



Université Mohamed Khider de Biskra
<Faculté des Sciences Exactes et des Science de la Vie et
de la Nature
Département des Sciences Agronomiques

MÉMOIRE DE MASTER

Sciences de la Nature et de la vie
Sciences Agronomiques
Production végétal
Réf. : Entrez la référence du document

Présenté et soutenu par :
Amira BENTRAD

Le : mercredi 22 juin 2022

Mécanismes de Résistances des Plantes au Stress Salin

Jury :

Dr.HIOUANI F	MCA	Université de Biskra	Présidente
Dr.MEBREKN	MCA	Université de Biskra	Examineur
Dr.RAZISabah	MCA	Université de Biskra	Promotrice

Année universitaire : 2021-2022

DÉDICACE

Je dédie ce travail :

A tous ceux qui m'ont aidé, encouragé et donné envie de continuer ce travail. Je les porterai tous et pour toujours dans mon cœur.

À ;

*Mon père, qui m'a soutenu et encouragé tout au long de ma vie. Je te dis : merci.
Ma mère, la source de tendresse et d'amour, l'exemple extrême dans ma vie, je dis merci
maman.*

Et À ;

*Mon deuxième père Ibrahim et ma deuxième mère Al-Zahra, qui ont été une GRANDE source
d'encouragement, tous les remerciements et toute l'appréciation à vous. Je vous aime.*

*À mon cher mari, qui a été mon bras droit toujours et à jamais, tout l'amour et appréciation à
vous.*

*À ma sœur Soundous, qui m'a beaucoup aidée à terminer mes mémoires. Merci beaucoup. Je
vous souhaite beaucoup de bonheur. A mes sœurs Dounia, Najat et Suzy, et à mes frères Taha
et AbdMoujib.*

Atoute la famille de Bentrat et Saker,

*A mes chers amis et à la cousine de mon mari Rathia, je vous remercie beaucoup, je vous
aime.*

Amira

REMERCIEMENTS

Ma profonde gratitude s'adresse en premier lieu Dieu qui m'a aidé à suivre mes études.

J'adresse mes plus vifs remerciements et notre gratitude à mon professeur qui a dirigé mon mémoire Dr. Sabah RAZI, qui ne m'a pas épargné de ses orientations constructives et ses précieux conseils.

Pour compléter le message et l'amener au chemin souhaité. J'adresse mes plus vifs remerciements et ma gratitude au jury de ce travail, composé du Dr. et Dr. de l'université de Biskra.

Toutes mes reconnaissances à l'égard de mon père, ma mère, et mon époux pour leurs encouragements et leurs soutiens qui m'ont été d'un élan de volonté et de persévérance dans mon travail.

Merci beaucoup !

SOMMAIRE

DÉDICACE

REMERCIEMENTS

Liste des abréviations

Liste des tableaux

Liste des figure

INTRODUCTION GENERALE	1
CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LA SALINITE DES SOLS	2
1.1. Définition de la salinité	6
1.2. Notion de salination.....	6
1.3. La sodisation.....	7
1.4. Processus de salinisation et de sodisation des sols	7
1.5. Origine de salinité	7
Les sources de sel sont variables	7
1.6. Types de salinité.....	8
- La salinité primaire ou naturelle	8
-La salinité secondaire.....	8
1.7. Importance de la salinité.....	9
1.8. Classification des sols salés.....	9
1.9. Caractéristiques des sols salés	10
1.10. Effet de la salinité sur les propriétés physiques du sol	11
a. Effet sur la structure.....	11
b. Effet sur la perméabilité	12
1.11. Répartition géographique des sols salés	12
a. Dans le monde	12
b. En Algérie.....	13
CHAPITRE 2 : LA SALINITE DE L'EAU D'IRRIGATION	6
2.1. Classification des eaux saline.....	16
2.1.1. Conductivité électrique (CE).....	16
2.1.2. Sodium Adsorption Ratio (SAR).....	16
2.2. Caractéristiques des eaux salées	17
2.2.1. Les eaux marines	17
2.2.2. Les eaux saumâtres.....	17
2.3. Rapport entre la salinité du sol et celle de l'eau d'irrigation.....	18

CHAPITRE 3 : LE STRESS CHEZ LES PLANTES	16
3.1. Définition du stress.....	21
3.2. Catégorie de stress.....	21
3.2.1. Le stress biotique.....	21
3.2.2. Le stress abiotique	22
3.3. Le stress et la plante	22
CHAPITRE 4 : EFFET DU STRESS SALIN SUR LES PLANTES.....	25
4.1. Le rôle des cations K^+ et Na^+ dans la plante.....	25
4.1.1. Le potassium.....	25
4.1.2. Sodium.....	25
4.2. Effet du stress salin sur les différents paramètres de la plante	25
4.2.1. Effet de la salinité sur la germination.....	27
4.2.3. Effet de la salinité sur les enzymes antioxydants	28
4.2.4. Effet de la salinité sur la biochimie de la plante.....	28
4.2.5. Effet de la salinité sur les processus physiologiques	29
4.2.6. Effet de la salinité sur la toxicité en ions spécifiques.....	29
4.2.7. Effet de la salinité sur les échanges gazeux et la photosynthèse	30
4.2.8. Effet de la salinité sur la croissance.....	30
4.2.9. Effet de salinité sur le rendement	31
CHAPITRE 5 : MECANISMES DE RESISTANCE DES PLANTES AU STRESS SALIN	25
5.1. Degrés de tolérance des plantes aux stress salin	33
5.2. Modes de résistance des plantes au stress salin.....	33
5.2.1. Adaptation morphologique.....	35
5.2.2. Adaptation anatomique.....	35
5.2.3. Adaptation moléculaire	36
5.2.4. Adaptation physiologique et biochimique.....	36
5.2.5. L'accumulation.....	37
5.2.6. L'ajustement osmotique	37
5.2.7. La compartimentation vacuolaire	38
5.2.8. L'exclusion.....	38
5.2.9. L'inclusion.....	38
5.2.10. La recirculation.....	39
5.3. Autres mécanismes de résistance	39
5.3.1. Contrôle de l'absorption ionique par les racines	39

5.3.2.Modifications de la capacité photosynthétique	40
5.3.3.Induction des hormones végétales.....	40
5.3.4.Induction des enzymes antioxydants	40
5.3.5.Les polyphénols.....	41
5.3.6.Biosynthèse de solutés compatibles	41
5.3.7.Signalisation cellulaire	42

CONCLUSION GENERALE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Résumé

Abstract

الملخص

Liste des abréviations

- ✓ **ABA** :Acide abscissique
- ✓ **ATP** :Adénosine tri phosphate
- ✓ **Ca²⁺** : Calcium
- ✓ **CaCO₃** : Carbonate de calcium
- ✓ **CE** : Conductivité électrique
- ✓ **K⁺** : Potassium
- ✓ **CO₂** :Désoxyde carbone
- ✓ **Na Cl** : Chlorure de sodium
- ✓ **Mg** : Magnésium
- ✓ **F.A.O** : Food and agriculture organization.
- ✓ **H₂O₂** : Peroxyde d'hydrogène
- ✓ **Fig.** : figure
- ✓ **%** : Pourcentage.
- ✓ **SO₄⁻** : Bicarbonate de soufre
- ✓ **Cl⁻** :Chlorure
- ✓ **Na** : Sodium
- ✓ **V-ATPase** : Pompe à protons de type vacuolaire.
- ✓ **A, β et γ** : Alpha, Bêta et Gamma.
- ✓ **ROS** : ReactiveOxygen Species
- ✓ **NO₃⁻** : Nitrate
- ✓ **HKT1**: High-Affinity K⁺ Transporter 1
- ✓ **HKT2**: High-Affinity K⁺ Transporter 2
- ✓ **Ppases** : Phosphatase
- ✓ **pH** : potentiel Hydrogène
- ✓ **ADN** : Acide Désoxyribonucléique

