



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

UNIVERSITE ECHAHID HAMMA LAKHDAR D'EL-OUED
FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

MEMOIRE DE FIN D'ETUDE

En vue de l'obtention du diplôme de Master Académique

Filière : Sciences biologiques

Spécialité : Biologie et valorisation des plantes

THEME

**Evaluation du comportement de trois variétés de tomate
(*Lycopersicum esculentum* L) Sous un stress salin**

Présentés par :

GUEDDA Khadidja et DJABER Ouafa

Soutenu le: 30 Mai 2016

Devant le jury composé de :

Présidente: M. Zouyouche.F.Z. M.A.B Université d'El Oued

Promotrice: M. Ben Kadoure. M.C.B Université d'El Oued

Examineur: Mr. Khalaf .Y . M.A.B Université d'El Oued

-Année universitaire: 2015/2016-

Remercîment

« La connaissance est la seule chose qui s'accroît lorsqu'on la partage ».

***Avant toute chose, on remercie Dieu, le tout puissant, pour nous avoir donné la
force et la patience.***

***On tient à exprimer notre profonde gratitude et nos sincères remerciements à
l'encadreur de ce travail, Mam BEN KADOURE MONIA pour son assistance et ses
conseils pour assurer le succès de ce travail.***

***A M ZOUYOUCHE FATIMA. d'avoir accepter de juger ce travail en qualité de président
de jury.***

A Mr KHALAF YAHYA. d' avoir accepter d'examiner ce ;modeste travail.

***On remercie également tous nos amis et la promotion du Master de biologie et
valorisation des plantes 2015/2016***

Dédicaces

A l'aide de dieu le tout puissant,

Nous avons pu réaliser ce travail que nous dédions

*A la lumière de mes yeux, l'ombre de mes pas, le bonheur et la joie de ma vie, a
ceux qui m'ont appris le sens de la persévérance tout au long de mes études, pour
leur patience, sacrifices, soutiens, conseils et encouragements.*

WAFA: Je dedie ce travail: A maman

A papa

A Tente

A mon marie

A me petit enfant

A toute le famille, DJABER

KHADIDJA: Je dedie ce travail: A maman

A papa

Ame oncle Radwane

A mes frères et mes sœurs:

Fatma, Sihame, Mimi, Imade, Alla, Hamza

A tous mes amies. Et particulièrement:

Naima , Nacira, Sana, Sara

A toute le famille, Guedda

SOMMAIRE

Résumé français	
Résumé arabe	
Résumé anglais	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abbreviations	
INTRODUCTION	
PREMIERE PARTIE: SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE	
CHAPITRE I: SALINITE ET PROBLEME DE SALINISATION	
I.1. Généralités sur la salinité.....	04
I.1.1. Définition de sols salés (sols halomorphes).....	04
I.1.2. Notion de la salinisation.....	05
I.1.3. Classification des sols salés.....	06
I.1.3.1. Sols à complexe sodique ou sols alcalins(les solonetz).....	06
I.1.3.2. Sols salins à complexe calcique (solontcheks).....	06
I.1.4. Importance des sols salés et répartition géographique.....	07
I.2. Définitions du stress.....	09
I.2.1. La plante et le stress.....	10
I.2.2. Principe général d'adaptation et de résistance des plantes à l'excès de sel..	10
I.2.3. Les stratégiesd'adaptation.....	11
I.2.3.1. Homéostasiecellulaire	11
I.2.3.2. Séquestration du sodium dans des vacuoles.....	12
I.2.3.3. Prélèvement du potassium (K^+).....	12
I.2.3.4. Biosynthèsed'osmoprotectants	12
I.2.3.5. Synthèse de protéines induites par le sel.....	13
I.2.3.6. Synthèse d'antioxydants.....	13
I.2.3.7. Régulation de la croissance.....	13
I.3. Conséquences de la salinité sur la plante	14
I.3.1. Effet de la salinité sur la germination.....	14
I.3.1.1. Effetosmotique.....	14
I.3.1.2. Effet toxique.....	15
I.3.2. L'effet de la salinité sur la croissance.....	15
I.3.3. L'effet de la salinité sur l'eau dans la plante.....	16
I.3.4. Effet de la salinité sur la biochimie de la plante.....	16
I.3.5. L'effet de la salinité sur les enzymes antioxydantes.....	18
I.3.6. Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante.....	18
CHAPITRE II: PRÉSENTATION DE L'ESPECE ETUDIÉE	

II .1. Présentation de l'espèce étudiée	20
II.1.1. La tomate	20
II.1.2. Historique	20
II .1.3. Classification de la tomate.....	21
II .1.3.1. Classification botanique (systématique).....	21
II .1.3.2. Classification génétique.....	22
II .1.3.2.1. Variétés fixes.....	22
II .1.3.2.2. Variétés hybrides.....	22
II .1.4. Caractéristique morphologique de la tomate.....	22
II .1.4.1. L'appareil végétatif.....	22
II .1.4.2. L'appareil reproducteur.....	23
II .1.5. Caractéristiques physiologiques de la tomate.....	25
II .1.5.1. Le cycle biologique de la tomate.....	25
II .1.5.1.1. La germination.....	26
II .1.5.1.2. La croissance.....	26
II .1.5.1.3. La floraison.....	26
II .1.5.1.4. La pollinisation.....	26
II .1.5.1.5. La fructification et nouaison des fleurs.....	27
II .1.5.1.6. La maturation du fruit.....	27
II .1.6. Situation économique de la tomate maraîchère et industrielle dans le monde	27
II .1.6.1. Principaux pays exportateurs de tomates fraîches en 2006.....	29
II .1.6.2 Situation économique de la tomate maraîchère et industrielle en Algérie	30
II .1.6.2.1. Evolution des superficies, des productions et des rendements de tomate maraîchère en Algérie	30
II .1.7. Les maladies.....	31
II .1.8. Les exigences édapho-climatiques de la tomate.....	33
II .1.8.1. Les exigences climatiques.....	33
II .1.8.1.1. La température de l'air.....	33
II .1.8.1.2. La lumière.....	33
II .1.8.1.3. L'humidité de l'air.....	34
II .1.8.2. Exigences édaphiques.....	34
II .1.8.2. 1. La nature du sol.....	34
II .1.8.2. 2. La température du sol.....	34
II .1.8.2. 3. L'humidité du sol.....	34
II .1.8.2.4. La salinité du sol.....	35
II .1.8.3. Exigences nutritionnelles.....	35
II .1.8.3.1. Exigences hydrique.....	35
II .1.8.3.2. Exigences en éléments fertilisants.....	35
DEUXIEME PARTIE: ETUDES EXPERIMENTALE	

CHAPITRE III: MATÉRIEL ET MÉTHODES	
III.1. Matériel végétal	36
III.2. Dispositif experimental.....	37
III.3. PARAMETRES ETUDIES	38
III. 3.1. Paramètres morphologiques.....	38
III. 3.1.1. La longueur des plantes.....	38
III.3.2 Analyses biochimiques.....	38
III. 3.2.1. Paramètres biochimiques.....	38
III.3.2.1.1. Dosages des pigments photorécepteurs.....	38
III.3.2.1.2. Dosage des sucres solubles.....	38
III.3.2.1.3. Dosage des protéines.....	39
III.3.2.2. Paramètres enzymatiques.....	40
III.3.2.2.1. Détermination de l'activité de la catalase.....	40
III.3.2.2.2.Dosage de gaïacol peroxydase.....	40
III.3.2.2.3. Dosage de glutathion(GSH).....	41
CHAPITRE IV: RÉSULTATS ET DISCUSSION	
IV .RÉSULTATS.....	42
IV.1. Effet du (NaCl) sur la longueur des plantes.....	42
IV.2. Paramètresbiochimiques.....	43
IV.2.1. Contenu des pigments photorécepteurs.....	43
IV.2.1.1. Contenu en chlorophylle (a).....	43
IV.2.1.2. Contenu en chlorophylle (b).....	44
IV.2.1.3. Contenu en chlorophylle (a+b).....	45
IV.2.1.4. Effet du NaCl sur le contenu en pigments caroténoïdes.....	46
IV.2.2.Effet du NaCl sur le contenu en sucres solubles.....	47
IV.2.3. Effet du NaCl sur le contenu en protéines.....	48
IV.3. paramètres enzymatiques et non enzymatique.....	49
IV.3.1. Effet du NaCl sur l'activité de la catalase.....	49
IV.3. 2.Effet du NaCl sur l'activité du glutathion.....	50
IV.3. 3.Effet du NaCl sur l'activité du gaïacol peroxydase.....	51
IV.4. DISCUSSION.....	52
CONCLUSION ET PERSPECTIVES	
REFERENCESBIBLIOGRAPHIQUES	
ANNEXES	

Résumé

Ce travail consiste à évaluer le comportement physiologique et enzymatique des trois variétés de tomate (*Lycopersicum esculentum* L) cv ZERALDA, MAINTIAN et MARED, soumises aux concentrations croissantes en NaCl: 0 ; 1,5 ; 3 g /l pendant la croissance active des jeunes plantes au serre.

Les résultats obtenus, montrent que la croissance en longueur des plantes a été réduite d'une façon notable avec l'application de concentration (3g/l de NaCl) chez toutes les variétés étudiées. Les paramètres biochimiques et enzymatiques sont aussi perturbés. La sensibilité des variétés a été observée d'une manière notable variant d'un génotype à l'autre. La variété ZERALDA est la plus résistante par son augmentation en contenu des sucres solubles et protéines, qui sont considérés comme osmoprotecteurs. L'examen de l'activité des enzymes antioxydants (CAT, GPOX) présente une stimulation de ces activités chez la variété ZERALDA qui confirme la résistance et/ ou la tolérance de cette variété vis-à-vis a la salinité.

Mots clés : salinité, tomate (*Lycopersicum esculentum* L), croissance, paramètres physiologique, enzymes antioxydants,

الملخص

هذه الدراسة لتقييم السلوك الفسيولوجي و الإنزيمي لثلاث أصناف من الطماطم (*Lycopersicum esculentum L*) زرادة، مارد و مانتان تحت تأثير ثلاث تراكيز متزايدة من كلوريد الصوديوم NaCl، 1.5، 3 غ/ل خلال النمو النشط للنباتات .

النتائج المتحصل عليها تظهر أنها في جميع الأصناف المدروسة تناقص في طول النباتات عند تطبيق تركيز 3 غ/ل NaCl. تناقص أيضا في القياسات البيوكيميائية و الإنزيمية ، و قد لوحظ قابلية متفاوتة للأصناف بشكل كبير من النمط الجيني من صنف لآخر ، الصنف زرادة الأكثر في محتوى السكريات و البروتينات القابلة للذوبان والتي تعتبر osmoprotecteurs. إن نشاط الإنزيمات المضادة للأكسدة (GPOX، Cat) فيتناقص وتحفيز هذه الأنشطة للصنف زرادة يحضى إلى مقاومة في مواجهة الملوحة .

الكلمات المفتاحية : الطماطم، النمو، معايير فسيولوجية، إنزيمات مضادة للأكسدة.

Summary

This work is to evaluate the physiological and enzymatic behaviour, of three tomato varieties subject to increasing concentrations of NaCl: 0; 1.5; 3 g ZERALDA, MAINTIAN and MARED. during active growth of young plants in the greenhouse.

The results obtained, show that the growth in length of the plants. was reduced by a significant way with the concentration of application (3 g / l NaCl) all varieties studied.

Biochemical and enzymatic parameters are also disrupted. The sensitivity of the varieties was observed a significantly varying from one genotype to another ZERALDA the variety is more resistant by his increasing content of soluble sugars and proteins, which are considered osmoprotecteurs.

Examination of the activity of antioxidant enzymes (CAT, GPOX), has a stimulation of these activities in the ZERALDA variety, confirming the resistance and / or tolerance vis-à-vis a variety salinity.

Keywords: salinity, tomato (*Lycopersicum esculentum L*), growth, physiological parameters, antioxidant enzymes.

Listes des figures

N°	Titre	Page
01	Origines de la salinisation	05
02	adaptation et résistance des plantes face au stress salin	11
03	La plante de tomate	22
04	Appareil végétatif de la tomate	24
05	Appareil reproducteur de la tomate.	25
06	Dispositif experimental	37
07	Effet du (NaCl) sur la longueur des plantes	42
08	Effet du NaCl sur le contenu en pigments chlorophylle (a)	43
09	Effet du NaCl sur le contenu en pigments chlorophylle (b)	44
10	Effet du NaCl sur le contenu en pigments chlorophylle (a+b)	45
11	Effet du NaCl sur le contenu en pigments caroténoïdes.	46
12	Effet du NaCl sur le contenu en sucres solubles	47
13	Effet du NaCl sur le contenu en protéines	48
14	Effet du NaCl sur l'activité de la catalase	49
15	Effet du NaCl sur l'activité du glutathion	50
16	Effet du NaCl sur l'activité du gaïacol peroxydase	51

Liste des tableaux

N°	Titre	page
01	Classification des sols sales	07
02	Classification de l'eau saline	07
03	Surface des sols salés en Afrique et Proche Orient	08
04	Effet de la salinisation secondaire (anthropique) sur les surfaces agricoles de l'Afrique et au Proche Orient	09
05	Principaux pays producteurs de la tomate dans le monde	28
06	Principaux pays exportateurs de tomates fraîches en 2006	29
07	Les principales maladies et désordres physiologiques de la tomate.	31
08	Caractéristiques des variétés	36

Liste des abréviations utilisées

Abréviation	Désignation
NaCl	chlorure de sodium
C.E.C	capacité d'échange cationique
C.E	La conductivité électrique
E.S.P	un taux de sodium échangeable
ROS:	Reactive Oxygen Species
CAT	la catalase
ABA	l'acide abscissique
nmole	Nano mole
Chl a	Chlorophylles(a)
Chl b	Chlorophylles(b)
Chl(a+b)	Chlorophylles(a+b)
MF	matière fraîche
BSA	sérum albumine bovine
BBC	le bleu brillant de Coomassie
GPOX	gaïacol peroxydase
GSH	Glutathione
EDTA	éthylène diamine tétraacétique
DTNB	Acide 5-5' dithio-bis-2-nitrobenzoïque
ASS	Acide sulfosalicylique
DO	Densité optique
H2O2	Peroxyde d'hydrogène
Na	Sodium
Ca	Calcium
K	Potassium
OH	radicaux hydroxyle
Mg	Magnésium
MDHAR	monodéshydroascorbate réductase
DHAR	déshydroascorbate réductase

Introduction

La salinisation des sols et des eaux, est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale et le rendement agricole (ZID et GRIGNON., 1991; ZHU., 2001). Dans les écosystèmes arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (MUNNS et *al.*, 2006) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie. Elle provient également de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (BEN NACEUR et *al.*, 2001). Chaque année, les surfaces perdues à cause de la salinité des sols, varient autour de 20 millions d'ha à travers le monde. Ainsi, ces surfaces sont passées de 48 millions à 265 millions d'ha de terres agricoles touchées par la salinité, les surfaces agricoles affectées dans le monde seraient de 340 millions d'ha, soit 23% des terres cultivées dans le monde . Selon BELKHODJA et BIDAI., 2004., un milliard d'ha est menacé, dont 3,2 millions d'ha en Algérie .

L'effet négatif de la forte salinité peut être observé au niveau de la plante entière comme la mort de la plante et /ou la diminution de la productivité. Beaucoup de plantes développent des mécanismes adaptatifs soit pour exclusion du sel de leurs cellules ou pour la tolérance de sa présence dans les cellules (Parida et Das, 2005). L'accumulation du sodium dans les organes de la plante à la suite d'une entrée massive de certains ions toxiques tel que le chlore commence à exercer une action toxique, qui se manifeste par des lésions sur les feuilles, dès que la teneur en cet élément atteint 0,05% dans les tissus, la sensibilité à cet élément est variable suivant les espèces. Cet effet est attribué à un excès d'ions qui interfèrent avec le métabolisme de la plante et engendrent l'incapacité de celle-ci à acquérir des éléments nutritifs d'où l'inhibition de l'action enzymatique, la division cellulaire et la perte des substrats respiratoires (Gadallah, 1999).

La tomate, *Lycopersicum esculentum* L de la famille des solanacées est une plante herbacée, très cultivée pour son fruit consommé à l'état frais ou transformé (CHAUX et FOURY, 1994).

Dans le monde entier, la tomate occupe la deuxième place après la pomme de terre, que ce soit dans la production ou la consommation (SHANKARA *et al.*, 2005) attestent qu'en France, elle est le premier légume frais consommé avec 14 Kg par personne et par an, loin derrière les Grecs qui consomment 56 Kg de tomates fraîches par an et par personne.

En Algérie, elle est beaucoup plus consommée sous sa forme industrielle. BACI (1993) estime que sa consommation annuelle sous forme concentrée avoisinerait les 04 Kg par an et par habitant. La tomate est d'une grande richesse organoleptique, c'est l'un des

premiers apports en vitamine C de notre organisme.

La production de tomate n'a cessé de progresser régulièrement ces dernières décennies. BLANCARD et *al.*, (2009) estiment les taux de production mondiale à 89 Millions de tonnes en 1998 et 124 Millions de tonnes en 2006.

Compte tenue de son importance économique, elle est l'objet de nombreuses recherches scientifiques et elle est considérée comme une plante modèle en génétique, elle a donné naissance aux hybrides commercialisés de façon éphémère aux Etats Unis dans les années 1990 (ANONYME², 2010).

Les cultures maraichères occupent une superficie très importante, estimée à 363 030 ha en 2005, et à 372 096 ha en 2006 avec un bilan de 2,5% du rendement. La tomate représente 5,62% de la production maraichère nationale.

L'objectif de ce travail s'oriente vers la connaissance de certains mécanismes liés à l'adaptation aux contraintes salines de trois variétés (Ziralda et Maintain et Mard) à savoir:

- ✓ La réponse morphologique de la partie aérienne, par des mesures biométriques: longueur des plantes.
- ✓ dosage des paramètres biochimique sous stress salin.
- ✓ Dosage de l'activité des enzymes impliquées dans système antioxydants.

CHAPITRE I: SALINITE ET PROBLEME DE SALINISATION

I.1. Généralités sur la salinité

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols et des eaux comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en (Na^+), (Ca^{++}), (Mg^{++}) sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées (Asloum, 1990). Ce type de stress est essentiellement dû au NaCl en conditions naturelles (Sun et Zheng, 1994). Il caractérise les zones arides et semi arides, surtout là où l'irrigation est pratiquée (Ashraf, 1994). La salinité déclencherait un stress environnemental très significatif chez les plantes cultivées, qui constitue un obstacle majeur sur la productivité agricole.

I.1.1. Définition de sols salés (sols halomorphes)

Les sols salins sont naturellement présents sous tous les climats et sur tous les continents. Ils sont là où l'évaporation excède les précipitations pluviales de façon permanente ou temporaire, ils sont étroitement liés à une source de salinité d'ordre géologique (évaporites), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) (Girard *et al.*, 2005).

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles, ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions, provenant de ces sels et susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en particulier leur structure. On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse 0,5g/l (Robert, 1996). Selon Calvet (2003), un sol est dit salé quand la conductivité électrique est supérieure à 4ds/m. Génétiquement, les sols sont constitués par deux unités très différentes, les salisols, dans lesquels les sels sont formés de sodium, de calcium ou de magnésium sous la forme de sels solubles simples ou complexes. Les sodisols à complexe sodique dans lesquels les cations, essentiellement le sodium sont sous la forme échangeable, les sels solubles étant très peu abondants (Bouteyre et Loyer, 1992).

I.1.2. Notion de la salinisation

C'est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol (IPTRID, 2006). Une salinisation trop importante accompagnée parfois d'une alcalinisation du complexe absorbant des sols (IRD, 2008). Ce sont là les types de dégradation les plus fréquentes et souvent liées à la désertification. Plus l'aridité est forte, plus l'irrigation est incontournable à la culture, et plus son usage est risqué.

La salinisation peut avoir une origine naturelle: faible précipitations, évaporation intense, existence d'une roche mère salée (Forster *et al.*, 1990), elle représente 80% des terres salines et appelé salinisation primaire.

Elle peut aussi provenir d'une eau d'irrigation saumâtre voire même de l'utilisation excessive d'engrais, et la remontée capillaire des eaux souterraines salines (Forster *et al.*, 1990).

