adoptée afin d'évaluer les paramètres physiologiques selon les différents stades de développement des deux espèces étudiées.

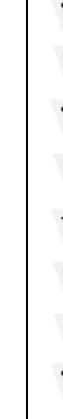
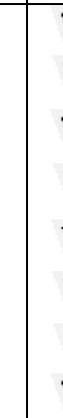
Tomate Haricot	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
Coupe 1							
Coupe 2							
Coupe 3							

Figure 09: Schéma du dispositif expérimental adopté chez la tomate et le haricot.

- **T1, T1C, T2, T2C, T3, T3C, T4:** Traitements utilisés.
- **Tomate, haricot:** Espèces testées.
- **Coupe 1, coupe 2, coupe 3:** Périodes de mesure des paramètres avec destruction des plants pour les différentes analyses.
- **P1, P2, P3, P4, P5, P6, P7, P8:** Observation par coupe et par traitement.

5.7. Analyse statistique

Les données obtenues sont soumises à une analyse de la variance à un facteur étudié (solution d'irrigation). Les moyennes sont comparées selon la méthode de Newman et Keuls qui est basée sur la plus petite valeur significative, réalisée par le logiciel STAT ITCF version 13.31. On considère que les résultats sont significatifs quand $P \leq 0.05$.

5.8. Description des différents traitements

Les différents traitements ayant constitué notre dispositif expérimental sont :

T1 : Solution saline naturelle d'oued Chélif reconstituée avec l'eau de Blida dont le sodium (Na^+) est lié aux sulfates (SO_4^{-2}) et le magnésium (Mg^{+2}) aux chlorures (Cl^-) ;

T1C : Solution saline **T1** d'oued Chélif corrigée

T2 : Solution saline naturelle d'oued Chélif reconstituée avec l'eau de Blida dont le sodium (Na^+) est lié aux chlorures (Cl^-) et le magnésium (Mg^{+2}) est lié aux sulfates (SO_4^{-2}) ;

T2C : Solution saline **T2** d'oued Chélif corrigée ;

T3 : Solution saline naturelle d'oued Chélif reconstituée avec l'eau de Blida dont le sodium (Na^+) et le magnésium (Mg^{+2}) sont combinés aux chlorures (Cl^-) et aux sulfates (SO_4^{-2}) ;

T3C : Solution saline **T3** d'oued Chélif corrigée ;

T4 : Solution nutritive standard (témoin) composée de macro et de micro éléments à pH = 5.8

5.8.1. Caractéristiques de l'eau utilisée pour la synthèse des différents traitements

Nous avons préparé toutes les solutions nutritives avec l'eau potable de Blida, pour des raisons d'indisponibilité ou l'eau saline naturelle de l'oued Chélif et compte tenu des besoins en eau importants des plantes en cours de cycle de développement.

Tableau N° 09 : Teneur des différents éléments minéraux contenus dans l'eau de Blida (mg/l) et (meq/l) :

Element	Teneur en mg/l	Teneur en meq /l
K ⁺	00.00	00.00
Ca ⁺⁺	56.00	2.80
Na ⁺	29.90	1.30
Mg ⁺⁺	21.60	1.80
NO ₃ ⁻	21.70	0.35
SO ₄ ⁻⁻	38.40	0.80
CL ⁻	21.30	0.60
HCO ₃ ⁻	245.00	4.08
Total	433.90	11.73

L'analyse de l'eau de Blida présentée dans le tableau ci-dessus révèle une quantité assez élevée en ions bicarbonates (4.08 méq /l) ; ce qui rend le milieu plus basique (pH = 7.8), nécessitant une correction de pH favorable pour les espèces testées.

La correction de l'eau consiste donc à utiliser des acides pour détruire partiellement les bicarbonates et ramener le pH au voisinage de 5.5 à 5.8 jugé le plus favorable pour le développement et la croissance des plantes testées.

Deux types d'acides ont été utilisés à savoir, l'acide nitrique (HNO₃) et l'acide phosphorique (H₃PO₄). Ces deux acides permettent d'une part l'abaissement du pH et l'apport des éléments utiles tels que les nitrates et les phosphates.

La quantité d'acide à apporter est calculée selon la formule suivante:

Q (meq/l) = (quantité d'HCO₃ dans l'eau en méq/l) x 0.833

Q = 4.08 x 0.833 = 3.39 méq / l d'eau

Cette quantité d'acide sera partagée entre:

- **H₃PO₄ = 1.1 méq / l** (correspondant aux besoins des végétaux qui sont de 3.3 méq / l de phosphore) compte tenu que H₃PO₄ est trivalent.
- **HNO₃ = 3.3 – 1.1 = 2.2 méq / l** (besoin partiel en nitrates).

5.8.2. Composition et techniques de préparation des différents traitements

Il est rappelé que, sept solutions nutritives ont été utilisées.

5.8.2.1. Composition de la solution nutritive standard T4 (témoin) à base d'eau de Blida

Pour ce type de solution nutritive, l'eau renferme des teneurs insuffisantes en certains éléments utiles (KNO_3). Parfois des éléments tels que le sodium, le calcium et les sulfates peuvent se trouver à des concentrations supérieures aux besoins des plantes.

D'une façon générale, pour une eau peu chargée en sels, on peut rajouter des éléments pour corriger les déficits et équilibrer la balance ionique.

La formule de solution nutritive peu chargée en sels correspond à la solution nutritive de base synthétisée avec l'eau de Blida selon les normes définies par (COIC et LESAIN, 1975).

Les différentes étapes adoptées pour la réalisation de cette solution sont les suivantes:

a) Sur les tableaux 10 et 11 suivants, on reporte les anions et les cations selon les quantités contenues dans l'eau exprimées en méq / l.

b) L'apport d'azote est fixé à 12 méq / l

{	10.2 méq/l NO_3^- représentant 85%
	1.8méq/l NH_4^+ représentant 15%

c) L'apport de chlore et de sodium étant au-delà des besoins normaux des plantes (0.2 meq/l) aucun apport complémentaire n'est nécessaire.

d) L'apport du phosphore est fixé à 3.3 méq / l de H_3PO_4 . En comptant de façon théorique, le phosphore présent sous la forme trivalent PO_4^{3-} , 1.1 méq / l de H_3PO_4 satisferont les besoins en phosphore.

La quantité d'acide nécessaire pour ajuster le pH de l'eau à 5,8 est de 3,3 méq/l ceci permet de satisfaire la totalité des besoins en phosphore en apportant 1,1 méq/l de H_3PO_4 , et un apport partiel de 2.2méq/l de NO_3^- .

e) A ce niveau, on fait le bilan des anions restant à introduire dans la solution nutritive:

Nitrates:

- besoins: 10,2 méq / l.

- déjà disponibles: 0,35 méq / l (eau) + 2,20 méq / l (correction de pH) = 2,55 méq / l.

- à apporter: $10,2 - 2,55 = 7,65$ méq / l.

- déjà disponibles: 0,8 méq / l.

- à apporter: $1,5 - 0,8 = 0,7$ méq / l.

f) L'apport d'ammonium ($1,8$ méq / l de NH_4^+) est assuré par l'emploi de $\text{NH}_4 \text{NO}_3$ qui assurera en même temps l'apport de $1,8$ méq / l de NO_3^- . Les anions disponibles pour apporter un complément de K, Ca et Mg sont les suivants:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Nitrates: } (7,65 - 1,8) \text{ NO}_3\text{NH}_4 = 5,85 \text{ méq / l} \\ \text{Sulfates} = 0,7 \text{ méq / l} \end{array} \right\} \text{Total} = 6,55 \text{ méq / l}$$

g) Somme totale des cations K, Ca et Mg dans la solution nutritive finale = (k + Ca + Mg) déjà présents dans l'eau + (K + Ca + Mg) apportés sous forme de nitrates et de sulfates.

$$\text{Total} = (0 + 2,8 + 1,8) + 6,55 = 11,15 \text{ méq / l.}$$

Selon les normes définies par COIC et LESAINTE, (1983), les proportions relatives de ces 3 éléments doivent être proches des valeurs suivantes:

$$\text{K : } 39,6\% \quad \text{Ca : } 47,6\% \quad \text{Mg : } 12,8\%$$

Ce qui donne dans le cas présent:

$$4,41 \text{ méq / l (k)} + 5,31 \text{ méq / l (Ca)} + 1,43 \text{ méq / l (Mg)} = 11,15 \text{ méq / l.}$$

Apport à réaliser, sous déduction de ce qui est déjà présent dans l'eau.

$$\text{K (4,41 méq / l), Ca (2,51 méq / l), Mg (0 méq / l).}$$

L'apport de Mg n'étant pas nécessaire compte tenu que : la teneur de l'eau est supérieur à l'apport souhaitable. Les $11,15 \text{ méq / l} - 1,8 \text{ méq / l (Mg)} = 9,35 \text{ méq / l}$ d'anions sont donc à partager entre K et Ca uniquement et en respectant les proportions $\text{K} + \text{Ca} = 87,2\%$ soit:

$$\text{K} = 9,35 \times \frac{39,6}{39,6 + 47,6} = 4,25 \text{ méq / l}$$

$$\text{Ca} = 9,35 \times \frac{47,6}{39,6 + 47,6} = 5,10 \text{ méq / l}$$

Tous les résultats sont reportés dans les tableaux suivants:

Tableau N° 10: Composition de l'eau de Blida pH =7,8

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
	0.35	0	0.80	0.60	
K ⁺ 0					0
Na ⁺ 1.3					1.30
Ca ⁺⁺ 2.8					2.80
Mg ⁺⁺ 1.8					1.80
NH ₄ ⁺ 0					0
HCO ₃ ⁻ 4.08					4.08
Total	0.35	0	0.80	0.60	

Tableau N° 11: Eau de Blida corrigée (T4) (traitement témoin) pH = 5,8

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ⁻	Cl ⁻	Total
	0.35	0	0.80	0.60	
K ⁺ 0	3,55		0,70		4,25
Na ⁺ 1.3					1,30
Ca ⁺⁺ 2.8	2,30				5,10
Mg ⁺⁺ 1.8					1.80
NH ₄ ⁺ 0	1,80				1,80
H ⁺	2,20	1,10			3,30
Total	10,20	3,30	1,50	0.60	

Les différents traitements sont élaborés à base de solutions mères de macroéléments puis diluées au moment de la préparation de la solution prête à l'utilisation. Un certain ordre de dissolution est respecté afin d'éviter toute précipitation et ceci en commençant par les produits à fonction acide et les plus solubles, ensuite on rajoute au fur et à mesure les autres produits. En dernier lieu, nous avons rajouté une solution d'oligoéléments composée des deux solutions complémentaires d'oligoéléments préconisées par Coic et Lesaint, (1975). Le contrôle de pH et de la conductivité électrique est obligatoire avant chaque utilisation.

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement T4 (témoin)

- HNO₃⁻ = 2.20 × 63 = 138,6 mg/l
 - H₃PO₄ = 1.10 × 98 = 107.8 mg/l
 - Ca (NO₃) = 2.30 × 118 = 271.4 mg/l
 - KNO₃ = 3.55 × 101.10 = 358.90 mg/l
 - NH₄NO₃ = 1.80 × 80.04 = 144.07 mg/l
 - K₂SO₄ = 0.7 × 87 = 60.9 mg/l
 - Concentration de l'eau de Blida = 433.9 mg/l
 - Concentration en oligo-éléments = 14.8 mg/l
- } Total = 1530.37 mg/l

La solution saline d'oued Chélif corrigée reconstituée avec l'eau de Blida renferme aussi la solution complémentaire d'oligo-éléments A et B représentées dans le tableau 12.

Les oligo-éléments sont dissous en dernier lieu et séparément sous forme de (solution A et solution B). Ces dernières ont été préconisées par Coic et Lessaint (1975).

Nous prélevons de la solution A (0.1 ml/l) et de la solution B (5ml/l) de solution prête à l'utilisation

Tableau N°12: Composition des solutions complémentaires d'oligo-éléments A et B

Solution « A »		Solution « B »	
Eléments	Dose g/l	Elément	Dose g/l
Molybdate d'ammonium (NH ₄) ₆ (MO ₇ O ₂₄) 4H ₂ O	0,50	Séquestrène de fer	2.00
Acide borique (H ₃ BO ₃)	15,00		
Sulfate de manganèse (MnSO ₄ , 5H ₂ O)	20,00		
Sulfate de cuivre (CuSO ₄ , 5H ₂ O)	2,50		
Sulfate de zinc (ZnSO ₄ , 7H ₂ O)	10.00		

5.8.2.2. Composition du traitement (T1) à base d'eau de Blida

Tableau N°13 : Eau d'Oued Chélif naturelle, reconstituée avec l'eau de Blida (T1) dont le sodium est lié aux sulfates et le magnésium est lié aux chlorures (pH = 7.34) :

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
0,35	0,00	0,80	0,60		
K ⁺ 0,00					0,00
Na ⁺ 01,30		8,60			09,90
Ca ⁺⁺ 02,80			6,45		09,25
Mg ⁺⁺ 01,80			7,40		09,20
NH ₄ ⁺ 0					0
H ⁺ 00					0
Total	0,35	0,00	09,40	14,45	

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement T1 :

- Na₂SO₄ = 8.60 × 71.02 = 610.77 mg/l
 - CaCl₂ = 6.45 × 73.51 = 463.05 mg/l
 - Mgcl₂ = 7.40 × 101.65 = 752.21mg/l
 - Concentration de l'eau de Blida = 433.9 mg/l
- } Total = 2259.93 mg/l

On remarque à travers cette composition qu'il y a trop de Na⁺, Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, SO₄⁻ et de Cl⁻, par contre on enregistre un manque de K⁺, NH₄⁺, NO₃⁻ et PO₄³⁻.

L'eau saline naturelle de l'oued Chélif n'étant pas disponible en volume suffisant pour être expérimentée à Blida. Il a fallu la reconstituée à partir de l'eau de Blida. De façon pratique, cette reconstitution ne peut être à l'identique si l'on veut respecter un pH final de 7.34. Par conversion, on se base donc à respecter les concentrations en cations et anions et à admettre une légère variation de la concentration en chlorures et sulfates.

La reconstitution a été réalisée comme suit:

- En prenant en compte les éléments minéraux déjà présents dans l'eau de Blida (anions et cations).
- En apportant les éléments manquants afin d'avoir un total anion et cation le plus proche possible de l'analyse initiale.

La correction de cette eau saline naturelle (T1) constitue le deuxième traitement (T1C) utilisé dans notre essai

5.8.2.3. Composition du traitement (T1C) à base d'eau de Blida

Tableau N°14 : Eau d'Oued Chélif corrigé (T1C) dont le sodium est lié aux sulfates et le magnésium est lié aux chlorures (pH = 5.78) :

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
K ⁺ 0,00	4.35				4.35
Na ⁺ 01,30			8,60		09,90
Ca ⁺⁺ 02,80	1.50			4.95	09,25
Mg ⁺⁺ 01,80				7,40	09,20
NH ₄ ⁺ 0	1.80				1.80
H ⁺ 00	2.20	1.10			3.30
Total	10.20	3.30	09,40	12.95	

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement (T1C)

- $\text{KNO}_3 = 4.35 \times 101.10 = 439.78 \text{ mg/l}$
 - $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 8.60 \times 71.02 = 610.77 \text{ mg/l}$
 - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = 1.50 \times 118.07 = 177.10 \text{ mg/l}$
 - $\text{CaCl}_2 = 4.95 \times 73.51 = 363.87 \text{ mg/l}$
 - $\text{MgCl}_2 = 7.40 \times 101.65 = 752.21 \text{ mg/l}$
 - $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.80 \times 80.04 = 144.07 \text{ mg/l}$
 - Concentration de l'eau de Blida = 433.9 mg/l
 - Concentration en oligo-éléments = 14.8 mg/l
- Total = 2936.50 mg/l

5.8.2.4. Composition du traitement (T2) à base d'eau de Blida

Tableau N°15: Eau d'Oued Chélif reconstituée avec l'eau Blida (T2) dont le sodium est lié aux chlorures et le magnésium aux sulfates (pH =7,40):

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
0	0.35	0	0.80	0.60	
K ⁺					0
1.3				8.60	9.90
Ca ⁺⁺				6.45	9.25
2.8					
Mg ⁺⁺			7.40		9.20
1.8					
NH ₄ ⁺					0
0					
H ⁺					0
00					
Total	0.35	0	8.20	15.65	

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement T2 :

- NaCl = 8.60 × 58.44 = 502.58 mg/l
 - CaCl₂ = 6.45 × 73.51 = 474.14 mg /l
 - MgSO₄ = 7.40 × 123.24 = 911.97 mg /l
 - Concentration de l'eau de Blida = 433.9 mg/l
- } Total = 2322.59 mg/l

5.8.2.5. Composition du traitement (T2C) à base d'eau de Blida

Tableau N°16: Eau d'Oued Chélif corrigé (T2C) dont le sodium est lié aux chlorures et le magnésium est lié aux sulfates (pH =5.80):

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
0	0.35	0	0.80	0.60	
K ⁺	4.35				4.35
0					
Na ⁺				8.60	9.90
1.3					
Ca ⁺⁺	1.50			4.95	9.25
2.8					
Mg ⁺⁺			7.40		9.20
1.8					
NH ₄ ⁺	1.80				1.80
0					
H ⁺	2.20	1.10			3.30
00					
Total	10.20	3.30	8.20	14.15	

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement T2C :

- $\text{KNO}_3 = 4.35 \times 101.10 = 439.78 \text{ mg/l}$
 - $\text{NaCl} = 8.60 \times 58.44 = 502.58 \text{ mg/l}$
 - $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 = 1.50 \times 118.07 = 177.10 \text{ mg/l}$
 - $\text{CaCl}_2 = 4.95 \times 73.51 = 363.87 \text{ mg/l}$
 - $\text{MgSO}_4 = 7.40 \times 123.24 = 911.97 \text{ mg/l}$
 - $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.80 \times 80.04 = 144.07 \text{ mg/l}$
 - Concentration de l'eau de Blida = 433.9 mg/l
 - Concentration en oligo-éléments = 14.8 mg/l
- Total = 2988.27 mg/l

5.8.2.6. Composition du traitement (T3) à base d'eau de Blida

Tableau N°17: Eau d'Oued Chélif reconstituée avec l'eau Blida (T3) dont le sodium et le magnésium sont combinés aux chlorures et aux sulfates (pH =7,37) :

Eau de Blida	NO_3^-	PO_4^{3-}	SO_4^{2-}	Cl^-	Total
	0.35	0	0.80	0.60	
K^+ 0					0
Na^+ 1.3			4,30	4,30	09,90
Ca^{++} 2.8				6,45	09,25
Mg^{++} 1.8			4,30	3,10	09,20
NH_4^+ 0					0
H^+ 00					0
Total	0.35	0,00	09,40	14,45	

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement T3 :

- $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 4.30 \times 71.02 = 305.38 \text{ mg/l}$
 - $\text{NaCl} = 4.30 \times 58.44 = 251.29 \text{ mg/l}$
 - $\text{CaCl}_2 = 6.45 \times 73.51 = 474.14 \text{ mg/l}$
 - $\text{MgSO}_4 = 4.30 \times 123.24 = 529.93 \text{ mg/l}$
 - $\text{MgCl}_2 = 3.10 \times 101.65 = 315.11 \text{ mg/l}$
 - Concentration de l'eau de Blida = 433.9 mg/l
- Total = 2309.75 mg/l

5.8.2.7. Composition du traitement (T3C) à base d'eau de Blida

Tableau N°18 : Eau d'Oued Chélif corrigée reconstituée avec l'eau Blida (T3C) dont le sodium et le magnésium sont combinés aux chlorures et aux sulfates (pH =5,87) :

Eau de Blida	NO ₃ ⁻	PO ₄ ³⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Total
K ⁺ 0	5.85	0	0.80	0.60	5.85
Na ⁺ 1.3			4,30	4,30	09,90
Ca ⁺⁺ 2.8				6.45	09,25
Mg ⁺⁺ 1.8			4,30	3,10	09,20
NH ₄ ⁺ 0	1.80				0
H ⁺ 00	2.20	1.10			3.3
Total	10.20	3.30	09,40	14,45	

Quantités et ordre de dissolution des sels du traitement T3C :

- $\text{KNO}_3 = 5.85 \times 101.10 = 591.43 \text{ mg/l}$
 - $\text{Na}_2\text{SO}_4 = 4.30 \times 71.02 = 305.38 \text{ mg/l}$
 - $\text{NaCl} = 4.30 \times 58.44 = 251.29 \text{ mg/l}$
 - $\text{CaCl}_2 = 6.45 \times 73.51 = 474.14 \text{ mg/l}$
 - $\text{MgSO}_4 = 4.30 \times 123.24 = 529.93 \text{ mg/l}$
 - $\text{MgCl}_2 = 3.10 \times 101.65 = 315.11 \text{ mg/l}$
 - $\text{NH}_4\text{NO}_3 = 1.80 \times 80.04 = 144.07 \text{ mg/l}$
 - Concentration de l'eau de Blida = 433.9 mg/l
 - Concentration en oligo-éléments = 14.8 mg/l
- } Total = 3060.05 mg/l

5.9. Entretien des cultures

5.9.1. Irrigation et estimation des besoins hydrominéreaux journaliers des plantes

Il est important de noter qu'en hors-sol, il est important de connaître les besoins hydrominéreaux journaliers des cultures afin de pouvoir rationaliser ceci, selon les stades de développement du végétal et ce pour éviter les éventuels excès de solution nutritive administrée.

Pour calculer quotidiennement le volume de solution nutritive à donner pour chaque plant, nous avons installé un dispositif appelé bloc E.T.M (évapotranspiration maximale) (figure 10) au voisinage des cultures, mis au point par Snoussi (1984).

Le procédé consiste à alimenter les plantes du bloc E.T.M quotidiennement avec un volume de solution nutritive connue et ce au goutte à goutte.

Le bilan hydrominéral journalier est obtenu en faisant la différence entre l'apport initial et celle du drainage après 24 heures.

Les besoins journaliers des plants expérimentés sont calculés en fonction de l'évapotranspiration réelle maximale de la veille, majoré d'un drainage de 30%. Les doses et les fréquences des arrosages varient suivant les différents stades physiologiques de la plantes et les conditions microclimatiques ambiantes. Plus la température est élevée et plus les besoins en eau des plantes sont élevés.

De ce fait, il nous a paru intéressant de réduire les doses d'apport et d'en augmenter les fréquences afin de mieux valoriser la solution mise à la disposition de la plante (Snoussi 2001).

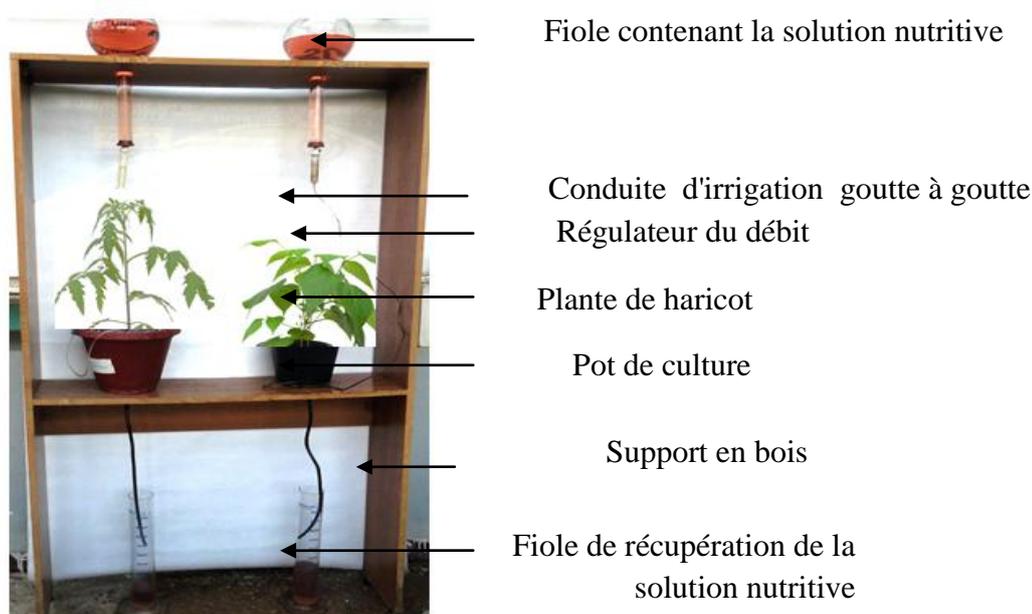


Figure 10: Bloc E.T.M

Tableau N°19: Doses et fréquence des irrigations

Date		Stades physiologiques		La dose d'irrigation		La fréquence	
Haricot	Tomate	Haricot	Tomate	Haricot	Tomate	Haricot	Tomate
12.12.2010 au 02.01.2011	29.12.2010 au 20.01.2011	Germination au stade trois feuilles	Germination au stade cinq feuilles	20	20	3fois / jours	3fois / jours
03.01.2011 au 01.02.2011	21.01.2011 au 15.02.2011	Stade trois feuilles au début floraison	Stade cinq feuilles au début floraison	40	50	3fois / jours	3fois / jours
02.02.2011 Au 26.02.2011	16.02.2011 au 10.03.2011	Début floraison à la formation des gousses	Début floraison au début nouaison	40	60	3fois / jours	3fois / jours
27.02.2011 au 07.03.2011	11.03.2011 au 15.04.2011	Formation des gousses à la récolte	Début nouaison à la pleine fructification	60	80	4fois / jours	4fois / jours
-	16.04.2011 au 11.05.2011	-	Stade maturation des fruits		125	-	5fois / jours

5.9.2. Les traitements phytosanitaires :

Au cours de l'expérimentation, nous avons effectué des traitements préventifs toutes les semaines pour écarter toute attaque cryptogamique ou d'insectes nuisibles, en alternant les deux produits présentés dans le tableau N° 20.