Liste des tableaux

Tableau 1 Classification de sol salés (Maillard, 2001).....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 2 Classification des sols salin et sodiques(USDA, 1954).	10
Tableau 3 Caractéristiques principales des sols salins et sodiques (Maillard, 2001).	11
Tableau 4 Sols affectés Par la salinité dans les continents et subcontinents (Hardy, 2004) ;	12
Tableau 5 superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'ouest du pays (Inside, 2008).....	Erreur ! Signet non défini.
Tableau 6 Guide pour l'interprétation de la qualité de l'eau.....	18
Tableau 7 Seuil de résistance de quelques pâte l'extrait de pâte saturée) (Boulaine, 1974)..	33

Liste des figures

Figure 1 Origines de la salinisation (IPTRID, 2006).	Erreur ! Signet non défini.
Figure 2 Superficie affectée par la salinité dans les différentes régions du monde (Fao, 2006).	13
Figure 3 Répartition des précipitations dans le nord de l'Algérie (Fao, 2005).	14
Figure 4 types de stress environnementaux et leurs effets sur la plante (Bouchoukh, 2010).	22
Figure 5 Effet du stress salin sur la plante (Mahjoubi, 2018) ;	26
Figure 6 Diminution du pourcentage de germination avec l'augmentation de la salinité (Lauchli & Grattan, 2007).	27
Figure 7 Schéma du principe d'adaptation et de résistance des plantes face aux stress abiotique (Levitt, 1980).	34
Figure 8 Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les Plantes de type inclure ou exclure (Levignon et al., 1995).	39
Figure 9 Stress et systèmes antioxydants (Laloi, 2010).	Erreur ! Signet non défini.
Figure 10 Signalisation cellulaire du stress salin (Zhu, 2003)	42

INTRODUCTION GENERALE

La salinité représente une contrainte environnementale majeure dans le secteur de l'agriculture car elle limite la production de beaucoup de plantes cultivées dans de nombreuses régions du monde ((Rozema & Flowers, 2008 ; Latif, 2010 ; Abdel Ahmad & Prasad, 2012).

La population mondiale ne cesse d'augmenter, alors qu'il ya une diminution constante de terres arables, due à cette contrainte (Kafi & Khan 2008). Ce qui remet en question la capacité à accroître la production alimentaire agricole qui atteindra d'ici 2050, 70% pour répondre à la croissance de la population prévue à 9,3 milliards (Shabala, 2013 ; Jayakannan *et al.*, 2015).

Actuellement, sur 1.5 milliard d'hectares de terre cultivée dans le monde, environ 77millions d'hectares (5%) sont affectés par la teneur excessive en sel. Ce chiffre ne cesse d'augmenter d'une année à l'autre suite à la mauvaise qualité de l'eau d'irrigation. Les terres irriguées représentent environ 310 millions d'hectares à l'échelle mondiale et 20 % de cette surface est affectée par la salinisation, soit 62 millions d'hectares (Hamilton, 2014).

Un problème de salinité est considéré comme survenant lorsque la concentration de chlorure de sodium, de carbonate de sodium, de sulfate de sodium ou de sels de magnésium est présente en excès, et lorsque l'effet devient d'autant plus évident que l'excès est important. La salinité est susceptible de perturber la nutrition minérale des plantes en interférant avec le prélèvement de certains éléments essentiels comme le potassium et le calcium et ceci soit par substitution, soit par compétition au niveau des sites d'absorption membranaire (Zhu,2002).

Cette salinisation accrue provient d'un usage de plus en plus important d'eau d'irrigation de moindre qualité, c'est-à-dire riche en sels, provoquant ainsi une dégradation de la qualité du sol (Gouaidia *et al.*, 2012).

Le coût global de la salinité provoquée par l'irrigation est équivalent à environ 11 milliards de dollars (eu) par an (Fao, 2010a).

La valeur et la productivité des sols à haute teneur en sels diminuent considérablement chaque année à travers le monde, causant d'importants dommages socio-économiques et

environnementaux à long terme. L'excès de sel dans le sol, affecte la germination des semences, retarde la croissance des plantes entraînant par conséquent une baisse du rendement (Munns, 2002).

En Algérie, les facteurs qui contribuent à l'extension du phénomène de salinisation des terres sont liés à l'aridité du climat qui porte sur plus de 95% du territoire, la qualité médiocre des eaux d'irrigation, le système de drainage souvent inexistant ou non fonctionnel, et la conduite empirique des irrigations (Daoud & Halitim, 1994).

Selon Saidi (2004), la production agricole en Algérie est limitée par de faibles ressources hydrauliques, une mauvaise répartition des précipitations et par des teneurs élevées en sels solubles dans les sols et les eaux.

La salinité affecte négativement le développement et la croissance des plantes et donc diminue les rendements et la qualité de ces cultures, les problèmes de salinité se posent surtout en régions arides ou semi-arides où les cultures nécessitent une irrigation importante (Lahlou *et al.*, 2002).

Les effets du sel sur les plantes dépendent à la fois de leur stade de développement (Munns *et al.* 1995), de l'espèce, du cultivar, du génotype (Cornillon & Palloix 1997) et de la durée de l'exposition aux contraintes salines (Munns & Termaat, 1986). Une forte concentration en NaCl dans le sol est perçue par certaines plantes comme une sécheresse physiologique. Ce changement dans le statut hydrique de la plante serait la cause initiale de la réduction de la croissance induisant son atrophie et la baisse de sa productivité (Parida & Das, 2005).

Cependant, la plante exposée à la contrainte de salinisation, déclenche des mécanismes de tolérance ou une réaction d'adaptation lui permettant de faire face à cette nouvelle situation et poursuivre sa croissance (Flowers *et al.*, 1977). Mécanismes de défense sont très complexes et varient d'une espèce à l'autre, voire d'une variété à l'autre dans la même espèce (Ashraf, 2009).

Afin d'atténuer l'effet du stress salin, les plantes sont capables de synthétiser des composés organiques dits osmoprotecteurs, tels que les sucres solubles (Boriboonkaset *et al.*, 2013), les acides aminés et particulièrement la proline (Belkhodja & Ait Saadi., 1993 ; Slama

et al., 2014 ; Ouïs., 2016), les hormones (Amjad *et al.*, 2014), les polyamines (Todorov *et al.*, 2013). ces composées protègent les plantes contre le stress salin en contribuant à l'ajustement osmotique (Denden *et al.*, 2005 ; Rahim Gue Alia *et al.*, 2017), un processus primordial qui permet à la cellule de maintenir sa turgescence (Berka & Aid, 2009).

Certaines solutés remplissent une fonction supplémentaire en protégeant les organites cellulaires de la déshydratation (Rasool *et al.*, 2013).