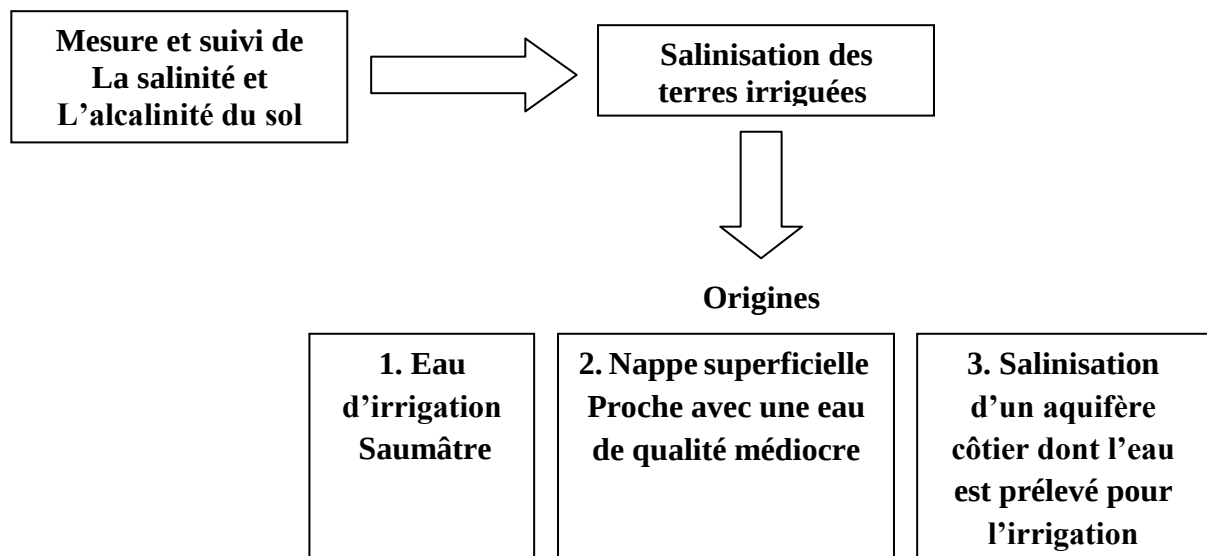


Figure. 1: Origines de la salinisation (IPTRID, 2006)

I.1.3. Classification des sols salés

Selon Duchaufour (1983), deux sous classes de sols halomorphes sont distinguées:

I.1.3.1. Sols à complexe sodique ou sols alcalins(les solonetz)

Caractérisés par une saturation marquée en (Na^+) et une accumulation des sels en profondeur. Ces sols se caractérisent par la présence d'une quantité importante de sodium qui dépasse les 15% de le C.E.C (capacité d'échange cationique). La conductivité électrique(C.E) ne dépasse pas 4ds/m à 25°C et le pH est supérieur à 8,5. La relative abondance de l'ion sodium, dans la garniture ionique absorbant, peut avoir deux origines distinctes:

- elle peut provenir du sodium libéré par l'altération de certains minéraux alcalins.
- elle peut résulter d'une saturation progressive du complexe en sodium, aux dépens d'une solution saline (Duchaufour, 1983).

Ces sols ont un profil peu stable, en raison de la grande facilité de dispersion des argiles, ils sont asphyxiants plutôt que physiologiquement secs.

I .1.3.2. Sols salins à complexe calcique (solontcheks)

Caractérisés par une accumulation marquée des sels solubles en surface. Ces sols se rencontrent dans les zones à climat sec. Ils se caractérisent par un pH généralement inférieur à 8,5 et supérieur à 7 et le sodium n'y forme pas plus de 50% des cations en solutions (Dajoz, 1982). La conductivité électrique de l'extrait aqueux à saturation est supérieure à 4,5ds/m à 25°C. Dans les horizons inférieurs (suivants la texture) (Duchaufour, 1983), avec un taux de sodium échangeable (E.S.P) inférieur à 15% de la C.E.C du sol. Ces sols présentent une structure non dégradée caractérisés par une richesse en sels solubles, tels qu'ils inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées (Aubert, 1978).

Tableau. 1: Classification des sols salés (Maillard, 2001)

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

Tableau. 2: Classification de l'eau saline (Maillard, 2001)

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

I.1.4. Importance des sols salés et répartition géographique

Le monde perd au moins 3 ha des terres arables chaque minute à cause de la salinité (Kovda, 1983). Par ailleurs, Bot *et al.*, (2000) estime à près de 400M ha des terres affectées par la salinité. Au proche Orient, 92M ha sont touchées, soit environ 5% de la surface totale.

Tableau. 3: Surface des sols salés en Afrique et Proche Orient (IPTRID 2006)

Région	Pays	Surface totale (Mha)	Surface cultivée (Mha)	Surface salinisée (Mha)	Surface salinisée (%)
Afrique	Ghana	22.8	4.5	0.8	3.5
	Kenya	56.9	4.5	8.2	14.4
	Nigeria	91.1	32.9	5.6	6.1
	Tanzanie	88.4	4.0	2.0	2.3
Proche-Orient	Égypte	99.5	3.3	9.1	9.1
	Iran	162.2	19.4	27.4	19.9
	Syrie	18.4	5.2	0.5	2.7
	Tunisie	15.5	4.9	1.8	11.6

Les terres irriguées salinisées représentent environ 10% de la salinisation due à des actions humaines (qui correspondent à 20% des terres salinisées), 50% de ces terres se trouvent dans les zones arides. En conséquence, le pourcentage des terres arables irriguées a considérablement augmenté. Au Pakistan, plus 25% des surface sont salinisées, en Tunisie 25%, aux USA 23%, en Inde environ de 17%, en China, 15% et en Afrique du sud près de 9%. (IPTRID, 2006)

Tableau. 4: Effet de la salinisation secondaire (anthropique) sur les surfaces agricoles de l'Afrique et au Proche Orient (Mashali *et al.*, 2005)

Région	Pays	Surface irriguée (Mha)	Surface irriguée salinisée (Mha)	Surface salinisée (Mha)	Surface salinisée par l'action de l'Homme - secondaire (Mha)
Afrique	Ghana	0.01	0.004	0.3	0.3
	Kenya	0.1	0.03	0.4	0.4
	Nigeria	0.3	0.1	0.5	0.6
	Tanzanie	0.2	0.05	0.5	0.5
Proche-Orient	Égypte	3.3	0.9	0	0.9
	Iran	7.3	2.1	0.5	2.7
	Syrie	1.1	0.4	0.1	0.5
	Tunisie	0.4	0.1	0.3	0.4

En Algérie les zones semi-arides et arides couvrent approximativement 95% du territoire (Benkhelif *et al.*, 1999). Les sols salés sont très répandus dans ces régions, représentant environ 25% de la surface agricole utile (SAU) soit 3,2 millions d'hectares (Halitim, 1988).

I.2. Définitions du stress

Selon Levitt (1980), le terme stress désigne un facteur de l'environnement induisant une contrainte potentiellement néfaste sur un organisme vivant.

D'après Dutuit *et al.*, (1994), le stress est le dysfonctionnement (rupture d'un équilibre fonctionnel) produit dans un organisme ou dans un système vivant, par exemple par une carence. Le stress est donc, un ensemble de conditions qui provoquent des changements de

processus physiologiques résultant éventuellement de dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement.

On appelle stress toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. En revanche, la réponse du végétal dépend, entre autres, de ces paramètres environnementaux, tels que: le type de contrainte, son intensité, sa durée et caractéristiques génétiques: espèce et génotype (Hopkins, 2003).

I.2.1. La plante et le stress

Le quotidien des végétaux n'est pas de tout repos. En effet, la 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 l'un des facteurs important de la détermination du rendement.

I.2.2. Principe général d'adaptation et de résistance des plantes à l'excès de sel

Généralement, sous les conditions salines, une voie de transduction d'un signal de stress commence par la perception de ce signal au niveau de la membrane de la plante (par un senseur ou non), suivie par la production de seconds messagers et des facteurs de

transcription. Ces facteurs de transcription contrôlent l'expression des gènes impliqués dans la réponse au stress incluant des changements morphologiques, biochimiques et physiologiques (Voir schéma ci-dessus).

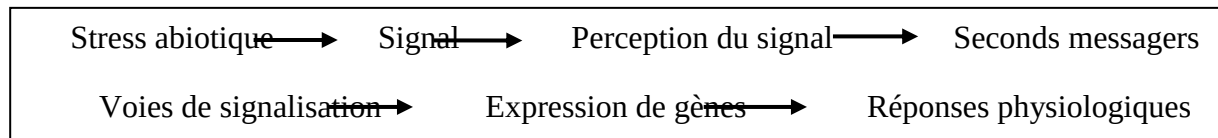


Figure. 2: adaptation et résistance des plantes face au stress salin

Selon Levitt (1980), on distingue deux types d'adaptation:

- adaptation élastique (ou capacité d'adaptation): concerne un organisme adapté qui peut vivre, croître et réaliser son cycle de vie en présence du stress.

- adaptation plastique (ou résistance à l'adaptation): inhibe la croissance et ainsi tous les dommages éventuels sont irréversibles jusqu'à la disparition partielle ou complète de l'agent stressant.

I.2.3. Les stratégies d'adaptation

Les mécanismes de tolérance au sel chez les plantes peuvent être groupés en:

- 1- une homéostasie cellulaire regroupant homéostasie ionique et ajustement osmotique (Zhu, 2003).
- 2- un contrôle et une réparation des dommages causés par le stress ou détoxification.
- 3- une régulation de la croissance.

I.2.3.1. Homéostasie cellulaire

L'homéostasie ionique au niveau des cellules est atteinte sous stress salin par les stratégies suivantes:

- a) exclusion des ions (Na^+) des cellules par les canaux ioniques: anti port Na^+/H^+ , ou bien par la limitation d'entrée des ions (Na^+).
- b) compartimentation de (Na^+) dans des vacuoles intracellulaire pour un ajustement osmotique.
- c) la sécrétion de (Na^+), ainsi que la régulation du transport ionique qui joue un rôle fondamental dans la tolérance au sel chez les plantes.

L'analyse génétique d'un mutant d'*Arabidopsis* SOS (Salt Overly Sensitive) a permis l'identification des mécanismes (the SOS pathway) qui régulent l'homéostasie cellulaire et la tolérance aux sels (Zhu, 2002).

I.2.3.2. Séquestration du sodium dans des vacuoles

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

Des plantes transgéniques de *Lycopersicum esculentum* et de *Brassica napus*, sur-exprimant le gène *AtNHX1* codant pour l'antiport Na^+/H^+ , accumulent du sodium dans leurs feuilles mais pas dans les fruits ou les graines. Ces plantes se sont montrées extrêmement tolérantes au stress salin et conservent dans ces conditions des bonnes qualités de fruit chez la tomate et d'huile chez le colza *Brassica napus* (Zhang et Blumwald, 2001; Zhang *et al.*, 2001).

I.2.3.3. Prélèvement du potassium (K^+)

Dans les conditions optimales, les plantes maintiennent un haut ratio cytosolique K^+/Na^+ .

Le stress salin entraîne la diminution de ce ratio, du fait que les ions (Na^+) sont en concurrence avec les ions (K^+), ce qui est défavorable pour les processus biochimiques cellulaires. De même, une forte concentration de potassium augmente le potentiel osmotique qui entraîne une entrée d'eau à partir du milieu extérieur (Claussen *et al.*, 1997). Le prélèvement du (K^+) est essentiel pour la turgescence cellulaire et le déroulement des processus biochimiques sous contrainte saline.

Le niveau de transcription des gènes codant pour les transporteurs de (K^+) reflète probablement une différence de capacité de la plante à prélever le K^+ sous stress salin. Par exemple chez *Arabidopsis*, le stress salin augmente le niveau de transcription du gène *AtKC1* correspondant à un transporteur de (K^+) (Pilot *et al.*, 2003).

I.2.3.4. Biosynthèse d'osmoprotectants

Les gènes impliqués dans la synthèse d'osmoprotectants sont surexprimés en conditions de stress salin (Zhu, 2002). Les osmoprotectants compatibles pour différents solutés, protègent les plantes par ajustement osmotique ce qui maintient la turgescence cellulaire, par détoxification des espèces réactives à l'oxygène (ROS: Reactive Oxygen Species), et par stabilisation de la structure (quaternaire) des protéines. Chez des plantes

transgéniques, il a été prouvé que l'accumulation de mannitol (Shen *et al.*, 1997), glycine-bétaine (Prasad *et al.*, 2000), et proline (Zhu *et al.*, 1998) améliorent leur tolérance au stress salin.

I.2.3.5. Synthèse de protéines induites par le sel

Chez les plantes supérieures, le stress osmotique induit différentes protéines dans les tissus des végétaux. Ces protéines sont nommées LEA : Late-Embryogenesis-Abundant. Chez *Medicago sativa*, le gène *Alfin1* code pour une famille de facteurs de transcription et leur expression est corrélée avec la tolérance au sel (Winicov et Bastola, 1999). In vitro *Alfin1* se lie au promoteur du gène *MsPRP2*, qui code pour une protéine racinaire du cytosquelette induite par le sel.

I.2.3.6. Synthèse d'antioxydants

Les plantes produisent des espèces réactives à l'oxygène, nommés ROS (radicaux superoxide ($O_2^{\cdot-}$), peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), et radicaux hydroxyle (OH) en réponse à un stress salin. Les ROS causent d'importants dommages dans des lipides membranaires, des protéines et acides nucléiques. La détoxification des ROS constitue un élément clé de défense des plantes contre les stress abiotiques dont le stress salin. Les enzymes responsables de cette détoxification nommées antioxydants incluent le superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT), et des enzymes du cycle ascorbate-glutathion (Hernandez *et al.*, 2001).

I.2.3.7. Régulation de la croissance

Maintenir une croissance racinaire constitue un caractère adaptatif dans un environnement de faible disponibilité en eau tel que le milieu salin. L'allongement racinaire peut être dû à une augmentation d'activité des enzymes impliquées dans la construction du cytosquelette: par exemple la xyloglucanendotransglycosylase (Wu *et al.*, 1994). L'autre cause peut être l'accumulation de proline (Ober et Sharp, 1994). Ces deux actions sont régulées par l'acide abscissique (ABA), qui est induit par le stress salin (Jia *et al.*, 2002). Ainsi chez le maïs, l'élongation racinaire est inhibée par la présence d'un inhibiteur de biosynthèse d'ABA. Mais elle peut être restaurée par un traitement des racines avec un inhibiteur de synthèse d'éthylène. Ces données suggèrent que l'élongation racinaire par l'intermédiaire de l'ABA doit être causée par une inhibition de biosynthèse d'éthylène (Spollen *et al.*, 2000). Chez *Arabidopsis*, les régulations de la division cellulaire et de l'élongation cellulaire sous stress salin sont effectuées par l'intermédiaire de l'ABA (Wang *et al.*, 1993), cependant le mécanisme exact de cette régulation est encore mal connu.

I.3. Conséquences de la salinité sur la plante

La salinité est l'un des facteurs limitant pour la croissance des plantes. Ses effets sur les végétaux sont: un arrêt de la croissance, le dépérissement des tissus sous forme de nécroses marginales, suivi par une perte de turgescence, une chute des feuilles et finalement par la mort de la plante (Zid, 1982).

La salinité provoque le plus souvent un retard dans le développement (Gill, 1979; El Mekkaoui, 1990 ; Boukachabia, 1993) et d'une manière générale la hauteur, le diamètre des tiges des différentes espèces, ainsi que la grosseur des fruits, diminuent d'une façon considérable avec l'augmentation de la salinité. C'est le cas de riz (khan *et al.*, 1997) et de la pomme de terre (Bouaziz, 1980). D'une façon globale, la tolérance au sel n'est pas constante pour une même espèce ou variété. Elle peut changer en fonction de l'espèce, du génotype, de l'âge de la plante et de l'état physiologique de l'organe. A titre d'exemple, l'orge et le blé sont particulièrement résistants à la salinité après la germination (El Mekkaoui, 1990).

I.3.1. Effet de la salinité sur la germination

La germination des plantes qu'elles que soient halophytes ou glycophytes est affectée par la salinité. Selon l'espèce, l'effet dépressif peut être de nature osmotique ou toxique (Ismail, 1990).

I.3.1.1. Effet osmotique

La salinité inhibe l'absorption de l'eau, la mobilisation des réserves et leur transport vers l'embryon. Cependant il existe un seuil critique d'hydratation que l'embryon doit atteindre avant le démarrage des processus germinatifs.

I.3.1.2. Effet toxique

Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination. Rejili *et al.*, (2006), signalent qu'une bonne germination des graines et une émergence sous le stress salin est un critère valable pour garantir l'établissement adéquate dans les sols affectés par le sel. Cependant, Ben Ahmed (1996) rapporte que la corrélation entre la tolérance au stade de germination des semences et la tolérance des plantes pendant les autres périodes de croissance n'est pas obligatoire.

I.3.2. L'effet de la salinité 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). Les seuils élevés de la salinité sont accompagnés par une réduction significative de 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). L'excès de NaCl se manifeste par une croissance dans la biomasse souterraine (racines) et la biomasse aérienne (tiges et feuilles) et une augmentation du ratio partie racinaire/partie aérienne chez le coton (Meloni *et al.*, 2001). Plusieurs études, révèlent que, les glycophytes répondent à la salinité du milieu de manière aussi variées que complexes. Les espèces les plus sensibles subissent des réductions de croissance souvent très sévères à des salinités réduites (Fathalli et Bizid, 1986). Ces mêmes auteurs signalent que chez les variétés sensibles de soja (*Glycine max L.*), une réduction de croissance de 40% a été observée après 14 jours de culture à 10mM de NaCl. Selon Slama (1986), le NaCl à la concentration de 3g/l agit rapidement au bout de 5 à 10 jours et diminue de 20% la croissance des plantes sensibles telle que: l'haricot, la courge et la courgette blanche non creuse.

La croissance foliaire est généralement plus affectée par le sel que la croissance racinaire chez plusieurs espèces de plantes cultivées comme l'orge (Gouia et Ghorbal, 1986) et le blé (Xu, 1990).

Munns et Termaat (1986), signalent que le stress salin a pour effet immédiat de limiter la croissance en inhibant la croissance foliaire par des messages hormonaux partant des racines en directions des feuilles. L'hormone impliquée est probablement l'acide abscissique (Kefu *et al.*, 1991). La salinité provoque le plus souvent un retard dans le développement, D'une manière générale ; la croissance en longueur, le diamètre des tiges et la grosseur des fruits diminuent d'une façon importante avec l'augmentation de la salinité (Boukachabia, 1993).

En revanche, il faut signaler que les effets de salinité sur la croissance et la productivité végétale ne sont pas toujours négatifs. De faibles concentrations dans le milieu peuvent stimuler la croissance (Colmer *et al.*, 1995). Cet effet de stimulation de la croissance par le sel (NaCl) est particulièrement visible sur le cotonnier (*Gossypium hirsutum L.*) où l'on observe, en présence d'une teneur de 6g/l de NaCl, une augmentation de croissance pondérale et un allongement excessif des racines. Ainsi, Bizid et Zid (1986), ont constaté que chez les variétés de Triticale, la croissance des racines n'est pas affectée par le NaCl ; elle est même stimulée chez les variétés tolérantes. Cette stimulation s'observe également chez le blé

cultivé en présence de NaCl (Hamza, 1967). Cependant, les processus impliqués dans cette stimulation sont encore mal compris.

I.3.3. L'effet de la salinité sur l'eau dans la plante

Une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique adapté, afin que le potentiel hydrique cellulaire demeure inférieur à celui du milieu extracellulaire et à celui du sol. Ce phénomène assure d'une part, la poursuite de l'absorption de l'eau du sol, et d'autre part, la rétention de l'eau intracellulaire et le maintien de la turgescence. Lorsque l'ajustement osmotique est insuffisant, l'eau a tendance à quitter les cellules, ce qui provoque un déficit hydrique et la perte de la turgescence. (Niu *et al.*, 1995 ; Bohnert et Shen, 1999 ; Hasegawa *et al.*, 2000)

I.3.4. Effet de la salinité sur la biochimie de la plante

Sous les conditions salines il y a un changement dans le modèle d'expression des gènes, et des changements qualitatifs et quantitatifs dans la synthèse des protéines (Reynolds *et al.*, 2001). Plusieurs études révèlent que le chlorure de sodium diminue la synthèse des protéines et augmente leur hydrolyse chez les plantes cultivées telle que le petit pois, la vigne et le haricot (Tremblin et Coudret., 1986). Agastian *et al.*, (2000) ont rapporté que les protéines solubles augmentent à des niveaux bas de salinité et diminuent à des seuils élevés de concentrations salines chez les Mûres.

Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique au niveau des membranes cellulaires, affectant ainsi leur stabilité (Alem et Amri., 2005). L'insaturation des acides gras contrecarre le stress salin ou hydrique. Wu *et al.*, (1998) ont analysé le changement de la composition des lipides soumis à cette contrainte dans la membrane plasmique des racines chez *Spartina pratensis* et ont rapporté que les pourcentages molaires des stérols et les phospholipides diminuent avec l'augmentation de la salinité, mais le ratio stérols/phospholipides n'est pas affecté par le NaCl.