Tableau N°20: Traitements phytosanitaires réalisés:

Produit	Matière active	Désignation	Dose	fréquence
Duresban	Chorpyriphos- éthyle (50g/kg)	Traitement préventif contre les insectes	3 g / l	Une fois par semaine en alternance
Medomyl	Mancozeb 64% Metaloxyl 8%	Traitement préventif contre les maladies cryptogamiques	3 g / l	Une fois par semaine en alternance

5.9.3. Palissage:

Vu que la variété de tomate utilisée dans notre expérimentation est une variété à croissance indéterminée donc, à un moment donné on a remarqué que les plantes avaient tendance à se recourber ce qui nous a permis de placer des tuteurs à la ficelle, permettant de maintenir les plantes dressées.

5.9.4. Ébourgeonnage

Les bourgeons axillaires à l'aisselle des feuilles sont supprimés au fur et à mesure de leur apparition et ce afin de mener la plante à un seul bras

5.9.5. Étêtage

Cette opération permet de limiter le nombre de bouquet floraux désiré, en coupant l'apex de la tige. Dans notre expérimentation la taille a été pratiquée au dessus des deux feuilles au dessus du deuxième bouquet floral.

5.10. Paramètres étudiés

Les paramètres biométriques et physiologiques testés ont été mesurés selon la méthode destructive selon trois périodes différentes présentées dans le tableau ci-dessous :

Tableau N° 21: Les périodes de coupes effectuées

Espèce		Date de coupe	Nombre de jours de stress	Stade physiologique correspondant
Haricot	Coupe 01	20.01.2011	13	Stade végétatif
	Coupe 02	02.02.2011	26	Stade début floraison
	Coupe 03	08.03.2011	60	Stade finale
Tomate	Coupe 01	07.02.2011	13	Stade végétatif
	Coupe 02	20.02.2011	26	Stade début floraison
	Coupe 03	31.05.2011	126	Stade finale

5.10.1. Paramètres physiologiques mesurés

a) Dosage de la chlorophylle

La chlorophylle a et b sont dosées durant le stade végétatif, sur les feuilles médianes des deux espèces étudiées, en utilisant 6 répétitions pour chaque traitement. L'extraction de la chlorophylle a et b est réalisé selon la méthode de Francis et *al* (1970). L'extraction s'est faite comme suite:

- une macération des feuilles (0.1g) dans 10 ml d'un mélange de l'acétone et de l'éthanol (75 % et 25%) de volume et de (80% et 40%) de concentration.
- Les feuilles sont coupées en petits morceaux et mises dans les boites noires (pour éviter l'oxydation de la chlorophylle par la lumière)
- 48h plus tard, on procède à la lecture des densités optiques des solutions avec un spectrophotomètre, à deux longueurs d'ondes : (645 et 663 nm).

La détermination des teneurs réalisée selon les formules :

- $\text{Chl a } (\mu\text{g/g MF}) = 12,7 \times \text{DO}_{(663)} - 2,59 \times \text{DO}_{(645)} \times V / (1000 \times W).$
- $\text{Chl b } (\mu\text{g/g MF}) = 22,9 \times \text{DO}_{(645)} - 4,68 \times \text{DO}_{(663)} \times V / (1000 \times W).$

V : volume solution extraite et W le poids de matière fraîche de l'échantillon

b) Dosage des sucres solubles

Nous avons procédé au dosage des sucres solubles dans les différents organes des plantes selon la méthode de Dubois, (1956). L'extraction des sucres solubles s'est faite comme suite:

- Mètre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai
- Ajouter 2 ml d'éthanol à 80%.
- Laisser les tubes fermés au repos pendant 48h.
- Faire évaporer l'alcool en mettant les tubes à essai dans un bain Marie à 70°C.

Après refroidissement :

- Ajoute 20 ml d'eau distillée dans chaque tube à essai.
- Prendre 1 ml de la solution
- Ajouter 1 ml de phénol à 5 % et bien agiter.
- Ajouté 5 ml d'acide sulfurique concentré, dans chaque tube à essai
- Passer au vortex,

- Laisser au repos pendant 10mn
- Passer au bain Marie pendant 15 mn à 30°C.
- Procéder à la lecture au spectrophotomètre à la longueur d'onde de 490 nm.

La détermination de la teneur des sucres solubles est réalisée selon la formule:
 Sucres solubles ($\mu\text{g/g MF}$) = $\text{DO}_{490} \times 1.657$

c) Dosage de la proline

La proline est dosée selon la technique utilisée par Monneveux et Nemmar (1986). Le principe est la quantification de la réaction proline-ninhydrine par mesure spectrophotométrique. La proline se couple avec la ninhydrine en formant un complexe coloré. L'intensité de la coloration est proportionnelle à la quantité de proline dans l'échantillon. La méthode consiste à :

- Mettre 100 mg de matière fraîche végétale dans des tubes à essai
- Ajouter 2 ml de Méthanol à 40 %. Les tubes couverts (pour éviter la volatilisation de l'alcool) sont portés à l'ébullition au bain-marie à 85 °C pendant 60 min.

Après refroidissement.

- Prélever 1 ml de la solution de chaque tube
- Mettre dans de nouveaux tubes
- Ajouter 1 ml d'acide acétique + 25 mg de ninhydrine. + 1 ml d'un mélange contenant : 120 ml d'eau distillée, 300 ml d'acide acétique, 80 ml d'acide ortho phosphorique
- Porter les tubes à essai à ébullition au bain Marie durant 30 min.

Après refroidissement des solutions :

- Ajouter 5 ml de toluène dans chaque tube.
- Après agitation au vortex deux phases apparaissent.
- Prélever la phase supérieure
- Ajouter 5 mg du sulfate de sodium,
- laisser au repos pendant 48h.

On procède à la lecture de la densité optique des échantillons avec le spectrophotomètre à la longueur d'onde de 528 nm.

La détermination de la teneur de la proline est réalisée selon la formule:

$$\text{Proline } (\mu\text{g/g MF}) = \text{DO}_{528} \times 0.62$$

5.10.2. Paramètres de croissance mesurés

- **Hauteur des plantes** : Pour déterminer la vitesse de croissance des plantes, nous avons mesuré périodiquement leurs hauteurs de la base des plants jusqu'à l'apex à l'aide d'une règle graduée. Les hauteurs finales ont été mesurées au moment de la coupe.
- **Nombre de feuilles** : Le nombre de feuilles a été comptabilisé au moment des coupes, pour chaque plant au niveau de chaque traitement.
- **Diamètre des tiges** : La mesure du diamètre final des tiges a été effectuée à l'aide d'un pied à coulisse au moment des coupes par plante et par traitement.
- **Biomasse fraîche produite** : Lors des coupes, nous avons pesé séparément les deux parties de la plante (aérienne et souterraine) à l'aide d'une balance, afin d'avoir pour chaque plante le poids frais des deux parties.
- **Biomasse sèche produite** : Après le séchage de la matière fraîche dans une étuve à 70°C jusqu'à stabilité du poids sec, nous avons pesé séparément la partie aérienne et souterraine, afin d'avoir pour chaque plante le poids sec des deux parties.
- **Taux de la matière sèche produite** : Le taux de matière sèche est exprimé en pourcentage [%] et calculé comme suit : $\% \text{ MS} = (\text{poids sec} / \text{poids frais}) \times 100$.

5.10.3. Paramètres de production et de qualité

A) Paramètres de production

- **Taux d'avortement des fleurs** : Le taux d'avortement est exprimé par la différence entre le nombre total des fleurs apparues et le nombre total des fleurs transformées en fruit.
- **Nombre de fleur et nombre de fruit et des gousses par plant.**
- **Poids frais des fruits et des gousses**: Le poids a été mesuré grâce à une balance.

B) Paramètres de qualité

- **Dosage de la vitamine « c » dans les fruits de tomate**

La teneur en vitamine « C » dans les fruits de tomate est déterminée comme suite :

- Une quantité de 10g de fruits frais est réduite en pâte
- Ajouter 50ml d'acide chlorhydrique (HCl 2%)

- laisser en repos pendant 10 minutes.
- Faire filtrer le mélange dans un bécher de 100 ml

La détermination de la vitamine « c » est passée par deux étapes :

1^{ère} Etape :

- Prélever 10ml d'extrais filtrée et mettre dans un erlenmayer,
- Ajouter 30ml d'eau distillé
- Ajouter 1ml de solution d'iodure de potassium (KI 1%)
- Additionne 2ml de solution d'amidon 5%.
- La solution préparée est titrée à l'iodate de potassium (KINO3 N/1000) jusqu'à l'apparition d'une coloration bleu
- Enregistrer le volume en ml d'iodure de potassium (KI) utilisé pour le titrage

2^{ème} Etape :

On réalise un témoin dans les mêmes conditions, les 10 ml d'extrais sont remplacées par une quantité égale d'acide chlorhydrique 2%

Les calcules :

$$X = \frac{N.V_1 - 0.88}{G.V_2} \times 100 \quad \text{ou} \quad \left\{ \begin{array}{l} \bullet X : \text{mg d'acide ascorbique /g de produit a l'analyse} \\ \bullet N : \text{nombre d'iodate de potassium résultant de la différence} \\ \quad \text{entre le 1^{er} titrage et le titrage témoin} \\ \bullet V_1 : \text{volume total d'extrait obtenu pour analyse} \\ \bullet V_2 : \text{volume initial d'extrait soumis à l'analyse} \\ \bullet G : \text{quantité de produit analysé} \end{array} \right.$$

- Détermination de l'extrait sec

On opérant cette dessiccation (à 70°C) jusqu'à la stabilité du poids sec. On obtient des produits en apparence secs,

Ramener la valeur obtenue à celle du produit totalement desséché, ce qui revient à la réduire de $1/10^{\text{ème}}$ de la valeur.

paramètres	La valeur
Capsule vide (tare)	
Tare + échantillon frais	
Tare + échantillon sec	
Extrait sec primaire	
$1/10^{\text{ème}}$	
Extrait sec secondaire	
Poids sec en % du poids frais	

- Détermination de l'acidité titrable dans les fruits de tomate

Mode d'opérateur : {

- Moudre de la tomate
- Prendre 5 à 30g de jus
- Ajouter 100ml d'eau distillée bouillante
- Filtrer et compléter à 200ml
- Centrifuger la solution finale obtenue

Dosage : {

- Prélever 100ml du surnageant
- Ajouter 3 à 4 gouttes de phénolphthaléine
- Titrer à la soude (NaOH) N/10

Expression des résultats :
 $N_1V_1 = N_2V_2$ {

- En g d'acide citrique / 100g de jus
- En g d'acide citrique / kg de fruit frais
- En g d'acide malique / 100g de jus
- En g d'acide malique / kg de fruit frais

$$N_1 = \frac{N_2 V_2}{V_1} \quad \text{où} \quad \left\{ \begin{array}{l} \bullet N_2 : \text{la normalité de la soude utilisée pour le titrage} = 0.1 \\ \bullet \text{Volume de soude versé en [ml] pendant le titrage} \\ \bullet \text{Volume de surnagent prélevée} = 100 \text{ ml} \end{array} \right.$$

- Dosage des sucres dans les fruits de tomate

La détermination de ce paramètre est réalisée à l'aide d'un réfractomètre. Le principe de cette opération est basé sur la mise d'une gouttelette de jus de tomate dans l'appareil puis passer à la lecture directe

Chapitre septième:
Résultats et discussions

Chapitre sixième: résultats et discussions

6.1. Paramètres de croissance

6.1.1. Aspect général des plantes



Figure 11 : Aspect général des plants de tomate alimentés par les traitements salins naturels comparés au témoin (T4)



Figure 12 : Aspect général des plants de tomate alimentés par les traitements salins corrigés comparés au témoin (T4)

L'effet des traitements est bien apparu durant toute notre expérimentation. La distinction du comportement des plantes vis-à-vis des différents traitements se reconnaît facilement à la première observation que ce soit chez la tomate ou chez le haricot.



Figure 13 : Aspect général des plants du haricot alimentés par les traitements salins naturels comparés au témoin (T4)



Figure 14 : Aspect général des plants du haricot alimentés par les traitements salins corrigés comparés au témoin (T4)

Visuellement on peut remarquer l'effet dépressif du sel au niveau des plantes des deux espèces. Les plantes irriguées par les solutions salines naturelles (T1-T2-T3), sont chétives, de couleur verte jaunâtre avec un nombre réduit de feuilles, de fleurs et de fruits. A l'inverse les plantes irriguées par les solutions salines corrigées (T1C-T2C-T3C) et le témoin (T4), sont vigoureuses, de couleur vert foncé avec un nombre élevé de feuilles, de fleurs et de fruits et ce en raison de l'équilibre parfait des ions minéraux indispensable dans les milieux nutritifs.

6.1.2. La vitesse de croissance des plantes

Les courbes des figures 14 et 15 montrent l'évolution de la vitesse de croissance des plantes de tomate et du haricot après l'application des différents traitements.

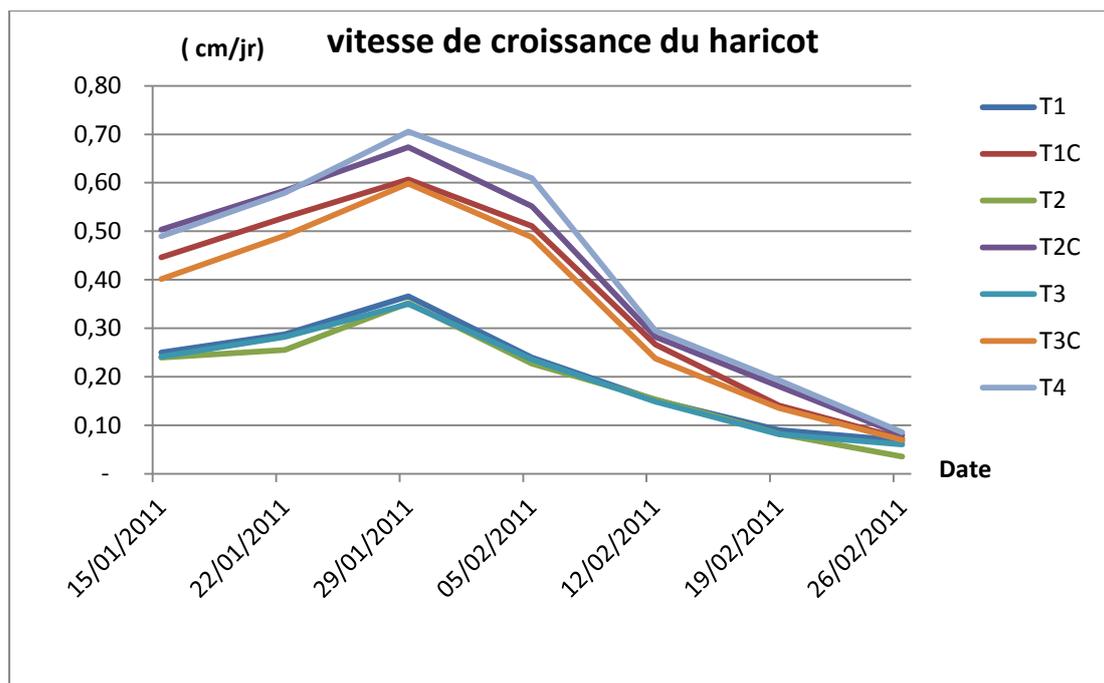


Figure 15 : Vitesse de croissance des plantes de haricot

D'après la figure 14, la croissance des plantes de haricot a commencé assez lentement. Elle était presque homogène dans la première période de mesure qui s'étale du 15/01/2011 au 22/01/2011. Il en est de même pour la tomate pour la période du 01/02/2011 au 08/02/2011. Ces périodes ne montrent aucun effet remarquable de l'action des traitements sur la vitesse de croissance des plantes. Cette phase stationnaire est expliquée par la période d'adaptation des jeunes plantules de tomate et de haricot dans leurs milieux nutritifs. C'est à partir de la deuxième semaine de l'application des traitements que des différences de comportement commencent à apparaître où on a remarqué que les vitesses de croissance des plantes des deux espèces au niveau des traitements salins corrigés (T1C, T2C, T3C) et le témoin (T4) deviennent importante et atteignent leur valeur maximale durant la troisième et la cinquième semaine après l'application des traitements pour le haricot et la tomate respectivement. Cette constatation montre bien que l'action des eaux salines corrigées influe de façon significative sur la vitesse de croissance des plants étudiés. Ceci peut être expliqué par la présence des éléments nutritifs favorables à la croissance des plantes de tomate et de haricot notamment l'azote, le phosphore, le potassium et les oligo-éléments et surtout le pH de 5,8 de ces solutions nutritives qui est considéré comme étant le facteur déterminant dans l'absorption hydrominérale des plantes. Il est nécessaire d'ajouter que l'azote est un élément indispensable à la multiplication cellulaire puisqu'il intervient dans la composition du noyau. Aussi il favorise l'augmentation de la croissance des végétaux. Également il y a lieu de

signaler que les nitrates (NO_3^-) facilitent la pénétration des cations K^+ et Ca^{2+} par synergisme, ce qui améliore la photosynthèse (Debouba et al,2006).

A l'inverse, les solutions salines naturelles (T1, T2, T3) présentent une vitesse de croissance moins importante que celle observée chez les plantes alimentées par les traitements salins corrigés, ceci en raison du déséquilibre ionique des milieux alimentaires, et des carences en éléments fertilisants (macro et micro éléments), tels que l'azote, le phosphore et le potassium dont son absence ralentit la croissance des plantes.

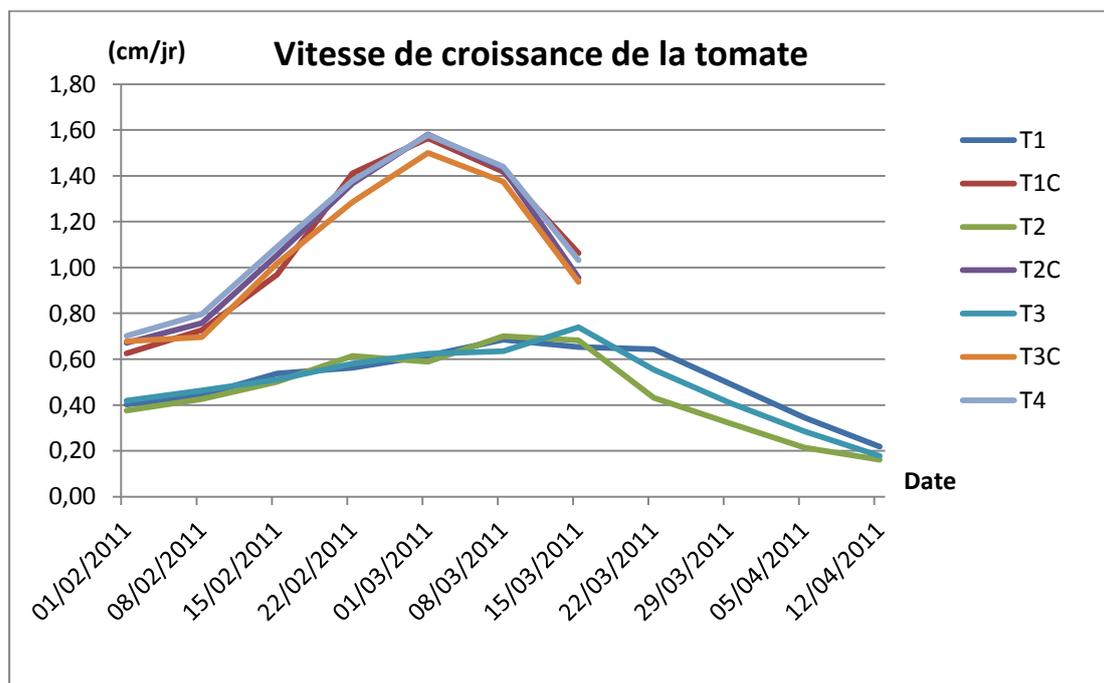


Figure 16 : Vitesse de croissance des plante de tomate

Dès le 29/01/2011 soit 22 jours après l'application des traitements on observe pour les deux séries de solution au niveau du haricot des vitesses de croissance plus lentes. Ces moyennes sont encore plus faibles vers la fin de cycle. Les mêmes observations ont été remarquées chez la tomate à partir de la 5eme et la 7eme semaine au niveau des traitements salins corrigés et salins naturels respectivement.

Au-delà du 15/03/2011 à savoir 49 jours après l'application des traitements, les plantes de tomate alimentés par le témoin et les traitements salins corrigés ont subi un étêtage qui consiste à supprimer l'apex (l'étêtage des plantes a été réalisé au stade deux (02) bouquets floraux en laissant deux feuilles au- dessus du 2^{ème} bouquet floral). Par contre, les traitements salins naturels (T1, T2, T3) n'ont pas atteint le stade deux bouquets floraux ce qui explique l'arrêt de la croissance au niveau de ces traitements.

La vitesse de croissance la plus rapide est observée au niveau du traitement T4 (témoin) suivi par le traitement (T2C). A l'inverse, le traitement (T2) présente la vitesse de croissance la plus faible quelque soit l'espèce testée.

Des observations similaires sont notées par les travaux de Schleiff (1979), où il a été remarqué que l'effet principal de la salinité est l'augmentation du potentiel osmotique dans le milieu de culture, ce qui provoque une réduction de la disponibilité en eau pour les cultures se traduisant ainsi par une vitesse de croissance ralentit.

6.1.3. Hauteur des plantes (cm)

Tableau N° 22: Hauteur des plantes en (cm):

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4	
Tomate	C1	18,37	20,62	15,87	21,06	16,87	18,68	21,56	
		±	±	±	±	±	±	±	
		0,58	1,02	0,79	0,97	0,64	1,13	0,62	
			b	a	d	a	c	b	a
	C2	22,0	40,93	18,18	42,43	19,87	37,0	42,62	
		±	±	±	±	±	±	±	
		1,06	0,82	0,96	1,29	0,83	1,19	1,50	
			d	b	f	a	e	c	a
	C3	48,37	62,87	42,25	65,87	47,0	61,25	65,75	
±		±	±	±	±	±	±		
0,91		0,83	1,48	0,99	1,30	1,16	1,16		
		d	b	f	a	e	c	a	
Haricot	C1	16,75	20,12	15,25	20,62	16,0	17,56	20,31	
		±	±	±	±	±	±	±	
		0,65	2,26	0,70	1,18	0,59	1,01	1,57	
			bc	a	c	a	c	b	a
	C2	18,87	27,5	17,43	28,5	18,68	24,56	28,5	
		±	±	±	±	±	±	±	
		0,64	0,75	0,86	1,28	1,03	0,86	0,70	
			c	a	d	a	c	b	a
	C3	22,0	29,62	19,87	31,75	21,12	28,87	31,75	
±		±	±	±	±	±	±		
0,75		0,74	0,69	1,16	0,83	0,83	1,28		
		c	b	d	a	c	b	a	

Les résultats obtenus montrent que l'effet traitements exerce une action significative sur la croissance en longueur des tiges chez la tomate et le haricot. Les hauteurs des tiges finales les plus longues sont de (65,87 cm, 31,75cm) et ont été obtenues par le traitement (T2C) chez la tomate et le haricot respectivement.

Pour la tomate le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir quatre groupes homogènes durant la première coupe où le premier groupe (a) représente les moyennes les plus élevées (21,56 cm, 21,06 cm, 20,62 cm) issues des plantes alimentées respectivement par le traitement témoin (T4) et les traitements salins corrigés (T2C et T1C). En fin de cycle végétatif, les plantes irriguées par le traitement T2C manifestent toujours la hauteur la plus élevée et ce quelque soit l'espèce végétale testée. Néanmoins, l'accroissement observé est beaucoup plus important chez la tomate que le haricot et ce comparativement aux traitements salins naturels.

6.1.4. Nombre de feuilles

Tableau N° 23: Nombre de feuilles :

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
Tomate	C1	6,87 ± 0,35 c	8,25 ± 0,46 a	6,25 ± 0,46 d	8,5 ± 0,53 a	6,5 ± 0,53 cd	7,5 ± 0,53 b	8,5 ± 0,53 a
	C2	8,37 ± 0,51 c	9,87 ± 0,83 a	7,62 ± 0,51 d	10,25 ± 0,70 a	7,87 ± 0,35 cd	9,25 ± 0,46 b	10,5 ± 0,53 a
	C3	13,12 ± 0,83 b	13,75 ± 0,46 b	13,0 ± 0,75 b	15,0 ± 0,75 a	13,0 ± 0,92 b	13,75 ± 0,70 b	15,25 ± 0,70 a
Haricot	C1	5,12 ± 0,35 c	9,5 ± 1,06 a	4,75 ± 0,46 c	9,75 ± 0,70 a	4,75 ± 0,46 c	7,75 ± 1,03 b	9,37 ± 0,91 a
	C2	6,12 ± 0,35 c	11,62 ± 0,51 a	5,75 ± 0,46 c	12,5 ± 1,19 a	5,87 ± 0,64 c	10,5 ± 0,92 b	11,87 ± 0,64 a
	C3	6,37 ± 0,74 d	19,37 ± 2,38 b	6,12 ± 0,35 d	20,37 ± 1,40 ab	6,37 ± 0,74 d	18,25 ± 2,18 c	21,62 ± 2,06 a

L'analyse de la variance montre que l'effet traitement exerce une influence très hautement significative sur le nombre des feuilles par plant quelque soit l'espèce étudiée.