D'autres mécanismes se manifestent lors du stress salin afin de limiter les pertes en eau comme la régulation stomatique (Saleem *et al.*, 2011), la régulation phytohormonale (Ashraf *et al.*, 2010), et le transport de l'eau (Akram *et al.*, 2012). Certaines espèces végétales réagissent également aux contraintes salines soit par l'exclusion ou l'inclusion d'ions toxiques de leurs pousses ou de leurs racines (Richard, 2006).

Notre travail est une recherche bibliographique sur les mécanismes de résistance des plantes au stress salin .Il est divisé en cinq chapitres :

Chapitre 1: Généralité sur la salinité du sol.

Chapitre 2 : La salinité de l'eau d'irrigation

Chapitre 3 : Le stress chez les plantes.

Chapitre 4 : Effet du stress salin sur les plantes.

Chapitre 5 : Mécanismes de résistance des plantes au stress salin.

CHAPITRE 1 : GENERALITE SUR LA SALINITE DES SOLS

1.1. Définition de la salinité

La salinité est la quantité de sels accumulée dans le profil d'un sol ou dans les organes d'une plante. Elle est à l'origine de la chute de production agricole dans les périmètres irrigués en zones arides et semi-arides (Iptribid, 2006).

1.2. Notion de salination

C'est le processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la Formation d'un sol (Iptribid, 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, selon la figure 1. 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 (Orster *et al.*, 1990).

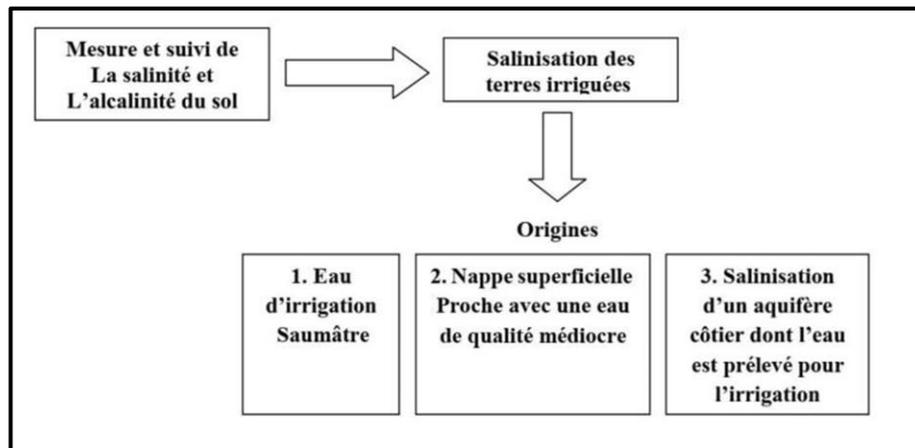


Figure 1 Origines de la salinisation (IPTRID, 2006)

1.3. La sodisation

Défini la sodisation comme étant l'accroissement du taux de sodium échangeable d'un sol dû à diverses modifications physico- chimiques, dont résultent une défloculation des argiles et une obturation des pores qui entravent la circulation de l'eau. Le sol devient de ce fait imperméable et donc infertile. En revanche, le sol sodique est le sol dont la structure pédologique est conditionnée par la teneur en sodium. Les principaux types de sols sodiques sont les solonetz, les solontchaks et les soloths(François, 2008).

1.4. Processus de salinisation et de sodisation des sols

Les sols reçoivent des sels d'autres lieux ou de l'eau d'irrigation, le degré avec lequel la salinisation se produit dépend de la composition de l'eau d'irrigation et aussi du bilan entre l'apport d'eau à la surface du sol et le déplacement de l'eau de drainage de la limite inférieure du profil. Si les quantités d'ions apportés par l'eau d'irrigation pendant plusieurs années dépassent les quantités adsorbées par le sol, à long terme la composition de la solution du sol va devenir identique à celle de l'eau (Omouri,2008). Ce processus est accompagné par un ajustement graduel de la composition du complexe adsorbant, donc le pourcentage de sodium échangeable final peut être estimé à partir de l'eau d'irrigation et de la concentration totale de la solution du sol (Moughli, SD). En Algérie, les travaux de recherches menées au nord par Djili *et al.* (2000) et Touaf (2001) ont confirmé que la salinisation dans Les régions arides induit la sodisation.

1.5. Origine de salinité

Les sources de sel sont variables :

- Le matériau géologique, par le biais de l'altération, peut libérer les éléments nécessaires à la formation des sels solubles (altération de minéraux primaires riches en sodium, de roches volcaniques, des produits de l'hydrothermalisme riches en soufre et en chlore, ou encore dissolution des évaporâtes, qui sont des accumulations salines anciennes) (Ird, 2008).

- L'eau de mer est, bien entendu, une source principale de sel en milieu côtier. La salinisation peut alors être un phénomène permanent lié aux marées (salinisation marine), ou encore due à la présence de lentilles d'eau sur-salées lorsque les zones basses sont isolées de la mer par un colmatage alluvial.

- Une nappe phréatique, d'origine continentale et salée par héritage géologique, peut contaminer le sol par ascension capillaire. (Ird 2008)

- L'eau d'irrigation, on parle alors de salinisation anthropique. Elle peut être très rapide et se manifester à l'échelle de l'année, de la dizaine d'année ou de quelques siècles. Ce type de salinisation est la conséquence de pratiques agricoles dû à la mauvaise combinaison d'une forte évaporation et d'un apport inadapté d'eau d'irrigation en relation avec son contenu en sels dissous. La remontée de la nappe(Ird, 2008).

1.6. Types de salinité

- La salinité primaire ou naturelle

Elle est entraînée par la formation des sels pendant l'altération des roches ou par la solubilisation de sels initialement contenus dans les couches géologiques (Stengel & Gelin, 1998). Elle se produit également suite à la submersion des terrains par la mer au cours des tempêtes, de marées exceptionnelles...etc., ou par les infiltrations de la mer dans une nappe phréatique littorale constituée originalement par des eaux douces (Gaucher & Burdin, 1974).

-La salinité secondaire

Elle concerne des surfaces plus réduites que celles atteintes par la salinité primaire mais a des conséquences économiques plus importantes, car elle peut affecter gravement la fertilité des zones cultivées. Elle est d'origine anthropique et se produit lorsque des quantités significatives d'eau chargée de sels sont apportées par irrigation sans réseau de drainage adéquat pour la lixiviation et l'élimination de la teneur en sels des sols (De Franchis, 2003). D'autres pratiques d'aménagement telles que le déneigement, la déforestation, le surpâturage, ou les changements de systèmes de culture peuvent également conduire aux mêmes effets. La salinisation secondaire

est donc bien l'un des révélateurs les plus significatifs d'une mauvaise gestion par l'homme de l'espace rural (Stengel & Gelin, 1998).

1.7. Importance de la salinité

La salinité joue un rôle important dans l'existence et la distribution des plantes (Abdelkader & Saleh, 2002) ; à la différence des glycophytes qui ne sont pas capables de supporter la présence de sel, les halophytes poussent mieux sur un sol riche en sel (Cal, 2006). Elles déclenchent des mécanismes de tolérance qui contribuent à l'adaptation au stress osmotique et ionique provoqué par la salinité élevée (Lee *et al.*, 2008).

1.8. Classification des sols salés

On distingue deux types de sols salés, les sols salins (solontchaks) et les sols alcalins (solonetz).