La présence du sel en forte concentration inhibe principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse (Tremblin et Coudret., 1986) par l'imposition d'un stress osmotique (Hayashi et Murata., 1998) sur la cellule et par la toxicité du sodium (Niu *et al.*, 1995) et du chlorure dans le cytoplasme. 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 et du processus photosynthétique.

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) ; aussi on a rapporté qu'il y a arrêt de la photosynthèse sous des conditions sévères de stress salin (Kao *et al.*, 2001). Par contre, le stress faible à modéré semble plutôt stimuler ce phénomène (Kurban *et al.*, 1999). La diminution du processus photosynthétique est due à plusieurs facteurs :

- a)- la déshydratation des membranes cellulaires ce qui réduit leur perméabilité au CO₂.
- b)- la toxicité des ions formant le sel.
- c)- la réduction de l'approvisionnement en CO₂ à cause de la fermeture hydro active des stomates.
- d)- la sénescence accrue des feuilles induite par la salinité.
- c)- le changement dans l'activité des enzymes causé par le changement de leur conformation dans la structure cytoplasmique. (Iyengar et Reddy, 1996).

Chez diverses espèces, plus ou moins résistantes, on a observé une augmentation des sucres totaux résultant d'un blocage de la glycolyse ou du saccharose provenant d'une forte hydrolyse de l'amidon (Asloun, 1990). L'accumulation des sucres solubles est importante dans les feuilles des plantes d'*Atriplex halimus* L. et d'*Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. Soumises à un stress salin (Hadjadj, 2009).

I.3.5. L'effet de la salinité sur les enzymes antioxydantes

En cas de stress biotique ou abiotique, on observe chez les plantes une production rapide et massive d'espèces réactives à l'oxygène. De nombreuses études ont été menées, notamment chez les plantes, afin de préciser quels sont les facteurs qui 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 SO₂, les stress mécaniques, les carences nutritionnelles, les attaques de pathogènes, le parasitisme, 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 entraîne un stress oxydatif à cause de la libération de radicaux libres toxique pour le métabolisme cellulaire comme les superoxydes, les radicaux hydroxyles et peroxydes. Les espèces réactives de l'oxygène qui sont les produits du stress hyperosmotique et ionique provoquent des dysfonctionnements dans la membrane et la mort cellulaire (Bohnert et Jensen, 1996). Les plantes se défendent contre ces ROS par l'induction de l'activité de certaines enzymes antioxydantes comme la catalase, la peroxydase, le 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 du glutathion diminuent (Hernandez *et al.*, 2000).

I.3.6. Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante

Un excès de sel dans le protoplasme conduit à des modifications dans la balance ionique entraîne une faible production d'énergie par les réactions de phosphorylation et photorespiration. L'assimilation de l'azote et de nombreuses voies métaboliques sont perturbés. Si la concentration en sel excède le niveau de tolérance de la plante, des perturbations fonctionnelles apparaissent au niveau de la photosynthèse, par effet du sel dans le stroma des chloroplastes qui perturbe le transport des électrons. La glycolyse et le cycle de Krebs sont aussi affectés. L'acquisition de substances minérales, comme le potassium, les nitrates ou le calcium sont également réduites. La plante montre alors des signes de stress par la production d'anthocyanes ou la destruction de la chlorophylle. Si chez certaines halophytes, la croissance est stimulée par un apport modéré de sel, ce phénomène reste limité par un niveau de tolérance. Des stress extrêmes conduisent au nanisme et à l'inhibition de la croissance. Les feuilles deviennent sclérosées avant même d'avoir terminées leur croissance et développement, et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (Ben-Hayyim *et al.*, 1989 ; Speer et Kaiser, 1991).

CHAPITRE II: PRÉSENTATION DE L'ESPECE ETUDIÉE

II.1. Présentation de l'espèce étudiée

II.1.1. La tomate

La tomate *Lycopersicum esculentum* L appartient à la famille des solanacées, d'origine tropicale (Amérique latine) (ANONYME, 1999).

Comme c'est une culture à cycle assez court qui donne un haut rendement, elle a de bonnes perspectives économiques et la superficie cultivée s'agrandit de jour en jour. La consommation des fruits de la tomate contribue à un régime sain et équilibré (SHANKARA *et al*, 2005). Le fruit est riche potassium, antioxydants, magnésium, phosphore, vitamines A-B-C et E, fibres et sels minéraux.

II.1.2. Historique

La tomate du genre *Lycopersicum esculentum* L est une plante cultivée dans le monde entier pour son fruit. Elle est originaire des régions Andines côtières du Nord-Ouest de l'Amérique du Sud, dans une zone allant du Sud de la Colombie au Nord du Chili et de la côte Pacifique, aux contreforts des Andes (Equateur, Pérou). C'est en effet seulement dans ces régions, qu'on a retrouvées des plantes spontanées de diverses espèces, de l'ancien genre *Lycopersicum*, notamment *Solanum lycopersicum ceraciforme* (la tomate cerise). Cette dernière est actuellement répandue dans toutes les régions tropicales du globe, mais il s'agit d'introduction récente.

(CHAUX et FOURY ;1994) rappellent que le genre *Lycopersicum* comprend neuf espèces, dont une seule espèce *Lycopersicum esculentum* L sous sa forme sauvage *ceraciforme* pourrait être directement à l'origine de nos variétés, a émigré vers le Sud de l'Amérique du Nord.

C'est au XVI^{ème} siècle au Mexique actuel que la tomate à gros fruits a été découverte et domestiquée (Fig.1). Les indigènes l'appelaient « Tomati » ; ce nom provient d'un nom Aztèque « Zitomate », où l'ont trouvé les Conquistadors Espagnols lors de la conquête de Tenochtitlan (Mexico) par Hernan Cortés en 1519 (ANONYME₁, 2011).

Elle fut introduite en Europe au XVI^{ème} siècle par les Espagnols avant même la pomme de terre et le tabac, où elle fut accueillie par les gens avec un engouement très gaulois, car ils pensaient qu'elle avait un pouvoir aphrodisiaque et l'appelèrent « Pomme d'Amour » (ANONYME, 2010).

Au début, les Européens l'exploitèrent pour un usage purement ornemental

et évitèrent sa consommation, à cause des liens de parenté botanique très étroits avec certaines espèces végétales connues comme plantes vénéneuses, exemple :

Hyocinus niger, *Lycopersicum atropa* (KOLEV, 1976).

Elle a été longtemps considérée comme une plante toxique, au même titre que sa cousine « la mortelle Belladone ». Ce n'est que vers les années 1920-1930 qu'elle commença à être largement commercialisée.

En Algérie, ce sont les cultivateurs du Sud de l'Espagne (Tomateros), qui l'ont introduite étant donné les conditions qui lui sont propices. Sa consommation a commencé dans la région d'Oran en 1905 puis, elle s'étendit vers le centre, notamment au littoral Algérois (LATIGUI, 1984) (Doré *et al.*, 2006).

II .1.3. Classification de la tomate

II .1.3.1.Classification botanique (systématique)

La tomate dont l'appartenance à la famille des Solanacées avait été reconnue par les botanistes a été classée par Linné en 1753, comme *Solanum lycopersicum*.

D'autres botanistes lui ont attribué différents noms : *Solanum lycopersicum*, *Solanum esculentum* ; c'est finalement *Lycopersicum esculentum* L attribué par Philip Miller en 1754, qui a été retenue (MUNROE et SMALL, 1997).

CRONQUIST (1981) ; GAUSSEN *et al.* (1982) rappellent que la tomate appartient à la classification suivante :

Règne.....Plantae.
Sous-règne.....Trachenobionta.
Division.....Magnoliophyta.
Classe.....Magnoliopsida
Sous classe.....Asteridae.
Ordre.....Solonales.
Famille.....Solanaceae.
Genre.....*Solanum*
Espèce..... *Lycopersicum esculentum* L.



figure 3. La plante de tomate

II .1.3.2. Classification génétique

La tomate cultivée, *Lycopersicum esculentum* L est une espèce diploïde avec $2n=24$ chromosomes, chez laquelle il existe de très nombreux mutants monogéniques, dont certains sont très importants pour la sélection. Sa carte chromosomique compte actuellement 235 gènes localisés avec précision (GALLAIS et BANNEROT, 1992). La structure de la fleur de *Lycopersicum esculentum* L assure une cleistogamie (autogamie stricte), mais elle peut se comporter comme une plante allogame. On peut avoir jusqu'à 47% de fécondation croisée dans la nature (PUBLISHERS, 2004). Ces deux types de fécondation divisent la tomate en deux variétés qui sont :

II .1.3.2.1. Variétés fixées

Il existe plus de cinq cents variétés fixées (conservent les qualités parentales). Leurs fruits sont plus ou moins réguliers, sont sensibles aux maladies, mais donnent en général des fruits d'excellente qualité gustative (POLESE, 2007).

II .1.3.2.2. Variétés hybrides

Les variétés hybrides sont plus nombreuses. Elles sont relativement récentes, puisqu'elles n'existent que depuis 1960 (POLESE, 2007).

II .1.4.Caractéristique morphologique de la tomate

II .1.4.1. L'appareil végétatif

A. Le système racinaire

Le système racinaire (**fig. 4 A**) est puissant, très ramifié à tendance fasciculée. Il est très actif sur les 30 à 40 premiers centimètres. En sol profond, on peut trouver des racines jusqu'à 1 mètre de profondeur (CHAUX et FOURY, 1994).

B. La tige

La tige (**fig. 4 B**) est de forme anguleuse, épaisse aux entre nœud pubescent (couvert de poil), de consistance herbacée en début de croissance, se lignifie en vieillissant.

Cette croissance monomodale au début après 4 ou 5 feuilles devient sympodiale, c'est-à-dire que les bourgeons axillaires donnent naissance à des ramifications successives. Par contre, les bourgeons terminaux produisent des fleurs ou avortent. Ces rameaux issus des bourgeons axillaires produisent des feuilles à chaque nœud et se terminent par une inflorescence (CHAUX et FOURY, 1994).

La tige porte 2 types de poils, simple ou glanduleux. Ces derniers contenant une huile essentielle qui donne son odeur caractéristique de la plante (KOLEV, 1976).

C. La feuille

Les feuilles (**fig. 4 C**) sont composées de 5 à 7 folioles principales, longues de 10 à 25cm et d'un certain nombre de petites folioles intercalaires ovales, un peu dentés sur les bords, grisâtre à la face inférieure. Elles sont souvent repliées en forme de cuillères ou même à bords roulés en dessus. Ces feuilles sont alternées sur la tige (RAEMAEEKERS, 2001).

II .1.4.2. L'appareil reproducteur

A. La fleur

pédoncule en bouquet lâche en inflorescences formant des grappes plus ou moins bifurquées de 3 à 8 fleurs chez les variétés fixées et au-delà chez les hybrides (POLESE, 2007).

Les fleurs (**fig. 4D**) s'épanouissent du printemps à l'été (de fin Mai à Septembre) dans l'hémisphère Nord. La fleur est actinomorphe à un système pentamère.

Le calice comporte 5 sépales verts, il est persistant après la fécondation et subsiste au sommet du fruit. La corolle comporte 5 pétales d'un jaune vif soudés à la base, réfléchis en arrière en formant une étoile à 5 pointes.

L'androcée comporte 5 étamines à déhiscence latérale, les anthères allongées forment un cône resserré autour du pistil ; celui-ci est constitué de deux carpelles soudées formant un ovaire super biloculaire à 2 loges et à placenta central. Chez certaines variétés l'ovaire est pluriloculaire (DORE et VAROQUAUX, 2006).

REY et COSTES (1965) rappellent que la formule florale de la fleur est la suivante :

$$5 \text{ sépales} + 5 \text{ pétales} + 5 \text{ étamines} + 2 \text{ carpelles}$$

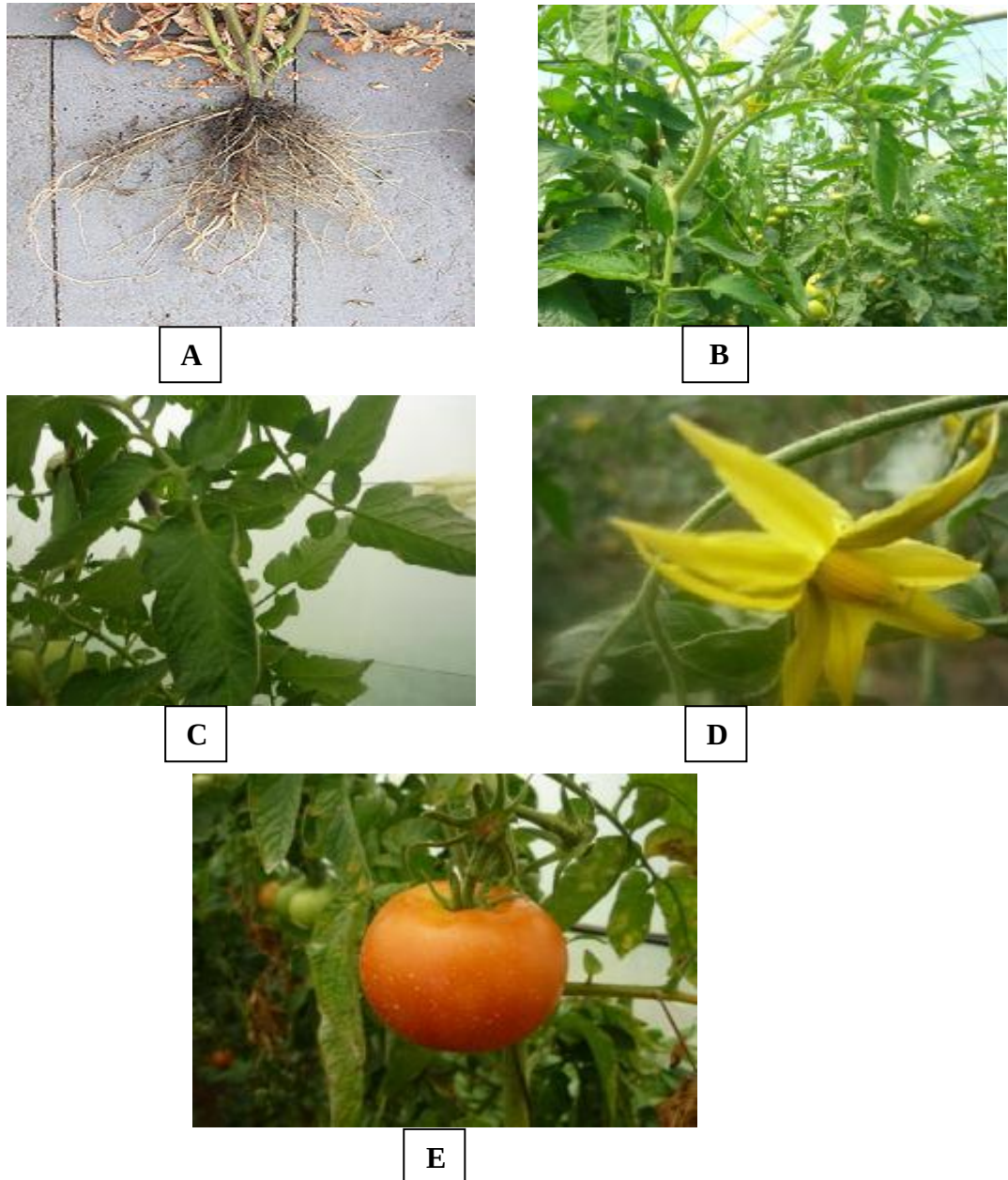


Fig. 4 : Appareil végétatif de la tomate

A : Système racinaire (CHAUX et FOURY, 1994) ; **B** : Tige de tomate .

C : Feuille de tomate . ; **D** : La fleurs de tomate.

B. Le fruit (fig. 4E)

Le fruit de la tomate est une baie charnue. L'épiderme est lisse brillant et peut présenter sur des fruits mûrs des colorations très diverses, selon la variété.

Le fruit présente en principe 2 loges.

En section méridienne le fruit peut revêtir des formes très variées, ellipsoïdales, plus ou

moins aplaties, globuleuses, ovales, plus ou moins allongées, voir cylindriques ou piriformes.

La taille est extrêmement variable, allant de 1,5 cm de diamètre pour la tomate cerise à plus de 10 cm. La couleur du fruit varie du rouge foncé, rose, bleuâtre, orange, jaune et même blanche (CHAUX et FOURY, 1994).

Selon le même auteur cette diversité de coloration est due à la présence de 2 principaux pigments :

*Pigment carotène : Jaune.

*Pigment lycopène : Rouge.

C. La graine (fig. 5 C)

Selon CHAUX et FOURY(1994), chaque fruit contient un nombre important de graines qui varie de 80 à 500 graines par fruit. Elles sont recouvertes d'un mucilage qui présente à maturité un albumen et embryon à courbe, à germination épigée.

La graine est petite (250 à 350 graines par gramme) et velue. (DORE et VAROQAUX, 2006).



Fig. 5 : Appareil reproducteur de la tomate

C : Section transversale et longitudinale d'une tomate (ANONYME4, 2009).

II .1.5. Caractéristiques physiologiques de la tomate

De nombreux travaux ont été faits sur la tomate, ce qui nous permet de connaître assez bien son cycle biologique, ses exigences ainsi que ses conditions de milieu, lui permettant un développement optimum et une bonne productivité (HELLER, 1981).

II .1.5.1.Le cycle biologique de la tomate

D'après GALLAIS et BANNEROT (1992), le cycle végétatif complet de la graine à la graine de tomate varie selon les variétés, la durée et les conditions de culture ; mais il s'étend généralement en moyenne de 3,5 à 4 mois du semis, jusqu'à la dernière récolte (7 à 8 semaines de la graine à la fleur et 7 à 9 semaines de la fleur au fruit).

Le cycle comprend six phases qui sont les suivantes :

II .1.5.1.1.La germination

La germination est le stade de levée qui mène la graine jusqu'à la jeune plante capable de croître normalement (CORBINEAU et CORE, 2006). La germination chez la tomate est épigée. A ce moment une température ambiante d'environ 20°C et une humidité relative de 70 à 80% sont nécessaires (CHAUX et FOURY, 1994).

II .1.5.1.2.La croissance

La croissance c'est l'augmentation de dimension d'un végétal. Selon LAUMONIER(1979), la croissance de plant de tomate se déroule en 2 phases et en 2 milieux différents.

En pépinière : De la levée jusqu'au stade 6 feuilles, on remarque l'apparition des racines non fonctionnelles et des prés feuilles.

En plein champ : Après l'apparition des feuilles à photosynthèse intense et des racines fonctionnelles, les plantes continuent leur croissance. La tige s'épaissit et augmente son nombre de feuille

II .1.5.1.3.La floraison

C'est le développement des ébauches florales par transformation du méristème apical de l'état végétatif, à l'état reproducteur.

A un certain moment de la croissance de la plante qui se déroule environ 1 mois, la tomate entre en parallèle avec la mise à fleur. Ces fleurs étaient auparavant des boutons floraux. La floraison dépend de la photopériode, de la température et des besoins en éléments nutritifs de la plante, car celle-ci ne peut fleurir que si elle reçoit la lumière pendant une durée qui lui est propre, en plus d'un apport équilibré sous serre.

II .1.5.1.4.La pollinisation

La pollinisation nécessite l'intervention des agents extérieurs, le vent ou certains insectes comme le bourdon qui est capable de faire vibrer les anthères et de libérer le pollen (CHAUX et FOURY, 1994).

La libération et la fixation du pollen reste sous la dépendance des facteurs climatiques. Si la température nocturne est inférieure à 13°C, la plupart des grains de pollen seraient vides, et une faible humidité dessèche les stigmates et de cela résulte la difficulté du dépôt du pollen (PESSON et LOUVEAUX, 1984).

II .1.5.1.5. La fructification et nouaison des fleurs

La nouaison est l'ensemble de gamétogenèse, pollinisation, croissance du tube pollinique, la fécondation des ovules et le développement des fruits « fructification ».

La température de nouaison est de 13°C à 15°C. Les nuits chaudes à 22°C sont défavorables à la nouaison (REY et COSTES, 1965).

Le zéro de germination est de 12°C, l'optimum de la croissance des racines est de 15°C à 18°C.

En phase grossissement du fruit, l'optimum de la température ambiante est de 25°C le jour et 15°C la nuit (ANONYME, 2003).

II .1.5.1.6. La maturation du fruit

La maturation du fruit se caractérise par grossissement du fruit, changement de couleur, du vert ou rouge.

La lumière intense permet la synthèse active de matière organique qui est transportée rapidement vers les fruits en croissance, pour cela il faut une température de 18°C la nuit et 27°C le jour (REY et COSTES, 1965).

II .1.6. Situation économique de la tomate maraîchère et industrielle dans le monde

Les échanges de la tomate représentent plus de 17% du commerce mondial des fruits et légumes frais. Environ 4 000 000 T de tomate sont importés et exportés. Parmi les dix principaux pays exportateurs de tomate, sept d'entre eux se trouvent dans la zone Euro-méditerranéenne (Belgique, Espagne, Italie, Jordanie, Maroc, Pays-Bas et la Turquie) ANONYME, (2008).