Pour la tomate, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir cinq séries de groupements homogènes durant la première et la deuxième coupe. Le premier groupe (a) est représenté par le témoin ainsi que les traitements (T2C et T1C) où l'on

enregistre le nombre de feuilles par plant le plus important, ceci en raison de l'équilibre parfait de la balance ionique et la présence des éléments utile tels que l'azote, le phosphore, le potassium ainsi que les oligo-éléments.

Cette constatation est similaire chez le haricot, néanmoins l'écart existant du nombre de feuilles formées par rapport aux plantes issues du traitement salin naturel est beaucoup plus important chez le haricot que chez la tomate et ce en raison de la sensibilité élevée aux sels du haricot comparativement à la tomate.

6.1.5. Diamètre des tiges (mm)

Tableau N° 24: Diamètre des tiges (mm):

TOMATE		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
TOMATE	C1	3,94	5,42	3,52	5,48	3,89	4,82	5,45
		±	±	±	±	±	±	±
		0,05	0,12	0,29	0,12	0,06	0,49	0,31
		c	a	d	a	b	c	a
	C2	4,42	6,31	4,26	6,48	4,31	5,89	6,59
		±	±	±	±	±	±	±
		0,07	0,11	0,06	0,18	0,06	0,43	0,22
		d	b	d	ab	d	c	a
	C3	6,44	8,79	6,17	8,90	6,33	8,57	8,98
±		±	±	±	±	±	±	
0,10		0,19	0,05	0,33	0,18	0,37	0,10	
	c	ab	c	a	c	b	a	
Haricot	C1	2,85	3,03	2,80	3,26	2,84	3,04	3,02
		±	±	±	±	±	±	±
		0,07	0,18	0,13	0,19	0,11	0,12	0,21
		bc	b	c	a	bc	b	b
	C2	3,06	3,82	2,88	3,98	3,00	3,65	3,91
		±	±	±	±	±	±	±
		0,08	0,24	0,08	0,13	0,12	0,12	0,08
		c	a	d	a	cd	b	a
	C3	3,19	4,93	3,04	5,02	3,10	4,74	5,22
±		±	±	±	±	±	±	
0,19		0,22	0,04	0,34	0,03	0,42	0,24	
	c	ab	c	ab	c	b	a	

L'analyse de la variance a révélé une différence très hautement significative ($P < 0,001$) du facteur traitement sur le paramètre mesuré. Les mesures effectuées durant les trois coupes réalisées ont montré que les plantes issues du témoin (T4) et des solutions salines corrigées (T2C, T1C et T3C) ont montré les diamètres les plus élevés à celles alimentées par solutions salines naturelles est ce au niveau des deux espèces étudiées. Au niveau des deux dernières

coupes, les plantes alimentées par les traitements (T4) et (T2C) manifestent les meilleures performances.

A l'inverse, les traitements salins naturels (T1, T3 et T2) représentent le groupe homogène (c) avec les moyennes les plus faibles au niveau des deux espèces.

6.1.6. Biomasse fraîche aérienne (g)

Tableau N° 25: Biomasse fraîche aérienne (g):

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4	
Tomate	C1	6,82	15,25	3,63	17,56	5,54	11,95	15,87	
		±	±	±	±	±	±	±	
		0,10	0,87	0,13	0,79	0,06	0,49	0,17	
			e	c	g	a	f	d	b
	C2	10,05	37,03	6,55	43,52	7,72	32,19	44,43	
		±	±	±	±	±	±	±	
		0,55	1,45	0,23	1,49	0,70	2,07	1,53	
			d	b	e	a	e	c	a
	C3	28,39	254,46	19,01	270,28	20,46	240,73	254,16	
±		±	±	±	±	±	±		
1,05		7,40	0,41	5,91	0,82	9,08	8,28		
		d	b	e	a	e	c	b	
Haricot	C1	5,87	13,57	5,73	14,62	6,05	12,72	13,27	
		±	±	±	±	±	±	±	
		0,60	0,53	0,16	1,05	0,68	0,42	1,35	
			c	b	c	a	c	b	b
	C2	9,08	30,86	7,06	38,10	7,53	23,14	24,80	
		±	±	±	±	±	±	±	
		0,17	0,72	0,20	0,75	0,27	0,34	0,29	
			e	b	g	a	f	d	c
	C3	11,28	64,85	9,50	68,63	10,91	61,29	68,05	
±		±	±	±	±	±	±		
0,28		2,15	0,30	1,97	0,48	1,27	1,44		
		d	b	e	a	d	c	a	

Les résultats obtenus montrent que la croissance pondérale de la partie aérienne varie en fonction des traitements appliqués. Chez les deux espèces (tomate et haricot), les moyennes élevées de la biomasse fraîche et sèche aérienne sont obtenues par les traitements salins corrigés et le témoin, alors que les faibles valeurs sont obtenues par les traitements salins naturels. L'analyse de la variance confirme ces variations de la biomasse en montrant une différence de moyennes très hautement significative ($p < 0,001$).

Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ classe le traitement salin corrigé (T2C) en première position représenté par le groupe (a) reflétant les valeurs les plus élevées

chez les deux espèces durant les trois coupes, et classe le traitement salin naturel (T2) toujours en dernière position.

6.1.7. Biomasse sèche aérienne (g)

Tableau N° 26: Biomasse sèche aérienne (g):

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
Tomate	C1	0,68	1,02	0,41	1,14	0,59	0,9	0,94
		±	±	±	±	±	±	±
		0,02	0,06	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02
		e	b	g	a	f	d	c
	C2	1,20	3,63	0,83	4,24	0,94	3,30	4,31
		±	±	±	±	±	±	±
0,05		0,14	0,02	0,25	0,03	0,21	0,38	
	d	b	e	a	e	c	a	
C3	4,99	34,55	3,67	36,37	3,82	33,38	33,56	
	±	±	±	±	±	±	±	
	0,18	0,71	0,14	1,66	0,10	2,59	1,31	
	c	b	c	a	c	b	b	
Haricot	C1	0,72	1,48	0,71	1,52	0,72	1,40	1,37
		±	±	±	±	±	±	±
		0,05	0,20	0,02	0,11	0,05	0,10	0,07
		c	ab	c	a	c	ab	b
	C2	1,24	3,49	1,10	4,23	1,10	2,86	3,07
		±	±	±	±	±	±	±
0,06		0,21	0,03	0,16	0,03	0,12	0,24	
	e	b	e	a	e	d	c	
C3	1,69	7,83	1,52	7,98	1,64	7,67	7,81	
	±	±	±	±	±	±	±	
	0,03	0,53	0,04	0,47	0,04	0,22	0,41	
	b	a	b	a	b	a	a	

Selon les tableaux 27 et 28 on remarque que le traitement (T2C) manifeste un gain notable du poids frais et sec de la partie aérienne par rapport au témoin chez les deux espèces et au niveau des trois coupes sauf chez la tomate au niveau de la deuxième coupe où on a enregistré des réductions de (-2.05 % et -1.62 %) des deux paramètres étudiés. Les taux de réduction de la biomasse fraîche et sèche les plus élevées (-88,83% -92,52% -91,95%) et (-85,13% -89,06% et -88,62%) sont obtenus par les traitements salins naturels (T1, T2 et T3) chez la tomate durant la troisième coupe respectivement. Le haricot enregistre les augmentations de la biomasse fraîche et sèche les plus élevées (+53,63% et +37,79%) avec les plants du traitement (T2C) au niveau de la deuxième coupe. Aussi on observe que le traitement (T2) présente toujours les taux de réductions de la biomasse les plus importantes.

Tableau N° 27: Taux de variation de la biomasse fraîche aérienne par rapport au témoin

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C
Tomate	C1	-57,03	-3,91	-77,13	+10,65	-65,09	-24,70
	C2	-77,38	-16,66	-85,26	-2,05	-82,62	-27,55
	C3	-88,83	+0,12	-92,52	+6,34	-91,95	-5,28
Haricot	C1	-55,76	+2,26	-56,82	+10,17	-54,41	-4,14
	C2	-63,39	+24,44	-71,53	+53,63	-69,64	-6,69
	C3	-83,42	-4,70	-86,04	+0,85	-83,97	-9,93

Tableau N° 28: Taux de variation de la biomasse sèche aérienne par rapport au témoin

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C
Tomate	C1	-27,66	+8,51	-56,38	+21,28	-37,23	-4,26
	C2	-72,16	-15,78	-80,74	-1,62	-78,19	-23,43
	C3	-85,13	+2,95	-89,06	+8,37	-88,62	-0,54
Haricot	C1	-47,45	+8,03	-48,18	+10,95	-47,45	+2,19
	C2	-59,61	+13,68	-64,17	+37,79	-64,17	-6,84
	C3	-78,36	+0,26	-80,54	+2,18	-79,00	-1,79

6.1.8. Taux de matière sèche de la partie aérienne (%)

Tableau N° 29: Taux de matière sèche de la partie aérienne (%):

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4	
Tomate	C1	9,99	6,68	11,29	6,51	10,75	7,53	5,96	
		±	±	±	±	±	±	±	
		0,38	0,33	0,22	0,27	0,50	0,24	0,13	
			c	e	a	e	b	d	f
	C2	12,02	9,82	12,67	9,74	12,33	10,27	9,71	
		±	±	±	±	±	±	±	
		0,5	0,26	0,40	0,33	0,84	0,23	0,71	
			b	c	a	c	ab	c	c
	C3	17,59	13,58	19,32	13,45	18,70	13,85	13,21	
±		±	±	±	±	±	±		
0,25		0,32	0,58	0,56	0,44	0,66	0,48		
		c	d	a	d	b	d	d	
Haricot	C1	12,42	10,94	12,42	10,42	12,03	11,07	10,49	
		±	±	±	±	±	±	±	
		0,42	1,22	0,41	0,42	0,92	0,82	1,48	
			a	bc	a	c	ab	bc	c
	C2	13,72	11,31	15,59	11,10	14,66	12,37	12,38	
		±	±	±	±	±	±	±	
		0,74	0,57	0,39	0,35	0,37	0,45	0,99	
			c	e	a	e	b	d	d
	C3	14,96	12,07	16,02	11,63	15,03	12,53	11,49	
±		±	±	±	±	±	±		
0,29		0,63	0,39	0,53	0,42	0,48	0,57		
		b	cd	a	d	b	c	d	

Selon les résultats de l'analyse de la variance nous remarquons l'existence d'une différence très hautement significative entre les différentes moyennes mesurées du taux de la matière sèche de la partie aérienne ce qui met en évidence l'influence des sels au niveau des traitements testés.

Les résultats obtenus montre que les plantes irriguées par les traitements salins corrigés (T1C, T2C, T3C) présentent un taux de matière sèche le moins élevé, par contre, les traitements salins naturels (T1, T2, T3) manifestent des taux de matière sèche les plus importants où on peut dire que la biomasse sèche produite est très proche à celle observée.

Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ classe toujours le traitement salin naturel (T2) en première position représenté par le groupe homogène (a) reflétant les valeurs les plus élevées du taux de la matière sèche chez les deux espèces durant les trois coupes,

et classe la solution nutritive standard (T4) (témoin) en dernière position représenté par différents groupes mais reflétant dans la majorité des cas les valeurs les plus faibles chez les deux espèces.

Aussi l'observation des résultats obtenus montre que le haricot produit plus de matière sèche que la tomate durant les deux premières coupes alors que durant la dernière coupe c'est la tomate qui a produit plus.

6.1.9. Biomasse fraîche des racines (g)

Tableau N° 30: Biomasse fraîche des racines (g)

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
Tomate	C1	3,68 ± 0,12 b	3,60 ± 0,34 b	3,17 ± 0,16 c	4,07 ± 0,11 a	3,50 ± 0,19 b	3,57 ± 0,28 b	4,00 ± 0,14 a
	C2	6,1 ± 0,39 c	8,28 ± 0,27 b	4,70 ± 0,22 e	11,54 ± 0,78 a	5,43 ± 0,26 d	7,89 ± 0,68 b	11,30 ± 0,73 a
	C3	12,02 ± 0,33 d	120,96 ± 4,13 a	8,44 ± 0,63 e	112,29 ± 3,67 b	8,84 ± 0,54 e	106,15 ± 3,77 c	121,08 ± 4,45 a
Haricot	C1	7,25 ± 1,25	7,29 ± 1,41	6,85 ± 1,14	8,17 ± 0,87	7,15 ± 1,24	7,15 ± 0,99	7,22 ± 0,88
	C2	9,35 ± 0,61 c	13,34 ± 0,84 b	8,10 ± 0,29 d	15,53 ± 1,36 a	8,48 ± 0,32 d	12,64 ± 0,72 b	14,92 ± 0,98 a
	C3	13,11 ± 0,69 e	30,67 ± 1,09 c	9,99 ± 0,31 g	35,08 ± 1,61 b	11,31 ± 0,28 f	26,97 ± 1,63 d	37,71 ± 1,52 a

Les résultats obtenus montrent que le stress salin induit par les différents traitements n'influe pas que sur la biomasse fraîche et sèche de la partie aérienne mais également sur la partie souterraine. L'analyse de la variance montre une différence très hautement significative ($p \leq 0,001$) entre les moyennes de biomasse fraîche et sèche des racines chez les deux espèces étudiées (tomate et haricot) à l'exception de la première coupe chez le haricot où le même test ne montre aucune différence significative.

Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ classe le traitement témoin (T4) en première position représenté par le groupe (a) reflétant les valeurs les plus élevées chez les deux espèces durant les trois coupes, et classe le traitement salin naturel (T2) en dernière position reflètent toujours les valeurs les plus faibles chez les deux espèces durant les trois coupes.

6.1.10. Biomasse sèche des racines (g)

Tableau N° 31: Biomasse sèche des racines (g)

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
				0,23 ± 0,01 a	0,19 ± 0,03 cd	0,21 ± 0,01 abc	0,21 ± 0,01 bc	0,22 ± 0,01 ab
Tomate	C1	0,23 ± 0,01 a	0,19 ± 0,03 cd	0,21 ± 0,01 abc	0,21 ± 0,01 bc	0,22 ± 0,01 ab	0,18 ± 0,01 d	0,22 ± 0,01 ab
	C2	0,65 ± 0,04 d	0,70 ± 0,06 c	0,52 ± 0,01 f	0,95 ± 0,07 a	0,58 ± 0,02 e	0,68 ± 0,02 cd	0,84 ± 0,03 b
	C3	1,44 ± 0,06 b	10,90 ± 0,97 a	1,21 ± 0,06 b	11,03 ± 0,37 a	1,23 ± 0,09 b	10,97 ± 0,58 a	11,27 ± 0,75 a
Haricot	C1	0,42 ± 0,07	0,33 ± 0,06	0,37 ± 0,06	0,37 ± 0,04	0,41 ± 0,06	0,33 ± 0,08	0,32 ± 0,05
	C2	0,65 ± 0,03 c	0,75 ± 0,05 b	0,61 ± 0,03 c	0,87 ± 0,06 a	0,60 ± 0,02 c	0,74 ± 0,10 b	0,82 ± 0,09 ab
	C3	1,07 ± 0,06 d	1,87 ± 0,18 b	0,95 ± 0,03 d	2,11 ± 0,32 a	0,98 ± 0,03 d	1,65 ± 0,04 c	2,20 ± 0,03 a

Selon les tableaux 32 et 33 on remarque que le traitement (T2C) manifeste un gain notable du poids frais de la partie souterraine par rapport au témoin chez les deux espèces et au niveau de la 1^{ère} et la 2^{ème} coupe, par ailleurs le même traitement durant la troisième coupe enregistre les réductions les plus faibles (-7.26 % et -6.97 %) du paramètre étudié. Les taux de réduction de la biomasse fraîche et sèche les plus élevées sont obtenues par les traitements salins naturels (T2, T3 et T1) (-93,03, -92,70 et -90,07%) et (-89,26, -89,09 et -87,22%) chez la tomate durant la troisième coupe respectivement. Le haricot enregistre les augmentations

de la biomasse fraîche et sèche les plus élevées (+4,09 et +6,10) chez les plantes alimentées par (T2C) au niveau de la deuxième coupe par rapport au témoin. Aussi on observe que le traitement (T2) présente toujours les taux de réductions les plus élevés.

Tableau N° 32: Taux de variation de la biomasse fraîche des racines par rapport au témoin

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C
Tomate	C1	-8,00	-10,00	-20,75	1,75	-12,50	-10,75
	C2	-46,02	-26,73	-58,41	2,12	-51,95	-30,18
	C3	-90,07	-0,10	-93,03	-7,26	-92,70	-12,33
Haricot	C1	0,42	0,97	-5,12	13,16	-0,97	-0,97
	C2	-37,33	-10,59	-45,71	4,09	-43,16	-15,28
	C3	-65,23	-18,67	-73,51	-6,97	-70,01	-28,48

Tableau N° 33: Taux de variation de la biomasse sèche des racines par rapport au témoin

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C
Tomate	C1	4,55	-13,64	-4,55	-4,55	0,00	-18,18
	C2	-22,62	-16,67	-38,10	13,10	-55,95	-30,95
	C3	-87,22	-3,28	-89,26	-2,13	-89,09	-2,66
Haricot	C1	31,25	3,13	15,63	15,63	28,13	3,13
	C2	-20,73	-8,54	-25,61	6,10	-26,83	-9,76
	C3	-51,36	-15,00	-56,82	-4,09	-55,45	-25,00

6.1.11. Taux de matière sèche des racines (%)

Tableau N° 34: Taux de matière sèche des racines (%)

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
Tomate	C1	6,41	5,49	6,77	5,17	6,40	5,23	5,52
		±	±	±	±	±	±	±
		0,19 a	0,95 b	0,35 a	0,31 b	0,49 a	0,75 b	0,35 b
	C2	10,70	8,55	11,03	8,29	10,72	8,73	7,48
		±	±	±	±	±	±	±
		0,90 a	0,89 b	0,36 a	0,46 b	0,89 a	0,61 b	0,61 c
C3	12,02	9,01	14,38	9,84	13,97	10,34	9,30	
	±	±	±	±	±	±	±	
	0,44 b	0,75 d	1,12 a	0,57 cd	1,06 a	0,46 c	0,43 d	
Haricot	C1	5,81	4,55	5,42	4,55	5,82	4,66	4,52
		±	±	±	±	±	±	±
		0,08 a	0,14 b	0,04 a	0,18 b	0,2 a	0,79 b	0,42 b
	C2	7,01	5,68	7,61	5,62	7,07	5,84	5,49
		±	±	±	±	±	±	±
		0,31 b	0,28 c	0,21 a	0,38 c	0,29 b	0,62 c	0,40 c
C3	8,17	6,09	9,55	6,05	8,69	6,14	5,84	
	±	±	±	±	±	±	±	
	0,48 b	0,44 c	0,50 a	1,02 c	0,40 b	0,42 c	0,24 c	

Les résultats obtenus montrent que les différents traitements ont un effet sur le taux de matière sèche de la partie souterraine chez les deux espèces étudiées. Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance qui montre une différence très hautement significative entre les moyennes de la matière sèche de la partie souterraine pour les différents traitements testés : ($p < 0,001$). Les taux les plus importants sont enregistrés au niveau du traitement salin naturel T2 (6,77- 11,03 et 14,38) et (5,42- 7,61 et 6,09) durant les trois coupes effectuées chez la tomate et le haricot respectivement.

Pour la tomate le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes durant la première coupe où le premier groupe (a) reflète les taux les plus élevés (6,77, 6,41 et 6,40) obtenus respectivement par les traitements salins naturels (T2, T1 et T3), le groupe (b) regroupe les traitements salins corrigés et le témoin. Les

mêmes observations pour la deuxième et la troisième coupe seulement que le nombre de groupes homogènes augmente.

Pour le haricot le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes durant la première coupe où le premier groupe (a) reflète les taux les plus élevés (5.82, 5.81 et 5.42) obtenues respectivement par les traitements salins naturels (T3, T1 et T2), le groupe (b) regroupe les traitements salins corrigés et le témoin. Le même test fait ressortir trois groupes homogènes durant la deuxième et la troisième coupe où le premier groupe (a) reflète les taux les plus élevés représenté par traitement salin naturel T2 (7.61 et 9.55) respectivement. Le groupe (b) regroupe les traitements salins naturels (T1 et T3), en fin le groupe (c) reflète les taux les plus faibles représentés par les traitements salins corrigés et le témoin durant les deux dernières coupes.

Discussion sur les paramètres de croissance

La salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes (Bouaouina et *al.*, 2000). Les effets de la salinité se manifestent au niveau de la plante entière à des degrés variables se traduisant par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance de la plante et sa productivité (Ben Naceur et *al.*, 1998, Semmadi et Rahmoune, 1995; Wang et *al.*, 2001). La réponse des végétaux au stress salin est généralement étudiée en évaluant les paramètres biométriques de la croissance des parties aériennes et souterraines des plantes stressées. La réponse varie d'un organe à un autre, d'une espèce à l'autre, et selon la nature et l'intensité du stress.

Notre étude a montré que l'irrigation avec des eaux salines conduit à l'augmentation de la salinité dans le milieu racinaire. Le déséquilibre ionique des eaux salines naturelles testées (T1, T2 et T3) accentue l'effet de la salinité des milieux alimentaires ce qui limite la croissance des plantes et réduit en conséquence la consommation hydrique et minérale qui est en relation avec l'évapotranspiration.

La taille finale des plantes, le nombre des feuilles et le diamètre des tiges sont significativement diminués pour les traitements eaux salines naturelles (T1, T2 et T3). Le déséquilibre ionique entre les éléments mais plus sûrement leur déficience en éléments majeurs utiles et en oligoéléments peut expliquer ces résultats. Ces carences provoquent d'abord l'arrêt de la croissance des tissus jeunes, puis rapidement cet état de déficience s'uniformise dans les différents organes, provoquant des troubles des fonctions de la plante, entraînant aussi d'une part un ralentissement et un retard de croissance et de l'autre part des symptômes de nanisme et de rabougrissement des plantes (Morard, 1995).

Il a été constaté que les solutions salines naturelles ont données des valeurs faibles de biomasses fraîche et sèche surtout le traitement T2 où le sodium (Na^+) est lié aux chlorures (Cl^-) et le magnésium (Mg^{+2}) est lié aux sulfates (SO_4^{-2}). Ceci peut être expliqué par le fait que la diminution de la croissance est une réponse à la conservation des ressources en eau, ce qui permet la survie de la plante. De plus le déséquilibre ionique entraînant une perturbation dans la nutrition des plantes notamment en éléments fondamentaux tels que le potassium, le calcium et le magnésium qui entraînent des déséquilibres photosynthétiques. En effet, la salinité est susceptible de perturber la nutrition minérale des plantes en interférant avec le prélèvement de certains éléments essentiels comme le potassium et le calcium et ceci soit

par substitution, soit par compétition au niveau des sites d'absorption membranaire (R'him et al, 2013).

Les travaux de Warne *et al*, (1990) ont montré à cet égard que les signes de stress les plus évidents au niveau de la végétation arrosée par des eaux chargées en sel sont ceux d'une sécheresse physiologique se manifestant par un aspect général rabougri de la plante, par une diminution de la surface foliaire et de la masse racinaire et par un dessèchement partiel de la végétation.

Ces résultats sont conformes à ceux de Mohammad *et al.*, (1998) et Chartzoulakis et Klapaki, (2000) qui ont étudié l'effet du NaCl sur la tomate. Ils ont trouvé que La salinité accrue est accompagnée par une réduction significative dans la biomasse racinaire, la hauteur de la plante, le nombre de feuilles par plante, la longueur des racines et la surface racinaire.

Beaucoup de travaux et résultats similaires ont été trouvés par divers auteurs tels que Ben Ahmed *et al.* (2008), où l'action dépressive du sel se manifeste par une réduction de la production de matière sèche des différents organes de la plante. Elle se manifeste également par la réduction de la hauteur des plantes (Singh et Prasad, 2009).

Aussi nous pouvons noter que l'effet principal de la salinité est l'augmentation du potentiel osmotique suite à l'augmentation de la salure dans le milieu de culture ce qui résulte une réduction de la disponibilité en eau pour les cultures (Schleiff, 1979) et en conséquence la croissance des plantes sera touchée (Bertrand, 1981).

Également les résultats trouvés par (Ben Khaled *et al.*, (2003) dans un travail effectué sur le trèfle, ont montré que la croissance pondérale de la partie aérienne a été réduite de 20 % à 4 g.l⁻¹ et de 44 % à 6 g.l⁻¹. Le développement du système racinaire a été moins sensible.

Divers travaux relatifs à l'effet des sels sur les végétaux ont montré que la tolérance à la salinité a été examinée chez la sétairie (*Setaria verticillata L*), graminée estivale à cycle court, en conditions contrôlées de laboratoire. Les plantules sont imbibées par capillarité avec de l'eau distillée, additionnée de NaCl (50 à 300 mM) La détermination de la masse de matière sèche des plantes après trois semaines de culture sur les différentes concentrations en NaCl montre que la sétairie est très sensible à la salinité. Pendant les premiers stades de son développement, la concentration en NaCl qui provoque 50% d'inhibition de la croissance pondérale est de l'ordre de 75 mM. La

réduction de croissance semble être associée à une forte accumulation de Na^+ dans la plante (Ben Ahmed et al., 2008).