Tableau1 classification de sol 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

✓ Les sols salins (Solontchaks)

Ces sols ont pour principale caractéristique leur richesse en sels de sodium neutres (NaCl : chlorure de sodium, Na₂SO₄ : sulfate de sodium) mais contenant également des quantités appréciables d'ions chlorite, calcium et magnésium. Ces sols sont généralement dominants dans les régions arides et semi-arides (Bouchikch, 2008). Dans les horizons inférieurs (suivants la texture) (du chauffour, 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).

✓ Les sols alcalins (Solonetz)

Les solonetz sont riches en sodium échangeable et en revanche pauvres en sels solubles (sels alcalins, carbonates et bicarbonates de sodium, Na_2CO_3 principalement).les sols alcalins se trouvent plutôt dans les zones semi-arides et sub-humides (Bouchikch, 2008).

1.9. Caractéristiques des sols salés

Tableau 1 Classification des sols salin et sodiques(USDA, 1954).

	CE ds/m	ESP %	pH
Sols salins	> 4	< 15	< 8,5
Sols salins alcalins	> 4	>15	> 8,5
Sols alcalins	< 4	> 15	8,5 – 10

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

-Les sols salins (solontchaks) ont pour principales caractéristiques leur richesse en sels de sodium neutres (NaCl chlorure de sodium, sulfate de sodium Na_2SO_4) mais contenant également des quantités appréciables d'ions chlorites et de sulfates de sodium, calcium et magnésium. Ces sols sont généralement dominants dans les régions arides et semi – arides.

-Les sols alcalins (solonetz) sont riches en sodium échangeable et en revanche pauvres en sels solubles (sels alcalins, carbonates et bicarbonates de sodium, Na_2CO_3 principalement) les sols alcalins se trouvent plutôt dans les zones semi – aride et sub – humide.(Maillard, 2001).

Tableau 2 Caractéristiques principales des sols salins et sodiques (Maillard, 2001).

Caractéristiques des Sols sal-sodiques (alcalins)	Sols salins	Sols sodiques (alcalins)
Chimiques	- Dominés par des sels solubles neutres : chlorures et sulfates de sodium, calcium et magnésium	- Peu de sels solubles neutres mais généralement des quantités appréciables de sels capables d'hydrolyse alcaline tel que les carbonates de sodium (Na_2CO_3)
	- Le pH de l'extrait de sol saturé généralement de moins de 8,2 (8,7 dans d'autres ouvrages)	- Le pH de l'extrait de sol saturé de plus de 8,2 (ou 8,7) et atteignant souvent 9 ou 10.
	- Conductivité électrique à 25°C ; CE >4Ms/cm	- Conductivité électrique à 25°C CE <4Ms/cm
Physiques	En présence excessive de sels solubles neutres, la fraction argileuse est floculée et le sol est stable.	Un excès en sodium échangeable couplé à des valeurs de pH élevées rend l'argile dispersée et une instabilité structurale du sol.
	La perméabilité à l'eau et à l'air de ces sols est généralement comparable à ceux des sols « normaux ».	La perméabilité à l'eau et à l'air est restreinte. Les propriétés physiques de ces sols s'aggravent avec l'augmentation du pH et du sodium échangeable.
Distribution Géographique	Les sols salins dominent dans les régions arides à semi-arides.	Les sols alcalins se trouvent principalement dans les régions semi-arides et sub-humides.

1.10. Effet de la salinité sur les propriétés physiques du sol

a. Effet sur la structure

Les cations sodium tendent à provoquer la destruction de la structure en favorisant la dispersion des colloïdes minéraux. D'une façon générale, la dispersion dépend de deux facteurs :

- La quantité de cations Na^+ adsorbés (ESP) dont l'augmentation favorise la dispersion.

- La concentration de la solution saline au contact de la phase solide, dont l'augmentation limite la dispersion (Calvet, 2003).

b. Effet sur la perméabilité

La diminution de la perméabilité des sols salés à alcalis est une conséquence directe de la dispersion des colloïdes par l'ion Na⁺ (Derdour, 1981).

1.11. Répartition géographique des sols salés

a. Dans le monde

Le monde perd au moins 3 hectares de terres arables chaque minute à cause de la salinité du sol. La salinité est un des processus de dégradation des sols les plus largement répandus sur la terre. On estime que la salinisation du sol affecte 1 à 3 millions d'hectares de terres en union européenne. Cette salinisation est considérée comme une cause majeure de désertification et constitue donc une forme grave de dégradation des sols (Handj *et al.*, 1995 in Sinoussi, 2001) (Fig.2). Les résultats de répartition des terres salines sont donnés selon le tableau récapitulatif suivant :

Tableau 3 Sols affectés Par la salinité dans les continents et subcontinents (Hardy, 2004) .

Continents	Surface (millions /ha)
Amérique du Nord	15.7
Mexique et Amérique Centrale	2
Amérique de Sud	129.2
Afrique	80.5
Asie du Sud	87.6
Asie de Nord et Asie centrale	211.7
Asie de Sud-Est	20
Australie	357.3
Europe	50.8
Total	954.8

En Afrique du Nord, la salinisation affecte sur toutes les régions irriguées et les parties basses sujettes à des taux d'évaporation importants. dans ces régions, il existe un risque important de salinisation des nappes(Gilmore*et al.*,2015). La concentration en sel est le principal facteur qui y limite la croissance des végétaux(Dehni,2018)

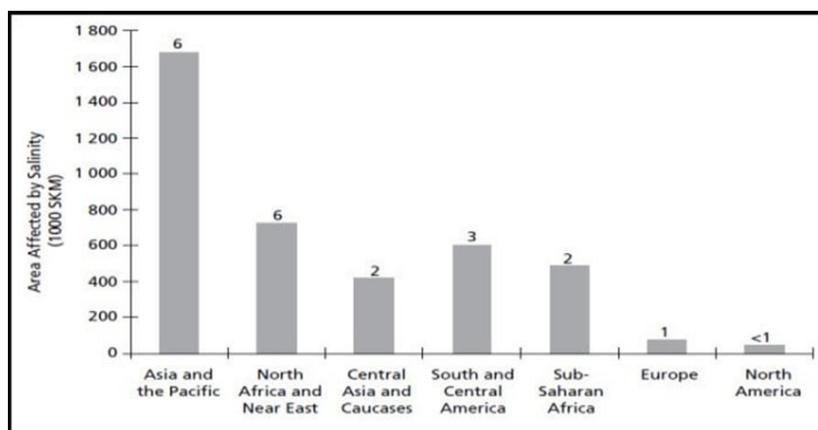


Figure 2Superficie affectée par la salinité dans les différentes régions du monde (Fao, 2006).

b. En Algérie

Les sols salés sont très répandus essentiellement dans les zones arides et semi-arides. Les travaux effectués par différents auteurs montrent que la majorité des sols agricoles en Algérie sont affectés par les sels (Durand, 1958 ; Halitim,1985), En effet, 3,2 million d'hectares subissent à des degrés de sévérité variable, le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques où le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficace. Ce phénomène est observé dans les plaines et vallées de l'ouest du pays (Mina, Cheliff, Habra Sig, Maghnia) dans les hautes plaines de l'est (Constantine, Sétif, Bordj Bou Arreridj, Oum El Bouagui), (Szablocs, 1989) (Fig.3).