Tableau 5. Principaux pays producteurs de la tomate dans le monde (ANONYME₃, 2009).

Production (millier	Rendement (tonne	Surface cultivée	Année 2007
33 645	23,1	1455	Chine
11 500	65,7	175	Etats-Unis
9 920	36,7	270	Turquie
8 586	17,9	479	Inde
7 550	37,9	194	Egypte
6 026	51,0	118	Italie
5 000	35,7	140	Iran
3 615	65,0	56	Espagne
3 364	59 ,4	57	Brésil
2 900	22,3	130	Mexique
2 393	15,1	158	Russie
1 520	19,0	80	Ukraine
1 450	54,7	27	Grèce
1 327	23,2	57	Ouzbékistan
1 270	65,1	20	Chili
1 140	57,0	20	Maroc

Selon les statistiques de l'organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, la production mondiale de tomates s'élèverait en 2007 à 126,2 millions de tonnes pour une surface de 4,63 millions d'hectares. Ces chiffres tiennent toutefois compte de la production commercialisée, et n'incluent pas les productions familiales et vivrières qui peuvent être non négligeables dans certaines régions.

II .1.6.1. Principaux pays exportateurs de tomates fraiches en 2006 (tableau 6)

En 2006, les exportations de tomate fraiches ont porté sur un peu plus de 6 millions de tonnes, soit 4,8% de la production mondiale. Les trois pays exportateurs (environ 1million de tonnes chacun) ont été le Mexique, la Syrie et l’Espagne.

Tableau 6 : Principaux pays exportateurs de tomates fraiches en 2006 (ANONYME₃,2009)

Volume(en milliers de tonne)	Pays
1032	Mexique
1005	Syrie
987	Espagne
777	Pays-Bas
345	Jordanie
247	Turquie
200	Belgique
192	Maroc
144	USA
142	Canada

II .1.6.2 Situation économique de la tomate maraîchère et industrielle en Algérie

II .1.6.2.1. Evolution des superficies, des productions et des rendements de tomate maraîchère en Algérie

La tomate en Algérie est en pleine expansion, à la faveur de nombreux programmes mis en place par le Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural. Pour son développement de nouvelles techniques de production sont introduites ces dernières années permettant plus de rendement à l'hectare. En 2009, on a eu un rendement de 6,5 millions de quintaux de tomate.

Les statistiques de l'année 2009 établie par le ministère de l'agriculture font état d'une superficie globale de tomate maraîchère cultivée de 21 320 ha, dont 186 200 ha pour la tomate maraîchère en plein champ et seulement 2 699 ha pour la tomate maraîchère sous serre. Ce rendement est de 6 459 904 quintaux, dont 4 460 371 quintaux pour la tomate maraîchère cultivée en plein champ et 1 999 533 quintaux pour la production de la tomate sous serres. Soulignons que les wilayas potentielles pour la production de la tomate sont Annaba, Skikda, El Taref et Guelma.

Pour permettre un meilleur développement de cette filière, et en termes d'encadrement, le ministère de l'agriculture a procédé à la mise en place d'une veille phytosanitaire pour prévenir les attaques des parasites responsable des maladies d'origine bactérienne et virale, particulièrement le Tyler et *T.absoluta* (AMRANI, 2010).

II .1.7.Les maladies

Tableau 7.Les principaux maladies et désordres physiologique de la tomate (ANONYME, 1999)

Maladies	Symptômes et dégâts	Moyens de lutte
Maladies cryptogamiques		
Alternaria	-Des taches noirâtres sur feuille. -Des taches chancreuses sur tige. -Des nécroses sur fruit.	-Utilisation des variétés résistantes. -Rotation culturale. -Traitement chimique.
Oïdium	-Apparition de taches jaunâtre sur les feuilles	-Assure une bonne aération de serres.
Mildiou	-Apparition des taches jaunâtres qui brunissent rapidement	-Eviter les excès d'azote et d'eau, - une bonne aération aussi
Maladies bactériennes		
Chancre bactérien	-Flétrissement unilatéral sur feuilles -Des coupes longitudinales sur	-Eviter les terrains infestés -Aération convenable des

	tige et pétioles montrent des stries brunâtres	serres -Eviter l'apport excessif d'azote -Eviter les excès d'eau
Moucheture de la tomate	-Taches noires sur les feuilles -Des taches brunes nécrotiques sur fruit	-Appliquer des fongicides à base de cuivre -Variétés résistantes
Gale bactérienne	-Apparition de taches brunâtres entourées d'un halo jaune sur les feuilles	-Eliminer les plants malades
Viroses (TYLCV)	-Ralentissement de la croissance -Jaunissement des folioles -Fruit petites et nombreux	-Lutte préventive contre le vecteur Bemisia tabaci -Utiliser les plants sains
Désordres physiologiques		
Nécrose apicale	-Observations des taches brunâtres sur fruit qui se nécrose par la suite	-Irrigation régulière -Apport azotée à base de nitrate -Ebourgeonnage et

		effeuillage a temps
Tomate creuse	-Fruits à forme triangulaire, avec loges vides et chair moins épaisse	-Fertilisation potassique avec une bon Maitrese d'irrigation et bonne fermeture des abris pendant la nuit.

II .1.8. Les exigences édapho-climatiques de la tomate

II .1.8.1. Les exigences climatiques

La tomate s'adapte à une grande diversité de conditions climatiques, allant du climat tempéré vers le climat tropical chaud et humide (NAIKA *et al.*, 2005).

II .1.8.1.1. La température de l'air

La tomate est une plante des saisons chaudes, elle est exigeante en chaleur pour assurer son cycle végétatif complet. Les températures optimales pour la plupart des variétés sont de 18°C le jour et 15 à 25°C la nuit. Pendant la nuit la fécondation s'arrête à des températures inférieures à 15°C. En dessous de 10°C et en dessus de 38°C, les tissus végétaux sont endommagés (NAIKA *et al.*, 2005).

Selon (NAIKA *et al.* 2005), durant la croissance la température nocturne a une grande importance, puisque la majeure partie de la croissance quotidienne de la tige (70 à 80%) se produit pratiquement à l'obscurité.

La photosynthèse de la tomate est sensible à la température nocturne. Une différence de quelques degrés par rapport à la température appliquée pendant la croissance (14°C), entraîne une réduction d'environ 10% des échanges de la période diurne suivante .

II .1.8. 1.2. La lumière

La tomate n'est pas sensible au photopériodisme, cependant son développement exige de fortes quantités de lumière.

La longueur de l'obscurité est essentielle pour le contrôle de la croissance et le développement de la tomate.

Le développement reproducteur de la tomate est fortement influencé par la quantité totale d'énergie que reçoit la plante quotidiennement (KINET, 1985). Cette quantité dépend à la fois de la photo période et de l'intensité lumineuse.

II .1.8. 1.3. L'humidité de l'air

La tomate est très sensible à l'hygrométrie, il semble qu'une hygrométrie relativement ambiante de 60% à 65% soit la meilleure, elle joue un rôle important dans la fécondation.

Si l'humidité est trop élevée, le pollen est difficilement libéré. Par ailleurs, le développement des maladies cryptogamiques est lié à des fortes humidités accompagnées de la chaleur (LAUMONIER, 1979). Selon (BENCHALAL, 1983), l'humidité atmosphérique doit être de 76% lors de la germination, 75-80% durant la croissance des plantes, 70-80% lors du développement des fruits.

II .1.8.2. Exigences édaphiques

II .1.8.2. 1. La nature du sol

La tomate peut convenir et s'adapter à toutes les textures, allant des sols argileux, aux sables dunaires, à conditions que les travaux du sol soient effectués convenablement.

Selon (KHORSI, 1993), les recherches effectuées par le centre d'aptitude des sols aux cultures maraîchères, ont montré que la production de tomate peut être augmentée de près de 50% en passant des sols sableux légers, à des sols limoneux plus lourds.

(LAUMONIER, 1979), atteste que la tomate pousse bien sur la plupart des sols, ayant en général une bonne capacité de rétention d'eau et une bonne aération. Elle préfère les terres limoneuses profondes et bien drainées, légères, meubles, riches en humus, s'échauffant rapidement et plus facilement. La couche superficielle du terrain doit être perméable. Une profondeur de sol de 15 à 20 cm est favorable à la bonne croissance d'une culture saine.

II .1.8.2. 2. La température du sol

La température du sol est le premier facteur dont dépendent le pourcentage de levée et la vitesse de germination. Cette dernière augmente avec la température jusqu'à une valeur optimale de 25°C, et entre 15°C et 20°C on aura un meilleur

pourcentage de levée (REY et COSTES, 1965).

(KOLEV,1976) rappelle qu'à des basses températures (au dessous de 12°C), la végétation est très faible et les inflorescences sont anormales et portent peu de fleurs.

II .1.8.2. 3.L'humidité du sol

La tomate est exigeante en humidité du sol. L'humidité optimale du sol pour des terres argilo-siliceuses est de 75 à 80% de la capacité au champ, et l'abaissement de l'humidité et de la température du sol crée un déficit hydrique, et par conséquent réduit la photosynthèse et la transpiration (HELLER, 1981).

II .1.8.2.4. La salinité du sol

La tomate est moyennement sensible à la salinité du sol, elle peut supporter des teneurs en sels, allant de 2 à 4g/l. La période pendant laquelle la tomate est plus sensible à la salinité, correspond à la germination et au début du développement de la plante (BENTVELSEN,1980).

Des recherches ont été menées afin de produire des tomates transgéniques aptes à être cultivées en sol salin. Ces plantes transgéniques régénérées ont montré la faculté de pouvoir croître sur des sols riches en sels. De plus, ces plantes accumulent le sel dans les feuilles et non dans les fruits, qui restent donc comestibles (DORE et VAROQUAUX, 2006).

II .1.8.3.Exigences nutritionnelles

II .1.8.3.1. Exigences hydrique

La tomate paraît être l'une des cultures les plus exigeantes en eau. Les besoins de tomate en plein champ se situent entre 4000 et 5000 m³/ha. Celles d'un cycle de 90 à 120 jours sont de 400 à 600 m³/ha. L'évolution des besoins en eau de la tomate est fonction de l'environnement, de la plante, mais aussi des stades de développement de celle-ci (BENTVELSEN, 1980 et DOORENBOS ,1975) affirme qu'un manque d'eau pendant la phase de maturation des fruits destinés à la transformation est bénéfique pour leur qualité, qui se traduit par une augmentation du taux d'extrait sec.(MOUHOUCHE ,1983) estime que les irrigations fréquentes et régulières, suivies par un binage permettent l'obtention des rendements élevés. Par contre, les irrigations trop copieuses pendant la floraison provoquent les chutes de fleurs et une croissance trop exubérante, d'où un retard

de la maturité des fruits.

II .1.8.3.2. Exigences en éléments fertilisants

La quantité d'engrais à fournir varie d'une région à une autre, en fonction notamment de la richesse du sol, du climat et de la technique d'irrigation.

En général, on estime les exigences en fumure des plantes en fonction de l'exportation globale de la culture. Selon (ANONYME ,2009), en dépit des différences régionales, on admet qu'une production d'une tonne de tomate requiert :

- 2,2 à 2,7 Kg de P_2O_5
- 3 à 3,9 Kg de K_2O
- 5 à 6 Kg de CaO
- 0,5 à 1 Kg de MgO

CHAPIII: MATÉRIEL ET MÉTHODES

III.1. Matériel végétal

La tomate (*Lycopersicum esculentum L*) est une plante maraîchère largement cultivée au Algérie. Trois variétés ont été retenues pour notre étude ; Mard, Zeralda, Maintian. Dont les caractéristiques sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau. 08: Caractéristiques des variétés selon Aci News, (2015)

Variété	Caractéristique
Mard	C'est une nouvelle variété introduite en 2014 pour une commercialisation en 2015 après des essais de comportement. Se caractérise par une bonne nouaison même durant les fortes chaleurs et une résistance aux virus.
Zeralda	C'est une type hybride, déterminé de la productive, pour conduite de pleins champs d'automne à plat ou tuteuré, le plant vigoureux, sain et bonne couverture foliaire. Les fruits de forme rondes couleur rouge intense, très bonne fermeté supportant manipulation, transport, longue conservation, tolérant à éclatement, et aux pourrissements apicaux.
Maintian	Se caractérise par une très bonne vigueur et un fruit très ferme de forme ronde d'un poids moyen de 300 gr une grande résistance aux virus, nématodes et fusarioses, il s'agit d'une Variété indéterminée pouvant atteindre plus de 12 bouquets floraux.

III.2. Dispositif expérimental

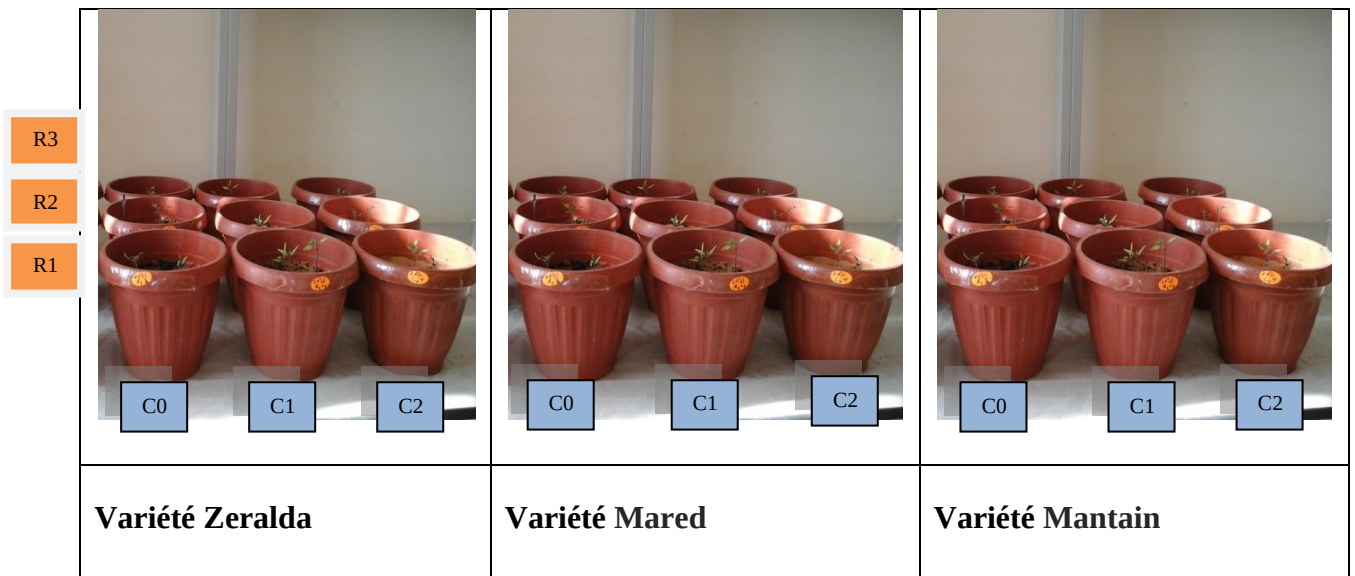


Figure 06: Dispositif expérimental .

C0: 0g/l, C1: 1.5g/l, C2: 3g/l,

R: répétition

Conduite de l'essai :

L'essai de s'est déroulé selon une expérience complètement aléatoire et randomisé, chez trois variétés de tomate (*Lycopersicum esculentum L*) : Zeralda, Mard et Mantian. avec trois répétitions (R1, R2, R3) et trois concentrations (0, 0.5, 3 g/l) de NaCl. Les plantules âgées de cinq feuilles sont mis dans des pots de 21 cm de diamètre et contiennent 2/3 de sol de texture sableuse, avec 1/3 la tourbe, Irriguer jour après jour avec les solutions salines. Les pots sont placés dans des conditions semi-contrôlées dans une serre. La température est de 20°C. les expériences au laboratoire ont été faites après quatre semaines de traitement.

III.3. PARAMETRES ETUDIES

III. 3.1. Paramètre morphologique

III. 3.1.1. La longueur des plantes

La longueur des plantes issue de la croissance est mesurée à l'aide d'une règle graduée pour chaque variété et chaque concentration de l'NaCl. Les mesures de ce paramètre sont effectuées à partir a début jusqu'à la fin de l'application du stress salin(BEN KADDOUR .,2013).

III.3.2 Analyses biochimiques

III. 3.2.1. Paramètres biochimiques

III.3.2.1.1. Dosages des pigments photorécepteurs

L'extraction: le principe consiste à peser 0.1 g de feuilles vertes, les broyer dans un mortier après l'ajout d'une pincé de carbonate de calcium (CaCO_3) pour neutraliser l'acidité vacuolaire et 12.5 ml d'acétone à 80% ensuite faire la filtration.

Le dosage: la chlorophylle est dosée par spectrophotométrie, La quantité de chlorophylle est déterminée par le système d'équation à inconnues suivant:

$$\text{Chl a} = 12.7\text{D.O663} - 2.69\text{D.O645}$$

$$\text{Chl b} = 22.9\text{D.O645} - 4.68\text{D.O663}$$

$$\text{Chl a} + \text{Chl b} = 8.02\text{D.O663} + 20.2\text{D.O645}$$

La lecture des densités optiques (D.O) des extraits à 645 et à 663nm, les teneurs en chlorophylles (a) et (b) en $\mu\text{g/g}$ de MF (Mazliak, 1979).

- La valeur des caroténoïdes est déterminée comme suit :

$$5(\text{D.O640}) - ((\text{Ca} \times 3.12) - (\text{Cb} \times 130,3))/200.$$

III.3.2.1.2. Dosage des sucres solubles

La méthode utilisée pour le dosage des sucres solubles est celle de Schields et Burnett (1960), qui utilise l'anthrone en milieu sulfurique. Le principe de cette méthode repose la condensation des produits de dégradation des sucres neutres. les hexoses produisent des dérivés qui donnent avec l'anthrone une coloration verte présentant un maximum d'absorption à 585 nm .La teneur en sucres solubles est exprimé en $\mu\text{g/g}$ de matière fraîche (MF).

Extraction des échantillons

L'extraction des sucres solubles est faite à froid, en mettant le végétal (prélevé dans le tiers médian de la feuille) 100mg de matière fraîche dans des tubes à essai auxquels sont ajoutés 3ml d'alcool (éthanol à 80%) pendant 48h. La solution ensuite passe au rotavapeur (ou bien au bain marie à 100°C pendant 30 minutes). une fois l'alcool évaporé, on ajoute 20ml d'eau distillée dans la totalité de l'extrait.

Le réactif à l'anthrone doit être préparé 4 heures à l'avance, en mélangeant 0.2g d'anthrone dans 100ml d'acide sulfurique, et conservé dans un flacon sombre.

Les échantillons et les séries standard de la gamme d'étalonnage sont dosés parallèlement.

Dosage

Deux millilitres du réactif à l'anthrone sont ajoutés à 1ml de la solution à analyser (extraits et étalons). Les tubes à essai sont maintenus pendant cette opération dans un bain de glace (réaction exothermique); Après agitation avec une tige en verre, ces tubes sont ensuite placés dans un bain-marie à 92°C pendant 8mn ; la solution vire alors légèrement au bleu vert. Pour l'arrêt de cette réaction, les tubes sont refroidis dans un bain de glace.

Après repos à l'obscurité pendant 30 minutes, la lecture est faite au spectrophotomètre réglé préalablement au zéro avec un blanc de gamme (2ml d'éthanol à 80% + 4ml du réactif).

Les valeurs obtenues sont reportées sur la gamme étalon.

III.3.2.1.3. Dosage des protéines

Les protéines ont été quantifiées selon la méthode de Bradford, (1976) qui utilise le bleu brillant de Coomassie G250 et le de sérum albumine bovine (BSA) comme standard. Le dosage se fait au spectrophotomètre à la longueur d'onde 595nm. Le contenu en protéines est exprimé en µg/g de MF par rapport à une courbe d'étalonnage faite avec des concentrations connues.

Broyer 100 mg d'échantillon dans un mortier avec 5ml d'eau distillé, après la filtration de la solution ajouter 5ml d'eau distillé.

0.2ml du réactif de (BBC) sont ajoutés à 0.2ml de la solution et 1.6ml eau distillé, ajuter au vortex. Apres 5min a 1h la lecture se faite au spectrophotomètre.