Une autre expérimentation a porté sur l'impact de la salinité sur la croissance de *Cyperus rotundus* L. en testant l'effet de six concentrations de NaCl (0, 1, 3, 5, 7 et 9 g/l) sur quelques paramètres de croissance et de développement a été étudié. Les résultats obtenus montrent que le stress salin a causé des réductions significatives de la biomasse, de la hauteur de la plante, du nombre de feuilles. En comparant les résultats obtenus, il apparaît que les paramètres mesurés peuvent être sujets à des rapports entre eux et de ce fait constituer des outils de compréhension globale sur la manière dont *Cyperus rotundus* L. réagit au stress salin grâce à différents mécanismes (Misri et al., 2006).

Une étude sur la tolérance à la salinité chez le pistachier fruitier (*Pistacia vera* L.), où des embryons isolés issues de graines matures ont été cultivés in vitro et soumis durant 30 jours à différentes concentrations salines: 0 ; 42,8 ; 85,5 ; 171,1 et 256,6 mM de NaCl. L'estimation de la croissance des vitro semis (longueur de la partie aérienne et racinaire ainsi que la production des biomasses totales des matières fraîches et sèches des parties aérienne et racinaire) a décelé des différences significatives pour les différentes concentrations du sel (Benmahioul et al., 2008).

Les paramètres biométriques sont souvent comparatifs pour la sélection des écotypes résistants à la salinité. Les effets de 4 niveaux de NaCl (témoin, 50, 75 et 100 mM) sur le comportement morphologique de 5 variétés de tournesol *Helianthus annuus* L. (4 hybrides et une population marocaine) ont été étudiés en pots en milieu contrôlé sous serre. Les paramètres mesurés sont la longueur des tiges, des racines, la biomasse sèche aérienne et racinaire. En présence de NaCl, toutes les variétés ont eu un comportement similaire. Toutefois, les réductions ont augmenté significativement avec l'enrichissement du milieu en sel (El Midaoui et al., 2007).

Aussi, l'identification de l'effet du stress salin sur le taux de régénération des explants, et sur les caractères morphophysologiques de deux variétés de bananier (*Musa acuminata*) grande et petite naine afin de sélectionner des vitro plants tolérants à la salinité. Des rejets de deux variétés de bananier sont exposés à quatre concentrations de NaCl (0, 2, 4 et 6 g/l). Les résultats obtenus montrent que les deux variétés ont une régénération des pousses malgré le traitement salin. Cependant, le sel affecte, la longueur des feuilles des explants et le taux de régénération (Belfakih, 2013).

Selon les travaux de R'him et *al.*, (2013) qui a comparé le comportement de trois variétés de piment (*Capsicum annum L*) soumis à quatre traitements salins de (0, 25, 50, 100 mmol de NaCl). Les résultats obtenus ont montré que la salinité a un effet dépressif sur les trois variétés par une réduction de la matière sèche de la plante, de la conductance stomatique et de la teneur en chlorophylle a, b et totale.

Une autre étude a été réalisée pour comparer l'effet de différentes concentrations de NaCl sur le développement et la croissance de *Spinacia oleracea* et *Phaseolus vulgaris*. Les résultats ont montré que l'épinard est plus tolérant à la salinité que le haricot avec des pertes de la biomasse sèche de 25% et 45% respectivement (Aydin et *al.*, 2001).

Les travaux de Khadri et *al.* (2001) ont montré que la salinité réduit la croissance des plantes de *Phaseolus vulgaris* de 25 %.

Le haricot est extrêmement sensible à la salinité, et on enregistre des pertes de rendement dans des sols de moins de 2 dSm⁻¹ de salinité (Läuchli, 1984 in Gama et *al.*, 2007).

Chez *Phaseolus vulgaris*, la concentration de 50 mM de NaCl cause un arrêt de croissance due à la réduction en photosynthétats causée par le sel (Brugnoli et Lauteri, 1991 in Gama et *al.*, 2007).

La tomate (*Lycopersicon esculentum Mill.*), l'une des espèces les plus cultivées au monde, est sensible à des concentrations modérées de sels dans le sol. Mais plusieurs auteurs révèlent une grande variabilité parmi les génotypes de tomate dans leur réponse à la salinité (Manaa et *al.*, 2011).

Une étude a été menée sur des plantules de deux variétés de tomate : (Campbell 33 et Mongal) cultivées en hydroponie durant deux semaines en présence de concentrations croissantes de NaCl (0, 17, 50, 85 et 130 mM), montrent qu'au niveau des paramètres de croissance, la réponse des plantules des deux variétés est variable d'un paramètre à l'autre. En effet, le nombre de feuilles, la longueur de jeunes feuilles, la matière sèche de la partie aérienne, celle des racines et celle de la plante entière sont plus touchés par la salinité chez Mongal. La longueur des tiges, celle des feuilles âgées sont par contre, plus affectées par la salinité chez Campbell 33 (Ould Mohamadi et *al.*, 2011).

Masmoudi et *al.*,(2011) ont étudié l'effet de la salinité des eaux et la fréquence d'irrigation sur la croissance d'une culture de tomate variété Marmande. Les résultats obtenus ont montrés un effet très important de la fréquence d'irrigation sur le comportement de la plante vis-à-vis la salinité (utilisation des eaux à salinité élevés avec augmentation des fréquences). A l'inverse les traitements relativement moins salés ont toujours donnés les meilleures croissances.

Des travaux menés sur la tomate et le haricot sur l'addition d'éléments nutritifs et des oligoéléments aux eaux salines naturelles permettent de diminuer l'effet de la salinité en favorisant l'absorption hydrique des espèces étudiées. (Snoussi et *al.*,2004).

Pour s'adapter au stress salin, la plante peut éviter les dommages par la réduction de la croissance (Yeo, 1983, Zhu, 2002 in Lamzeri, 2007). C'est l'effet le plus commun des stress abiotiques sur la physiologie des plantes. La réduction de la croissance est une capacité adaptative nécessaire à la survie d'une plante exposée à un stress abiotique. En effet, ce retard de développement permet à la plante d'accumuler de l'énergie et des ressources pour combattre le stress avant que le déséquilibre entre l'intérieur et l'extérieur de l'organisme n'augmente jusqu'à un seuil ou les dommages seront irréversibles. La croissance est inversement corrélée à la résistance au stress salin d'une espèce/variété (Zhu, 2001 in Bois, 2005).

.Selon Levigneron et *al* (1995), une augmentation brutale de la salinité du sol se traduit par une réduction immédiate de la croissance foliaire. Un retard de croissance important est signalé chez la plupart des glycophytes dès 50mM/l de NaCl dans la solution du sol. L'inhibition de l'activité de croissance par la salinité est un comportement général caractérisant les glycophytes.

D'après les résultats que nous avons obtenus l'action favorable de la correction des eaux salines sur les variétés des deux espèces parait évidente. Ceci peut s'expliquer par l'équilibre ionique parfait dans les milieux salés corrigés et de leur richesse en éléments fertilisants, notamment la présence des éléments azote, phosphore, potassium et aussi de la présence des oligoéléments.

La comparaison de ces deux séries de solution permet de déduire que les traitements eaux salines corrigées provoquent des accroissements des paramètres de croissances analysés

les plus élevés chez la tomate comparativement au haricot notamment au niveau des traitements salins corrigés T1C et T2C où l'agressivité des sels est moins marquée.

Aussi il est à noter que les fortes concentrations de Mg^{+2} 9,20meq/l et de chlore 15.65meq/l au niveau des traitements salins naturels T1, T2 et T3, sont considérées comme les principaux caractères de l'évaluation de la qualité du milieu pour l'irrigation car la toxicité des ions Mg^{+2} associés aux chlorure serait plus élevée de celle du Mg^{+2} associé aux sulfates (Szabolcs et Darab, 1979 in Snoussi, 2001).

Les traitements salins corrigés utilisés manifestent un effet significatif sur la biomasse fraîche et sèche totale et racinaire des plantes testées. Les deux séries de solutions montrent que les eaux salines corrigées présentent des accroissements de biomasse fraîche et sèche des parties aériennes et souterraines plus élevées chez la tomate que chez le haricot surtout durant la dernière coupe. Aussi les plantes alimentées par les traitements salins corrigés T1C, T2C et T3C présentent une absorption hydrominérale élevée, ceci en raison de l'équilibre ionique parfait et les quantités adéquates en éléments nutritifs, d'un pH favorable à l'absorption à savoir (5.5-5.8) se traduisant par des biomasses fraîches et sèches importantes.

6.2. Paramètres physiologiques

Les changements biométriques analysés précédemment comme une réponse au stress salin des espèces étudiées, sont en réalité le résultat morphologique de l'effet de la salinité sur le métabolisme de ces plantes.

Nous analysons dans cette partie les résultats de la mesure des paramètres physiologiques: la teneur chlorophyllienne, les sucres solubles et la proline.

6.2.1. Teneur en proline dans les différents organes de la tomate ($\mu\text{g/g MF}$)

Tableau N° 35: Teneur en proline dans les différents organes de la tomate ($\mu\text{g/gMF}$)

		Coupe 1			Coupe 2			Coupe 3		
		feuilles	tiges	racines	feuilles	tiges	racines	feuilles	tiges	racines
Tomate	T1	0,022 ± 0,001 d	0,013 ± 0,001 e	0,009 ± 0,001 ef	0,025 ± 0,001 e	0,015 ± 0,002 e	0,013 ± 0,002 e	0,037 ± 0,002 e	0,030 ± 0,002 ef	0,023 ± 0,003 e
	T1C	0,084 ± 0,003 b	0,053 ± 0,004 b	0,051 ± 0,003 b	0,194 ± 0,005 b	0,130 ± 0,006 b	0,123 ± 0,004 b	0,420 ± 0,013 b	0,259 ± 0,01 b	0,184 ± 0,007 b
	T2	0,026 ± 0,004 d	0,020 ± 0,001 d	0,016 ± 0,001 d	0,039 ± 0,001 d	0,023 ± 0,003 d	0,020 ± 0,001 d	0,061 ± 0,007 d	0,041 ± 0,002 d	0,035 ± 0,002 d
	T2C	0,090 ± 0,006 a	0,072 ± 0,002 a	0,065 ± 0,002 a	0,384 ± 0,009 a	0,307 ± 0,004 a	0,238 ± 0,007 a	0,523 ± 0,010 a	0,315 ± 0,006 a	0,280 ± 0,007 a
	T3	0,021 ± 0,002 d	0,015 ± 0,0007 e	0,012 ± 0,001 e	0,029 ± 0,001 e	0,021 ± 0,002 d	0,017 ± 0,001 de	0,053 ± 0,003 d	0,035 ± 0,003 de	0,032 ± 0,002 d
	T3C	0,045 ± 0,006 c	0,036 ± 0,005 c	0,032 ± 0,006 c	0,169 ± 0,004 c	0,103 ± 0,006 c	0,082 ± 0,005 c	0,318 ± 0,026 c	0,186 ± 0,008 c	0,153 ± 0,003 c
	T4	0,014 ± 0,002 e	0,013 ± 0,002 e	0,006 ± 0,001 f	0,016 ± 0,001 f	0,013 ± 0,001 e	0,014 ± 0,001 e	0,032 ± 0,002 e	0,025 ± 0,003 f	0,020 ± 0,002 e

6.2.2. Teneur en proline dans les différents organes du haricot ($\mu\text{g/g MF}$)

Tableau N° 36: Teneur en proline dans les différents organes du haricot ($\mu\text{g/g MF}$)

		Coupe 1			Coupe 2			Coupe 3		
		feuilles	tiges	racines	feuilles	tiges	racines	feuilles	tiges	racines
Haricot	T1	0,015 ± 0,001 e	0,010 ± 0,001 f	0,006 ± 0,0005 e	0,019 ± 0,0008 f	0,014 ± 0,0008 f	0,009 ± 0,001 e	0,033 ± 0,0008 f	0,024 ± 0,001 f	0,015 ± 0,001 f
	T1C	0,063 ± 0,001 b	0,031 ± 0,0008 b	0,026 ± 0,001 b	0,155 ± 0,002 b	0,099 ± 0,001 b	0,072 ± 0,001 b	0,250 ± 0,001 b	0,146 ± 0,002 b	0,109 ± 0,001 b
	T2	0,019 ± 0,0007 d	0,018 ± 0,001 d	0,009 ± 0,0008 d	0,031 ± 0,001 d	0,021 ± 0,0009 d	0,015 ± 0,001 d	0,052 ± 0,002 d	0,034 ± 0,001 d	0,027 ± 0,001 d
	T2C	0,076 ± 0,002 a	0,055 ± 0,001 a	0,045 ± 0,001 a	0,309 ± 0,001 a	0,246 ± 0,002 a	0,107 ± 0,001 a	0,466 ± 0,002 a	0,270 ± 0,002 a	0,152 ± 0,0007 a
	T3	0,018 ± 0,0007 d	0,013 ± 0,001 e	0,008 ± 0,001 d	0,024 ± 0,0005 e	0,019 ± 0,001 e	0,011 ± 0,0005 e	0,037 ± 0,0009 e	0,03 ± 0,001 e	0,023 ± 0,0009 e
	T3C	0,044 ± 0,0008 c	0,027 ± 0,001 c	0,016 ± 0,001 c	0,098 ± 0,003 c	0,064 ± 0,001 c	0,057 ± 0,002 c	0,233 ± 0,002 c	0,124 ± 0,002 c	0,081 ± 0,002 c
	T4	0,011 ± 0,001 f	0,007 ± 0,0009 g	0,005 ± 0,0009 e	0,012 ± 0,001 g	0,009 ± 0,0007 g	0,010 ± 0,001 e	0,025 ± 0,001 g	0,015 ± 0,001 g	0,011 ± 0,001 g

Le métabolisme des végétaux est perturbé par le stress salin et notamment le métabolisme des acides aminés libres dont la proline constitue un marqueur de la résistance des plantes aux contraintes abiotiques.

Pour les deux espèces étudiées tomate et haricot, les traitements appliqués ont provoqués une accumulation différentes de la proline dans les différents organes retenus; les teneurs les plus élevées en cet acide aminé sont accumulées au niveau des feuilles chez le traitement salin corrigé (T2C).

Selon les tableaux 35 et 36 les plantes de tomate accumulent plus de proline que le haricot dans toutes les parties végétales testées. Nous remarquons aussi que cet osmolyte s'accumule de préférence dans les feuilles où l'on enregistre les concentrations les plus élevées notamment au niveau des plantes alimentées par les solutions salines corrigées et notamment au niveau du (T2C) alors que les racines accumulent les teneurs les plus faibles.

On peut remarquer aussi que les traitements salins corrigés (T1C, T2C et T3C) présentent une concentration en proline plus forte que dans les eaux salines naturelles (T1, T2 et T3) alors que le traitement témoin (T4) présente toujours les teneurs les plus faibles et que l'accumulation de cet osmoprotecteur est progressive au niveau des organes qui augmente avec l'intensité du stress.

Les moyennes obtenues par les sept traitements sont statistiquement différentes. Pour la teneur en proline chez la tomate et le haricot l'analyse de la variance montre une différence très hautement significative des traitements testés sur la teneur en proline ($p < 0,001$). Le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ classe les traitements salins corrigés (T2C, T1C et T3C) au niveau des groupes homogènes (a, b et c) respectivement où le groupe (a) reflète les moyennes les plus élevées de la teneur en proline représenté par (T2C) durant toutes les périodes et au niveau de tous les organes.

D'une manière générale pour les traitements salins naturels, le traitement (T2) présente les valeurs les plus élevées du paramètre mesuré chez les deux espèces durant les trois coupes, suivi par le traitement (T3) et (T1) respectivement.

6.2.3. Teneur en sucres solubles dans les différents organes de tomate ($\mu\text{g/g MF}$)

Tableau N° 37: Teneur en sucres solubles dans les différents organes de tomate ($\mu\text{g/g MF}$)

		Coupe 1			Coupe 2			Coupe 3		
		feuilles	tiges	racines	feuilles	tiges	racines	feuilles	tiges	racines
Tomate	T1	0,161 ± 0,009 f	0,159 ± 0,009 e	0,085 ± 0,006 f	0,219 ± 0,009 e	0,187 ± 0,007 f	0,128 ± 0,007 e	0,374 ± 0,09 e	0,215 ± 0,004 f	0,14 ± 0,003 f
	T1C	0,437 ± 0,01 b	0,311 ± 0,01 b	0,246 ± 0,006 b	0,511 ± 0,01 b	0,359 ± 0,01 b	0,279 ± 0,004 b	0,768 ± 0,01 b	0,391 ± 0,005 b	0,314 ± 0,004 b
	T2	0,328 ± 0,02 c	0,205 ± 0,006 c	0,175 ± 0,01 d	0,407 ± 0,01 c	0,237 ± 0,009 d	0,210 ± 0,01 d	0,444 ± 0,02 d	0,252 ± 0,004 d	0,25 ± 0,002 d
	T2C	0,741 ± 0,03 a	0,356 ± 0,01 a	0,319 ± 0,01 a	0,821 ± 0,006 a	0,555 ± 0,005 a	0,427 ± 0,01 a	0,923 ± 0,004 a	0,594 ± 0,008 a	0,46 ± 0,004 a
	T3	0,277 ± 0,01 e	0,183 ± 0,01 d	0,114 ± 0,01 e	0,305 ± 0,01 d	0,214 ± 0,004 e	0,140 ± 0,01 e	0,441 ± 0,03 d	0,240 ± 0,005 e	0,150 ± 0,002 e
	T3C	0,307 ± 0,009 d	0,189 ± 0,01 d	0,224 ± 0,01 c	0,405 ± 0,01 c	0,334 ± 0,01 c	0,262 ± 0,009 c	0,504 ± 0,006 c	0,353 ± 0,003 c	0,289 ± 0,002 c
	T4	0,079 ± 0,01 g	0,066 ± 0,003 f	0,064 ± 0,008 g	0,141 ± 0,006 f	0,076 ± 0,007 g	0,082 ± 0,01 f	0,175 ± 0,003 f	0,095 ± 0,004 g	0,088 ± 0,003 g

L'accumulation des sucres chez les végétaux est en réalité un paramètre d'adaptation aux conditions de stress salin permettant de constituer une garantie pour le maintien d'une intégrité cellulaire élevée. Les fortes accumulations des glucides solubles totaux chez les végétaux en relation avec leur contenu ionique suggèrent l'implication de ces composés dans leurs réponse à la contrainte saline.

6.2.4. Teneur en sucres solubles dans les différents organes du haricot ($\mu\text{g/gMF}$)

Tableau N° 38: Teneur en sucres solubles dans les différents organes du haricot ($\mu\text{g/g MF}$)

		Coupe 1			Coupe 2			Coupe 3		
		feuilles	tiges	racines	feuilles	tiges	racines	feuilles	tiges	racines
Haricot	T1	0,122 ± 0,005 f	0,098 ± 0,004 f	0,039 ± 0,004 f	0,137 ± 0,005 f	0,127 ± 0,005 f	0,076 ± 0,002 f	0,238 ± 0,003 e	0,154 ± 0,004 f	0,111 ± 0,003 f
	T1C	0,308 ± 0,005 b	0,256 ± 0,004 b	0,202 ± 0,004 b	0,340 ± 0,003 b	0,276 ± 0,004 b	0,240 ± 0,004 b	0,537 ± 0,005 b	0,322 ± 0,004 b	0,280 ± 0,007 b
	T2	0,192 ± 0,004 d	0,157 ± 0,002 d	0,146 ± 0,006 d	0,264 ± 0,004 d	0,207 ± 0,003 d	0,174 ± 0,004 d	0,290 ± 0,045 d	0,225 ± 0,005 d	0,208 ± 0,005 d
	T2C	0,621 ± 0,007 a	0,313 ± 0,006 a	0,258 ± 0,003 a	0,687 ± 0,004 a	0,328 ± 0,003 a	0,293 ± 0,007 a	0,804 ± 0,004 a	0,482 ± 0,004 a	0,320 ± 0,006 a
	T3	0,171 ± 0,005 e	0,145 ± 0,005 e	0,089 ± 0,003 e	0,214 ± 0,003 e	0,172 ± 0,004 e	0,126 ± 0,003 e	0,275 ± 0,007 d	0,207 ± 0,004 e	0,176 ± 0,003 e
	T3C	0,222 ± 0,007 c	0,172 ± 0,006 c	0,181 ± 0,003 c	0,321 ± 0,004 c	0,237 ± 0,007 c	0,223 ± 0,004 c	0,374 ± 0,005 c	0,293 ± 0,005 c	0,255 ± 0,005 c
	T4	0,057 ± 0,004 g	0,038 ± 0,003 g	0,030 ± 0,003 g	0,069 ± 0,004 g	0,056 ± 0,003 g	0,063 ± 0,005 g	0,113 ± 0,005 f	0,089 ± 0,003 g	0,076 ± 0,004 g

Les résultats obtenus présentés dans les tableaux 37 et 38 montrent que la teneur en sucres solubles accumulés dans les parties aérienne et souterraine chez les deux espèces tomate et haricot étudiées varie selon le stade de développement, l'organe analysé, et le stress appliqué. Les teneurs les plus élevées en ces composés organiques sont enregistrées au niveau des feuilles des plantes alimentées par le traitement salin corrigé T2C (0.741, 0.821 et 0.923 $\mu\text{g/g MF}$) et (0.621, 0.687 et 0.804 $\mu\text{g/g MF}$) au niveau des trois coupes effectuées respectivement.

On note aussi que les traitements salins corrigés (T1C, T2C et T3C) présentent les concentrations en sucres solubles les plus fortes, alors que le traitement témoin (T4) présente toujours les teneurs les plus faibles et que l'accumulation de cet osmolyte est progressive au niveau des organes qui augmente avec l'intensité du stress.

Les moyennes obtenues par les sept traitements sont statistiquement différentes. Pour la teneur en sucres solubles chez la tomate et le haricot l'analyse de la montre une différence très hautement significative du facteur traitement sur le paramètre mesuré ($p < 0,001$). Le test de Newman et Keuls classe les traitements salins corrigés (T2C, T1C et T3C) au niveau des groupes homogènes (a, b et c) respectivement où le groupe (a) reflète les moyennes les plus élevées de la teneur en sucres solubles représenté par T2C durant toutes les périodes et au niveau de tous les organes.

D'une manière générale pour les traitements salins naturels, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ classe le traitement (T2) au niveau du groupe homogène (d) reflétant les valeurs les plus élevées chez les deux espèces et durant les trois coupes, suivi par le traitement (T3) en dernière position le traitement (T1).

6.2.5. Teneur en chlorophylle (A) [$\mu\text{g/g MF}$]

Tableau N° 39: Teneur en chlorophylle (A) [$\mu\text{g/g MF}$]

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
Tomate	C1	0,518	1,26	0,438	1,43	0,656	1,03	1,87
		±	±	±	±	±	±	±
		0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02
		f	c	g	b	e	d	a
	C2	0,433	1,45	0,295	1,57	0,562	1,37	1,73
		±	±	±	±	±	±	±
		0,01	0,02	0,01	0,01	0,008	0,009	0,01
		f	c	g	b	e	d	a
	C3	0,344	1,41	0,241	1,54	0,519	1,25	1,62
±		±	±	±	±	±	±	
0,01		0,01	0,005	0,01	0,01	0,01	0,01	
	f	c	g	b	e	d	a	
Haricot	C1	0,696	1,22	0,665	1,34	0,626	1,15	1,56
		±	±	±	±	±	±	±
		0,005	0,008	0,006	0,004	0,028	0,002	0,004
		d	bc	d	b	d	c	a
	C2	0,688	1,49	0,448	1,59	0,674	1,40	1,81
		±	±	±	±	±	±	±
		0,054	0,004	0,005	0,004	0,004	0,003	0,002
		e	c	f	b	e	d	a
	C3	0,570	1,37	0,385	1,49	0,563	1,35	1,77
±		±	±	±	±	±	±	
0,007		0,004	0,006	0,005	0,005	0,003	0,0053	
	e	c	g	b	f	d	a	

Tableau N° 40: Taux de variation de la teneur en chlorophylle (a) par rapport au témoin

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C
Tomate	C1	-72,30	-32,62	-76,58	-23,53	-64,92	-44,92
	C2	-74,97	-16,18	-82,95	-9,25	-67,51	-20,81
	C3	-78,77	-12,96	-85,12	-4,94	-67,96	-22,84
Haricot	C1	-55,38	-21,79	-57,37	-14,10	-59,87	-26,28
	C2	-61,99	-17,68	-75,25	-12,15	-62,76	-22,65
	C3	-67,80	-22,60	-78,25	-15,82	-68,19	-23,73

Parmi, les processus physiologiques touchés par les contraintes abiotiques, nous citons la photosynthèse. Cette photosynthèse, responsable de la transformation du CO₂ atmosphérique en matière organique est sous le contrôle de facteurs biotiques et abiotiques.