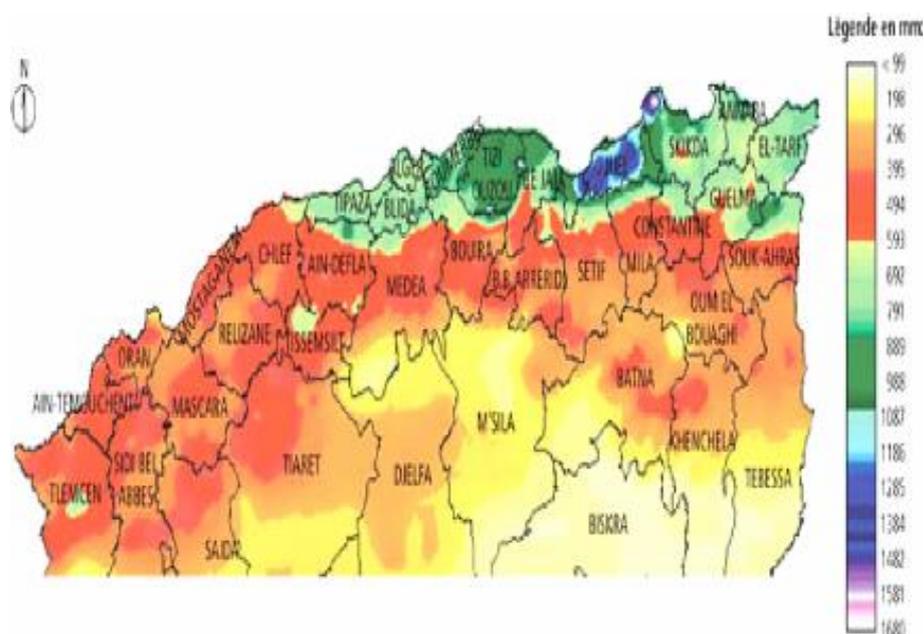


Figure 3 Répartition des précipitations dans le nord de l'Algérie (Fao, 2005).

Dans le tableau 5 donne un aperçu sur les superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de l'ouest du pays (Inside, 2008).

Tableau5 superficies affectées par la salinité dans quelques périmètres de du pays(Inside ,2008)

Périmètres irrigués	Superficies irrigables	Superficies affectées	%
Haut Cheliff	20 200	6 400	32
Moyen Cheliff	21 800	8 700	40
Bas Cheliff	22 500	15 000	67
Mina	9 600	4 190	44
Habra	19 600	8 100	41
Sig	8 600	3 200	37

CHAPITRE 2 : LA SALINITE DE L'EAU D'IRRIGATION

2.1. Classification des eaux saline

D'après Morin (2009), les principaux critères utilisés pour décrire une eau saline sont :

2.1.1. Conductivité électrique (CE)

Le degré de salinité y est indiqué en termes de conductivité électrique qui est une mesure facile à obtenir à l'aide d'appareils peu dispendieux (plus y a de sels dans l'eau plus la conductivité est grande). Cette classification des eaux d'irrigation proposée par l'United States Department of Agriculture (USDA, SD).

Voici les classes de conductivité électrique (CE) et indices de salinité :

Classe 1 (C1) ; 250 $\mu\text{s/cm}$ basse salinité

Classe 2 (C2) ; 250 $\mu\text{s/cm}$ à 750 $\mu\text{s/cm}$ salinité modéré

Classe 3 (C3) ; 750 $\mu\text{s/cm}$ à 2250 $\mu\text{s/cm}$ haute salinité

Classe 4 (C4) ; au-dessus de 2250 $\mu\text{s/cm}$ très haute salinité

2.1.2. Sodium Adsorption Ratio (SAR)

À l'aide du sar, on divise les eaux d'irrigation en quatre classes. La classification est basée principalement sur l'effet du sodium sur les conditions physiques du sol.

Les indices de classe SAR sont comme suit :

Classe S1 SAR de 10 et moins bas taux de sodium.

Classe S2 SAR de 10,1 à 18 taux moyen de sodium.

Classe S3 SAR de 18,1 à 26 haut taux de sodium.

Classe S4 SAR au-dessus de 26,1 très haut taux de sodium.

Classe S1 – l'eau peut être utilisée sur pratiquement n'importe quel type de sol avec un risque minimal d'accumuler du sodium à un niveau dommageable.

Classe S2 – l'eau présente un danger appréciable d'accumuler du sodium à un niveau dommageable pour les sols ayant une texture fine et une capacité d'échange cationique (CEC) élevée. Par contre, l'eau peut être utilisée dans les sols sableux ayant une bonne perméabilité

Classe S3 – peut produire des niveaux dommageables de sodium dans pratiquement tous les types de sols. l'utilisation d'amendements tels que le gypse pourraient être nécessaires pour échanger les ions sodium de plus, les pratiques culturales augmentant le drainage seront requises plus fréquemment.

Classe S4 – cette eau est généralement inadéquate pour l'irrigation (Tahraoui, 2015).

2.2. Caractéristiques des eaux salées

2.2.1. Les eaux marines

La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité, c'est-à-dire leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates). La salinité moyenne des eaux des mers et océans est de 35 g.l-1 (27,2 g.l-1 de NaCl, 3,8 g.l-1 de MgCl₂, 1,7 g.l-1 MgSO₄, 1,26 g.l-1 CaSO₄ et 0,86 g.l-1 K₂SO₄).

Le pH moyen des eaux de mer varie entre 7,5 et 8,4 : l'eau de mer est un milieu légèrement basique (Renaudin, 2003).

2.2.2. Les eaux saumâtres

On appelle eau saumâtre une eau salée non potable de salinité inférieure à celle de l'eau de mer. La plupart des eaux saumâtres contiennent entre 1 et 10 g de sels par litre. Ce sont parfois des eaux de surface mais le plus souvent des eaux souterraines qui se sont chargées en sels en dissolvant certains sels présents dans les sols qu'elles ont traversés. Leur composition dépend donc de la nature des sols traversés et de la

vitesse de circulation dans ces sols. Les principaux sels dissous sont le CaCO₃, le CaSO₄, le MgCO₃ et le NaCl (Renaudi, 2003).

En général la salinité d'eau inférieure à 0,75ds/m ne cause aucun problème, CE = 3ds/m ou plus cause souvent des problèmes pour la plupart des cultures, ce entre 0,75 et 3ds/m pose généralement des problèmes croissants pour un grand nombre de cultures (Ayers, 1976).