III.3.2.2. Paramètres enzymatiques

III.3.2.2.1. Détermination de l'activité de la catalase

Le dosage spectrophotométrique de l'activité catalase (CAT) est réalisé suivant la méthode de Cakmak et Horst, 1991). La décroissance de l'absorbance est enregistrée pendant trois minutes (spectrophotomètre Jenway 6300) pour une longueur d'onde de 240nm et un coefficient d'extinction linéique molaire $\epsilon=39400 \text{ M}^{-1}.\text{cm}^{-1}$. Pour un volume final de 3ml, le mélange réactionnel contient : 100 μl de l'extrait enzymatique brut, 50 μl de peroxyde d'hydrogène H₂O₂ à 0,3% et 2850 μl de tampon phosphate (50mM, pH= 7,2). L'étalonnage de l'appareil se fait en l'absence de l'extrait enzymatique. La réaction est déclenchée par l'addition d'eau oxygénée.

L'activité catalase est exprimée en nmol/min/mg de protéines.

III.3.2.2.2.Dosage de gaïacol peroxydase

L'activité gaïacol peroxydase(GPOX) est déterminée par spectrophotométrie à 470nm suivant la technique de Mac Adam (1992). Le coefficient d'extinction linéique molaire utilisé est $\epsilon=26,6\text{mM}/\text{cm}$. Pour un volume final de 3ml, le mélange réactionnel contient: 100 μl d'extrait enzymatique, 2700 μl tampon phosphate (100mM, pH 6.5), 100 μl gaïacol (18mM), 100 μl H₂O₂.

L'étalonnage de l'appareil se fait en l'absence de l'extrait enzymatique. La réaction est déclenchée par l'ajout du peroxyde d'hydrogène. L'activité GPOX est exprimée en $\mu\text{moles oxydées}/\text{min}/\text{gde MF}$. Elle est calculée par la formule suivante:

$$A_{\text{Act}} = \frac{\Delta A \times V_t}{\epsilon \times \Delta t \times L \times V_e \times p}$$

Act: activité enzymatique en moles/min/mg de protéines ϵ : coefficient d'extinction linéique molaire en (M)

ΔA : différence moyenne de l'absorbance

V_t : volume total du mélange réactionnel en (ml)

V_e : volume de l'extrait enzymatique en (ml)

L: largeur de la cuve de mesures en (cm) P: poids des protéines en (mg) T: temps de lecture en (min)

III.3.2.2.3. Dosage de glutathion(GSH)

Cette fonction déterminée selon la méthode de Weckberker et Cory, (1988). 25mg de feuilles fraîches est broyé à froid avec 2ml tampon phosphate (0,1 M pH= 6,5) le broyat filtré et centrifugé à 5000tr/mn pendant 15mn. L'homogénat doit d'abord subir une déprotéinisation par l'acide sulfosalysilique ASS (0,25%). Pour cela, au 0,8ml de l'homogénat sont additionnés 0,2ml d'ASS, le mélange est vortexé et laissé pendant 15min dans un bain de glace puis centrifugé à 1000tr/min pendant 5min. Le surnageant est utilisé comme source d'enzymes et il doit être conservé au congélateur à -80°C jusqu'au moment du dosage.

Le volume réactionnel contient : 0,5ml d'extrait enzymatique, 1ml tampon tris-EDTA, 0,025ml DTNB. L'étalonnage de l'appareil se fait par 0,5ml eau distillé, 1ml tampon Tris-EDTA, 0,025ml DTNB. La lecture des D.O au spectrophotomètre à une longueur d'onde de 412nm. La concentration du GSH est obtenue par la formule suivante :

$$GSH = \left(\frac{DO \times 1 \times 1,525}{13,1 \times 0,8 \times 0,5} \right) \times \frac{1}{\text{mg de protéines}}$$

La concentration du GSH est exprimée en $\mu\text{mole/mg}$ de protéines.

DO=densité optique.

1 : volume total des solutions utilisées dans la déprotéinisation=0,8ml d'homogénat+0,2ml d'ASS.

1,525 : volume total des solutions utilisées dans le dosage de la GSH au niveau du surnagent=0,5 ml surnagent+1ml Tris-EDTA+0,025ml DTNB.

13,1 : coefficient d'absorbance (concernant le groupement (-SH) à 412nm).

0,8 : volume de l'homogénat trouvé dans 1 (ml).

0,5 : volume du surnagent trouvé dans 1,525.

CHAP IV: RÉSULTATS ET DISCUSSION

IV .RÉSULTATS

IV.1. Effet du (NaCl) sur la longueur des plantes

Les mesures de la longueur des tiges des plantes des trois variétés(Zeralda, Mard et Maintian), aux cours de traitement sous un stress salin sont reportées dans la figure(7). La croissance en longueur des tiges a été enregistrée entre 32 et 39cm pour les témoins. En effet, la concentration (1, 5 g/l)a augmenté l'allongement des tiges des variétés Zeralda et Mard avec des valeurs respectives de 36,26 et 29,99cm(Annexe A) comparativement aux témoins(33, 32cm). Par contre, le traitement avec la dose(3g/l) de NaCl, a été réduit cette croissance chez toutes variétés, d'une manière non significative ($P \geq 0,05$).

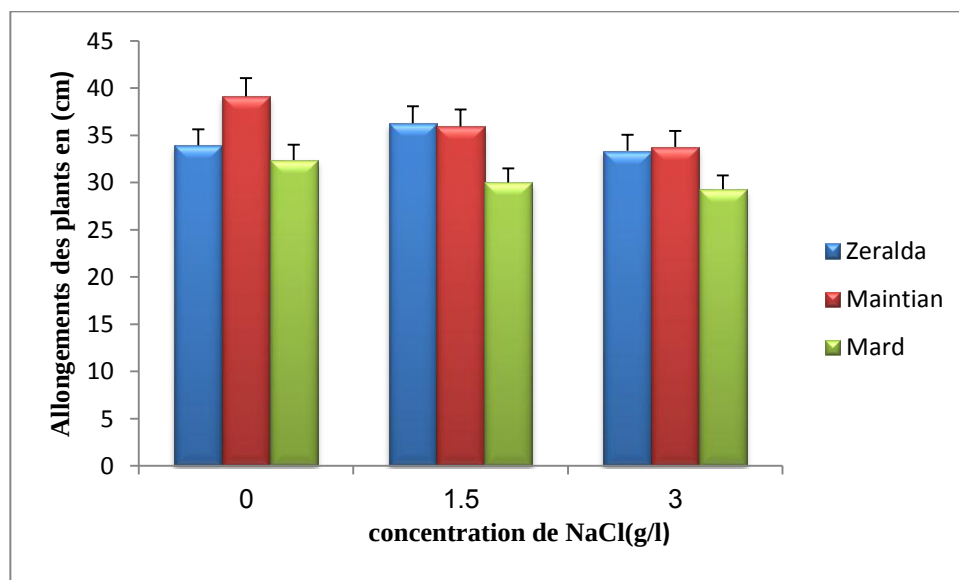


Figure07: Effet du (NaCl) sur la longueur des plantes

IV.2. Paramètres biochimiques

IV.2.1. Contenu des pigments photorécepteurs

IV.2.1.1. Contenu en chlorophylle (a)

L'examen des résultats de l'effet du NaCl sur chlorophylle (a), montre qu'il y a des différences significatives entre les trois variétés étudiées ($p \leq 0,05$). La concentration (3g/l) de NaCl a provoquée une diminution du contenu en Chl (a), avec des pourcentages de 17,30%, 30,27%, 79,84% (Annexe B) comparativement aux témoins, respectivement pour les variétés Zeralda, Mard et Maintian. En revanche, la dose (1,5g/l) a stimulé ce contenu chez la variété Zeralda avec une valeur de 37,92 $\mu\text{g/gde MF}$ par rapport un témoin 21,92 $\mu\text{g/gde MF}$.

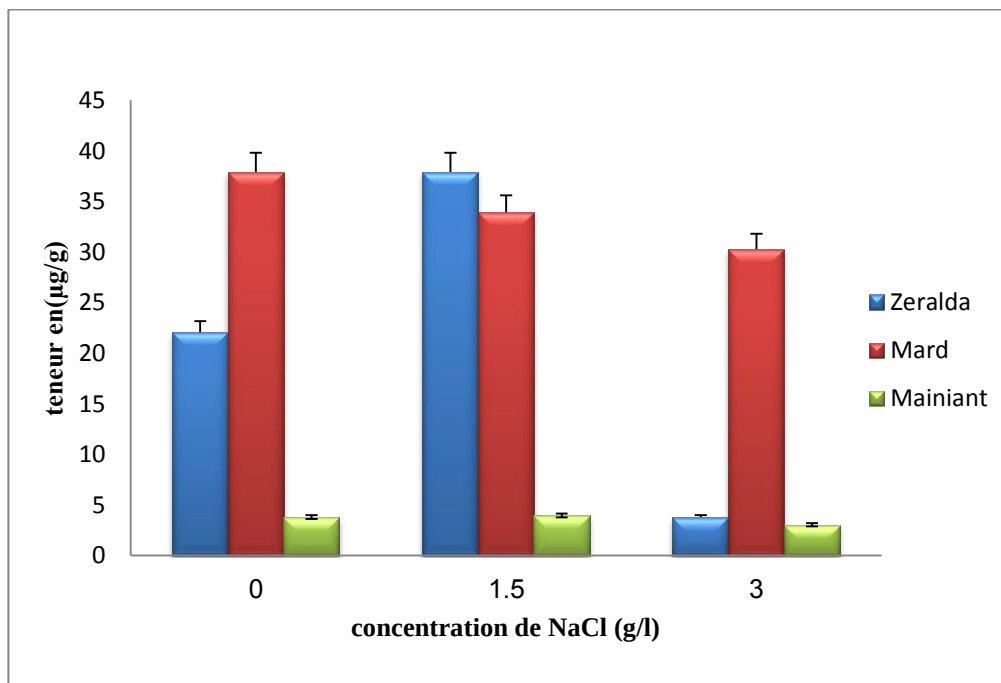


Figure.08: Effet du NaCl sur le contenu en pigments chlorophylle (a)

IV.2.1.2. Contenu en chlorophylle (b)

Concernent le contenu pigments photorécepteurs chlorophylle (b), les résultats obtenus montrent qu'il y a des différences significatives entre les trois variétés étudiées ($p \leq 0,05$), la dose (3g/l) a stimulé ce contenu chez les trois variétés Zeralda, Mard et Maintian, avec des valeurs de 25,60, 21,20 et 31,95 $\mu\text{g/g}$ de MF comparativement aux témoins 17,74, 11,61, 30,09 $\mu\text{g/g}$ de MF. En outre, la dose (1,5g/l) a augmenté ce contenu chez la variété Zeralda avec un pourcentage de 337,08% par rapport au témoin. La concentration (1,5g/l) de NaCl a provoqué une diminution, avec des pourcentages 82,35% et 50,70% (Annexe C) chez les deux variétés Mard et Maintian.

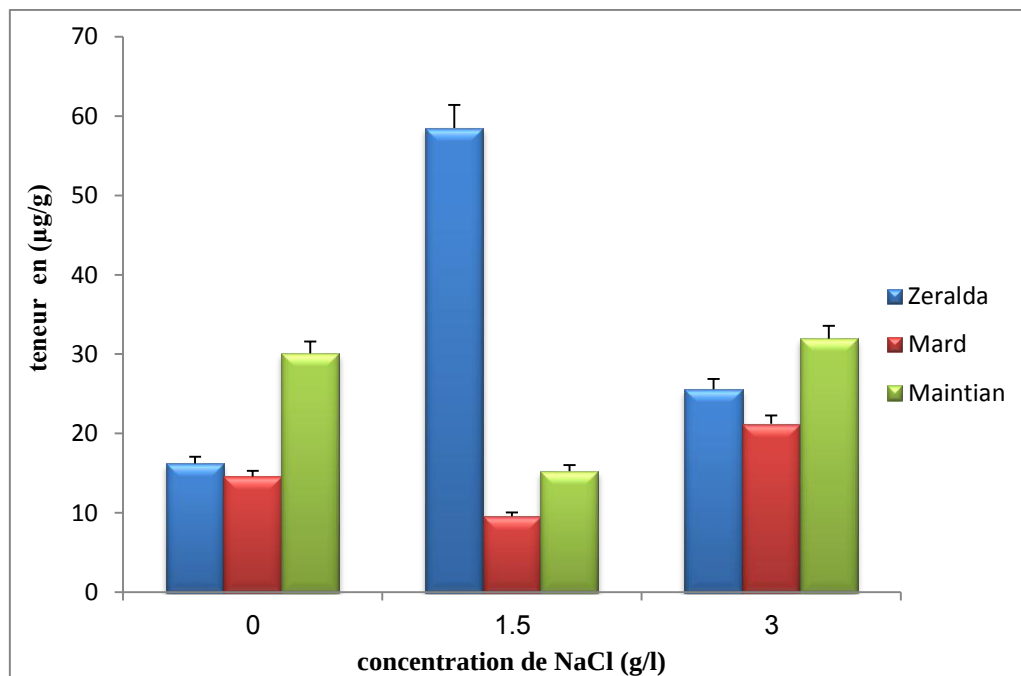


Figure.09: Effet du NaCl sur le contenu en pigments chlorophylle (b)

IV.2.1.3. Contenu en chlorophylle (a+b)

L'effet du NaCl sur le contenu en pigments chlorophylle (a+b) est consigné dans la figure (10). On a observé que la concentration (1,5g/l) de NaCl a provoquée une diminution avec des pourcentages de 98,66%, 59,59% (Annexe D) chez les variétés Maintian et Mard Comparativement aux témoins, par contre, la même concentration a stimulé ce contenu chez la variété Zeralda avec un pourcentage de 202,09%. en effet, la dose (3g/l) a induit une réduction du ce contenu chez la variété Mard, avec une valeur de 62,20µg/g de MF Comparativement au témoin 67,98µg/g . en revanche, la même concentration a stimulé le contenu de ces pigments chez les variétés Zeralda et Maintian avec une valeur 46,90, 40,31µg/g de MF comparativement aux témoins; 39,65, 20,38µg/g de MF. l'analyse statistique montre qu'il ya des déffirences sinificatives entre les moyens des trois variétés étudiées ($p \leq 0,05$).

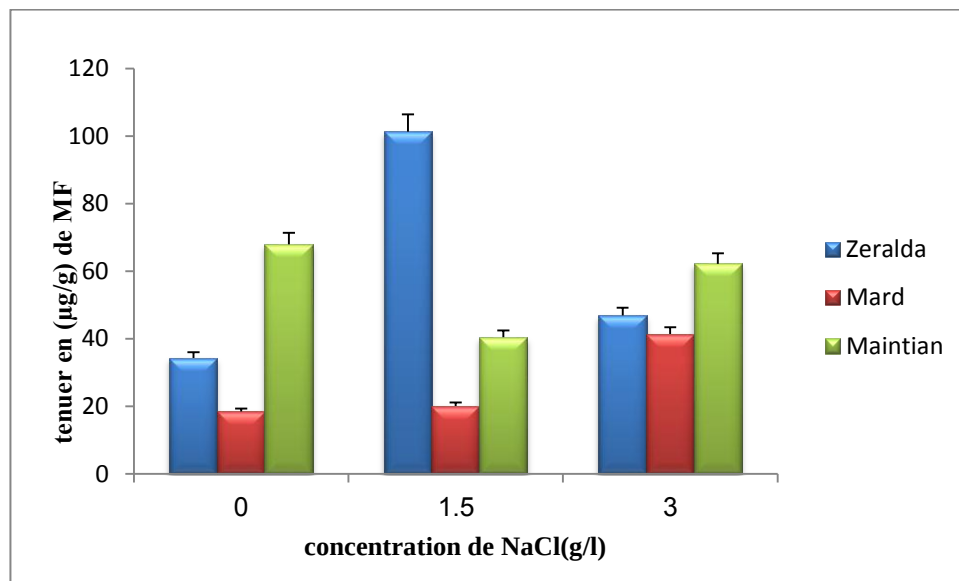


Figure.10: Effet du NaCl sur le contenu en pigments chlorophylle (a+b)

IV.2.1.4. Effet du NaCl sur le contenu en pigments caroténoïdes

Les résultats obtenus (figure11)montrent que le stress salin a provoqué une diminution chez la variété Maintin avec La concentration(1,5g/l). Cette diminution est 9,56µg/g de MF par rapport au témoin 19,05µg/g de MF.par contre la même concentration a augmenté ce contenu chez la variété Zeralda avec un pourcentage de 363,61%.par ailleurs cette élévation est très importante pour la dose(3g/l) avec des pourcentages de 158,69%, 206,24% (Annexe E) chez Zeralda, Mard. L'étude statistique montre qu'il ya des déffirences sinificatives entre les moyens des trois variétés étudiées ($p \leq 0,05$).

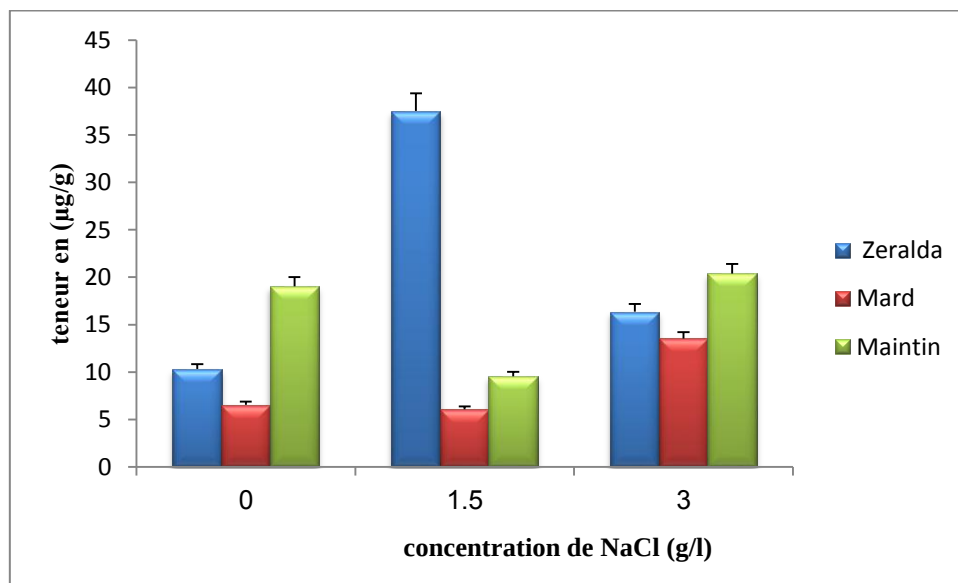


Figure.11: Effet du NaCl sur le contenu en pigments caroténoïdes.

IV.2.2.Effet du NaCl sur le contenu en sucres solubles

Le contenu en sucres solubles extrait à partir des feuilles des plantules est mentionné dans la figure(12). L'observation de ces résultats montrent clairement que la concentration(1,5g/l) de NaCl a exercé une diminution avec un pourcentage de 87,90%, 91,29%, 34,38%(Annexe F), par rapport aux témoins respectivement chez les trois variétés Zeralda, Maintian et Mard.par contre La dose 3g/l a enregistré une accumulation de ce contenu avec un pourcentage de 113,35% pour la variété Maintian ;en effet la même concentration a induit une diminution chez la variété Mard avec une valeur de 1,08 $\mu\text{g/g}$ de MF par rapport au témoin 5,24 $\mu\text{g/g}$ de MF.L'étude statistique montre qu'il n'y a pas des différences significatives entre les moyens des trois variétés étudiées ($p \geq 0,05$).

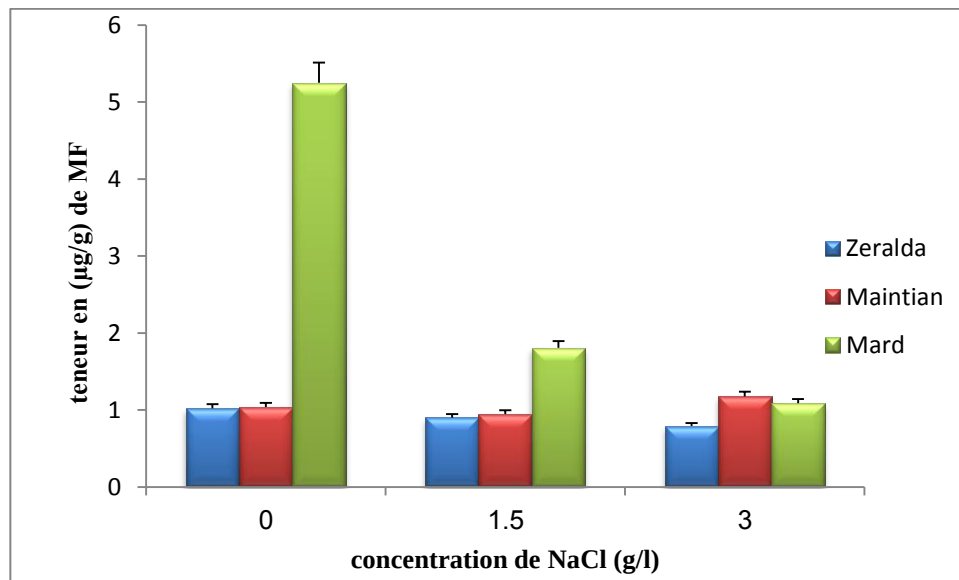


Figure. 12: Effet du NaCl sur le contenu en sucres solubles

IV.2.3. Effet du NaCl sur le contenu en protéines

A la lumière des résultats obtenus dans la figure (13), la concentration (1,5g/l) de NaCl a été légèrement augmentée le contenu en protéines chez les deux variétés Zeralda et Mard avec des pourcentages de 162,67%, 130,39% (Annexe G) par rapport aux témoins. Par contre cette dernière a provoqué une forte diminution chez la variété Maintian avec un pourcentage de 98,85% comparativement au témoin. En effet, la concentration (3 g/l) a induit une diminution notable chez les deux variétés Mard, Maintian avec des pourcentages de 55,25%, 55,04%. L'analyse statistique montre que ce caractère varie d'une manière non significative chez les trois variétés ($P \geq 0.05$).