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative des traitements sur la teneur en chlorophylle (a) et (b) chez les deux espèces étudiées. Le test de Newman et Keuls classe le traitement (T4) (témoin) en première position représenté par le groupe homogène (a) reflétant les moyennes les plus élevées. Concernant la série des solutions salines corrigées, le traitement qui se rapproche le plus du témoin est le (T2C) représenté par le groupe homogène (b) suivie par (T1C et T3C) représentés par les groupes (c) et (d) respectivement. A l'inverse les traitements salins naturels ont donnés des valeurs faibles de la teneur en chlorophylle (a) et (b).

Selon les tableaux 39 et 40, la correction des eaux salines naturelles, a permis d'améliorer la teneur en chlorophylle (a) et (b) durant les deux premières coupes chez des deux espèces, puis une diminution de ces deux paramètres pendant la troisième coupe. Nous avons remarqué aussi une baisse des teneurs en pigments chlorophylliens [Chlorophylles (a) et (b)] chez les plantes alimentées par les eaux salines naturelles. Aussi il est à noter que le haricot manifeste des teneurs en chlorophylle plus élevés que la tomate.

Nous remarquons, d'après les résultats obtenus qu'au niveau des solutions salines naturelles le traitement T2 manifeste toujours les valeurs les plus faibles de la chlorophylle (a) et (b) avec des taux de réductions de (-76,58%,-72,50%,) et (-57,37%,-70,46%) durant la coupe 1, (-82,95% et -75,60%) et (-75,25%,-80,33%) durant la coupe 2 enfin (-85,12%, -88,43%) et (-78,25%,-91,79) durant la coupe 3 chez la tomate et le haricot et ce par rapport au témoin suivie par (T1) et (T3) respectivement. En revanche les plantes alimentées par les solutions salines corrigées le traitement (T2C) présentes toujours les teneurs de ces deux paramètres les plus élevées après le témoin manifestés par les taux de réductions les plus faibles suivie par T1C et T3C.

6.2.6. Teneur en chlorophylle (B) [$\mu\text{g/g MF}$]:

Tableau N° 41: Teneur en chlorophylle (B) [$\mu\text{g/g MF}$]

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4	
		Tomate	C1	0,324	0,817	0,231	0,821	0,501	0,557
\pm	\pm			\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	
0,02	0,02			0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	
			d	a	e	a	c	b	a
C2	0,271		0,815	0,235	0,914	0,265	0,610	0,963	
	\pm		\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	
	0,01		0,02	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01	
			e	c	f	b	e	d	a
C3	0,105		0,591	0,109	0,714	0,238	0,475	0,942	
	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm		
	0,009	0,01	0,006	0,01	0,01	0,01	0,02		
		f	c	f	b	e	d	a	
Haricot	C1	0,390	0,864	0,322	1,02	0,483	0,641	1,09	
		\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	
		0,009	0,012	0,012	0,006	0,068	0,017	0,015	
			f	c	g	b	e	d	a
	C2	0,188	0,989	0,238	1,01	0,309	0,808	1,21	
		\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	
		0,020	0,006	0,00	0,007	0,007	0,007	0,011	
			g	c	f	b	e	d	a
	C3	0,057	0,868	0,087	0,968	0,238	0,606	1,06	
\pm		\pm	\pm	\pm	\pm	\pm	\pm		
0,007		0,009	0,007	0,008	0,006	0,006	0,008		
		f	c	g	b	e	d	a	

Tableau N° 42: Taux de variation de la teneur en chlorophylle (b) par rapport au témoin

		T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C
Tomate	C1	-61,43	-2,74	-72,50	-2,26	-40,36	-33,69
	C2	-71,86	-15,37	-75,60	-5,09	-72,48	-36,66
	C3	-88,85	-37,26	-88,43	-24,20	-74,73	-49,58
Haricot	C1	-64,22	-20,73	-70,46	-6,42	-55,69	-41,19
	C2	-84,46	-18,26	-80,33	-16,53	-74,46	-33,22
	C3	-94,62	-18,11	-91,79	-8,68	-77,55	-42,83

Discussion sur les paramètres physiologiques

L'intérêt porté aux caractères physiologiques d'adaptation aux contraintes environnementales a attiré l'attention de nombreux chercheurs. L'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence (El Midaoui et *al.*, 2007).

Dans le présent travail, nous avons analysé trois paramètres physiologiques en fonction du stress salin chez deux espèces, la tomate et le haricot et qui sont la teneur en chlorophylles, la teneur en sucres solubles et la teneur en proline et qui sont le plus souvent mesurés pour étudier la réponse des végétaux au stress salin.

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation aux stress ionique et osmotique. Ce phénomène s'exprime par la capacité d'un végétal à accumuler, au niveau symplasmique et de manière active des ions tels que les K^+ et Na^+ et Cl^- (Munns et *al.*, 2006) ou de composés organiques tels les sucres solubles et certains amino-acides comme la proline (Morant-Manceau et *al.*, 2004, Ottow et *al.*, 2005, in Hassani et *al.*, 2008). Ainsi, l'ajustement osmotique permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...) et peut intervenir à tous les stades du développement du végétal (Martinez et *al.*, 2007). L'osmorégulation permet aussi une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes et la proline semble jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosol-vacuole et de régulation du pH (Ottow et *al.*, 2005).

Les travaux de Shabala et *al.* (2005), ont montré que la synthèse des composés organiques ou osmoprotecteurs, est une des stratégies que la plante déploie pour atténuer l'effet de la salinité. Les protéines, les sucres solubles, les acides aminés et plus particulièrement la proline, comptent parmi ces composés organiques qui jouent un rôle majeur dans l'ajustement osmotique de la plante déjà perturbée par la présence excessive des ions Na^+ et Cl^- . La tolérance des plantes au sel, dépend de leur maintien d'une absorption suffisante de nutriments essentiels, tel que K^+ , notamment en présence d'un excès de Na^+ .

L'accumulation de ces composés organiques a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Cette accumulation varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (Acides aminés libres, la proline et les sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes. (El Midaoui et *al.*, 2007).

Le mécanisme de l'accumulation de la proline permet de penser à la présence de sites de résistance de la plante à la contrainte. En effet, le transport de la proline de la source (lieu de synthèse) au site de la résistance est admis depuis longtemps comme un paramètre important dans l'acquisition de cette résistance (Bellinger et *al.*, 1989). Paquin (1986), signale que la proline serait synthétisée dans les feuilles et transportée vers ces sites; d'autres rapportent que l'acide aminé migre chez diverses plantes glycophytes vers les feuilles et s'y localise chez le sorgho (Weimberg, 1987), le coton (Boutelier, 1986), la fève (Belkhodja et Benkabilia., 2000), le trèfle d'Alexandrie (Benkhaled et *al.*, 2003).

De très nombreux composés organiques et minéraux interviennent dans l'ajustement osmotique; nous nous sommes toutefois limités, dans ce travail, au dosage de la proline libre et des sucres solubles.

Dans notre étude, la réponse physiologique analysée à travers l'expression de l'accumulation de la proline et des sucres solubles montre que ces deux osmolytes s'accumulent de préférence dans les feuilles où l'on enregistre les concentrations les plus élevées notamment au niveau des plantes alimentées par les solutions salines corrigées et notamment au niveau du T2C. L'accumulation est plus importante chez la tomate que chez le haricot ce qui confirme la sensibilité de ce dernier à la salinité.

Il a été précédemment constaté que les plantes irriguées par les solutions salines corrigées (T1C, T2C et T3C) poussaient mieux comparativement aux plantes arrosées par les mêmes traitements salés naturels.

Les plantes issues de solutions salines corrigées produisaient plus de proline et des sucres solubles. Le milieu salin corrigé crée un potentiel osmotique extérieur plus fort, par conséquent, le stress osmotique perçu par les plantes induit une réponse de défense qui est une production de proline et de sucres totaux pour ajuster l'osmolarité interne. En effet, la correction des eaux salines améliore l'absorption hydrominérale des plantes ce qui montre

bien que le milieu nutritif n'est plus toxique et ne constitue plus un obstacle pour la croissance de la plante. Autrement dit, les plantes ne présentant pas de carence minérale, ne présentent pas donc de sécheresse physiologique comparativement aux plantes issues des traitements salins naturels (T1, T2 et T3).

Les plantes issues des traitements salins corrigés (T1C, T2C et T3C) présentent une concentration en osmolytes plus forte que les plantes des eaux salines naturelles (T1, T2 et T3). A cet effet, l'osmolarité externe est donc plus forte ce qui nécessite un ajustement de l'osmolarité interne encore plus fort (pour ne pas se déshydrater car l'eau passe du milieu le moins concentré vers le milieu le plus concentré) ce qui se traduit par une production accrue de ces deux osmorégulateurs dans les organes des plantes arrosées par les traitements salins corrigés.

En revanche, les plantes alimentées par les eaux salines naturelles accumulent moins d'osmoprotecteurs dans toutes les parties végétales testées, ceci est due au fait que les milieux sont moins chargés de sels déséquilibrés donc créés un potentiel osmotique externe plus fort ne permettant pas une absorption hydrominérale parfaite et régulière.

Le stress osmotique perçu par les plantes des traitements (T1, T2 et T3) induit une réponse de défense qui est la synthèse de proline et des sucres solubles pour ajuster l'osmolarité interne mais qui reste inférieure à celle produite par les plantes alimentées par les eaux salines corrigées.

Les plantes de tomate et du haricot alimentés par la solution nutritive standard T4 (témoin) présentent les teneurs en proline et en sucres solubles les moins élevées suite à l'absence de stress osmotique.

La comparaison entre les trois organes de la plantes montre que la teneur de ces deux osmoprotecteurs est plus importante dans les feuilles que dans les tiges et les racines et que l'accumulation se fait dans le sens : feuille-tige- racine.

La stratégie d'accumulation de proline libre a été rapportée chez plusieurs espèces et dans différentes situations de stress (osmotiques, hydriques, et thermiques) (Tahri *et al*, 1998), Certains auteurs (Singh *et al*, 1973) pensent que les quantités accumulées pourraient être liées au niveau de tolérance aux stress. La proline accumulée pourrait jouer un rôle d'osmoticum. Elle pourrait, également, intervenir dans la régulation du pH cytoplasmique ou constituer une réserve d'azote utilisée par la plante postérieurement à la période du stress (Hadjadj *et al*, 2010).

l'étude sur des plantules d'orge (*Hordeum vulgare*) qui ont été soumises à différentes concentrations de NaCl (0, 150, 200 et 250 mM). a montré que l'accumulation de proline est positivement corrélée avec la salinité (Hassani et al., 2008).

Également, une étude sur des plantules de tournesol (*Helianthus annuus L.*), à partir du stade de deux feuilles, ont été arrosées, avec des concentrations progressives de (25, 50, 75 et 100 mM de NaCl) respectivement les 1er, 2ème, 3ème et 4ème jours après l'application du stress. Les teneurs en proline totales ont augmentés successivement de l'ordre de 70, 135 et 271% dans les cas 50, 75 et 100 mM NaCl (El Midaoui et al., 2007).

Le problème posé par la salinité à la production de la tomate industrielle en Algérie, a amené Arbaoui et al., (1999) à étudier ses réactions au sel. Une variété de tomate (hybride F1) destinée pour la transformation, est soumise à l'action de concentrations croissantes de 100 et 300 meq/l de NaCl + CaCl₂. Une analyse métabolique a porté sur l'évolution de la proline dans les feuilles, les tiges et les racines, après deux applications du stress salin, à deux stades différents: début floraison et fin floraison. Cette étude a permis de dégager que cette espèce accumule des quantités importantes de proline pour résister au stress salin. Ces résultats étaient préliminaires pour définir une approche qui permettrait d'apporter des solutions aux problèmes posés par la salinité dans les régions arides et semi- arides.

En ce qui concerne les teneurs en sucres solubles il a été rapporté que, des corrélations significatives et négatives sont établies, en conditions salines, entre la production de la biomasse sèche aérienne et les teneurs des feuilles en sucres solubles totaux de certaines espèces comme le haricot et le riz (Rather, 1984 in El Midaoui et al., 2007). A l'inverse, chez d'autres espèces comme le blé, l'orge et le triticale, ainsi que le cotonnier et le soja (Rather, 1984 in El Midaoui et al., 2007), c'est plutôt le phénomène contraire qui a été observé : les variétés présumées plus tolérantes de ces espèces sembleraient accumuler des quantités plus élevées de sucres solubles.

Une étude comparative a été menée sur diverses espèces végétales telles que le haricot (très sensible), le riz (sensible), le soja (moyennement résistant) et le cotonnier (tolérant) où des analyses des sucres ont été faites sur des plantes de 21 à 35 jours, cultivées pendant sept jours sur des solutions contenant 40 à 60 mM de NaCl. Les résultats révèlent que la teneur en sucres des feuilles augmente considérablement chez le haricot et plus faiblement chez le riz.

Par contre elle diminue légèrement chez le soja et plus fortement chez le cotonnier (El Midaoui et *al.*, 2007).

Après l'application d'un stress salin en milieu hydroponique à des plantules de trèfle (*Trifolium alexandrinum L.*) à 6 g/l de NaCl, la proline et les sucres solubles se sont significativement accumulés dans les feuilles sous l'effet du sel et participeraient aux phénomènes d'ajustement osmotique (Ben Khaled et *al.*, 2003).

Le comportement physiologique de deux variétés de bananier sous l'effet des doses croissantes de NaCl (0, 2, 4 et 6 g/l) s'est traduit par des teneurs élevées en proline racinaire et en sucres solubles totaux, au niveau des racines et des feuilles (Belfakih et *al.*, 2013).

Les travaux de Ould Mohamdi et *al* (2011), ont fait ressortir sur deux variétés de tomate (Campbell 33 et Mongal) soumises à des concentrations croissantes de NaCl. (0, 17, 50, 85 et 130 mM), que les deux variétés sont confrontées au stress salin appliqué par une accumulation plus importante de sucres solubles que de proline dans leurs feuilles.

En ce qui concerne la teneur en chlorophylle, les résultats obtenus dans notre travail montrent que la salinité exerce un effet remarquable sur les plantes de tomate et du haricot irriguées par les trois traitements salins naturels (T1, T2 et T3) en réduisant significativement la formation des pigments chlorophylliens durant les trois périodes du stress appliqué, où le traitement (T2) manifeste toujours les valeurs les plus faibles en chlorophylle a et en chlorophylle b avec des taux de réductions plus élevés chez le haricot que chez la tomate.

La correction des eaux salines naturelles, a permis d'augmenter la quantité de ces deux paramètres durant les deux premières coupes. Ceci peut être expliqué par l'équilibre ionique parfait des milieux alimentaires ainsi que le potentiel hydrique adéquate qui a permis aux plantes de croître et de se développer à un rythme similaire à celui des plantes alimentées par le témoin (solution nutritive standard) et d'échapper à l'effet néfaste de la salinité.

Nous avons remarqué aussi une faible régression du paramètre mesuré chez les plantes arrosées par les solutions salines corrigées pendant la troisième coupe ceci en raison de la sénescence physiologique des plantes. Par ailleurs, les plantes arrosées par le traitement témoin manifestent toujours les valeurs les plus élevées.

Dans le même contexte, Denden *et al.* (2005) in Lepengué *et al.* (2012), montrent que les baisses des teneurs chlorophylliennes pourraient être des variantes de la physiologie de ce

stress chimique. La toxicité saline provoquerait dans ce cas, des dégradations de chlorophylle proportionnellement aux concentrations salines. De tels phénomènes ont également déjà été rapportés par Lepengué *et al.* (2010) sur le maïs (*Zea mays*, L), Symaraytis *et al.* (1992) sur *Nicotiana plumba ginifolia*, et Piri (1991) sur le blé (*Triticum aestivum*, L.), en réponse aux toxicités salines.

De plus, trois variétés de *Lycopersicum esculentum* et une variété de *Lycopersicum sheesmanii* ont été étudiés sous différents régimes d'irrigation à l'eau saline. Les teneurs en chlorophylle (a), (b) et totale ont été réduites sous l'effet d'un stress salin (El Iklil *et al.*, 2002).

Plusieurs autres travaux se sont intéressés à l'effet de la salinité sur la teneur en chlorophylles (a), (b) et totale des plantes. Raj *et al.*, (1993) ont examiné la pertinence d'utiliser les cinétiques de la fluorescence de la chlorophylle (a) comme marqueur fiable pour le tamisage *in vivo* de variétés tolérantes au sel (sulfate de sodium) et ce, en comparant deux variétés de blé (*Triticum aestivum* L.) montrant des réactions différentes à la salinité: une variété sensible et une autre tolérante aux sels. Des plantules âgées de 3 semaines ont été soumises à différentes concentrations de sel (0 à 2%) pendant une période de 2 semaines. Le taux de la chlorophylle (a), mesuré sur des sections de feuilles, diminuent significativement chez la variété sensible, comparativement à la variété résistante, à mesure que la concentration en sel augmente. Le contenu total en chlorophylle de la variété tolérante augmente significativement suite au stress salin, avec une augmentation de la chlorophylle (a) aussi bien que de la chlorophylle (b), alors que chez la variété sensible, il n'y a pas de variations significatives.

Un travail réalisé sur l'Eucalyptus gomphocephala soumis au traitement (4g/l, 8g/l, 12g/l et 16g/l) de NaCl, les résultats montrent que les composantes de la chlorophylle chez cette espèce sont plus ou moins stables (Lamzeri, 2007).

En condition de stress salin sévère le contenu de la chlorophylle diminue considérablement chez les plants sauvages d'*Arabidopsis thaliana* (Mitsuya *et al.*, 2006).

El Midaoui *et al.*, (2007) ont étudié Les effets de 4 niveaux de NaCl (témoin, 50, 75 & 100 mM) sur le tournesol cultivé (*Helianthus annuus* L.) Les résultats concernant les teneurs en chlorophylles ont montré que chez tous les témoins, les teneurs en chlorophylles sont restées plus importantes, comparativement aux teneurs en chlorophylles dosées chez les

plantes de tournesol stressées. Les réductions de teneurs les plus importantes ont été notées en présence de 100 mM NaCl avec cependant des diminutions moyennes de l'ordre de 41, 48 et 44% respectivement pour les Chlorophylle a, b et totale.

Aussi il a été étudié en Iran les effets d'un niveau élevé de salinité combiné avec l'application de calcium supplémentaire sur les teneurs en chlorophylle chez le fraisier. Des plants de fraisiers (*Fragaria ×ananassa Duch.*) cv. Selva ont été suivis sous culture hydroponique en serre chaude; plusieurs traitements de NaCl ont été appliqués. Les résultats ont indiqué que la teneur en chlorophylle était diminuée par la salinité (Khayyat *et al.*, 2007).

Également, les résultats obtenus par R'him *et al* (2013) sur le comportement de trois variétés de piment (*Capsicum annum L*) soumis à des conditions de stress salin (0, 25, 50, 100 mmol de NaCl) ont montré une réduction de la conductance stomatique et de la teneur en chlorophylle a, b et totale.

Aussi, des études ont été faites sur des plantules de tomate (*Solanum lycopersicum*), traitées par différentes concentrations de NaCl (0-100 mM) en milieu riche ou pauvre en azote pendant 10 jours. Les résultats obtenus ont suggéré que les plantes cultivées en milieu riche en azote sont plus affectées par le stress salin et que celui-ci agit sur les centres réactionnels du photosystème II (Debouba *et al.*, 2006).

La réduction de la photosynthèse dépend de deux aspects de la salinisation à savoir, la concentration et la composition ionique de la solution saline. En effet, une forte concentration en sel réduit l'eau disponible à la plante, et crée un stress osmotique qui rend le transport électrochimique photosynthétique inactif (Allakhverdiev *et al*, 2001).

Aussi selon Walker *et al.* (1981), une perte de turgescence en milieu salé serait responsable d'une diminution de la capacité photosynthétique et, par conséquent, de la croissance.

La réponse des plantes de tomate et du haricot au stress salin au niveau des eaux salines naturelles est très variable. Ceci s'observe au niveau des pigments photosynthétiques qui ont subi sensiblement des réductions de leur teneur dans les feuilles des plantes des deux espèces surtout chez le haricot. Selon El Iklil *et al*, (2002), la réduction de la chlorophylle est peut être liée à la sensibilité de l'une des étapes de sa biosynthèse au chlorure de sodium.

Nos résultats sont conformes à ceux de Seemann et Sharkey,(1986) sur le haricot (*Phaseolus vulgaris L*) qui ont souligné que la salinité de (100 mM NaCl) du milieu réduit considérablement la capacité photosynthétique.

Levitt (1980), attribue la dégradation de chlorophylles foliaires sous l'effet du stress salin, à la destruction des pigments chlorophylliens et à l'instabilité du complexe pigmentaire protéique perturbé par l'excès des ions Na⁺ et Cl⁻.

En effet, le manque d'eau et la salinité sont des facteurs limitants de la conductance stomatique et par suite de la capacité photosynthétique (Greenway et Munns, 1980 ; Briantais, 1991 ; Tezara et al., 1999 ; Lawlor, 1995).

La diminution de la photosynthèse suite à un déficit hydrique ou salin est due principalement à une limitation stomatique (Werner et Stelzer,1990 ;Parida et al., 2003 ; Flexas et al., 2004; Ennahli et Earl, 2005).

6.3. Paramètres de production et de qualité

6.3.1 paramètres de production

6.3.1.1 Nombre de fleurs par plant

Tableau N°43: Nombre de fleurs par plant

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
Tomate	8,12 ± 1,88 b	16,87 ± 1,12 a	7,25 ± 2,31 b	16,75 ± 2,05 a	8,37 ± 2,77 b	17,37 ± 2,72 a	16,87 ± 3,90 a
Haricot	7,0 ± 1,51 c	33,5 ± 2,77 ab	6,75 ± 1,83 c	35,0 ± 3,54 a	6,87 ± 1,55 c	31,12 ± 2,35 b	31,75 ± 4,71 ab

6.3.1.2 Nombre des fruits par plant

Tableau N°44: Nombre de fruits par plant

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
Tomate	4,75 ± 1,48 b	16,25 ± 1,66 a	4,75 ± 2,05 b	15,62 ± 1,76 a	5,12 ± 2,10 b	15,62 ± 1,40 a	15,62 ± 4,17 a
Haricot	3,37 ± 0,91 c	24,25 ± 3,28 ab	3,25 ± 1,28 c	26,12 ± 2,53 a	3,87 ± 1,35 c	21,75 ± 1,98 b	22,37 ± 3,85 b

L'analyse de la variance montre que l'effet traitement exerce une influence très hautement significative sur le nombre de fleurs et le nombre des fruits par plant chez les deux espèces étudiées.

Pour la tomate, le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir deux groupes homogènes. Le premier groupe (a) dominant est représenté par le témoin (T4) et les traitements salins corrigés (T1C, T2C et T3C) où T3C reflète les moyennes les plus élevées suivie par (T4, T1C et T2C) respectivement. Le deuxième groupe homogène (b) est représenté par les traitements salins naturels où les plants issus du traitement T2 donnent les moyennes les plus faibles suivies par (T1) ensuite (T3).

pour le haricot le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir, quatre groupes homogènes où les traitements salins corrigés sont présentés par (a, ab et b) et les traitements salins naturels par le seul groupe homogène (c). Le premier groupe (a) dominant reflétant le nombre de fleurs et de gousses les plus élevés obtenus par les plants alimentés par le traitement (T2C), les autres groupes (b et ab) sont représentés par les traitements (T1C et T3C) respectivement alors que le groupe homogène (c) reflète les moyennes les plus faibles obtenues par les traitements salins naturels (T2, T3 et T1) respectivement.

6.3.1.3 Taux d'avortement (%)

Tableau N°45: Taux d'avortement (%)

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
Tomate	41,25 ± 12,92 a	3,75 ± 8,44 b	34,12 ± 19,17 a	6,5 ± 4,72 b	39,62 ± 12,01 a	8,87 ± 10,72 b	7,75 ± 7,34 b
Haricot	51,12 ± 12,12 a	27,5 ± 9,24 b	51,37 ± 13,86 a	25,25 ± 6,06 b	44,12 ± 9,34 a	30,12 ± 4,70 b	29,0 ± 12,14 b

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative entre les moyennes du nombre des fleurs avortées irriguées par les traitements testés. Pour les deux espèces le test de Newman et Keuls au seuil $\alpha = 5\%$, fait ressortir deux groupes homogènes. Le groupe (a) pour les solutions salines naturelles et le groupe (b) pour les solutions salines corrigées.

La tomate variété Saint-Pierre s'est montrée plus sensible au sodium lié aux sulfates et au magnésium lié aux chlorures pour former le traitement salin naturel (T1). Ces deux sels affectent la floraison et il révèle la moyenne la plus élevée (41.25%) et que la correction de cette solution pour former (T1C) diminue le taux d'avortement de l'ordre de 90.90%.

Alors que pour le haricot il semble que la liaison des ions de sodium et magnésium avec les chlorures et les sulfates respectivement pour former la solution saline (T2) affecte sensiblement la floraison (51.37%) et que la correction de cette solution diminue le taux d'avortement de l'ordre de (50.84%).

6.3.1.4. Le rendement par plant en (g)

Tableau N°46: Le rendement par plant en (g)

	T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
Tomate	118,43 ± 34,56 c	1095,68 ± 105,42 a	79,53 ± 34,34 c	1113,86 ± 131,41 a	109,75 ± 42,61 c	902,25 ± 144,28 b	1235,29 ± 330,67 a
Haricot	10,17 ± 1,73 d	124,55 ± 12,35 b	9,27 ± 1,63 d	125,92 ± 15,66 b	9,41 ± 1,16 d	109,29 ± 5,83 c	140,59 ± 10,99 a

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les moyennes du paramètre étudié. Ces résultats montrent que l'effet de la salinité varie de façon très remarquable entre les différents traitements. Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ indique la présence de trois groupes homogènes (a, b et c) Pour la tomate et quatre groupes homogènes (a, b, c, et d) pour le haricot.