Tableau 4 Guide pour l'interprétation de la qualité de l'eau(Ayers, 1976)

Paramètres	unité	Pas de problèmes	Problèmes croissants	Problèmes graves
Salinité CE TDS	ds/m mg/l	< 0.7 < 450	0.7 - 3.0 450 – 2000	> 3.0 > 2000
Infiltration SAR	CE = ds/m			
0-3		>0.7	0.7 – 0.2	<0.2
3-6		>1.2	1.2 – 0.3	<0.3
6-12		>1.9	1.9 – 0.5	<0.5
12-20		>2.9	2.9 – 1.3	<1.3
20-40		>5.0	5.0 – 2.9	<2.9
Toxicité spécifique Na Irrigation de surface Aspersion	SAR me/l	<3 <3	3 – 9 >3	>9
Cl Irrigation de surface Aspersion	me/l me/l	<4 <3	4 – 10 >3	>10
B	mg/l	<0.7	0.7 – 3.0	>3.0
Problèmes divers NO ₃ HCO ₃ Aspersion	mg/l me/l	<5 <1.5	5 – 30 1.5 – 8.5	>30 >8.5
pH		Intervalle	normale 6.5-8.4	

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

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

salinité de l'eau d'irrigation. La salinité développée au niveau du sol va de paire avec celle de l'eau d'irrigation. Plus la conductivité électrolytique de l'eau d'irrigation est forte plus la teneur en Na augmente, provoquant ainsi un enrichissement net en sodium soluble. Lorsque la conductivité croît, le faciès chimique passe du type (Ca, Cl) au type (Na, Cl). Les résultats ont montré que la salinisation était la conséquence d'une irrigation avec des eaux assez concentrées en sel. Bien que dans certains endroits, les eaux ne soient pas très salées, ce sont pourtant elles qui ont donné naissance aux différentes manifestations de salinisation à cause des caractéristiques spécifiques des sols (sols argileux) (Bouzide, 2008). Les résultats ont montré que la salinisation était la conséquence d'une irrigation avec des eaux assez concentrées en sel. Bien que dans certains endroits, les eaux ne soient pas très salées, ce sont pourtant elles qui ont donné naissance aux différentes manifestations de salinisation à cause des caractéristiques spécifiques des sols (sols argileux) (Morsli, 2007).

CHAPITRE 3 : LE STRESS CHEZ LES PLANTES

3.1. Définition du stress

Le stress est défini comme étant une force ou influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner (Jones *et al.*, 1989). Selon Dutuit *et al.* (1994), le stress est un ensemble de conditions qui provoquent des changements de processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement. Plus tard, pour Hopkins (2003), le stress est toute pression dominante exercée par un paramètre, perturbant le fonctionnement habituel de la plante. Par contre, Marouf & Reynaud (2007) rapportent que le stress est l'ensemble des perturbations physiologiques ou pathologiques provoqués dans un organisme par des agents biotiques ou abiotiques.

3.2. Catégorie de stress

La plante est souvent soumise à une série de contraintes de stress abiotiques et biotiques tels que la salinité, la sécheresse, la chaleur, le froid, le stress oxydatif, l'effet des bactéries, des Champignons, des virus et des nématodes (Figure 4). Face à ces différents types de stress les plantes adoptent des systèmes d'acclimatation et de tolérance qui diffèrent en fonction de l'espèce et des conditions du milieu et qui font intervenir une large combinaison et de modification des facteurs morphologiques, physiologique, biochimique et moléculaire (Bouchoukh, 2010).

3.2.1. Le stress biotique

Un stress biotique est un stress résultant de l'action néfaste d'un organisme vivant sur un autre organisme vivant telle qu'une attaque par un pathogène. ces agents peuvent être des champignons, des bactéries, des virus, des nématodes, et des insectes. Ces pathogènes, en infectant les végétaux, vont affecter la croissance et le rendement et peuvent causer leur mort. Les maladies biotiques des plantes maraîchères incluent les bactéries, les virus et les champignons, et qui se développent à la faveur de conditions particulière (chaleur, humidité, insecte vecteur, et blessures) provoquant ainsi des pertes considérables de production variant selon le type de la culture (Fakih,2015).

3.2.2. Le stress abiotique

Le stress abiotique est défini comme l'impact négatif des facteurs non vivants sur des organismes vivants dans un environnement spécifique. Les facteurs de stress abiotique, naturels ou anthropiques, influent négativement sur la performance de la population ou la physiologie des individus (Vinebrooke *et al.*, 2004). Ils causent des dommages aux végétaux et aux animaux mais les plantes sont plus affectées du fait qu'elles dépendent des facteurs environnementaux. Divers stress abiotiques sont distingués tels que la disponibilité d'eau (sécheresse et inondation), les températures extrêmes (froid, gel, chaleur), la salinité, les carences nutritionnelles et la structure des sols etc. La salinité et la sécheresse sont les deux facteurs majeurs limitant le développement des plantes. Ils imposent aux plantes un stress osmotique qui perturbe la structure cellulaire et les fonctions physiologiques (Larcher, 2003).

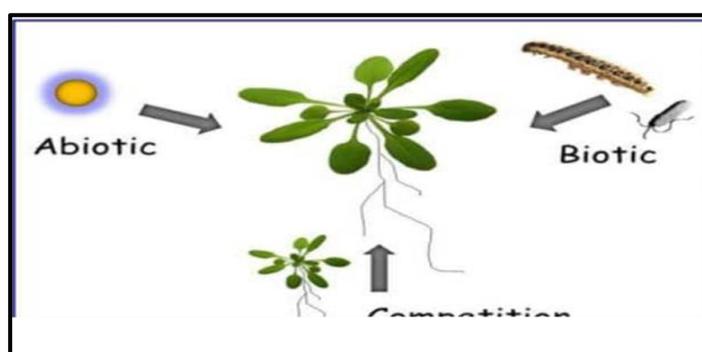


Figure 4 types de stress environnementaux et leurs effets sur la plante(Bouchoukh,2010).

3. 3. Le stress et la plante

La croissance de la plante est, à tout instant, affectée par une multitude de stress environnementaux. Les plantes ont mis en place des mécanismes propres pour percevoir et répondre à toute une série de stress 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 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).L'étude des

plantes, placées dans ces conditions, 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 et leur réponse contribue à la compréhension des facteurs qui limitent la répartition des végétaux. Enfin, en agriculture, la capacité des cultures à résister aux stress est un facteur important de la détermination du rendement (Nebors, 2008).

CHAPITRE 4 : EFFET DU STRESS SALIN SUR LES PLANTES

4.1. Le rôle des cations K^+ et Na^+ dans la plante

4.1.1. Le potassium

Le potassium est un activateur du système enzymatique (en tant que cofacteur d'enzymes) nécessaire à la photosynthèse. Il favorise la synthèse des glucides et leur migration vers les organes de réserve (bulbes et tubercules), dans toutes les conditions de stress, l'apport de K permet de corriger les perturbations éventuelles (Skiredj, 2005). Il agit comme régulateur des fonctions de croissance de la plante, ce qui explique son abondance dans les tissus jeunes, et même son départ des racines vers le sol en fin de croissance. Il est nécessaire à la synthèse des protéines, son absorption est parallèle à celle de l'azote, du moins en début de végétation (Soltner, 1986).

Il joue un rôle dans les mouvements de la turgescence comme substance osmotique, par exemple dans l'ouverture ou la fermeture des stomates, les mouvements nyctipériodiques ou l'orientation des feuilles durant la journée (Richter, 1993 ; Hopkins, 2003). Il augmenterait la résistance des végétaux à la sécheresse en limitant la transpiration (Soltner, 1986).

4.1.2. Sodium

Brownwell & Wood (1972) in Hopkins (2003), ont conclu que le sodium est généralement essentiel en tant que micro-élément chez les plantes qui possèdent une voie photosynthétique particulière (nommée voie en C_4 , mais non pour les plantes qui empruntent la voie connue sous le terme de voie en C_3). Le rôle du sodium dans le métabolisme n'est pas encore bien élucidé, mais il pourrait intervenir dans le transport du pyruvate, un intermédiaire crucial de la voie en c_4 , entre le mésophile et les cellules de la gaine péri-vasculaire.