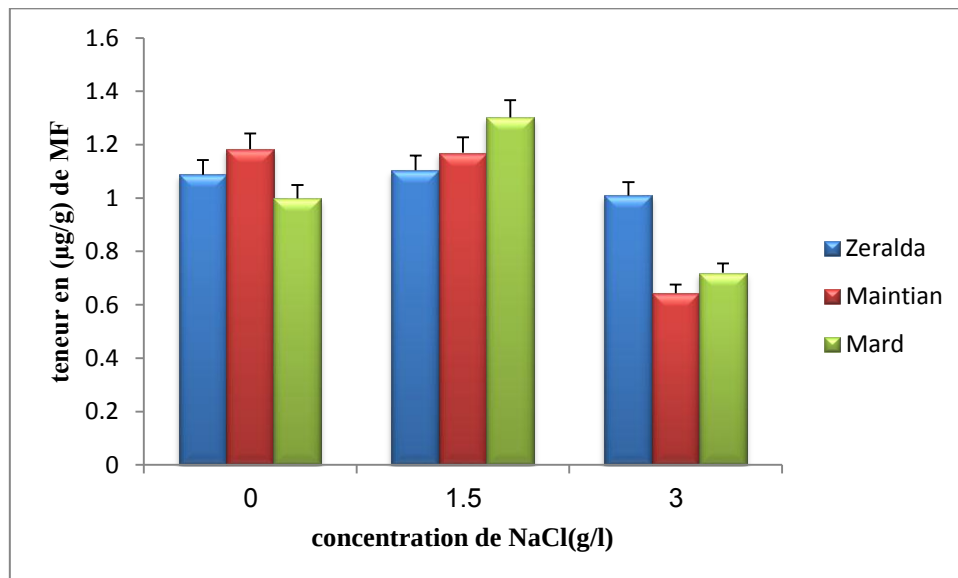


Figure. 13: Effet du NaCl sur le contenu en protéines

IV.3. paramètres enzymatiques et non enzymatique

IV.3.1.Effet du NaCl sur l'activité de la catalase

L'effet du NaCl sur la catalase (figure14) montre des différences non significatives pour les trois variétés ($P \geq 0.05$). La figure révèle que la concentration (3g/l) en NaCl réduit l'activité de la catalase chez la variété Mard avec des valeurs 10,05 $\mu\text{g/l}$ de MF comparativement au témoin. Par contre chez la variété Zeralda, la même concentration stimule légèrement l'activité de cette enzyme.

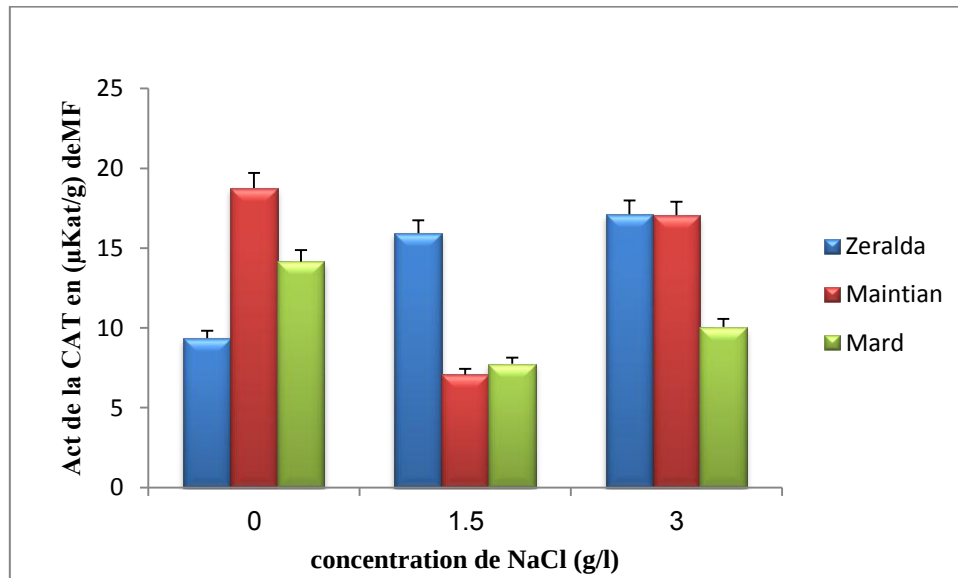


Figure14: Effet du NaCl sur l'activité de la catalase

IV.3. 2.Effet du NaCl sur l'activité du glutathion

Les résultats obtenus montrent que le contenu en glutathion varie d'une façon significative chez les trois variétés ($P \leq 0,05$) Le contenu en glutathion (figure15) a d'une façon globale diminué chez les plantules traitées avec la dose (1,5g/l) chez les deux variétés Zeralda, Maintian. Par contre elle est stimulé sa synthèse chez la variété Mard.

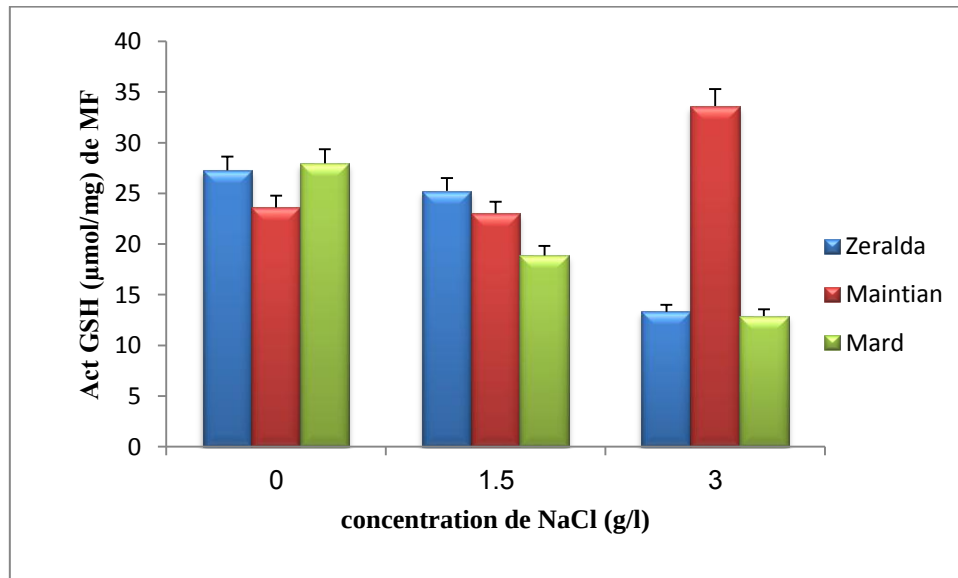


Figure. 15: Effet du NaCl sur l'activité du glutathion

IV.3. 3.Effet du NaCl sur l'activité du gaïacol peroxydase

Les résultats obtenus (figure16) montrent que l'activité du GPOX est augmentée d'une façon notable avec la concentration(1,5g/l) de NaCl pour une valeur 2,20µg/l de MF Par rapport à témoin 0,71µg/l de MF chez la variété Zeralda .En revanche la concentration(3 g/l)de NaCl a provoqué une diminution de cette activité chez les trois variétés avec des pourcentages de 102,10%, 77,29%, 63,43%(Annexe J) Zeralda, Mard et Mainiant.

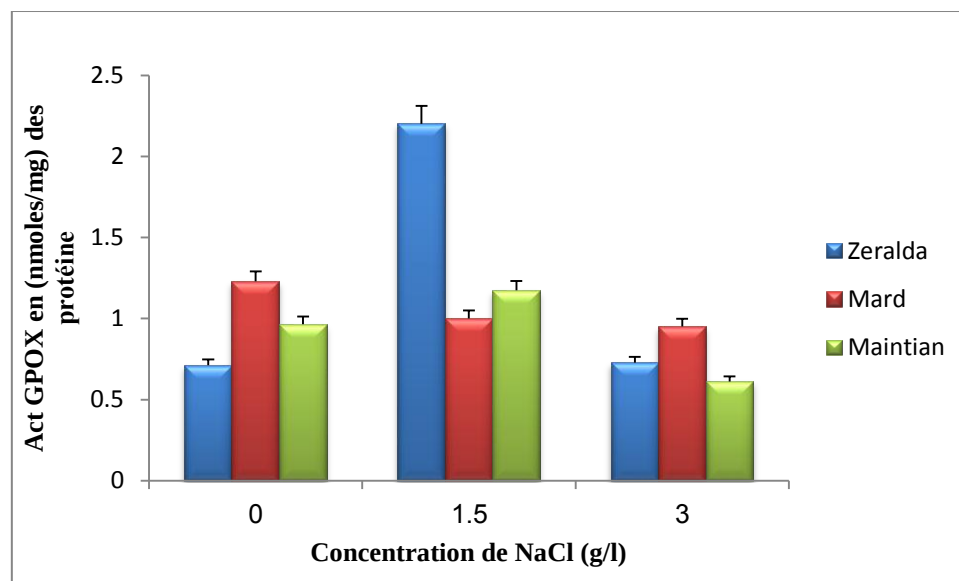


Figure. 16: Effet du NaCl sur l'activité du gaïacol peroxydase

IV.4. DISCUSSION

La salinité affecte différents mécanismes physiologiques, parmi les quels des modifications dans la balance ionique, des perturbations d'activités enzymatiques et changements de conformation membranaire et autres macromolécules. La résistance et/ou l'adaptation des plantes à la salinité dépendrait de leur capacité à se maintenir en vie dans des conditions défavorables en évitant ou en tolérant le stress. Cette tolérance est dépendante de la sévérité du stress, de la variété et de la durée d'exposition

D'une façon générale, le traitement des plantes par des doses croissantes en NaCl a été affecté la croissance en longueurs des plantes, et entraînaient un nanisme par L'inhibition de la division et de l'élongation cellulaire, qui sont les phénomènes les plus souvent reportés pour expliquer ces effets du NaCl par (Seregin et Ivanov, 2001 ; Malkowski *et al.*, 2002 ; Patra *et al.*, 2004 ; Kopittke *et al.*, 2007). Ceci avait déjà été mis en évidence il y a près de 84 ans par Hammett (1929).

Concernant la teneur en pigments, notamment la chlorophylle (a), chlorophylle (b) caroténoïdes et chlorophylle (a+b), les résultats obtenus montrent une réduction causée par le NaCl chez les deux variétés étudiées (Maintiant et mard). Par contre, il existe une augmentation chez la variété zer avec la dose 1.5g/l. Cette diminution est expliquée par Doudech., *et al* (2008) par la dégradation des membranes de thylakoides des chloroplastes et l'altération du processus photosynthétique. Des résultats similaires ont été trouvés par d'autres travaux notamment ceux de Cheikh M'hamed. *et al.*, (2008), sur le pois chiche, Chen *et al.*, (1991), sur le Trif bleu. En effet, De nombreuses études ont été menées pour connaître les cibles de la NaCl au niveau de la voie de la biosynthèse des pigments photorécepteurs (Stobart *et al.*, 1995 ; Shalygo *et al.*, 1997).

Les enzymes impliquées seraient inhibées par une interaction de NaCl avec des groupements thiols, parmi elles, l'ALA-synthase et la protochlorophyllide réductase. Ceci entraîne une réduction de la teneur en chlorophylle ainsi que celle de tous les pigments photosynthétiques compris les caroténoïdes et également une croissance réduite des feuilles.

Concernant les protéines, nos résultats montrent une augmentation de la quantité des protéines des feuilles de la tomate chez les variétés zeralda, mard avec la

concentration 1.5g/l de NaCl. ceci expliquer par le fait que la présence de xénobiotique à l'intérieur des tissus stimule la synthèse protéiques de nombreuses enzymes entre autres celles intervenant dans la détoxification, l'accumulation des protéines dans les feuilles de tomate chez les variétés mard et Maintiant est importante avec la concentration 3g/l, ceci est en parfaite accord avec les résultats de Shraddha Singh *et al*, (2004). Plus loin Chaoui, (1997) montre que la quantité de protéine est non affectée, D'autres travaux (Wollgieh et Newmann, 1995).

les résultats obtenus à l'issu de ce travail montrent que les concentration salines utilisées ont été causé une diminution du contenu en sucres solubles chez les trois variétés à l'exception la variété Maintiant avec la concentration 1.5g/l .Les sucres solubles sont considérés comme bio indicateurs du degré de tolérance à la salinité chez plusieurs espèces (Rathert, 1984 ; Misra et Dwivedi, 1995). En effet, ils jouent un rôle essentiel dans la protection des membranes contre la déshydratation (Schwab et Gaff, 1986). De nombreuses études ont trouvé que le stress salin provoque une augmentation de la teneur en sucres solubles chez la plupart des plantes, tel que : le blé tendre (Datta *et al.*, 2009), l'orge (Hassani *et al.*, 2008), la tomate (Khavarinejad et Mostafi, 1998). Par ailleurs, Gadallah, (1999), Perez alfocea, (1996) ont été trouvés que le sel entraîne une diminution de sucres solubles chez la fève (*Vicia faba*). Il ont été aussi trouvé que les fortes concentrations salines induisent une chute brutale de la teneur en sucres solubles chez la tomate, Nos résultats sont en parfait accord avec ces études, qui traduisent la capacité des espèces à s'adapter à un stress salin en utilisent les sucres solubles comme moyen d'accommodation à la contrainte pour réajuster leurs potentiel osmotique. Par contre, on a trouvé une augmentation graduelle du contenu en sucres solubles chez la variété Maintiant.

En effet, les glucides (sucres solubles) s'accumulent même sous l'effet NaCl (Aoun, 2009), l'arsenic (Jha et Dubey, 2004).

Les plantes utilisent l'oxygène via le métabolisme aérobie pour fournir l'énergie nécessaire à leur croissance et leur développement. La réduction de cet oxygène ce fait par les cytochromes de la chaîne respiratoire et les chaînes de transfert d'électrons au niveau de l'appareil photosynthétique, qu'ils sont capable de produire de grandes quantité de formes réactives de l'oxygène ROS (*Reactive Oxygen Species*) par leurs réactions, ces ROS sont délétère vis-à-vis de tous les constituants cellulaires (ADN, protéines, lipides), et considéré comme molécules phytotoxiques (Parent *et al.*, 2008). Certains symptômes observés en situation de stress biotique et abiotique chez les

plantes, par exemple ; blanchiment des feuilles, chloroses et nécroses, sont des conséquences d'une forte accumulation de radicaux libres oxygénés et d'une altération de l'homéostasie cellulaire (Parent *et al.*, 2008).

La catalase (CAT) est parmi ces enzymes qui jouent un rôle important dans la transformation et l'élimination du peroxyde d'hydrogène (H_2O_2) en (H_2O). D'après nos résultats l'activité de cette enzyme a été affectée par la salinité. La dose (3g /l) a diminué cette activité chez la variété mard . Des études analogues ont montré que le traitement des plantes par des solutions salines provoquait une réduction de l'activité de cette enzyme chez la tomate (Doudechet *et al.*, 2008) (Burcu *et al.*, 2010 ; Sairam, 2002; Ashraf *et al.*, 2012). D'une manière générale, l'activité de la catalase est stimulée avec les faibles doses et inhibée avec les fortes doses. Cette modification de l'activité de l'enzyme est dépendante de la sévérité du stress salin, de la variété et du stade de développement (Ashraf *et al.*, 2012).

L'activité du gaïacol peroxydase a été fortement chutée, par la salinité. Remarquons par ailleurs, une baisse drastique de cette activité chez les 3 variétés étudiées avec la dose 3g/l, Ces mêmes effets ont été signalés par les travaux de Shi et Bao, (2007) sur le sparte (*Spartina alterniflora*). Cette diminution est plus nette chez la variété Maintiant. Par contre, la dose 1.5g/l de sel utilisée a entraîné une légère stimulation de cette activité chez la variété zeralda . Plusieurs auteurs rapportent que l'activité de cette enzyme est stimulée en conditions de stress biotique ou abiotique. Cette élévation de l'activité traduit bien leur rôle important joué par cette enzyme dans la détoxification des ROS, et la tolérance de ces espèces vis-à-vis les différents types de stress environnementaux. D'autres études notent que la diminution de cette activité est dépendante de la sensibilité des espèces aux contraintes environnementales, et les stades de développement des plantes (Doudech *et al.* , 2008 ; Ashraf *et al.*, 2012). Le glutathion est un tripeptide constitué du glutamate, cystéine et glycine que l'on trouve en concentration assez élevé (1-10mM) dans les cellules des eucaryotes (animaux, végétaux, champignons), est un donneur d'électrons adéquat dans les réactions physiologiques, sa concentration est très importante dans les cellules végétales et en particulier dans les chloroplastes où elle peut atteindre 5mM (Noctoret *et al.*, 1998). C'est un régulateur de l'expression génique (Wingate *et al.*, 1988 ; Baier et Dietz, 1999). Le GSH sert également de substrat pour le glutathion S-transférase (GST) (Marrs, 1996), il est impliqué dans la régulation redox du cycle cellulaire

(Gyuris *et al.*, 1993 ; Noctoret *et al.*, 1998). Plusieurs auteurs ont liées l'augmentation de l'activité de la GSH avec les différentes formes de stress et son accumulation est souvent simultanée avec celle des ROS (May *et al.*, 1998 ; Noctor *et al.*, 1998., potters *et al.*, 2002). Dans cette étude est d'après nos résultats on a constaté que l'activité du GSH est diminué successivement avec la salinité, la concentrations 1.5g/l en sel induisent une chute de leur activité par rapport aux témoins chez les variétés zeralda et Maintiant, on a constaté une nette élévation chez les deux variétés de tomate. Par contre, l'activité de cette enzyme a culminée avec la sévérité de stress chez la variété Maintiant.

En effet, la dose 3g/l en NaCl a induit une stimulation notable comparée aux témoins. (BEN KADDOUR ., 2013).

CONCLUSION GENERALE

Notre travail s'inscrit dans une thématique, développée au sein du laboratoire et visant à évaluer l'impact du NaCl sur des végétaux important du point de vue économique et alimentaire en Algérie, notamment la tomate (*Lycopersicum esculentum L.*) Les variétés choisies (Zeralda, Mard et Maintian) font partie des spéculations végétales les plus cultivées en Algérie ces derniers temps grâce à leur caractéristiques, biologiques, agronomiques et technologiques. A travers ce travail, nous avons pu recueillir un maximum de données intéressantes concernant la physiologie de plantes de *Lycopersicum esculentum L* soumises à des concentrations de NaCl et sur certains mécanismes conduisant à sa phytotoxicité, par l'investigation du rôle joué par les espèces réactives de l'oxygène (ERO), à travers l'étude des enzymes du stress oxydant. Ceci, nous a permis d'avoir une connaissance partielle sur l'adaptation et la vulnérabilité de ces espèces étudiées par rapport à ce type de contrainte.

En effet, les résultats obtenus à l'issue de ce travail, montre que: le traitement avec la concentration 1.5g/l a augmenté la valeur de paramètre morphologique (allongement des coléoptiles,) et biochimiques (contenu en pigments chlorophylliens, sucres, et protéines) dans les trois variétés. Signalons par ailleurs, que les résultats obtenus indiquent que le sel (NaCl) affecte la croissance et la morphogénèse des plantes, en perturbant de très nombreux mécanismes physiologiques, entraînant la formation de plantes de taille réduite.

En effet, la concentration 3g/l a réduit le contenu en chlorophylle totale chez la variété Mard. Par ailleurs, le contenu en chlorophylle totale (a+b) chez les deux variétés maintian et mard est diminué avec la dose (1.5g/l) de NaCl. Tandis que, chez la variété (Zeralda) ce contenu a été augmenté. D'une façon globale, dans le phénomène de croissance.

Concernent les pigments caroténoïdes, les résultats obtenus ont mis en évidence un effet dépressif du NaCl sur la synthèse et /ou la libération des caroténoïdes pour les deux variétés Zeralda et mard avec la dose 3g/l.