Les plantes irriguées par la solution nutritive standard (T4) représenté par le groupe homogène (a) manifestent le poids des fruits le plus important avec une valeur de (1235.29g et 140.59g) au niveau de la tomate et le haricot respectivement. Les accroissements du rendement par plant au niveau des traitements salins corrigés sont très importants par rapport aux traitements salins naturels et sont de l'ordre de (92,85%, 92,63%) pour T2C suivi par (T1C) (89,19%, 91,83%), et (T3C) (87,83%, 91,38%) chez la tomate et le haricot respectivement.

Il est à noter que les rendements issus des traitements salins naturels forment un groupe statistiquement homogène quelque soit l'espèce étudiée reflétant les poids les moins élevés et sont classées dans le groupe homogène (c) chez la tomate et dans le groupe (d) chez le haricot et dans les deux cas de figures le traitement T2 donne les rendements les plus faibles qui sont de l'ordre de 79.53g pour la tomate et 9.27g pour le haricot.

6.3.2 Paramètres de qualité

6.3.2.1 Teneur en sucres totaux dans les fruits (%)

Tableau N°47: Teneur en sucres totaux dans les fruits (%)

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
3,8	7,53	3,1	7,16	3,03	7,83	5,76
±	±	±	±	±	±	±
0,12	0,48	0,10	0,46	0,15	0,34	0,51
d	ab	e	b	e	a	c

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative de l'effet du milieu sur la teneur en sucre dans les fruits. Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir six groupes homogènes.

Les fruits récoltés à partir des plantes traitées par des eaux salines corrigées (T3C, T1C et T2C) ont permis d'améliorer la teneur en sucres totaux des fruits avec des valeurs qui correspondent à (7.83%, 7.53 %et 7.16%) respectivement, suivi par les plantes alimentées par le traitement nutritif standard (T₄) avec un taux de 5.76%.

Concernant les plantes traitées par les eaux salines naturelles (T1, T2 et T3) ont produit les fruits de tomate contenant les teneurs en sucres les moins élevés qui sont de l'ordre de (3.8% 3.1% et 3.03%) respectivement.

6.3.2.2 Acidité titrable dans les fruits

Tableau N°48: Acidité titrable dans les fruits

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
0,63	1,26	0,28	1,18	0,31	1,30	0,52
±	±	±	±	±	±	±
0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
d	b	g	c	f	a	e

L'analyse de la variance révèle une différence très hautement significative du facteur solution sur le paramètre mesuré. A cet effet, le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir sept groupes homogènes.

Les fruits récoltés à partir des plantes alimentées par la solution saline corrigée (T3C) présentent l'acidité la plus élevée avec une valeur de 1.30g d'acide citrique/100g de jus. Suivi par les plantes irriguées par les traitements salins corrigés (T1C et T2C).

En revanche les traitements salins naturels manifestent les teneurs en acidité les plus faibles surtout au niveau du traitement (T2) où on enregistre 0.28g d'acide citrique/100g de jus. Ce qui représente un écart de quatre fois par rapport aux fruits issus des traitements salins corrigés (T3C).

6.3.2.3 Taux de vitamines « C » dans les fruits (%)

Tableau N°49: Taux de vitamines « C » dans les fruits (%)

T1	T1C	T2	T2C	T3	T3C	T4
8,79	27,56	9,91	25,06	13,63	29,98	20,18
±	±	±	±	±	±	±
0,10	0,32	0,53	0,74	0,66	0,38	0,40
g	b	f	c	e	a	d

L'analyse de la variance montre qu'il y a une différence très hautement significative entre les différentes moyennes mesurées de la teneur en vitamine « C » dans les fruits de tomate. Le test de Newman et keuls au seuil $\alpha = 5\%$ fait ressortir sept groupes homogènes.

Les fruits récolté à partir des plants qui sont alimentés par le traitement salin corrigé (T3C) sont les plus riches en acide ascorbique avec une valeur de 29.98%, alors que ce même traitement lorsqu'il est naturel, donne un taux de vitamine « c » classé en quatrième groupe homogène (e) avec une valeur de 13.63% ce qui correspond à une diminution de 54.53%.

La correction de la solution saline naturelle (T1) où le sodium est lié aux sulfates (SO_4^{2-}) et le magnésium est lié aux chlorures (Cl^-) donne un taux de vitamine « C » 27.56%. L'irrigation avec le traitement (T1) présente des fruits ayant une teneur la moins riche en acide ascorbique (8.79%).

Discussion sur les paramètres de production et de qualité

Les végétaux ont un potentiel génétique considérable pour la tolérance des stress environnementaux. En particulier, le rendement des plantes cultivées présente différents degrés de sensibilité au stress salin.

D'une façon générale la relation entre le rendement relatif des cultures et la salinité est à peu près linéaire sur la base de comparaison entre le rendement de la même culture en sols salé et non salé (Katerji, 1995).

En effet, l'excès de sel dans le sol affecte la germination, la croissance des plantules et leur vigueur, la phase végétative, la floraison et la fructification à des degrés variables (Delgado et al., 1994 ; Cordovilla et al., 1995), conduisant à terme à des baisses de rendement et de qualité des productions.

Les résultats obtenus concernant les paramètres de production, montrent bien que l'addition aux eaux salines d'éléments majeurs tels que N, P, K et oligo-éléments ainsi que le réajustement de la balance ionique ont diminué le taux d'avortement et ont permis par conséquent un accroissement significatif d'une part du nombre de fruits recueillis par plant, et du poids des fruits récoltés par plant de l'autre part. Les effets de la correction des eaux sont plus marqués pour la tomate que pour le haricot ce qui confirme bien la sensibilité supérieure du haricot aux effets de sels.

Seuls les plants du milieu (T3C) le plus fortement salés ont les accroissements de rendement les plus faibles et ce par rapport au traitement salé naturel correspondant (T3). La comparaison des résultats obtenus entre les traitements corrigés et la solution nutritive de base T4 (témoin) indique que les solutions salines corrigées (T1C, T2C), conviennent parfaitement à la culture de la tomate et du haricot. Cette comparaison révèle aussi que la production de la tomate est de dix et quatorze fois plus élevées environ dans les eaux salines corrigées (T1C, T2C) et seulement huit fois dans l'eau saline corrigée T3C que la production dans les eaux naturelles correspondantes. Cette constatation est presque similaire chez le haricot.

À l'inverse, le traitement (T3C) affecte les deux espèces étudiées en raison de la teneur élevée en chlorures et en sulfates qui vont provoquer une forte pression osmotique inhibant ainsi l'absorption de l'eau d'où perturbation de l'absorption d'éléments indispensable à la photosynthèse, la fécondation, la fructification et le développement des graines. Il est à noter

que les fortes concentrations de Mg^{2+} ($9.20\text{cmol}^+/l$), de Na^+ ($9.90\text{cmol}^+/l$), de chlorures ($14.45\text{cmol}^+/l$), et de sulfates ($9.40\text{cmol}^+/l$) sont considérées comme les principaux caractères de l'évaluation de la qualité du milieu pour l'irrigation.

La faiblesse de production de fruits enregistrée au niveau des plants du (T1, T2 et T3) est expliquée tout d'abord par une forte pression osmotique en raison d'une salinité particulièrement élevée qui inhibe l'absorption de l'eau. Elle peut être expliquée par une concentration élevée de chlorures par rapport à celle des sulfates et par une concentration élevée de Na^+ ayant des effets défavorables (phénomène de toxicité) sur le développement du haricot (espèce sensible à la salinité). Ces traitements finissent par provoquer des troubles minéraux engendrant ainsi un déséquilibre dans l'absorption insuffisante de certains éléments tels que Mg, Bo, Zn, Fe et Mn. La conséquence en est un phénomène de chlorose accompagné d'un ralentissement de la photosynthèse et par voie de conséquence une réduction de la vitesse de croissance.

La composition chimique des fruits est remarquablement modifiée par les différents traitements testés. Les teneurs en sucres totaux, en vitamine C et en acidité des fruits sont significativement augmentées au niveau des traitements salins corrigés (T1C, T2C et T3C) par rapport au témoin (T4). A l'inverse, ces paramètres sont plus faibles dans des environnements salins naturels (T1, T2 et T3).

A l'instar des paramètres de qualité, les principaux résultats relatifs à la teneur en sucres totaux, l'acidité titrable, et en vitamine "C" mettent en évidence l'effet de la correction des eaux salines naturelles, qui peut faire varier significativement la composition chimique des fruits de tomate. Nous avons vérifié que les fruits de tomate cultivés dans les eaux salines corrigées sont plus acides et présentent une teneur en sucres totaux et en vitamine "C" plus élevées que ceux produits en solutions salines naturelles. Il est également important de noter que ces paramètres mesurés sont très liées à la teneur du potassium dans les milieux nutritifs (Rey et Coste; 1965 in Snoussi 2001) ce qui expliquerait les teneurs élevées de ces substances dans les fruits issus des traitements salins corrigées et en particulier au niveau des fruits du traitement (T3C) où la concentration du potassium est la plus élevée ce qui permet d'accroître l'efficacité de la fumure azotée, en régulant la synthèse des substances organiques de la plante (Eliard, 1987 in Snoussi 2001).

A l'inverse, ces paramètres sont plus faibles dans les environnements salins naturels (T1, T2 et T3). Ceci s'explique par le fait que ces milieux alimentaires ne contiennent pas de

potassium, qui est un élément reconnu fondamental dans l'amélioration de la saveur. Aussi, la faiblesse des teneurs en ces substances peut être liée à la sensibilité de l'une des étapes de leurs biosynthèses aux sels nocifs comme le chlorure de sodium (El Iklil et *al.*; 2002).

Selon les travaux de Chinnusamy et al (2006), le chlorure de sodium aurait un effet négatif sur les échanges du potassium. L'ion de sodium, de part sa nature chimique semblable à l'ion potassium, entre en concurrence avec ce dernier et inhibe son absorption par la racine. De ce fait, une carence en potassium produit l'inhibition de la croissance puisqu'il est impliqué dans la capacité d'un ensemble d'activités enzymatiques en plus de sa participation au maintien du potentiel de membrane et la turgescence cellulaire.

L'augmentation de la concentration en Na^+ s'accompagne d'une réduction de la concentration en Mg, K, N, P et Ca dans la plante. Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance en présence de sel lorsque des ions essentiels comme K^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- deviennent limitant (Haouala et *al.*, 2007). D'un autre côté, la salinité peut gêner ou altérer l'assimilation des ions K^+ et Ca^{2+} (Rengel, 1992; Huang et Redman 1995). En fait, Le potassium K^+ étant un activateur de beaucoup d'enzymes essentielles pour la photosynthèse et la respiration, les insuffisances en k^+ auraient comme conséquence l'inhibition de la photosynthèse d'où une réduction de la croissance (Salisbury et Ross 1992).

Conclusion générale

Conclusion générale

A travers notre expérimentation, il a été confirmé encore une fois de plus, que la salinité est une contrainte majeure qui affecte la croissance et le développement des plantes se développant dans des milieux salins, caractéristiques des régions arides et semi-arides qui souffrent des problèmes de la salinisation des sols et des eaux d'irrigation.

La résistance au sel apparaît comme un caractère polygénique contrôlé à différents niveaux d'organisation de la cellule à la plante entière. Les mécanismes de réponse aux stress font intervenir un certain nombre de réactions au sein de ce processus physiologique. Chez les plantes, ces différentes étapes correspondent à la perception et la reconnaissance du stress, la transduction du signal qui en résulte à l'intérieur de la cellule, l'amplification de ce signal, la modification de l'expression de certains gènes et la production de molécules impliquées dans le rétablissement de l'homéostasie cellulaire. La chlorophylle et les molécules d'osmorégulation dans ces différentes réactions peuvent être considérées comme des marqueurs de la réponse au stress salin.

La diversité des effets du sel offre une gamme étendue de critères physiologiques et biochimiques qui peuvent être à la base de tests rapides, utilisables pour un tri à grande échelle.

A travers notre travail expérimental, nous avons démontré au moyen de ces expériences, l'intérêt de la correction des eaux salines dans les accroissements des paramètres de croissance, de développement, de production, dans la qualité organoleptique des fruits et au niveau des paramètres physiologiques qui peuvent être modifiés significativement par rapport aux eaux salines naturelles.

Nos résultats ont montré que la correction des eaux salines naturelles favorise l'absorption hydrominérale se traduisant aussi par un bon développement des espèces étudiées. A l'inverse le déséquilibre ionique dans les eaux salines naturelles a pour conséquence une dépression qui a provoqué,

- a) Un ralentissement de la croissance qui peut même s'arrêter définitivement;
- b) Un nanisme et rabougrissement des plantes;

c) Une fructification hâtive et peu abondante et dans les cas extrêmes la plante meurt avant d'avoir pu se reproduire.

Ces accidents sont d'ailleurs dus davantage à la sécheresse physiologique qu'à une absorption excessive de sels.

Aussi la correction des solutions salines, à savoir (T1C, T2C et T3C) a permis aux espèces étudiées de réaliser correctement leurs cycles de développement et d'échapper aussi à l'effet néfaste de la salinité. Les accroissements les plus importants sont enregistrés en majorité au niveau des plantes issues du traitement (T2C).

La biomasse totale est maintenue avec les eaux corrigées très fortement salées, tandis qu'elle est réprimée par les eaux salines naturelles due essentiellement au dessèchement précoce et la chute des feuilles. On déduit de cela, qu'en optimisant la fert-irrigation dans les eaux salines naturelles, il peut être possible d'obtenir des plantes de caractéristiques équivalentes au témoin.

En ce qui concerne l'effet de la salinité des eaux d'irrigation sur les paramètres physiologiques, la réponse, analysée à travers l'expression de l'accumulation de la proline et des sucres solubles montrent que les plantes de tomate et de haricot accumulent ces composés protéiniques et glucidiques 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 le stade de développement, et selon la nature et l'intensité du stress appliqué. Cette variation est probablement liée au rôle que jouent ces substances à l'échelle cellulaire ainsi que son implication dans l'ajustement osmotique. L'évolution de l'accumulation de ces composés organiques se fait progressivement dans le sens racines, tiges feuilles avec une accumulation plus importante chez la tomate comparativement au haricot et plus particulièrement au niveau des eaux salines corrigées en raison de la forte osmolarité des milieux, se traduisant ainsi par une production accrue d'osmoprotecteurs tels que la proline et les sucres solubles. Les plantes de tomate et de haricot arrivent à croître et à se développer dans des conditions de salinité élevée grâce principalement au mécanisme d'ajustement osmotique ce qui montre qu'elles ont utilisées les mêmes mécanismes de tolérance à la contrainte saline. Toute fois la différence réside au niveau des teneurs synthétisées. Ainsi le haricot serait plus à la salinité de milieu que la tomate sensible que la tomate.

Les teneurs en chlorophylles (a et b) sont des paramètres très sensibles, qui peuvent nous renseigner sur le degré de tolérance des cultures à la salinité. Les eaux salines naturelles ont montré des réductions importantes de la chlorophylle sur les feuilles des plantes alors que la correction des ces même eaux a permis d'inverser positivement la quantité de chlorophylle au niveau des organes mesurés.

Il y a lieu de noter que les teneurs en chlorophylle (a et b) sont plus faibles à l'effet du stress salin chez la tomate comparativement au haricot.

L'équilibre nutritionnel dans les traitements salins corrigés a permis d'augmenter de manière significative d'une part le nombre de fruits par plant et d'autre part le poids moyen des fruits et des gousses et ce par rapport aux traitements salins naturels.

La composition chimique des fruits est remarquablement modifiée par les différents traitements. Les teneurs en sucres totaux, en vitamine C et en acidité des fruits sont significativement augmentées au niveau des traitements salins corrigés (T1C, T2C et T3C) par rapport au témoin (T₄). A l'inverse, ces paramètres sont plus faibles dans les milieux nutritifs salins naturels (T1, T2 et T3).

Enfin, ces résultats seront d'un apport important pour participer à une meilleure conduite des cultures légumières dans les zones arides et semi arides où la qualité des eaux fournie pour l'irrigation est défavorable. Les prévisions montrent que notre pays sera touché par une pénurie des ressources en eaux et plus particulièrement la part consacrée à l'agriculture. De ce fait la valorisation des eaux salines non conventionnelles devient une nécessité fondamentale. Cependant, des études à long terme doivent être entreprises afin de justifier le motif environnemental pour l'utilisation de ces eaux salines sans le risque d'accentuer le phénomène de salinisation qui reste une priorité essentielle à prendre en charge.

Perspectives

Au cours de notre travail nous avons étudié l'effet de la salinité sur les plantes de deux espèces maraichère tomate et le haricot, par l'analyse et mesure des paramètres biométriques et physiologiques en fonction de différents traitements testés. Plusieurs autres interrogations restent encore posées et nécessitent des études plus approfondies, notamment :

- L'étude de l'effet du stress salin chez ces espèces en fonction du stade de développement en commençant par la germination afin de déterminer le stade le plus sensible à la salinité.
- L'élargissement de l'étude au niveau de plusieurs espèces légumières avec plus de variétés, et ce pour une meilleure mise en valeur des régions arides et semi-arides.
- L'identification des osmorégulateurs autres que la proline et les sucres solubles pour mieux élucider l'ajustement osmotique qui est un mécanisme très développé par les plantes pour faire face au stress osmotique.
- L'identification des gènes responsables de la tolérance et à la sensibilité au stress salin par une étude moléculaire.

*Références
bibliographiques*

Références bibliographiques

Adel, J., and Bader, J. (2002): Studies of some traits related to salinity tolerance in bread wheat (*Triticum aestivum* L.). Proceeding of the International Symposium on optimum resources utilization in salt-affected Ecosystems in arid and semi-arid regions, Cairo, Egypt, p.102.

Agastian, P., Kingsley S.J., and Vivekanandan, M. (2000): Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica* 38, 287–290.

Agboma, M., Jones, M.G.K., Peltonen-Sainio, P., Rita, H., and Pehu, E. (1997a): Exogenous glycine betaine enhances grain yield of maize, sorghum and wheat grown under two supplementary water regimes. *J. Agron. Crop Sci.* 178 (1) : 29 – 37. doi:10.1111/j.1439-037X.1997.tb00348.x.

Agboma, P., Peltonen-Sainio, P., Hinkkanen, R., and Pehu, E. (1997 b): Effect of foliar application of glycine betaine on yield components of drought stressed tobacco plants. *Exp. Agric.* 33(3) : 345 –352. doi:10.1017/S0014479797003062.

Agboma, P., Sinclair, T., Jokinen, K., Peltonen-Sainio, P., and Pehu, E. (1997c): An evaluation of the effect of exogenous glycine betaine on the growth and yield of soybean: Timing of application, water regimes and cultivars. *Field Crops Res.* 54 :51–64. doi:10.1016/S0378-4290(97)00040-3

Allakhverdiev, Y. M., Mamedov, M. D., and Gasanov, R. A. (2001): The Effect of Glycinebetaine on the Heat Stability of Photosynthetic Reactions in Thylakoid Membranes. *Turk. J. Bot.* Vol 25, pp. 11-17

Amtmann, A., and Leigh, R. (2010): Ion homeostasis. Chap. 12. Dans *Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation*. Sous la direction de A. Pareek, S.K. Sopory, H.J. Bohnert et Govindjee. p. 245 –262.

Angelier, E. (2008) : Les sciences de la complexité des vivants, Ed Tec et Doc Lavoisier, 22p.

Apse, M.P., and Blumwald, E. (2007) : Na⁺ transport in plants. *FEBS Lett.* 581 (12) : 22 47– 22 54. doi: 10.1016/j.febslet.2007.04.014 PMID:17459382.

Arbaoui, M., Benkhelifa, M., et Belkhodja, M. (1999) : La réponse métabolique de la tomate industrielle (*Lycopersicon Esculentum* Mill.) au choc salin, cultivée dans un sol sableux mélangé à la bentonite. Université de Sénia, Oran, Algérie. Séminaire 02, Ouargla 08-10 Novembre 1999 Agronomie et Hydraulique en zone Aride et Semi-Aride.

Arbaoui, M., Benkhelifa, M., et Belkhodja M. (2000): Réponses physiologiques de quelques variétés de blé dur à la salinité au stade juvénile. Option méditerranéenne Pp.267-270.

Ashraf M., et Foolad M. R. (2007): Role of glycine betaine and protein in improving plant abiotic stress resistance. Environmental and Experimental Botany. 59. pp 206-216.

Auzac, J. (1994) : Le calcium : un messager dans la réponse aux plantes aux stimuli .Revue no1: Plantation, recherche, développement, vol. 1, pp 22-27.

Aydin A.,Tusan M., and sezen, Y. (1997): Effect of sodium salt on growth and nutrient uptake of spinach (*Spinacea oleracea*) and bean (*Phaseolus vulgaris*)

Aydin, A., Metin, T., and Yıldırım, S. (2001): Effect of sodium salts on growth and nutrient uptake of spinach (*Spinacia oleracea*) and beans (*Phaseolus vulgaris*) . Plant and Soil. Vol.16, pp. 47-54. Belfakih, 2013.

Aïdoud, A., Le Floc'h, E., et Le Houérou, H. N. (2006): Les steppes arides du nord de l'Afrique. Sécheresse. Vol. 17, no 1-2, pp. 19-30

Bajji, M., Kinet, J.M., and Lutts, S. (2002): Osmotic and ionic effects of NaCl on germination, early seedling growth, and ion content of *Atriplexhalimus* (*Chenopodiaceae*) Can.J. Bot. Vol. 80, n°3, pp. 297-304.

Bartels, D., and Sunkar, R. (2005): Drought and salt tolerance in plants. Crit. Rev. Plant Sci. 24(1) : 23 – 58 . doi:1 0.1080/07352680590910410.

Bayuelo-Jiménez, J., Debouck, D.G., and Lynch, J.P. (2002): Salinity tolerance in *Phaseolus* species during early vegetative growth. Crop Science. Pp.2184.

Belfakih, M., Ibriz, M., et Zouahri A. (2013): Effet de la salinité sur les paramètres morpho-physiologiques de deux variétés de bananier (*Musa acuminata L*) Journal of Applied Biosciences 70:5652– 5662.

Belkhodja, M., et Bidai, Y. (2004) : La réponse des graines d'*Atriplex halimus L.* à la salinité au stade de germination. Sciences et changements planétaires/sécheresse. Vol.15, n°4, pp. 331-335.

Belkhodja, M., and Benkablia, M.(2000): Proline response of faba bean (*Vicia faba L.*) under salt stress. Egypt. J.of Agric.Res.,78,(1),p.185-195.

Bellinger, Y., Bensaoud, A., and Larher, F.(1989):Physiology breeding of winter cereals for stress environments Colloque,N°3, Montpellier,France

Ben Ahmed, H., Manaa, A., et Zid, E.(2008): Tolérance à la salinité d'une poaceae à cycle court : la sétaria (*Setaria verticillata L.*) Comptes rendus de biologie. Vol. 331, n°2, pp. 164-170. Ben Khaled et al.,2003

Ben Naceur M., Ben Salem M., Rahmoune, C., Chrifi, A., ElJaafari, S., et Paul, R. (1998): Étude comparée du comportement de quelques variétés anciennes et quelques variétés nouvelles de blé dur (*Triticum durum* Defs.) sous contrainte hydrique. *Annales de l'INRA* 71: 251-273.

Ben Naceur, M., Abdellaoui, R., Cheikh-M'Hamed, H., Hedhly, K., et Selmi, M., (2005): Critères précoces de tolérance au stress salin chez quelques génotypes de tomate. *Annales de l'INRGREF*, 6, pp. 55-70.

Ben Naceur, M., Ben Salem, M., Rouissi, M., El Berji, Z., et Rahmoune, C. (2002) : Influence du manque d'eau sur le comportement écophysologique de quatre variétés de blé dur. *Annales de l'INRGEF*. Vol. 5, pp. 133-152.

Ben Naceur, M., Rahmoun, C., Sdiri, H., Medahi, M., et Selmi, M. (2001): Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production de grains de blé. *Sécheresse*, 12 (3): 167-174.

Benata, H., Berrichi, A., B., Reda Tazi, M., Abdelmoumen, H., Misbah, et El Idrissi, M. (2006) : Effet du stress salin sur la germination, la croissance et le développement de trois espèces légumineuses : *Acacia tortilis* var. raddiana, *Leucaenaleucocephala* et *Prosopis juliflora*. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole Settat 16 – 17 Mars 2006. Recueil des résumés. 25p.

Benkhalel, L., Gomez, A.M., Honrubia, M., et Oihabi, A. (2003): Effet du stress salin en milieu hydroponique sur le trèfle inoculé par le Rhizobium. *Agronomie*, 23, p.553- 560.

Benmahioul, B., Daguin, F., et Kaid-Harche, M. (2008): Effet du stress salin sur la germination et la croissance in vitro du pistachier (*Pistacia vera* L.). Université « Abou Bekr Bel Kaïd », Tlemcen, Algérie. *Comptes rendus Biologie. Agronomie*. Vol. 331, issue 2, pp. 164-170.