4.2. Effet du stress salin sur les différents paramètres de la plante

La salinité est l'un des facteurs limitant pour la croissance des plantes. Les effets de la salinité sont, le dépérissement des tissus sous forme de nécroses marginales, suivi par une perte de turgescence, par une chute des feuilles et finalement par la mort de la plante (Zid, 1982). L'effet initial de la salinité, particulièrement à faible ou à moyenne concentrations, est dû à ses effets osmotiques (Munns & Termaat, 1986 ; Flowers, 2005) (Fig.5).

L'effet osmotique est le résultat de la réduction du potentiel hydrique du sol suite a une augmentation du potentiel osmotique dans la zone racinaire (Shannon, 1992 ;Levigneron *et al.*, 1995 ; Flowers, 2005).

Une forme de sécheresse physiologique survient lorsque l'ajustement osmotique n'est pas suffisant, ce qui rend de plus en plus difficile l'acquisition d'eau et de nutriments par les plantes et le maintien de la turgescence (Hopkins, 2003).

En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation des ions, particulièrement Na^+ et Cl^- (Levitt, 1980) dans le cytoplasme perturbe l'activité métabolique (Munn & Termaat, 1986 ; Haoula *et al.*, 2007).

Les effets nutritionnels surviennent lorsque l'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{++} et NO^3 (grattan et grieve, 1999 ; Levigneron *et al.*, 1995 ; Maas, 1996 ; Khan *et al.*, 1999 ; Khan·2001 ; Parida & Das, 2005 ; Haoula *et al.*, 2007).

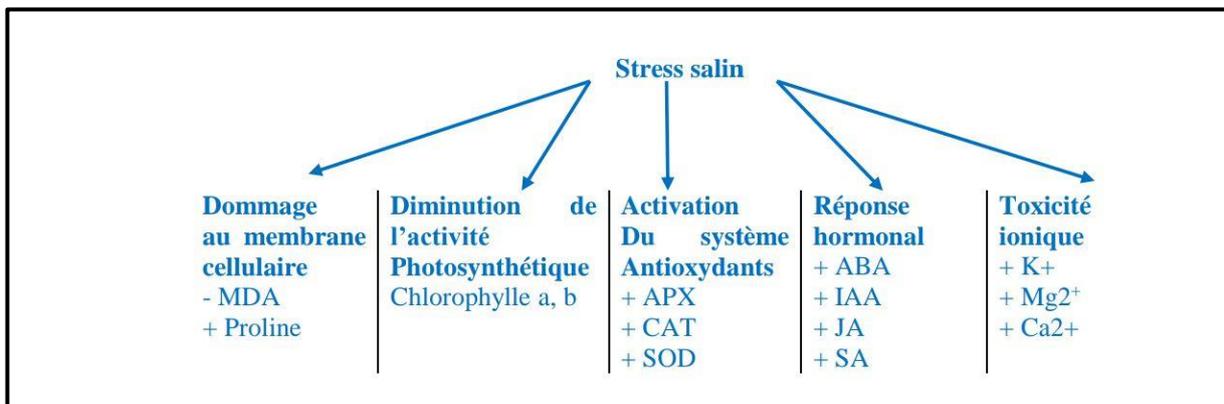


Figure 5 Effet du stress salin sur la plante (Mahjoubi, 2018)

Des études conduites par plusieurs auteurs sur différentes plantes ont montré que la capacité photosynthétique est réduite par de fortes concentrations de sels (Chaudure , 1997 ; Soussi *et al.*, 1998 ; Ali Dinar *et al.*, 1999 ; Ashraf, 2001 ; Kao *et al.*, 2001 ; Wilson *et al.*, 2006), alors que le taux de respiration augmente (Slama,2004).D'autres travaux ont rapporté que la photosynthèse n'est pas affectée par la salinité et même Stimulée par de faibles concentrations de sels (Rogers &

Noble, 1992 ; Hawkins *et Lewis*, 1993 ; Rajesh *et al.*, 1998 ; Kurban *et al.*, 1999 ; Parida *et al.*, 2004).

Le stress salin provoque une toxicité ionique & osmotique par l'augmentation du contenu intracellulaire en cation Na^+ , Ca^{2+} l'activation du système antioxydant et un changement de la balance hormonale provoque une forte diminution dans l'activité photosynthétique et une sénescence foliaire précoce(Mahjoubi, 2018).

4.2.1. Effet de la salinité sur la germination

La germination des graines est le premier stade physiologique affecté par la salinité (Fig.6). La capacité d'une graine à développer un embryon viable dépend des conditions du milieu de germination et en particulier de sa teneur en sel ; une salinité excessive réduit la vitesse de germination ainsi que la faculté germinative (Slama,2004). D'après Belkhodja & Bidai (2004), Bliss *et al.* (1986), Lachiheb *et al.* (2004) et Mâalem & Rahmoune(2009), le ralentissement de la vitesse de germination, rend les semences plus exposées aux risques du milieu. Ceci abaisse, plus au moins, le taux

de graines germées et ce en fonction de la concentration en sel du milieu. , même chez des plantes halophytes (Debez *et al.*, 2001 ; Baoji *et al.*, 2002 ; Belkhodja & Bidai, 2004 ; Rahmoune *et al.*,2008).

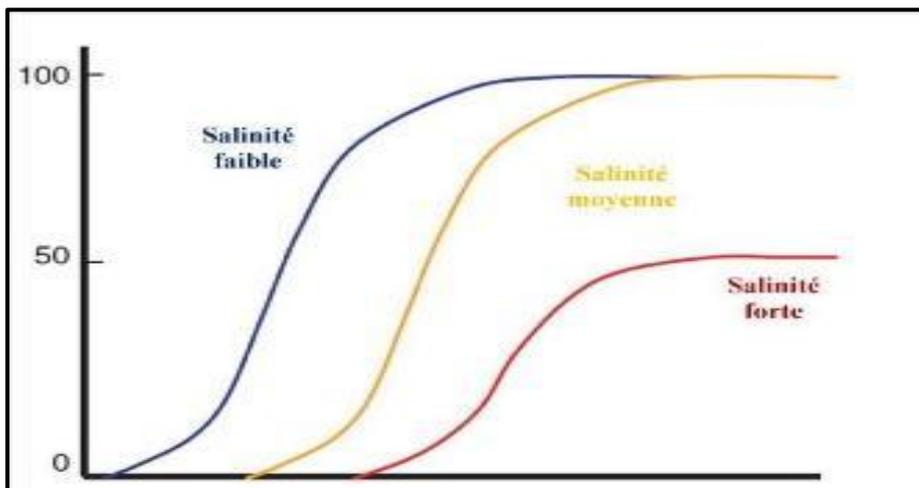


Figure 6 Diminution du pourcentage de germination avec l'augmentation de la salinité(Lauchli & Grattan, 2007).

4.2.2. Effet de la salinité sur l'eau dans la plante

La présence de quantités importantes de sels dans la solution du sol abaisse le potentiel hydrique et réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes et ne peuvent développer (Tromblon, 2000).

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

4.2.3. Effet de la salinité sur les enzymes antioxydants

Les plantes produisent des espèces d'oxygène actif nommés ROS (radicaux superoxyde (O_2), peroxyde d'hydrogène (H_2O_2), et radicaux hydroxyl (OH) en réponse à un stress salin (Hernandez et al., 2001). 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 la superoxyde dismutase (SOD), la catalase, et des enzymes du cycle ascorbate-glutathion.