Pour les autres variables biochimiques (contenu en sucres solubles, et protéines) on a trouvé une élévation graduelle du contenu de toutes ces variables étudiées. En effet, cette augmentation semble jouer un rôle important dans l'homéostasie cellulaire contre le NaCl. Mis à part, la concentration 1.5g/l qui semble avoir une action

inhibitrice de la synthèse et la production des sucres chez les deux variétés Zeralda et Maintian.

La détoxification des ROS constitue un élément clé de défense des plantes. Les agents responsables de cette détoxification sont nommés enzymes antioxydants, parmi lesquelles on peut citer : le superoxyde dismutase (SOD), la catalase (CAT), la peroxydase (POD) et les enzymes du cycle ascorbate-glutathion etc. Les résultats de cette étude pendant la croissance ont montrée que le NaCl a perturbé l'activité de ces enzymes. en effet, l'activité de catalase a été réduite avec le traitement par les concentrations 1.5 et 3 g/l chez les variétés mard et maintian. D'une manière globale. Les enzymes étudiées telles que: la catalase, GSH et le gaïacol peroxydase, générées lors du stress oxydatif causé par la présence de NaCl à l'intérieur des cellules, jouent un rôle essentiel dans l'élimination des radicaux libres qui sont toxique pour le métabolisme cellulaire. Ces données montrent que la variété Zeralda présente une certaine défense vis à vis du NaCl par l'intervention des molécules osmorégulatrices et des enzymes antioxydants.

Référence bibliographique

- **Agastian P., Kingsley S.J., Vivekanandan M., 2000.** Effect of salinity on photosynthesis and biochemical characteristics in mulberry genotypes. *Photosynthetica*, 38:287–290.
- **Alem C., Amri A., 2005.** Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Biology and Biotechnology*, 4. 1: 20-31
- **Aoun M., 2009.** Action du cadmium sur les plants de moutarde indienne *Brassicajuncea*. Thèse de Doctorat. Université de Bretagne Occidentale, 135p
- **Ashraf M., 1994.** Salt tolerance of pigeon pea (*Cajanuscajan*(L.) Millsp.) at three growth stages. *Ann. Appl. Biol.*, 124: 153-164.
- **Ashraf M.A., Ashraf M., Shahbaza M., 2012.** Growth stag-based modulation in antioxidant defense system and proline accumulation in two hexaploïdes wheat (*Triticumaestivum* L.) cultivars differing in salinity tolerance. *Flora.*, 207:388–397.
- **Asloum H., 1990.** Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicumesculentum*L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis: 24- 32.
- **Aubert G., 1978.** Les sols sodiques en Afrique du Nord. *Annales de l'I.N.A El-Harrach*, VI, 1: 195.
- **Baier M., Dietz K.J., 1997.** The plant 2-Cys peroxiredoxin BAS1 is a nuclear-encoded chloroplast protein: its expressional regulation, phylogenetic origin, and implications for its specific physiological function in plants. *The Plant Journal*, 60:282–314.
- **Ben Ahmed H., Zid E., EL Gazzah C., Grignon C., 1996.** Croissance et accumulation ionique chez *Atriplexhalimus*L. *Cahiers d'Agricultures*, 5: 367-372.
- **BEN KADDOUR M., 2013.**- Modifications physiologiques chez des plantes de blé (*Triticumdurum*Desf) exposées à un stress salin. *DOC.UniversitBadji Mokhtar –Annaba*. 108p.
- **Ben Nacer M., Cheikh-M'hamed H., Maalem S., Rahmoune C., 2005.** Les indicateurs précoces de la tolérance à la salinité 1er Colloque Euro-méditerranéen de Biologie Végétale et Environnement, Annaba 28-30.

- **Ben Naceur M. ; Rahmoune C. ; Sdiri H. ; Meddahi M.L.et Selmi M ., 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé ; Science et changements planétaires / Sécheresse, Volume 12,(3) p.167-74.
- **Ben-Hayyim G., Vaadia Y., William B., 1989.** Proteins associated with salt adaptation in citrus and tomato cells: Involvement of 26 KD polypeptides. Plant Physiology, 7: 332-340.
- **Benkhelif M., Arbaoui M., Belkhodja M., 1999.** Effets combinés de la salinité et de la bentonite sur la densité racinaire d'une culture de tomate cultivée sur un substrat sableux. Séminaire National sur la Salinisation des terres Agricoles en Algérie, Chlef: 101-108.
- **Blancard D., Laterrot H., Marchoux G. et Candresse T. ,2009.** Les maladies de la tomate. ed. INRA.
- **Bohnert H.J. & Shen B., 1999.** Transformation and compatible solutes. Scientia Horticulturae, 78: 237-260.
- **Bohnert H.J. & Shen B., 1999.** Transformation and compatible solutes. Scientia Horticulturae, 78: 237-260.
- **Bohnert H.J., Jensen R.G., 1996.** Metabolic engineering for increased salt tolerance the next step. Aust. J. Plant Physiol. 23: 661–666.
- **Bot Nachtergaele., Young., 2000.** Land resource potential and constraints at regional and country levels. World Soil Resources, Report N° 90. Rome, FAO.
- **Bouaziz E., 1980.** Tolérance à la salure de la pomme de terre, Physiol. Vég, 18, 1.
- **Boukachabia E., 1993.** Contribution à l'étude de quelques mécanismes morphologiques et biochimiques de tolérance à la salinité chez cinq géotypes de blé dur (*Triticum durum* Dest). Mémoire de Magister en production et physiologie végétale. Université Badji Mokhtar, Annaba, 108p.
- **Bouteyre G. et Loyer J.Y., 1992.** Sols salés, eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéennes, principaux faciès pour l'agriculture. ORSTOM, 69-80.
- **Bradford K., 1976.** A rapid and sensitive method for the quantification of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. Analytical Biochemistry 72:248-254.

Brassicajuncea. Thèse de Doctorat. Université de Bretagne Occidentale, 135p

- **Burcu S., Turkan I., Askim H S., Ceyda O., 2010.** The role of antioxidant defense systems at differential salt tolerance of *Hordeum marinum* Huds. (Sea barley grass) and *Hordeum vulgare* L. (cultivated barley). *Environmental and Experimental Botany*, 69:76–85.
- **Cakmak, I., et Horst, W.J., 1991.** Effect of aluminium on lipid peroxidation, superoxide dismutase, catalase and peroxidase activities in root tips of soybean (*Glycine max*). *Physiol. Plant* 83: 463-468.
- **Calvet R., 2003.** Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole : 511 P.
- **Chaoui A., Mazhoudi S., Ghorbal M., El Ferjani E., 1997.** Cadmium and Zinc induction of lipid peroxidation and effects on antioxidant enzyme activities in bean, *Plant Science* 127: 139-147.
- **Cheikh M'hamed H., Abdellaoui R., Kadri K., Ben naceur M. et Belhadj S., 2008.**
- **Chen C.T., Li C.C., Kao C.H., 1991.** Senescence of rice leaves. XXXI changes of chlorophyll, protein and polyamine contents and ethylene production during senescence of a chlorophyll-deficient mutant. *Journal of Plant Growth Regulation*, 10: 201-205.
- China Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 8.4: 375-377.
- **Claussen M., Luthen H., Blatt M., Bottger M., 1997.** Auxin induced growth and its linkage to potassium channels. *Planta*, 201: 227-234.
- **Colmer T.D., Epstein E. and Dvorak J., 1995.** Differential solute regulation in leaf blade of various age in salt sensitive wheat and a salt tolerant wheat x *Lophopyrum elongatum* (Host) A. Löve amphiploid. *Plant Physiol*, 108: 1715-1724.
- **Dajoz., 1982.** Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée Ed. Gauthier- Villers paris. 503p.
- **Datta J., Nag S., Banerjee A. et Mondal N., 2009.** Impact of salt stress on five varieties of wheat (*Triticum durum*) cultivars under laboratory condition. *Journal of Applied Sciences & Environmental Management*, 13. 3:93-97.
- **Dietz, K.J., Baier, M., Kramer, U., 1999.** Free radicals and reactive oxygen species as mediators of heavy metal toxicity in plants. In: Prasad, M.N.V.

&Hagemayer, J. (Eds.). Heavy metal stress in plants: From molecules to ecosystems. Springer-Verlag, Berlin, pp. 73-97.

- **Doudech N., Mhamdi M., Bettaieb T., Denden M., 2008.** Tolérance à la salinité d'une graminée à gazon. *Tropicultura*, 26. 3:182-185.
- **Duchaufour P., 1983.** Pédologie pédogénèse et classification. Ed. Masson, 491 p.
- **Dutuit P., Pourrat Y., Dutuit J.M., 1994.** La notion de stress de la cellule à l'écosystème. *Sécheresse*, 5. 1: 23-31.
- **Elkhodja M. et Bidai Y., 2004.** Réponse des graines d'*Atriplexhalimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*, 15 (4): 331-335.
- **El-Mekkaoui M., 1990.** Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé dur (*T. durum* des f) et l'orge (*H. vulgare*): recherches de tests précoces de sélection. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Montpellier. 191p.
- **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, Strasbourg, France, pp. 20-25.
- **Fathalli N., Bizid, E., 1986.** Effect of sodium chloride on the growth and the content in glucides in medicagociliaris. *In: colloquium about plants in arid environment*, faculty of sciences, Tunis, pp: 416-429.
- **Förster H., Coffey M., Elwood H., Sogin M.L., 1990.** Sequence analysis of the small subunit ribosomal RNAs of three zoosporic fungi and implications for fungal evolution. *Mycologia*, 82: 306-312.
- **Gadallah, M.A.A., 1999.** Effects of kinetin on growth, grain yield and some mineral elements in wheat plants growing under excess salinity and oxygen deficiency. *Plant Growth Regulation*. 27: 63-74.
- **Gill K.S., 1979.** Effects of soil salinity on grain filing and grain development in burly. *Biologiaplantarum*, 24, 4: 266-269.
- **Girard P., Prost J., Bassereau P., 2005.** Passive or Active Fluctuations in Membranes Containing Proteins *Phys. Rev. Lett.* 94: 60-64.
- **Gouia H., Ghorbal M. H. et Touraine B., 1994.** Effects of NaCl on flows of N and mineral ions on NO₃- reduction rate within whole plants of salt-sensitive bean and salt-sensitive cotton. *Plant Physiol*, 105: 1409-1418.

- **Gyuris J., Golemis E., Cherthov H., Brent R., 1993.** Cdi1, a human G1 and S phase protein phosphatase that associates with Cdk2. *Cell* 75:791±803.
- **Halitim A., 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. Office de Publications Universitaires, Alger: 39-40.
- **Hammett FS., 1929-**Studies in the biology of metals: the influence of lead on mitosis and cell size in the growing root. *Protoplasma* 5: 535-542.
- **Hamza M., 1967.** Influence de diverses concentrations de chlorure de sodium sur la croissance de jeunes plantes de *Triticum sativum*. *C. R. Acad. Sci. Paris*, 176: 1997- 2000.
- **Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K., Bohnert H.J., 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Biology and Molecular Biology*, 51: 463-499.
- **Hassan I., Della L A., Belkhodja M., Kaid-Harche M., 2008.** Effet de la salinité sur l'eau et certains osmolytes chez l'orge (*Hordeum Vulgare*). *European Journal of Scientific Research*, 23, 1:61-69.
- **Hernandez S., Deleu C., Larher F., 2000.** Accumulation de proline dans les tissus foliaires de tomate en réponse à la salinité. *Comptes Rendus Académie des Sciences. Paris, Sciences de la Vie/ Life Sciences*, 323: 551- 557.
- **Hopkins W. G., 2003.** *Physiologie végétale*. 2ème édition. De Boeck, Bruxelles: 61- 476.
- **IPTRID., 2006.** Conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation: 2-11.
- **IRD., 2008.** Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles : 1ère partie Salinisation et sodisation des sols. 2ème partie La dégradation des sols par salinisation ou alcalisation.
- **Ismail A.M.A., 1990.** Germination ecophysiology in population of *Zygophyllum qatarense* Hadidi from contrasting habitats. *J. Arid. Environ*, 18: 185-194.
- **Jha A.B. et Dubey R.S., 2004.** Carbohydrate metabolism in growing rice seedlings under arsenic toxicity. *Plant Physiol.* 123: 1029-1036.
- **Jia W., Wang H., Zhang C.H., Zhang J., 2002.** Salt-stress-induced ABA accumulation is more sensitively triggered in roots than in shoots. *J. Exp. Bot.* 53: 2201-2206.

- **Kefu Z., Munns R., King R.W., 1991.** abscisic acid levels in NaCl-treated barley, cotton, and saltbush. *Aust. J. Plant physiol*, 18: 17-24.
- **Khan M.A., Hamid A., Salahuddin A. B.M., Quasem A., Karim M.A., 1997.** Effect of sodium chloride on growth, photosynthesis and mineral ions accumulation of different types of rice (*Oryza sativa*). *J. Agronomy and Science*, 149- 161.
- **Khavarinejad R.A., Mostofi Y., 1998.** Effects of NaCl on photosynthetic pigments, saccharides, and chloroplast ultrastructure in leaves of tomato cultivars. *Photosynthetica*, 35: 151–154
- **Kopittke P., Colin A., Kopittke R., Menzies W., 2007.** Toxic effects of Pb²⁺ on growth of cowpea (*Vigna unguiculata*). *Environmental Pollution*, in press.
- **Levitt J., 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and others stresses. Academic Press, New York, 2: 365- 406.
- **Mac Adam J.W., Neleson C.J. et Sharpe R.E., 1992.** Peroxydase activity in the leaf elongation zone of tall fescue. *Plant physiology*, 99: 872-888.
- **Maillard J., 2001.** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. Handicap International, 35p.
- **Malkowski E.K., Galas W., Karcz W., Kuperberg J.M., 2002.** Lead distribution in corn seedlings (*Zea mays* L.) and its effects on growth and the concentration of potassium and calcium. *Plant Growth Regulation*, 37: 69-76.
- **Marrs K.A., 1996.** The functions and regulation of glutathione S-transferase in plant. *Physiology and Plant Molecular Biology*, 47: 127-158.
- **Mashali A., Suarez D.L., Nabhan H., Rabindra R., 2005.** Integrated management for sustainable use of salt-affected soils. Rome: FAO Soils Bulletin, now printing.
- **May M, Vernoux T., Leaver C., Montagu M. et Inze D., 1998.** Review article. Glutathione homeostasis in plants: implications for environmental sensing and plant development. *Journal of Experimental Botany* 49(321): 649-667.
- **Mazliak P., 1979.** Low temperature stress in crop plants. Proceeding of an International seminar on low temperature stress in crop plants held at the East-West Center, Honolulu, Hawaii: 391-404.

- **Meloni D.A., Oliva M.A., Ruiz H.A., Martinez C.A., 2001.** Contribution of proline and inorganic solutes to osmotic adjustment in cotton under salt stress. *J. Plant Nutr*, 24: 599-612.
- **Misra N., Dwivedi U.N., 1995.** Carbohydrate metabolism during seed germination and growth in green gram under saline stress. *J. Plant Physiol*, 33. 1:33-38.
- **Mohammad M., Shibli R., Ajouni M., Nimri L., 1998.** Tomato root and shoot responses to salt stress under different levels of phosphorus nutrition. *J. Plant Nutr*, 21: 1667–1680.
- **Munns R. et Termaat A., 1986.** Whole plant response to salinity. *Australian Journal of Plant Physiology*, 13: 143-160.
- **Munns, R., R.A. James and A. Lauchli., 2006.** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot.*, 57: 1025-1043
- **Niu X., Rsessan R.A., Hasegawa P.M., Pardo J.M., 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*, 109. 3: 735- 742.
- **Noctor G, Arisi A., Jouanin L., Kunert K., Rennenberg H. et Foyer C. 1998.** Review article. Glutathione: biosynthesis, metabolism and relationship to stress tolerance explored in transformed plants. *Journal of Experimental Botany* 49(321): 623-647.
- **Ober E.S., Sharp R.E., 1994.** Proline accumulation in maize (Zae Mays L.) primary roots at low water potentials. I. Requirement for increased levels of abscisic acid. *Plant Physiol*, 105: 981-987.
- **Parent C., Nicolas C., Dat J., 2008.** Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. *C.R. Biologies*, 331:255-261.
- **Parida AK. ET Das AB., 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicol. Environ. Saf* 60: 324-349.
- **Patra M., Bhowmick N., Bandopadhyay B., Sharma A., 2004.** Comparison of mercury, lead and arsenic with respect to genotoxic effects on plant systems and the development of genetic tolerance. *Environmental and Experimental Botany*, 52: 199-223.

- **Perez-Alfocea F., Balibrea M.E., Cruz A.S., Estan M.T., 1996.** Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in commercial tomato hybrid. *Plant & Soil*, 180. 2:251-257.
- **Pilot G., Gaymard F., Mouline K., Cherel I., Sentenac H., 2003.** Regulated expression of Arabidopsis shaker K⁺ channel genes involved in K⁺ uptake and distribution in the plant. *Plant Mol Biol*, 51: 773-787.
- **Potter C.J., Pedraza, L.G., Xu, T., 2002.** Akt regulates growth by directly phosphorylating Tsc2. *Nat. Cell Biol*, 4. 9: 658-665.
- **Prasad K.V.S.K., Sharmila P., Kumar P.A., Saradhi P.P., 2000.** Transformation of *Brassica juncea*(L.) Czern with bacterial cod A gene enhances its tolerance to salt stress. *Molecular Breed*, 6:489-499.
- **Rathert G., 1984.** Sucrose and starch content of plant parts as possible indicators for salt tolerance. *Aust. J. Plant Physiol*, 5:491-495.
- **Rejili M., Vadel M A., Neffat P. M., 2006.** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus*(L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 17.1 : 65- 78.
- **Robert M., 1996.** Le sol : interface dans l'environnement ressource pour le développement. Ed. Masson, Paris. 96 p.
- **Sairam R.K., Rao K.V., Srivastava G.C., 2002.** Differential response of wheat genotypes to long term salinity stress in relation to oxidative stress, antioxidant activity and osmolyte concentration. *Plant Sci.*, 163:1037–1046.
- **Schields., Burnett., 1960.** Determination of protein-bound carbohydrate in serum by a modified anthrone method. *Analytical chemistry*, 32:885-886.
- **Schwab K.B., Gaff D.F., 1986.** Sugar and ion content in leaf tissue of several droughts tolerant plants under water stress. *J. Plant Physiol.*, 125:257-265.
- **Seregin I.V, Ivanov V.B., 2001.** Physiological aspects of cadmium and lead toxic effects on higher plants. *Russ J Plant Physiol.*, 48: 523-544.
- **Shalygo N.V., Averina N.G., Grimm B., Mock H.P., 1997.** Influence of cesium on tetrapyrrole biosynthesis in etiolated and greening barley leaves. *Physiol. Plant.* 99, 160-168.
- **Shen B., Jensen R.G., Bohnert HJ., 1997.** Increased resistance to oxidative stress in transgenic plants by targeting mannitol biosynthesis to chloroplasts. *Plant Physiol*, 113: 1177- 1183.

- **Shi F., Bao F., 2007.** Effects of salinity and temperature stress on ecophysiological characteristics of exotic cordgrass, *Spartina alterniflora*. *Acta Ecologica Sinica*, 27, 7:2733-2741.
- **Shraddha, S., Sarita, S., Rohit, S., Kavita, P., Kavita, B., 2004.** Translocation of metals and its effects in the tomato plants grown on various amendments of tannery waste: evidence for involvement of antioxidants. *Chemosphere*, 57: 91-99.
- **Slama F., 1986.** Effet du nitrate d'ammonium sur le degré de tolérance à une forte dose de NaCl de dix variétés de blé. Colloque sur les végétaux en milieu aride, Jerba (Tunisie), 8-10 septembre 1986. Tunis: Agence de coopération culturelle et technique, pp. 460–473.
- **Speer M., Kaiser W.M., 1991.** Ion relations of symplastic and apoplastic space in leaves from *Spinacia oleracea* L. and *Pisum sativum* L. under salinity. *Plant physiology*, 97: 990-997.
- **Spollen W.G., LeNoble M.E., Bernstein N., Sharp R.E., 2000.** Abscissic acid accumulation maintains maize primary root elongation at low water potentials by restricting ethylene production. *Plant Physiology*, 122: 967-976.
- **Stobart, A.K., Griffiths, W.T., Ameen-Bukhari, I., Sherwood, R.P., 1995.** The effects of Cd²⁺ on the biosynthesis of chlorophyll in leaves of barley. *Physiol. Plant.* 63, 293-298.
- **Sun N.Z., 1994.** Inverse problems in groundwater modeling, Theory and applications of transport in porous media v. 6, Dordrecht, Boston: Kluwer Academic, 337 p.
- **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.
- **W. G., 2003.** Physiologie végétale. 2ème édition. De Boeck, Bruxelles: 61-476.
- **Wang H., Qi Q., Schorr P., Cutler A.J., Crosby W., Fowke L.C., 1993.** ICK1, a cyclin dependent protein kinase inhibitor from *Arabidopsis thaliana* interacts with both cdc2a and Cyc D3, and its expression is induced by abscissic acid. *Plant J*, 15: 501-510.