Benmimoune, M. (2002) : «La gestion de la fertilisation potassique en arboriculture fruitière », Acquis et perspectives de la recherche, INA, Tunis, 4 p

Berthomieu, P., Conéjéro, 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(9) : 2004–2014. doi:10.1093/emboj/cdg207. PMID:12727868.

Bertrand, R. (1981): Sols salsodiques et cultures irriguées avec des eaux salines. Ed. GERDAT – IRAT, 44P.

Bezapaly, D. (1984): Les plantes cultivées en Afrique occidentale – Macou. Ed Mir, 279p.

Blanc, D. (1987) : Les cultures hors sol. Ed. INRA. Paris. 409p.

Blumwald, E. (2000) :Sodium transport and salt tolerance in plants. *Curr. Opin. Cell Biol.* 12(4) : 431 –434. doi:10.1016/S0955-0674 (00)00112-5. PMID:10873827.

Blumwald, E., Aharon, G.S., and Apse, M.P. (2000) :Sodium transport in plant cells. *Biochim. Biophys. Acta*, 1465(1 –2) : 140 – 151. doi:10.1016/S0005-2736(00)00135-8. PMID:10748251.

Blumwald, E., Grover, A., and Good, A.G. (2004): Breeding for abiotic stress resistance: challenges and opportunities. 2004 « New directions for a diverse planet ». Dans *Proceedings of the 4th International Crop Science Congress*, 26 September – 1 October 2004, Brisbane, Australia. [CDROM]. Web site [www.cropscience.org.au](http://www.cropsscience.org.au).

Bohnert, H.J., et Jensen, R.G. (1996): Metabolic engineering for increased salt tolerance the next step. *Aust. J. Plant Physiol.* 23 (5): 661-667. doi:10.1071/PP9960661.

Bois, G. (2005): Ecophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique. Thèse de doctorat. 187p.

Bokman, O. (1990) : « Agriculture et fertilisation » Ed Norsk Hydro, 171p.

Bonte, L.H. (2010) : Réaliser et entretenir un mur végétal. Ed. Eyrolles. Paris. pp : 79-81.

Borojevic, S., Cupina, T.,and Krsmanovic, M. (1980):Green area parameters in relation to grain yield of different wheat genotypes. *Z. Pf lanzenzuech.*84: 265– 283.

Borsani, O., Valpuesta, V., and Botella, M.A. (2003) : Developing salt tolerant plants in a new century: a molecular biology approach. *Plant Cell Tissue Organ Cult.* 73(2) : 101–115. doi:10.1023/A:1022849200433.

Bouaouina, S., Zid, E., et Hajji, M. (2000): Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescence chlorophyllienne chez le blé dur (*Triticum turgidum* L.) .CIHEAM - Options Méditerranéennes. pp. 239-2.

Bouda, S., Baaziz, M., and Haddioui, A. (2006): Effect of salinity on germination of genus *Atriplex*. Recueil des résumés. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole. Faculté des sciences et techniques, Settat, Maroc, p. 151.

Boulghalagh, J., Berrichi, A., El Halouani, H., et Boukroute, A. (2006) : Effet des stress salin et hydrique sur la germination des graines du jojoba (*Simmondsiachinensis*[link] schneider). Recueil des résumés. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole, Settat, Maroc, p. 24.

Boutelier, E.(1986):Effet du NaCl sur la physiologie du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.). Son rôle dans l'acquisition de la résistance à la sécheresse.Thèse de Doc.Univ. Paris 6,142 p

Brumos, J., Colmenero-Flores, J.M., Conesa, A., Izquierdo, P., Sánchez, G., Iglesias, D.J., López-Climent, M.F., Gómez-Cadenas, A., and Talón, M. (2009): Membrane transporters and carbon metabolism implicated in chloride homeostasis differentiate salt

stress responses in tolerant and sensitive Citrus rootstocks. *Funct. Integr. Genomics*, 9(3): 293 – 309. doi:10.1007/s10142-008-0107-6. PMID:19190944.

Brun, R. (2003) : La rose sous serre pour la fleur coupée. Ed. INRA. Paris. p7.

Brun, R., et Settembrino, A. (1994) : Le pilotage de la fertilisation des cultures hors sol, *Revu., P.H.M.*, pp 8-15.

Callen, J. (2007) : « Biologie cellulaire ».Ed Dunod 2ème édition, Paris, 307p.

Calmon, P., Métivier, J. (2003) : Molybdène et environnement, Direction de l'environnement et de l'intervention-Service d'études du comportement des radionucléides dans les écosystèmes, 6p.

Calu, G. (2006). Effet du stress salin sur les plantes. Comparaison entre deux plantes modèles : *Arabidopsis thaliana* et *Thellungiella halophila*. Master 1, Recherche biotechnologie : du gène à la molécule Spectro Sciences, article 23, 10 p.

Carpenter, J.F., Crowe, L.M., and Arakawa, T. (1990) : Comparison of solute-induced protein stabilisation in aqueous solution and in the frozen and dried states. *J. Dairy Sci.* 73(12) : 327– 333. doi:10.3168/jds.S0022-0302(90)79065-0.

Chartzoulakis, K., et Klapaki, G. (2000): Response of two green house pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci. Hortic.* 86, 247–260.

Chaux, C., et Foury, C. (1994): Productions légumières, tome 3 (Légumineuses potagères Légumes fruits). Ed. Lavoisier Tec & Doc. Pp : 145 - 230.

Chen, H., and Jiang, J.-G. (2010): Osmotic adjustment and plant adaptation to environmental changes related to drought and salinity. *Environ. Rev.* 18(NA) : 309 –319. doi:10.1139/A10-014.

Chen, T.H., and Murata, N. (2002): Enhancement of tolerance of abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Curr. Opin. Plant Biol.* 5(3) : 250 – 257. doi:10. 1016/S1369-5266(02)00255-8. PMID:11960744.

Chibane, A. (1999) : Transfert de technologie en agriculture, fiche technique « tomate sous serre ». MADRPM. Bulletin mensuel N°57. 4p.

Chinnusamy, V., Zhu, J., and Zhu, J.K. (2006): Salt stress signaling and mechanisms of plant salt tolerance. Genetic engineering. (Research Support, N.I.H., Extramural Research Support, U.S. Gov't, Non-P.H.S. Review)2006.;27:141-77.

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.

Cixin He, M.S. (2005): Analysis of ATNHX1 -expressing transgenic cotton under high salt conditions and in the field. A dissertation in biology, Ph.D

Claude Bernard (1868)

Coïc, Y., et Coppenet, M. (1989) : Les oligo-éléments en agriculture et élevage. Ed. INRA. Paris. Pp : 73-74.

Coïc, Y., et Lesaint, C. (1975): La nutrition minérale en eau de plantes horticulture avancée, Document technique S.C.P.A, n°23, Versailles, 21p.

Coïc. Y. (1984) : Les cultures sans sol. Revue science et vie N°146. Pp : 68 - 75.

Colmenero-Flores, J.M., Martinez, G., Gamba, G., Vazquez, N., Iglesias, D.J., Brumos, J., and Talon, M. (2007) : Identification and functional characterization of cation-chloride cotransporters in plants. *Plant J.*50(2) : 278 – 292. doi:10.1111/j.1365-3113.2007.03048.x. PMID:17355435.

Comillon, P. (1985) : Effet des basses températures appliquées aux parties aériennes ou racinaires de la tomate sur l'absorption d'éléments minéraux et la fertilité pollinique, *Revue Agronomie*, 5 (1), pp 33-38.

Cordovilla, M.P., Ocana, A., Ligeró, F., and Lluch, C. (1995): Salinity effects on growth analysis and nutrient composition in four grain legumes- Rhizobium symbiosis. *J.Plant Nutr.*, 18, 1595-1609

Cornillon, P., et Palloix, A. (1995) : Influence de la salinité et de la température du substrat sur la croissance et la nutrition du piment. *Fruits*, 50: 469–471.

Cramer GR. (2002):Sodium-calcium interactions under salinity stress. In:“Salinity. Environment-Plants-Molecules”. Eds. A. Läuchli and U. Lüttge. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, pp. 205-227 (2002).

Cramer, G.R., Ergül, A., Grimplet, J., Tillett, R.L., Tattersall, E.A.R., Bohlman, M.C., Vincent, D., Sonderegger, J., Evans, J., Osborne, C., Quilici, D., Schlauch, K.A., Schooley, D.A., and Cushman, J.C. (2007): Water and salinity stress in grapevines: early and late changes in transcript and metabolite profiles . *Funct. Integr.Genomics*, 7(2): 111–134. doi:10.1007/s10142-006-0039-y.PMID:17136344.

Cuartero, J., and Fernandez-Munez, R. (1999): Tomato and salinity. *Scientia. Hort.*, 78: 83-125.

Daniet, R and Karel, B. (1986): Fundamentals of plant pathology, Ed. W.H. Freeman, 523p.

Davidian, J.(2007) : « Le soufre dans le sol et ces rôles dans la physiologie de la plante » Académie d'Agriculture de France, pp1-2, davidian@supagro.inra.fr

Debez, A., Chaibi, W. et Bouzid, S. (2001) : Effet du NaCl et de régulateurs de croissance sur la germination d'*Atriplexhalimus*L. *Agriculture*. Vol. 10, n°2, pp. 8-135.

Debouba, M., Ghorbel, M. H. et Gouia, H. (2006): Effets du NaCl et de la déficience en azote sur la fluorescence chloro-phyllienne du photosystème II chez la tomate (*Solanum lycopersicon*, Chibli F1). *Acta. Bot.* Vol. 154, n°4, pp. 635-642.

De-Lacerda, C.F., Cambraia, J., Oliva, M.A., Ruiz, H.A., and Prisco, J.T. (2003): Solute accumulation and distribution during shoot and leaf development in two sorghum genotypes under salt stress. *Environ. Exp. Bot.* 49(2): 107 –120. doi:10.1016/S0098-8472(02) 00064-3.

Delgado, M.J., Ligeró, F. and Lluch, C. (1994): Effects of salt stress on growth and nitrogen fixation by pea, faba-bean, common bean and soybean plants. *Soil Biol. Biochem.* 26, 371-376.

Denden, M., Bettaieb, T., Sahli, A. et Mathlouthi, M. (2005): Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales. *Tropicultura.* Vol. 23 N°4, pp220-226.

Diehil, R. (1975) : Agriculture générale. Ed J.B Bailliére, 396p. Document technique SCPA n°23. Versailles, 21 p.

Djerroudi, Z., Belkhodja, M., Bissati, S. and Hadjadj, S. (2010): Effet du Stress Salin sur l'accumulation de Proline Chez Deux espèces d'*Atriplex Halimus L.* et *Atriplex Canescens* (Pursh) Nutt; *European Journal of Scientific Research*, pp.249-260. doi:10.1111/j.1365-3040.2009.02060.x. PMID:19895402.

Dubois, M., Gilles, K.A., Hamilton, J.K., Rebecs, P.A. and Smith, F. (1956): Colorimetric method for détermination of sugars and related substances. *Anal. Chem.*, 28 (3) : 350-356.

Dubost, D. (1994): Pratique de l'irrigation au Sahara. CIHEAM / IAM.

El Iklil, Y., Karrou, M., Mrabet, R. et Benichou, M. (2002): Effet du stress salin sur la variation de certains métabolites chez *Lycopersicon esculentum* et *Lycopersicon sheesmanii*. *Canadian journal of plant science.* Vol. 82, n°1, pp. 177-183.

El Alaoui, A. (2007) : La fertilisation minérale des cultures, les éléments secondaires et oligo-éléments. *Bulletin mensuel d'information et de liaison, institut agronomique et vétérinaire Hassan 2, Rabat*, pp 2-4.

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*, mars 2007, pp. 29-34.

Elattir, H., Skiredj, A. et Elfadl, A. (2003): La toma te, l'aubergine, le poivron et le gombo. *Bulletin mensuel d'information et de liaison du PNTTA . MADRPM/ DERD N° 100.*

Elmsehli, S. (2009) : Les plantes et la perception des changements environnementaux. *Compte rendu de la session 4 : Biotic and abiotic stresses. 8ème Colloque National de la SFBV, 8-10 Juillet 2009, Strasbourg, France*, pp. 20-25.

Ennahli, S. and Earl, H.J. (2005): Physiological limitations to photosynthetic carbon assimilation in cotton under water stress. *Crop Sci.* (45) p. 2374-2382.

Erard, P., Jeannequin, B., et Letard, M. (1995): Maîtrise de l'irrigation fertilisante, tomate sous serre et abris en sol et hors sol. Ed Tec & Doc.

FAO. (2012) : www.FAOSTAT.FAO.org.

FAO. (2005) : Foresterie en zone aride. Archives de documents de la FAO, 12 p.

Fevereau, J. (1976) : Culture en containers. *Revue horticole* N°14. pp : 68 - 75.

Flexas, J., Bota, J., Loreto F. and Sharkey, T.D. (2004): Diffusive and metabolic limitations to photosynthesis under drought and salinity in C3 plants. *Plant Physiology* 6: 296-279.

Flores, P., Botella M.A., Martinez V. and Cedra, A. (2000) : Ionic and osmotic effects on nitrate reductase activity in tomato seedlings. *J. Plant Physiol.* 156, 552–557.

Flowers, T.J., Troke, P.F., and Yeo, A.R. (1977): The mechanisms of salt tolerance in halophytes. *Annu. Rev. Plant Physiol.* 28(1): 89-121. doi:10.1146/annurev.pp.28.060177.000513.

Francis, T.R. and Kannenberg, L.W. (1970): Yield stability studies in short season maize: A descriptive method for grouping genotypes. *Canadian J. Pl. Sci.*, 58: 1029–1034.

Gallais, A., et Bannerot, H. (1992) : Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed. INRA. France. Pp : 369 – 391.

Gama, P.B.S., Inanaga, S., Tanaka K. and Nakazawa, R. (2007): Physiological response of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings to salinity stress. *African Journal of Biotechnology* Vol. 6 (2), pp. 079-088

Garcia, M., and Charbaji, T. (1993): Effect of sodium chloride salinity on cationequilibria in grapevine. *J. Plant Nutr.* 16(11): 2225 –2237. doi:10.1080/01904169309364682.

Garg, A.K., Kim, J.K., Owens, T.G, Ranwala, A.P., Choi, Y.D., Kochian L.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) p. 15898-15903.

Gedda, A. (2007) : « Le potager bio », Ed Eyrolles, 105 p

Ghodbène, N. (2006) : Étude comparative de quelques paramètres morpho- physio agronomiques chez quelques variétés d'orge (*Hordeum vulgare* L.) Cultivées en condition de salinité. Mémoire d'ingénieur en biologie végétale. 109p.

Gillapsy, G., Bendavid, H., and Gruissem, W. (1993): Fruits: a developmental perspective. *Plant Cell* 5:1439-1452.

Glenn, E., Brown, J. J., and Blumwald, E . (1999): Salt-tolerant mechanisms and crop potential of halophytes. *Crit. Rev. Plant Sci.* 18(2): 227 –255. doi:10.1016/S0735-2689(99)00388-3.

Gorham, J. (1992) : Salt tolerance of plants. *Science Progress*, 76: 273–285.

Gravot, A. (2007) : Réponses aux stress chez les végétaux. Présentation power point.

Gravot, A. (2008) : Le stress chez les végétaux. Cours de biologie végétale. 20p.

Greenway, H. and Munns, R. (1980): Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology.* Vol. 3, pp. 149-190

Grennan, A.K. (2006): High Impact Abiotic Stress in Rice. An “Omic” Approach; *Plant Physiology*, April 2006, Vol. 140, pp. 1139–1141

Guignard, J.L. (1998): Biochimie végétale. Éditions Masson, Paris, 255 p.

Guillet, P. (2010) : Baignades biologiques. Ed. Eyrolles Environnement. Paris. 80p.

Habib, K.E., Gold, P.W. et Chrousos, G.P. (2001): Neuroendocrinology of stress. *EndocrinolMetabClin North Am.* Vol 30, pp. 695-728.

Hadjadj, S., Djerroudi, O., et Bissati, S. (2010): Effet de la salinité sur l'accumulation de la proline foliaire d'*atriplex halimus* L. et d'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt aux stades juvéniles. *Annales des Sciences et Technologie* Vol. 2, N° 2. Pp 126-134.

Hamrouni, L. (2009) : Évaluation de la tolérance au sel chez la vigne. Thèse de Doctorat en sciences biologiques, Faculté des Sciences de Tunis.

Hamrouni, L., Hanana, M., Abdelly, C., et Ghorbel, A. (2003) : Variabilité de la réponse au sel chez la vigne au stade de développement végétatif. Congrès Mondial de l'Office de la Vigne et du Vin, Paris, France.

Haouala, F., Ferjani, H. et Ben El Hadj, S. (2007): Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* Vol. 11, n°3, pp. 235-244.

Hasegawa, P.M., Bressan, R.A., Zhu, J.K., and Bohnert, H.J. (2000): Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Plant Mol. Biol.* Vol. 54: 463- 499

Hassani, A., Dellal, A., Belkhodja, M. et Kaid- Harche, M. (2008): Effet de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum Vulgare L*) *European Journal of Scientific Research.* Vol.23, n°1, pp.61-69.

Hauser, F., and Horie, T. (2010) : A conserved primary salt tolerance mechanism mediated by HKT transporters: a mechanism for sodium exclusion and maintenance of high K⁺/Na⁺ ratio in leaves during salinity stress. *Plant Cell Environ.* 33(4) : 552 –565. doi:10.1111/j.1365-3040.2009.02056.x. PMID:19895406.

- Heller, R. (1977)** : Physiologie végétale. Tome 1: nutrition. Ed Masson et CSI. 332 p.
- Heller, R., Esnault. R. et Lance. C. (1998)**: Physiologie végétale : Nutrition, 6ème édition. Ed. Dunod. Paris. 323p.
- Hennion, B. (2003)** : « Le kiwi », Ed Ctifl, pp170-177.
- Hoekstra, F.A., Golovina, E.A., and Buitink, J. (2001)**: Mechanisms of plant desiccation tolerance. Trends Plant Sci. 6(9) : 431 – 438. doi:10.1016/S1360-1385(01)02052-0. PMID:11544133.
- Hopkins, W.G. (2003)** : Physiologie végétale. Ed. De Boeck. Paris. 495p.
- Huang, J. and Redman RE. (1995)**: Response of growth, morphology and anatomy to salinity and calcium supply in cultivated and wild barley. Canadian Journal of Botany 73: 1859-1866.
- Huang, J., Hirji, R., Adam, L., Rozwadowski, K.L., Hammerlindl, J. K., Keller, W.A., and Selvaraj, G. (2000)** :Genetic engineering of glycinebetaine production toward enhancing stress tolerance in plants: metabolic limitations. Plant Physiol. 122(3) : 747 – 756. doi:10.1104/pp.122.3.747. PMID:10712538.
- I.R.A. (2011)** : Institut des régions arides, Revue des Régions Arides n° 25 (1/2011) pp:3-14
- Indrea, Y. (1988)** : Guide pratique pour les cultures légumières, Cluj et Napoca, pp 55-58
- IPTRID. (2006)**: Conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation.p2, 11.
- Jabnoue, M. (2008)** : Adaptation des plantes à l'environnement : Stress salin. Présentation Power Point.
- Johnson, G. (2007)** : Biologie , Ed De Boeck, 782 p.
- Katerji, N. (1995)**: Réponse des cultures à la contrainte hydrique d'origine saline, approches empiriques et mécanistes. Académie d'agriculture de France, 81, 2. 73 – 86.
- Khadri M., Tejera N. A., and Lluch C. (2006)**: Alleviation of Salt Stress inCommon Bean (*Phaseolus vulgaris*) by Exogenous Abscisic Acid Supply. Journal ofPlant GrowthRegulation. 25:110–119.
- Khadri, M., Pliego, L., Soussi, M., Lluch C., and Ocana, A. (2001)**: Ammonium assimilation and ureide metabolism in common bean (*Phaseolus vulgaris L*) nodules under salt stress.Agronomy. 21, 635-643.
- Khayyat, M., Rajae, S., Sajjadinia, A., Eshghi, S. and Tafazoli, E. (2007)**: Calcium effects on changes in chlorophyll contents, dry weight and micronutrients of strawberry (*Fragaria × ananassa Duch.*) plants under salt-stress conditions. Birjand Univ., Birjand, Iran. Fruits. Vol. 64, pp. 53-59.

Knight, H. (2000): Calcium signaling during abiotic stress in plants. *Int. Rev. Cytol.* Vol. 195, pp. 269-325.

Kocsy, G., Laurie, R., Szalai, G., Szilagy, V., Simon-Sarkadi, L., Galiba, G., and de Ronde, J.A. (2005): Genetic manipulation of proline levels affects antioxidants in soybean subjected to simultaneous drought and heat stresses. *Physiol. Plant.* 124(2) :227–235. doi:10.1111/j.1399-3054.2005.00504.x

Kolev, N. (1976) : Les cultures maraichères en Algérie, Tome I, légumes et fruits. Ed. Ministère de l'agriculture et de la réforme agraire. pp145-161.

Ksour i, R., Megdiche, W., Koyro, H.-W., and Abdelly, C. (2010) : Responses of halophytes to environmental stresses with special emphasis to salinity. *Adv. Bot. Res.* 53: 117–145. doi:10.1016/S0065-2296(10)53004-0.

Laberche, J. (2010) : Biologie végétale, Ed Dunod, 3eme édition, Paris, 176p

Laberche, J.C. (1999) : Biologie végétale. Ed Dunod, paris, 240 p.

Lacroix, C. (1999) : Azote, Culture légumières et fraisier, Environnement et qualité. Ed Ctifl, pp 09-205.

Lacroix, M. (2011) : Nutrition en calcium, problème et prévention .Laboratoire de diagnostique en phytoprotection, Québec, Ed Ctifl, 65p.

Lafon, J.P., et Tharaud-Prayer, C. (1996): Biologie des plantes cultivées. ,Ed.2, Ed. Lavoisier Tec. Et Doc., Paris, 233p.

Lamzeri, H. (2007): Réponses écophysologiques de trois espèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* (*A. cyanophylla*, *E. gomphocephala* et *S. môle*) soumises à un stress salin. Thèse de doctorat en Ecologie et Environnement .Option : Ecologie végétale. Université Mentouri Constantine. 141p.

Larousse agricole, (2000): Larousse agricole, Ed. Larousse. Paris. 767p.

Lawlor, D.W. (1995): The effects of water deficit on photosynthesis. In: Smirnoff N, ed. *Environment and plant metabolism. Flexibility and acclimation*. Oxford: BIOS Scientific Publishers.

Le Houérou, H. N. (1992): The role of saltbushes (*Atriplex* spp.) in arid land rehabilitation in the Mediterranean basin : a review. *Agroforestry systems*. Vol 18, pp. 107-148.

Lee, K.-S., Choi, W.-Y., Ko, J.-C., Kim, T.-S., and Gregoria, G.B. (2003) : Salinity tolerance of japonica and indica rice (*Oryza sativa* L.) at the seedling stage. *Planta*, 216(6): 1043 –1046. PMID:12687373.

Lefebvre, V. (2005) : Caractérisation des gènes ATNCD impliqués dans la biosynthèse de l'acide abscissique dans la graine d'*Arabidopsis thaliana*. Thèse de PhD en Biologie cellulaire et moléculaire, INAPG, 101 p.

Lepengué, A-N., Mouaragadja, I., Ake, S., et M'batchi, B. (2012): Quelques aspects biochimiques de la réaction de la roselle (*Hibiscus sabdariffa* L. var. *sabdariffa*) au stress salin; Journal of Applied Biosciences 49. Pp 3452– 3458.

Lepengué, A-N., Mouaragadja, I., M'batchi B., et Aké, S. (2010): Effet du Chlorure de sodium (NaCl) sur la germination et la croissance du maïs (*Zea mays* L. *Poaceae*) au Gabon. Int. J. Biol. Chem. Sci. 4 (5) : 1602-1609.

Lesaint. C., et Coïc, Y. (1983) : Cultures hydroponiques. Ed. La maison rustique. Paris. 118p.

Letard. M., Erard. P et Jeannequin. B. (1995) : Maitrise de l'irrigation fertilisante : tomate sous serre et abris en sol et hors sol, Ed. C.T.I.F.L., Paris, 220p.

Lévêque, C., et Mounolou, J. (2008) : Biodiversité, dynamique biologique et conservation . Ed Dunod, Paris, 132p.

Levigneron, A., Lopez, F., Vansuyt, G., Berthomieu, P., Fourcroy P., casselbart, F., (1995): Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures.4 (4): 263-273.

Levigneron, A., Lopez, F., Vansuyt, G., et al. (1995) : Les plantes face au stress salin. Cahiers Agricultures, 4 : 263– 273.

Levit, J. (1980): Responses of Plants to Environmental Stresses (Vol. II). Academic Press: New York

Lutts, S. (2000) :Exogenous glycinebetaine reduces sodium accumulation in salt-stressed rice plants. Int. Rice Res. Notes, 25:39 – 40.

Lutts, S., Majerus, V., and Kinet, J.-M. (1999): NaCl effects on proline metabolism in rice (*Oryza sativa*) seedlings. Physiol. Plant. 105(3): 450–458. doi:10.1034/j.1399-3054.1999.105309.x.