- **Wang Y., 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.
- **Weckbecker G., Weckbecker A., Lien E.J., Cory J.G.,1988.**Effects of N-hydroxy-N'-aminoguanidineisoquinoline in combination with other inhibitors of ribonucleotidereductase on L1210 cells. *J.Natl Cancer Inst*,1,80, 7:491-496.
- **Wingate V.P.M., Lawton M.A., Lamb C.J.,1988.**Glutathione causes a massive and selective induction of plant defense genes. *Plant Physiology*, 87,1:206-210.
- **Wollgieh, R., Newmann D., 1995.** Stress response of tomato cell cultures to toxicmetals and heat shock: differencesand similarities. *J. Plant Physiol.* 146: 736-742.
- **Wu Y., Spollen W.G., Sharp R.E., Hetherington P.R., Fry S.C., 1994.** Root growth maintenance at low water potentials increased activity activity of xyloglucanendotransglycosylase and it's possible regulation by abscisic acid. *Plant Physiol*, 106: 607-615.
- **Xu F.S., 1990.** New genus and species of Polyplacophora (Mollusca) from the East China Sea. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 8,4: 375-377.
- **ZAATER., 2015.** laboratoire régional est- d'om Boighi INSID.
- **Zhang H.X., Hodson J.N., Williams J.O., Blumwald E., 2001.** Engineering salt-tolerant Brassica plants: characterization of yield and seed oil quality in transgenic plants with increased vacuolar sodium accumulation. *Proc. Natl. Acad. Sci, USA* 98: 12832-12836.
- **Zhu B., Su J., Chang M.C., Verma D.P.S., Fan Y.L., Wu R., 1998.** Over expression of a pyrroline- 5-carboxylate synthetase gene and analysis of tolerance to water and salt stress in transgenic rice. *Plant Science*, 139: 41-48.
- **Zhu J.K., 2002.** Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Biol*, 53: 247-273.
- **Zhu J.K., 2003.** Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Current Opinion in plant biology*, 6: 441-445.
- **Zid E. & Grignon C.,1991.** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes

pour l'adaptation aux milieux arides, AUPELFUREF. Jon Libbey Eurotext, Paris, 91-108.

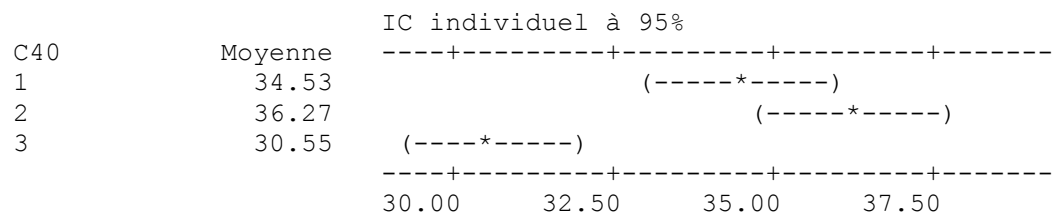
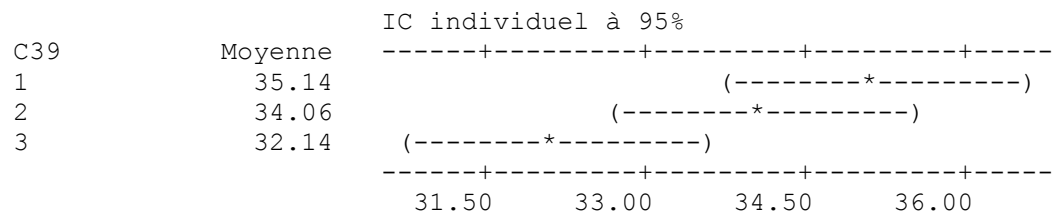
- **Zid E., 1983.** Mécanismes de la nutrition minérale de la feuille de citrus et son agression par le sodium. Thèse de Doctorat ès-Sciences Naturelles. Faculté des sciences. Université de Tunis. 419p.

Annexes

ANOVA à deux facteurs contrôlés :

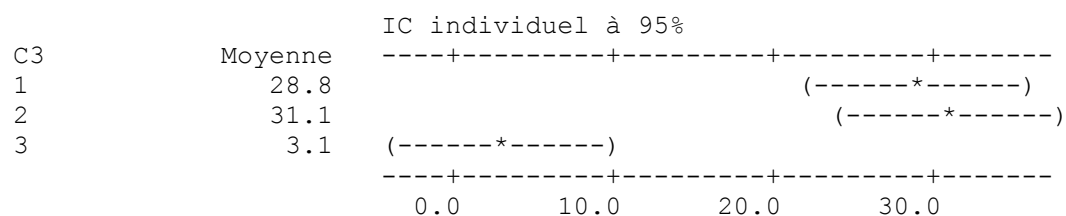
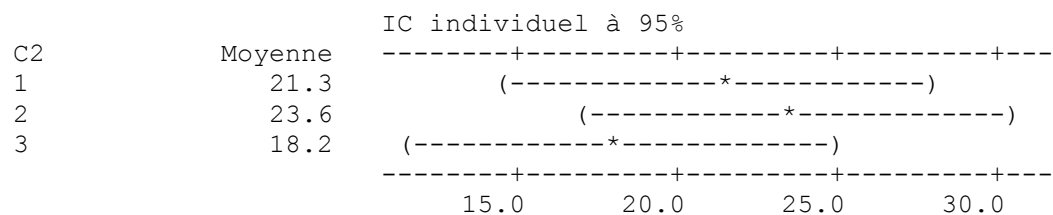
Analyse de variance pour la longueur

Source	DL	SC	CM	F	P
C39	2	41.65	20.83	5.11	0.017
C40	2	154.51	77.25	18.95	0.000
Interaction	4	31.51	7.88	1.93	0.149
Erreur	18	73.38	4.08		
Total	26	301.05			



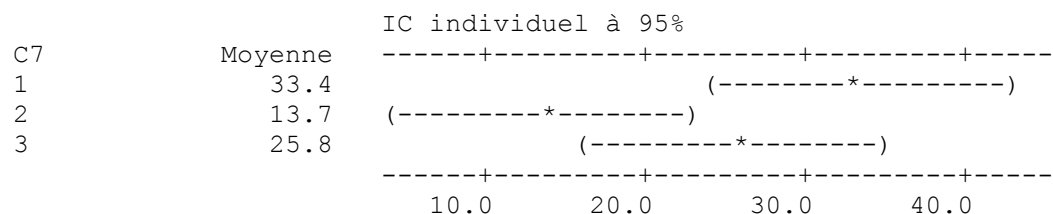
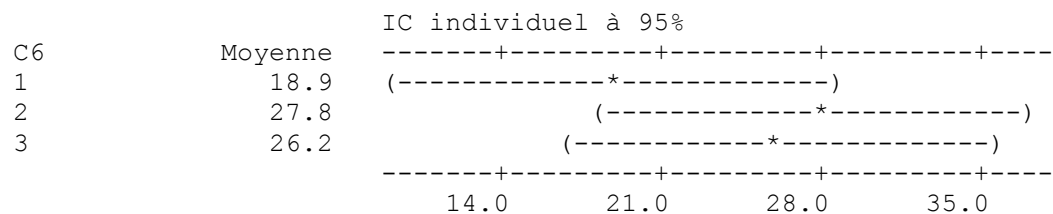
Analyse de variance pour chlorophylle (a)

Source	DL	SC	CM	F	P
C2	2	129.9	65.0	0.69	0.515
C3	2	4349.3	2174.7	23.05	0.000
Interaction	4	1018.6	254.6	2.70	0.064
Erreur	18	1697.9	94.3		
Total	26	7195.7			



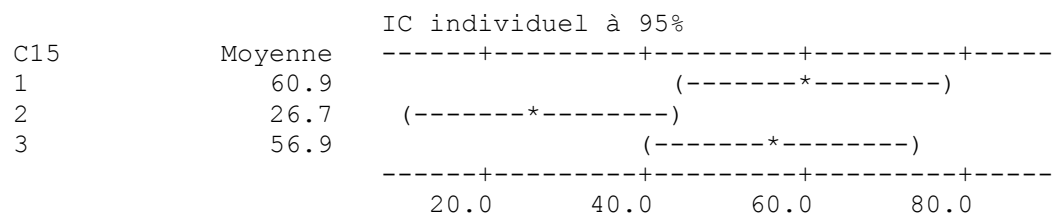
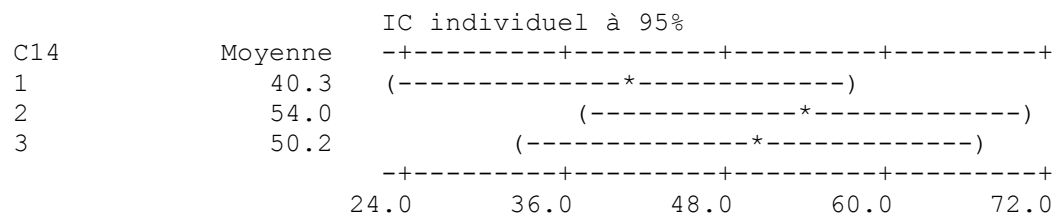
Analyse de variance pour chlorophylle (b)

Source	DL	SC	CM	F	P
C6	2	403	202	1.07	0.363
C7	2	1777	888	4.73	0.022
Interaction	4	3308	827	4.40	0.012
Erreur	18	3381	188		
Total	26	8869			



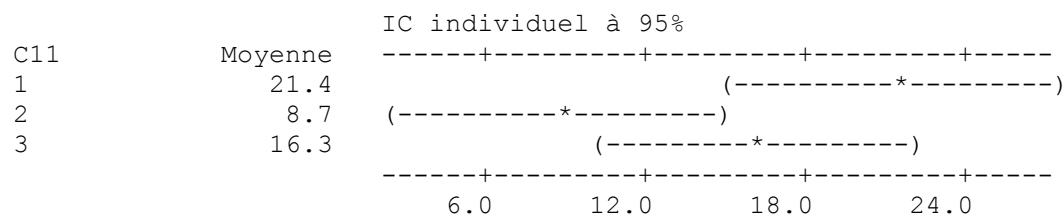
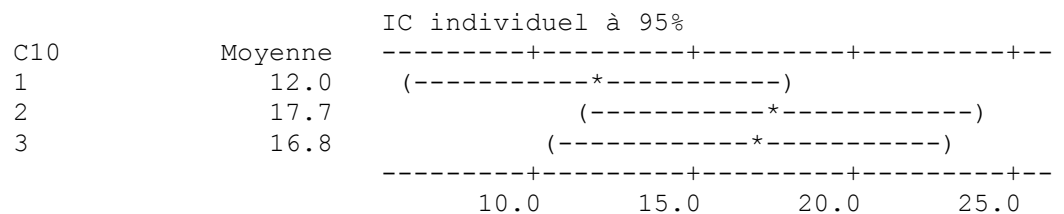
Analyse de variance pour chlorophylle (a+b)

Source	DL	SC	CM	F	P
C14	2	905	453	0.74	0.492
C15	2	6303	3151	5.14	0.017
Interaction	4	8961	2240	3.65	0.024
Erreur	18	11044	614		
Total	26	27214			



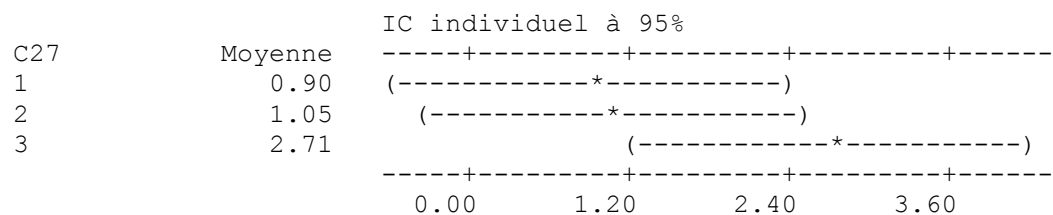
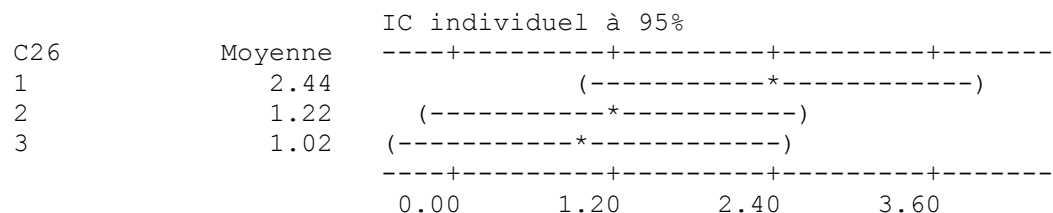
Analyse de variance pour caroténoïdes

Source	DL	SC	CM	F	P
C10	2	170.4	85.2	1.10	0.353
C11	2	733.5	366.8	4.75	0.022
Interaction	4	1366.7	341.7	4.43	0.012
Erreur	18	1389.9	77.2		
Total	26	3660.5			



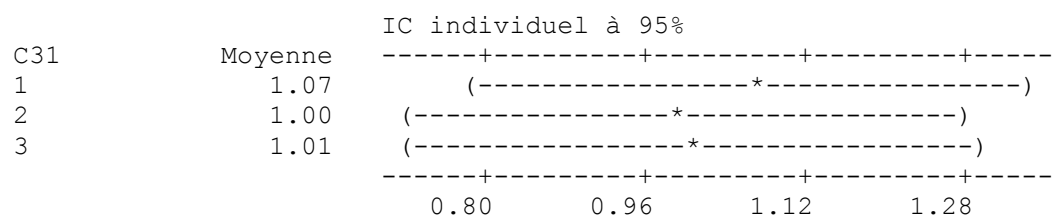
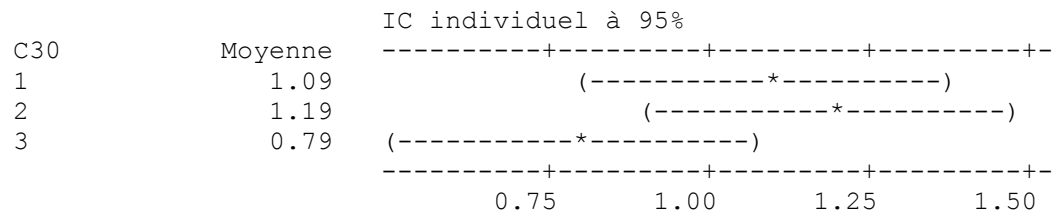
Analyse de variance pour sucres solubles

Source	DL	SC	CM	F	P
C26	2	10.62	5.31	1.21	0.322
C27	2	18.16	9.08	2.06	0.156
Interaction	4	19.25	4.81	1.09	0.390
Erreur	18	79.20	4.40		
Total	26	127.23			



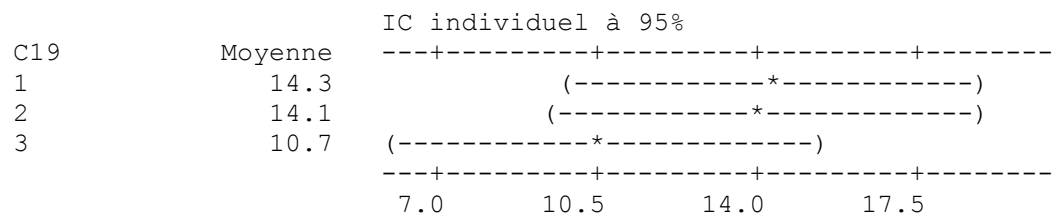
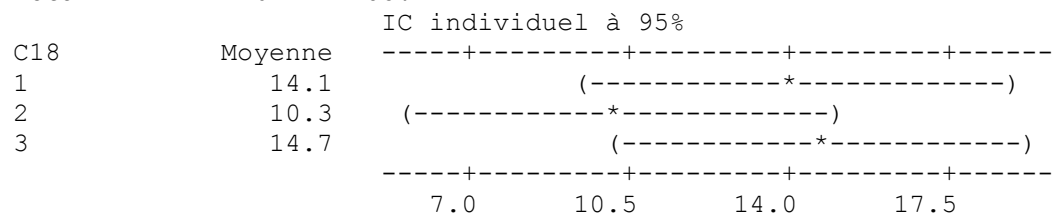
Analyse de variance pour protéines

Source	DL	SC	CM	F	P
C30	2	0.782	0.391	2.40	0.119
C31	2	0.025	0.013	0.08	0.926
Interaction	4	0.310	0.078	0.48	0.752
Erreur	18	2.932	0.163		
Total	26	4.049			



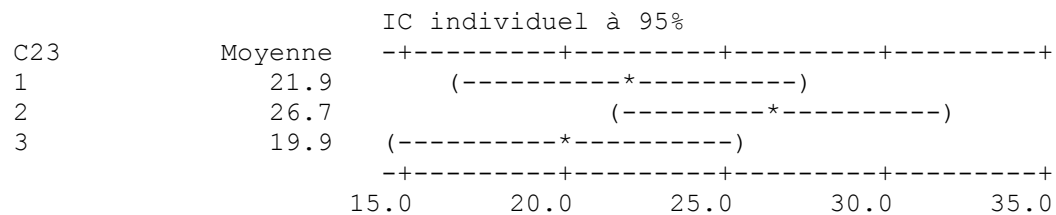
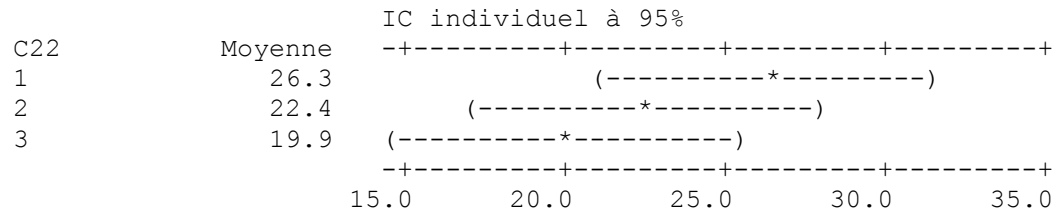
Analyse de variance pour catalase

Source	DL	SC	CM	F	P
C18	2	105.8	52.9	1.19	0.328
C19	2	76.4	38.2	0.86	0.441
Interaction	4	301.7	75.4	1.69	0.195
Erreur	18	801.8	44.5		
Total	26	1285.7			



Analyse de variance pour GSH

Source	DL	SC	CM	F	P
C22	2	183.5	91.8	1.55	0.239
C23	2	221.6	110.8	1.87	0.182
Interaction	4	715.0	178.8	3.02	0.045
Erreur	18	1064.1	59.1		
Total	26	2184.3			



Analyse de variance pour gâïacol peroxydase

Source	DL	SC	CM	F	P
C35	2	2.305	1.152	2.06	0.156
C36	2	0.411	0.205	0.37	0.697
Interaction	4	2.696	0.674	1.21	0.342
Erreur	18	10.058	0.559		
Total	26	15.470			

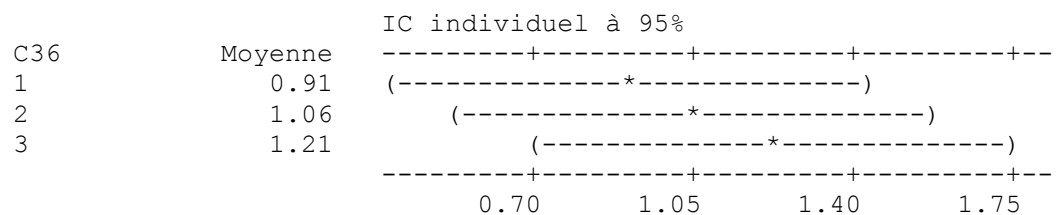
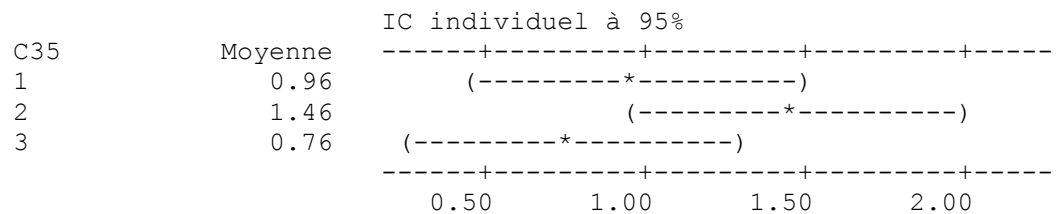


Tableau01: analyse physique de sol (laboratoire régional est- d'om EL Boighi INSID)
selon méthode pipette ROBINSON .

Analyse granulométrie (%)	
Argile	3.16
Limons fin	4.11
Limons gros	1.02
Sable fin	54.54
Sable gros	37.18