Maalem, S., and Rahmoune, C. (2009) : Toxicity of the salt and pericarp inhibition on the germination of some Atriplex species. American-Eurasian Journal of Toxicologic Sciences. Vol. 1, n°2, pp. 43-49

Maathuis, F.J.M., and Amtmann, A. (1999): K⁺ nutrition and Na⁺ toxicity: the basis of cellular K⁺/Na⁺ ratios. Ann. Bot. (Lond.), 84(2) : 123 – 133. doi: 10. 1006/anbo.1999.0912.

MadhavaRao, K.V., Raghavendra A.S., Janardhan Reddy, K. (2006):Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. P41-99.

MADR. (2013) : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Statistique agricole. Alger.

Mahajan, S., Pandey, G.K., and Tuteja, N. (2008): Calcium and salt-stress signaling in plants: Shedding light on SOS pathway. Arch. Biochem. Biophys. 471(2) : 146 –158. doi:10.1016/j.abb.2008.01.010. PMID:18241665.

Maillard, J. (2001) : Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34p.

Majumder, A.L., Sengupta, S., and Goswami, L. (2010) :Osmolyte regulation in abiotic stress . Chap. 16. Dans Abiotic stress adaptation in plants: Physiological, molecular and genomic foundation. Sous la direction de A. Pareek, S.K. Sopori, H.J. Bohner et Govindjee. p. 349–370.

Makela, P., Jokinen, K., Kontturi, M., Peltonen-Sainio, P., Pehu, E., and Somersalo, S. (1998 a):Foliar application of glycine betaine – a novel product from sugarbeet – as an approach to increase tomato yield. Ind. Crops Prod.7(2-3) : 139–148. doi:10.1016/S0926-6690(97)00042-3.

Makela, P., Peltonen-Sainio, P., Jokinen, K., Pehu, E., Setälä, H., Hinkkanen, R., and Somersalo, S. (1998 b): Effect of foliar application of glycine betaine on stomatal conductance, abscisic acid and solute concentrations in leaves of salt- and drought-stressed tomato. Aust. J. Plant Physiol.25(6): 655-663. doi:10.1071/PP98024.

Manaa, A., Ben Ahmed, H., Valot, B., Bouchet, JP., Aschi-Smiti, S., Causse M., and Faurobert, M.(2011): Salt and genotype impact on plant physiology and root proteome variations in tomato. J. Exp. Bot., 17: 1-17.

Mansour, M.M.F. (1998): Protection of plasma membrane of onion epidermal cells by glycinebetaine and proline against NaCl stress. Plant Physiol. Biochem. 36(10) : 767 – 772. doi:10.1016/S0981-9428(98)80028-4.

Martens, C. (1979) : Amélioration minérale par les racines dans le sol, Station d'agronomie de Toulouse, Tech. Agri, 121p.

Martinez, J.P., Silva, H., Ledent, J.F., and Pinto, M. (2007): Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris L.*) European journal of agronomy. Vol. 26, n°1, pp. 30-38.

Martinez, S. (2000) : Recyclage des solutions nutritives en culture hors-sol, Forum Graines de Chercheurs, ENSAT, Toulouse,

Masmoudi, A. (2011): Effet de la salinité des eaux et la fréquence d'irrigation sur le sol et le végétal. Courrier du Savoir – N°11, Février 2011, pp.61-69

Mayouf, A. et Reynoud, J. (2007) : La botanique de A à Z Ed Dunod, Paris, pp 278-279.

Mazliak, R. (1981) : Physiologie végétale, nutrition et métabolisme, éd: Herman, 349p.

Mermoud, A. (2006) : Cours de physique du sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne, 23 p.

Misri, F., Berrichi, A. B., Misbah El Idrissi, M. et Reda Tazi, M. (2006): Étude de l'effet du stress salin sur les paramètres de croissances et de développement de *Cyperus rotundus* L. Le Premier Congrès National sur l'Amélioration de Production Agricole, Settat 16 – 17 Mars 2006. Recueil des résumés, 26p.

Mitsuya, S., Tanigochi, M., Miake, H. et Takabe, T. (2006): Overexpression of RCI 2A decreases Na⁺ uptake and mitigates salinity-induced damages in *Arabidopsis thaliana* plants. *Physiologia Plantarum*. Vol. 128, n°1, pp. 95-102.

Mohammad, M., Shibli, R., Ajouni M., and Nimri, L. (1998): Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr.* 21, 1667–1680.

Moinuddin, A., Fischer, R., Sayre, M., and Reynolds, P. (2005): Osmotic Adjustment Wheat in Relation to Grain Yield under Water Deficit Environments. *Agro.J.*97:1062-1071.

Monneveux, P., et Nemmar M., (1986): Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre et le blé dur. Étude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. Edt. Agronomie, n°6, pp 583-590

Morard, P. (1995) : Les cultures végétales hors sol. Ed. Publications Agricoles Agen. Paris. 304p.

Morsli, B. (2007): Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la dégradation des sols : cas des zones côtières d'Alger Est. Actes des JSIRAUF

Munns, R. (2002): Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.*25(2): 239–250. doi:10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x. PMID:11841667.

Munns, R. (2005) : Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytol.* 167(3) : 645–663. doi:10.1111/j.1469-8137.2005.01487.x. PMID:16101905.

Munns, R., and James, R.A. (2003) : Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. *Plant Soil*, 253(1): 201–218. doi:10.1023/A:1024553303144.

Munns, R., and Tester, M. (2008) : Mechanisms of salinity tolerance. *Annu. Rev. Plant Biol.* 59(1) : 651 –681. doi:10.1146/annurev. arplant.59.032607.092911. PMID:18444910.

Munns, R., James, R.A., and Laüchli, A. (2006) : Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot.* 57(5) : 1025 – 1043. doi:10.1093/jxb/erj100. PMID:16510517.

Mutin, G. (2009) : Le monde arabe face au défi de l'eau, enjeux et conflits. Institut d'Études Politiques de Lyon. France. 164p.

Naidu, B.P. (2003): Production of betaine from Australian *Melanleuca* spp. for use in agriculture to reduce plant stress. *Aust. J. Exp. Agric.* 43(9): 1163– 1170. doi:10.1071/EA02223.

Naidu, B.P., Cameron, D.F., and Konduri, S.V. (1998): Improving stress tolerance and productivity of plants by a biochemical approach in agronomy and plant breeding. *Dans* Proceedings of the IX. Australian Agronomy Conference, Wagga Wagga, Australia ,p. 355 – 358

Ndour, P. et Danthu, P. (2000) : Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de quelques acacias africain. Projet National de Semences Forestières du Sénégal. 11 p.

Nyabyenda, P. (2005) : Les plantes cultivées en régions tropicales d'altitude d'Afrique. Ed. Les presses agronomiques de Gembloux. Wageningen. P180.

Ottow, E., Brinker, M., Fritz, E., Teichmann, T., Kaiser W., Brosche M, Kangasjarvi, J., Jiang, X., and Polle, A. (2005): *Populus euphratica* Displays Apoplastic Sodium Accumulation, Osmotic Adjustment by Decreases in Calcium and Soluble Carbohydrates, and Develops Leaf Succulence under Salt Stress. *Plant Physiology*, Vol. 139, pp. 1762–1772.

Ouerghi, Z., Zid, E., Hajji, M. et Soltani, A. (1998) : Comportement physiologique du blé dur (*Triticum durum* L.) en milieu salé. CIHEAM - Options Méditerranéennes, pp. 309- 313.

Ould Mohamdi, M., Bouya, D., et Ould Mohamed Salem, A.(2011): Etude de l'effet du stress salin (NaCl) chez deux variétés de tomate (Campbell 33 et Mongal) *Int. J. Biol. Chem. Sci.* 5(3): 860-900.

Ozenda, P. (1982) : Les végétaux dans la biosphère, Ed, Doins, paris, 431 p.

Paquin, R.(1986): Effet de l'humidité du sol sur la teneur en proline libre et des sucres totaux de la luzerne endurcie au froid et à la sécheresse. *Can.J.Plant Science*,66,p.95-101

Parida, A., Das, A.B., and Das, P. (2002): NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove, *Bruguieraarviflora*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.* 45, 28–36.

Parida A., and Das A.B. (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxicology and Environmental Safety.* Vol.60, pp. 324-349.

Peralta, IE., Knapp, S., and Spooner, D.M. (2005): News species of wild tomatoes (*Solanum* Section *Lycopersicon*: *Solanaceae*) from northern Peru. *Systematic Botany* 30: 424- 434

Péron, J.Y. (2006) : Productions légumières. Ed. Synthèse Agricole. Paris. 613p.

Pessarakli, M. and Zhou, M. (1990) : Effect of salt stress on nitrogen fixation by different cultivars of green beans. *Journal of plant nutrition.* Vol. 13, n°5, pp. 611-629.

Phillips, J.R., Oliver, M.J., and Bartels, D. (2002) : Molecular genetics of desiccation and tolerant systems .*Dans* Desiccation and survival in plants: Drying without dying. Sous la

direction de M. Black et H. Pritchard. CAB International, Mol. Gen. Genet. p. 319– 341.
[[auteur : veuillez indiquer le numéro de la revue.]]

Pieth, C. (1999): Temperature Sensing by Plants: calcium-Permeable Channels as Primary Sensors A. Model J. Membrane Biol. Vol. 172, pp. 121-127.

Piri, K. (1991). Contribution à la sélection in vitro des plantes androgéniques de blé pour leur tolérance à NaCl. Doctorat, Faculté des Sciences Agronomiques de Gembloux, Belgique, 168 p.

Pousset, J. (2002) : Engrais verts et fertilité des sols , Ed Agridécisions, pp32-60.

Quezel, P. (2000) : Réflexions sur l'évolution de la flore et de la végétation au Maghreb méditerranéen. Editions Ibis Press, Paris, 117 p.

R'him, T., Tlili, I., Hnan, I., Ilahy, R., Benali, A., et Jebari, H.(2013): Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annuum* L.) Journal of Applied Biosciences 66:5060 – 5069.

Rahmoune, C., Maalem, S. et Ben Naceur, M. (2004) : Effets comparés de la fertilisation phosphatée sur l'*Atriplex* cultivé en zone semi-aride du Nord-Est algérien. Plant Physiology. Vol. 3, n°4, pp. 213-217.

Rahmoune, C., Semadi, A., Auad, H. et Tahar, A. (1997): Air quality and lichenic distribution in the northeast Algeria. Proc of Second International Scientific Conference. Science, Development and Environment, Cairo, Egypt, pp. 333-344.

Rahmoune, C., Seridi, R., Paul, R. et Drez, P. (2000) : Influence on Zn concentration in solution Applied to leaves and Roots on the absorption and translocation of Cd by leave. Agricultural Sciences. Vol. 27, n°1, pp. 72-77.

Rahmoune, C., Maalem, S., Kadri, K., et Ben Naceur, M. (2008) : Etude de l'utilisation des eaux fortement salées pour l'irrigation des plantes du genre *Atriplex* en zones semi arides. Revue des régions arides. Vol. 2, n°21, pp. 924-929.

Raj, S. K., Mawson, B. T., Yeung, E. C. et Thorpe, T. A. (1993): Utilization of induction and quenching kinetics of chlorophyll a fluorescence for in vivo salinity screening studies in wheat (*Triticum aestivum* vars. Kharchia-65 and Fielder). Can. J. Bot. Vol. 71, n°1, pp. 87- 92.

Rathinasapabathi, B. (2000): Metabolic engineering for stress tolerance: Installing osmoprotectant synthesis pathways. Ann. Bot. (Lond.), 86(4) : 709 –716. doi:10.1006/anbo.2000.1254.

Razdan, M.K., et Mattoo, A.K. (2007) : Genetic improvement of Solanaceous Crops. Volume 2: Tomato. Ed. Science Publishers. India. 637p.

Rengel, Z., (1992): The role of calcium in salt toxicity. Plant Cell Environ. 15, 625–632.

Rick, CM., and Holle, M. (1990): Andcan *Lycopersicon esculentum* var. *cerasiforme*: genetic variation and its evolutionary significance. *Economic botany* 44:69-78.

Ripoll, C., Verdus, M-C, Norris, V., Tafforeau, M. et Thellier, M. (2007) : Mise en mémoire de stimuli abiotiques chez les plantes : rôle du calcium. Académie d'Agriculture de France. Séance du 20 mars 2007. 5p.

Roland, J., et Callen, J. (2007) : Biologie cellulaire , Ed Dunod, Paris, 70p.

Rus, A., Yokoi, S., Sharkhuu, A., Reddy, M., Lee, B.H., Matsumoto, T.K., Koiwa, H., Zhu, J.K., Bressan, R.A., and Hasegawa, P.M. (2001) : AtHKT1 is a salt tolerance determinant that controls Na⁺ entry into plant roots. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 98(24): 14150– 14155. doi:10.1073/pnas.241501798. PMID:11698666.

Sairam, R.K., and Tyagi, A. (2004): Physiology and molecular biology of salinity stress tolerance in plants. *Cur r. Sci.* 86: 407–421.

Salisbury, F.B., and Ross, C.W., (1992): Mineral nutrient. In: *Plant Physiology*. Wadsworth Inc., California, pp. 116–135. In: *Response of three Glycine species to salt stress*. 2003

Schleiff, U. (1979): Salt contents in the Rhizosphere and in soil solution outside the Rhizosphere under controlled irrigation. In. *soils in Mediterranean type climates and their yield potential*. Proceedings IPI. Spain, 93 - 98.

Schwartz c., Muller J-C., et Decroux, J. (2005) : Guide de fertilisation raisonnée, Ed. France agricole, Paris, p 414

Seemann J, R., and Sharkey T, D. (1986): Salinity and nitrogen effects on photosynthesis, ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase and metabolite pool sizes in *Phaseolus vulgaris L.* *Plant physiology* Vol.82,N° 2,pp.555-560.

Semmadi, A. et Rahmoune, C. (1995):Influence de la pollution atmosphérique sur les rendements agricoles. *Rev. Sci. Technol.* 6 : 31-41

Shabala, S., Shabala, L., Volkenburgh, E., Newman, I. (2005): Effect of divalent cations on ion fluxes and leaf photochemistry in salinized barley leaves. *J. Exp. Bot.*, 56(415): 1369-1378.

Shabala, S., and Cuin, T.A. (2007): Potassium transport and plant salt tolerance. *Physiol. Plant.* 133(4) : 651 – 669. doi:10.1111/j.1399-3054.2007.01008.x. PMID:18724408.

Sharma, S. (1973): Effect of salinity on Na + K⁺ and Cl⁻ content in different organs of 'Chickpea' and the basis of ion expression. *Biologia Plantarum.* 34 (3-4): 311-317

Shi, H., Lee, B.H., Wu, S.J., and Zhu, J.K. (2003) : Overexpression of a plasma membrane Na⁺/H⁺ antiporter gene improves salt tolerance in *Arabidopsis thaliana*. *Nat. Biotechnol.* 21(1) : 81–85. doi:10.1038/nbt766. PMID:12469134.

Silva-Ortega, C.O., Ochoa-Alfaro, A.E., Reyes-Aguero, J.A., Aguado-Santacruz, G.A., and Jimenez-Bremont, J.F. (2008) :Salt stress increases the expression of p5cs gene and induces proline accumulation in cactus pear. *Plant Physiol. Biochem.* 46(1) : 82–92. doi:10.1016/j.plaphy.2007.10.011. PMID:18054243.

Singh, A., and Prasad, R. (2009): Salt stress growth and cell bound enzymes in *Archis hypogea* L. seedling. *I.J.I.B.*, 7(2): 107-123.

Singh, T.N, Paleg L.G and Aspinall, D. (1973). Stress metabolism. Variations in response to water deficit in the barley plant. *Aust. J. Biol. Sci.* 26, 65-75.

Snoussi, S.A., Halitim A., et Valles V. (2004):Absorption hydrique en milieu salin chez la tomate et le haricot. *Cahiers Agricultures*. Vol.13, N° 3, 283-287

Snoussi, S.A., et Halitim, A. (1998) : Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. *Etude et gestion des sols*, pp. 289- 298.

Snoussi, S.A. (2001): Valorisation des eaux salines pour la nutrition des plantes cultivées. Thèse de doctorat. INA, Alger, 152p.

Soltner, D. (1998) : Les bases de la production végétale, tom III, le sol, 16eme Ed, Coll. Sci et Tech. Agri, 453p.

Soltner, D., (1988): Les bases de la production végétale, Tome II. Le sol, Coll. Sci. Agro, , 453p.

Soltner, D. (2000) : Les bases de la production. égétale, Tome I : le sol et son amélioration. Ed. Coll, Sci et Tech. 472p.

Spooner, DM., Peralta, IE., and Knapp, S. (2005): Comparis on of AFLPs to other markers for phylogenetic inference in wild tomatoes *Solanum* L. section *Lycopersicon* (Mill.) Wettst. *Taxon* 54: 43–61.

Storey, R., and Walker, R.R. (1999) : Citrus and salinity. *Sci. Hortic.* (Amsterdam), 78(1-4): 39 – 81. doi:10.1016/S0304-4238(98)00190-3.

Storey, R., Schachtman, D.P., and Thomas, M.R. (2003): Root structure and cellular chloride , sodium an d potassium distribution in salinized grapevines. *Plant Cell Environ.* 26(6) : 789– 800.doi:10.1046/j.1365-3040.2003.01005.x. PMID:12803608.

Su, J., Chen, P.L., and Wu, R. (1999) : Transgene expression of mannitol-1-phosphate dehydrogenase enhanced the salt stress tolerance of the transgenic r ice seedlings. *Sci. Agric. Sin.* 32 :101–103.

Sun, J., Chen, S.L., Dai, S.X., Wang, R., Li, N., Shen, X., Zhou, X., Lu, C., Zheng, X., Hu, Z., Zhang, Z., Song, J., and Xu, Y. (2009) :NaCl-induced alter nations of cellular and tissue ion f luges in roots of salt-resistant and salt-sensitive poplar species. *Plant Physiol.* 149 (2) : 1141 – 1153. doi:10.1104/pp.108.129494. PMID: 9028881.

Symaraytis, S., Neigrotiu, I., and Jacobs, M. (1992): Salt and water resistant mutant isolated from potato plants of *Nicotiana plumbaginifolia* (Viviani). Med. Fac. Landouw Univ. Gent 57/4a, Pp1507-1516.

Tafforeau, M. (2002) : Etude des phases précoces de la transduction des signaux environnementaux chez le lin : une approche protéomique. Thèse de doctorat en biochimie végétale. Université de Rouen. France. 255p.

Tahi, H. (2008): Efficience de l'utilisation de l'eau d'irrigation chez la tomate par la technique de prd (partial rootzone drying) et étude des mécanismes physiologiques et biochimiques impliqués. Thèse de doctorat. Université Cadi Ayyad marrakech-Maroc 151p.

Tahri, E. H, Belabed, A. M. et Sadki, K. (1998): Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). Université Mohamed Premier. Maroc. Bulletin de l'Institut Scientifique, Rabat, n°21, pp. 81-87.

Taji, T., Ohsumi, C., Iuchi, S., Seki, M., Kasuga, M., Kobayashi, M., Yamaguchi-Shinozaki, K., and Shinozaki, K. (2002): Important roles of drought- and cold inducible genes for galactinol synthase in stress tolerance in *Arabidopsis thaliana*. Plant J.29(4) : 417 – 426. doi:10.1046/j.0960 7412.2001.01227.x. PMID:11846875.

Tam, SM., Mhiri, C., Vogelaar, A., Kerkveld, M., Pearce, S., and Grandbastien M.A. (2005): Comparative analyses of genetic diversities within tomato and pepper collections detected by retrotransposon-based SSAP, AFLP and SSR. Theoretical and Applied Genetics 110: 819-831.

Tarczynski, M.C., Jensen, R.G., and Bohnert, H.J. (1993) : Stress protection of transgenic tobacco by production of the osmolyte. Science,259(5094) : 508 –510. doi:10.1126/science.259. 5094.508. PMID:17734171.

Teakle, N.L., and Tyerman, S.D. (2010) : Mechanisms of Cl⁻ transport contributing to salt tolerance. Plant Cell Environ. 33(4) : 566 – 589.

Tester, M., and Davenport, R.J. (2003) : Na⁺ transport and Na⁺ tolerance in higher plants. Ann. Bot. (Lond.), 91 : 503 –527. doi:10.1093/aob/mcg058. PMID:12646496.

Tester, M., and Bacic, A. (2005) : Abiotic stress tolerance in grasses. From model plants to crop plants. Plant Physiol.137 (3): 791 – 793. doi:10.1104/pp.104.900138. PMID:15761207.

Tezara W., Mitchell, VJ., Driscoll SD., Lawlor DW. (1999): Water stress inhibits plant photosynthesis by decreasing coupling factor and ATP. Nature 401:914-917.

Thomas, J.C., Sepahi, M., Arendall, B., and Bohnert, H.J. (1995): Enhancement of seed germination in high salinity by engineering mannitol expression in *Arabidopsis thaliana*. Plant Cell Environ. 18(7) : 801 – 806. doi:10.1111/j.1365-3040.1995.tb00584.x.

Urban, L. (1997) : Introduction à la production sous serre (L'irrigation fertilisante en culture hors sol). Ed. Lavoisier Tec & Doc. Paris. 210p.

Varshney, K.A., Gangwar, L.P., and Goel, N. (1988): Choline and betaine accumulation in *Trifolium alexandrinum* L. during salt stress. Egypt J. Bot. 31:81 –86.

Vernon, D.M., Tarczynski, M.C., Jensen, R.G., and Bohnert, H.J. (1993) :Cyclitol production in transgenic tobacco. Plant J. 4(1) : 199–205. doi:10.1046/j.1365-313X.1993.04010199.x.

Vilain, M. (1997) : La production végétale, la maîtrise technique de la production. Ed: Tec et Doc, Paris, pp 378-427.

Vilain. M. (1993) : Production végétale. Vol 1, les composantes de la production. Ed : J.L.Baillière. Paris. 458 p.

Vincent, R. (2006) : Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *Laminaria digitata*. Thèse de doctorat. Biologie. Université de Rennes 1. 237p.

Walker, R., Torokfalvy, E., Scott N.S., and Kriedemann, P.E (1981): An analysis of photosynthetic response to salt treatment in *Vitis vinifera* . Aust. J. Plant Physiol., 8, 359-374.

Wang, Y., and Nil, N. (2000): Changes in chlorophyll, ribulosebiphosphate carboxylase–oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. J. Hortic. Sci. Biotechnol. 75, 623–627.

Wang, W.X., Vinocur, B., Shoseyov, O. and Altman, A. (2001): Biotechnology of plantosmotic stress tolerance: physiological and molecular considerations. Acta Hort 560: 285-292

Warne, P., Guy, R.D., Rollins L. and Reid D.M. (1990): The effect of sodium sulphate and sodium chloride on growth, morphology, photosynthesis and water use efficiency of *Chenopodium rubmm*. Can. J. Bot. 68, 999-1006.

WeiBing, X., and Rajashekar, C.B. (1999): Alleviation of water stress in beans by exogenous glycine betaine. Plant Sci. 148(2) : 185 –192. doi:10.1016/S0168-9452(99)00137-5.

Weimberg R.,(1987):Solute adjustments in leave of two species of wheat at two different stages of growth in response of salinity. Physiol.Plant,70,p.381-388

Werner, A., and Stelzer R., (1990): Physiological responses of the mangrove *Rhizophora mangle* grown in the absence and presence of NaCl. Plant Cell Environ. (13) p. 243-255.

Wiedenhoeft, A. (2006) : Plant nutrition , Ed Chelsea House, New York, pp 22-30.

Wyn Jones, R.G., Gorham, J., et McDonnell, E. (1984) : Organic and inorganic solute contents as selection criteria for salt tolerance in the Triticeae. Dans *Salinity tolerance in plants: Strategies for crop improvement*. Sous la direction de R. Staples and G.H. Toennissen. Wiley and Sons, New York. p. 189–203.

Yamaguchi, T., and Blumwald, E. (2006) :Developing salt-tolerant crop plants: challenges and opportunities. *Trends Plant Sci.* 10(12) : 615 doi:10.1016/j.tplants.2005.10.002. PMID:16280254.

Yancey, P.H. (1994) : Compatible and counteracting solutes. Dans *Cellular and molecular physiology of cell volume regulation*. Sous la direction de K. Strange. CRC Press, Boca Raton, Fla. p. 82–109.

Yancey, P.H., Clark, M.E., Hand, S.C., Bowlus, R.D., and Somero, G.N. (1982) : Living with water stress: evolution of osmolyte systems. *Science*, 217(4566): 1214 – 1222. doi:10.1126/science.7112124. PMID:7112124.

Zaoui, B. (2010) : Tomate raisonnement de la fertilisation, agriculture au Maghreb n°47, 140p.

Zhu, G.Y., Kinet, J.-M., and Lutts, S. (2004) :Characterisation of rice (*Oryza sativa*) F3 populations selected for salt resistance. 2. Relationship between yield-related parameters and physiological properties. *Aust. J. Exp. Agric.* 44(3) : 333 –342. doi:10.1071/EA02068.

Zhu, J.K. (2003) :Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6 (5): 441 –445. doi:10.1016/S1369-5266(03)00085-2. PMID:12972044.

Zuang, H., Joubert, G., Wacquand, C et Musard, M. (1986) : Tomate, quelques caractéristiques des variétés cultivées en France pour marché frais, *Revu., Horticole, P.H.M.* n° 263, pp 22-30.