4.2.4. 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 augmente leur hydrolyse plantes (Tremblin & Coudret, 1986). La présence du sel en forte concentration inhibe principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse (Tremblin & Coudret, 1986) par l'imposition d'un stress osmotique (Hayashi & 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; il y a complètement arrêt de l'assimilation du carbone et du processus photosynthétique. Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique au niveau des membranes cellulaires, affectant ainsi leur stabilité (Alem & Amri., 2005).

4.2.5.Effet de la salinité sur les processus physiologiques

L'acquisition de nutriments minéraux, comme le potassium, les nitrates ou le calcium est également réduite. 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 fini leur croissance, et l'organisme tout entier risque de dépérir assez vite (Baba Sidi-Kaci, 2010).

La concentration en sel excède le niveau de tolérance de la plante, l'activité physiologique des feuilles est affectée en réduisant la photosynthèse, qui est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire responsable de la fermeture des stomates. La diffusion du CO_2 à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation au niveau des chloroplastes diminue ; les exposant ainsi à une énergie d'excitation excessive perturbant le transport des électrons. Par conséquent la glycolyse, le cycle de Krebs, l'assimilation de l'azote et de nombreuses voies métaboliques sont perturbées (Price & Hendry, 1991 ; Allen, 1995 ; Alem *et al.*, 2002 ; Jajoo, 2013). L'effet de la salinité sur la physiologie de la plante se fait sur deux paramètres : sur les échanges gazeux et la photosynthèse et sur la reproduction (Lahouelhabiba, 2013)

4.2.6.Effet de la salinité sur la toxicité en ions spécifiques

La toxicité des ions spécifiques résulte de l'absorption excessive de certains ions et conduit à une baisse de la croissance de la plante (Chinnusamy *et al.*, 2005). Les ions toxiques en stress salin sont habituellement le sodium (Na^+), le chlorure (Cl^-) et le sulfate (SO_4^{2-}) (Gnassemi *et al.*, 2005 ; Munns & Tester, 2008).

Le déséquilibre ionique se produit dans les cellules suite à l'accumulation excessive des ions Na^+ , Cl^- et à la réduction de l'assimilation d'autres ions nécessaires à la plante. Au-delà de certains seuils toxiques entraîne des modifications de la perméabilité membranaire, des inhibitions enzymatiques et de manière subséquente un dysfonctionnement métabolique général (Hopkins & Evrard, 2003). Il a également été montré que les fortes concentrations en NaCl peuvent inhiber les systèmes de transport et d'absorption des ions notamment K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , NO_3^- , PO_4^{4-} et SO_4^{2-} (Zid et Grignon, 1991 ; Levigneron *et al.*, 1995 ; Zhu, 2007 ; Manchanda & Gag, 2008).

4.2.7. Effet de la salinité sur les échanges gazeux et la photosynthèse

La salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale (Alem *et al.*, 2002). Selon Munns & Tester (2008), la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui est à l'origine de la fermeture des stomates (Price & Hendry, 1991 ; Allen, 1995), qui cause la réduction de la conductance stomatique (Orcutt & Nilsen, 2000). la diffusion du CO_2 à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation au niveau des chloroplastes diminue (Graam & Boyer, 1990), par conséquent la régénération du rubp (ribulose biphosphate) devient limitée (Gimenez *et al.*, 1992). le contrôle et la régulation stomatique fait intervenir la turgescence cellulaire mais également des signaux racinaires, comme l'acide abscissique (aba) (Zhang & Davies, 1989 ; Davis *et al.*, 1994).

4.2.8. Effet de la salinité sur la croissance

Sur la croissance des plantes plusieurs recherches ont rapporté une réduction de croissance de plantes en raison de la salinité, (Romero-Aranda *et al.*, 2001).

Cependant, il existe des différences dans la tolérance au stress salin entre les espèces et les cultivars (Ommamie, 2005)..Une baisse des poids de matières fraîche et sèche est aussi démontrée (Rush *et al.*, 1981). Cette inhibition de la croissance des plantes se fait selon trois manières principales : par une toxicité ionique (surtout de Na^+ et Cl^-), un stress osmotique et une perturbation nutritionnelle (Greenway & Munns, 1980 ; Levigneron *et al.*, 1995). Une réduction de la croissance de la partie aérienne est la première réponse observée des glycophytes à l'augmentation de la salinité au niveau des racines ; il s'agit de l'effet destructif le plus significatif en cas d'une exposition prolongée à la salinité.

Les effets néfastes de la salinité élevée sur les plantes se manifestent par de la diminution de la productivité et même la mort des plantes (Miller *et al.*, 2006). Ces effets négatives dépendent à la fois de leur stade de développement (Munns *et al.*, 1995), de l'espèce, du cultivar, du génotype (Cor-Nillon & Palloix, 1997) et de la durée de l'exposition aux contraintes salines (Munns & Termaat, 1986). Une forte concentration en NaCl dans le sol est perçue par certaines plantes comme une sécheresse physiologique (Munns & Termaat, 1986).

4.2.9. Effet de salinité sur le rendement

Le rendement des plantes diminue nettement avec l'augmentation de la concentration en sels, et ce degré de sensibilité diffère d'une espèce à autre (Aslam *et al.*, 2004). L'effet inhibiteur majeur de la salinité sur la croissance et le rendement des plantes est attribué à : l'effet osmotique, toxicité des ions et le déséquilibre nutritionnel provoquant une réduction de l'efficacité photosynthétique et d'autres désordres physiologiques. Les espèces végétales diffèrent dans leur réponse au stress salin et leur productivité (rendement) (Aslam *et al.*, 2004) la comparaison des rendements des génotypes sous différents niveaux de salinité est clairement essentielle pour définir leur potentiel génétique mais aussi pour étudier les raisons de leur bon rendement (Benchamma & Bouacha, 2019)

CHAPITRE 5 : MECANISMES DE RESISTANCE DES PLANTES AU STRESS SALIN

5.1. Degrés de tolérance des plantes aux stress salin

La tolérance aux sels est un phénomène complexe qui varie avec les espèces, les variétés et le stade de développement des plantes. Les plantes les plus tolérantes sont appelées halophytes (Bougendre, 1973) . Ces dernières ont une aptitude à développer des pressions osmotiques suffisamment élevées pour compenser la pression osmotique de la solution du milieu extérieur (Bougendre, 1973). Par contre de nombreuses plantes sont sensibles aux sels et leur croissance est affectée par le niveau de salinité du sol (tableau 8). Il est à noter que la tolérance au sel est habituellement déterminée en termes de croissance ou de rendement (Maas *et al.*, 1977 ; Shannon, 1984 in Zaman Allah *et al.*, 2009).

Tableau 5 Seuil de résistance de quelques plantes à l'extrait de pâte saturée (Boulaine, 1974).

CE ds/m	Plantes
25	Palmier dattier
12	Orge, betterave à sucre, artichaut
8	Betterave fourragère, chou, asperge, épinard, sorgho, avoine, luzerne, soja
4	Figuier, olivier, vigne, tomate, laitue, pomme de terre, oignon, carotte, melon
3	Radis, céleri, haricot
2	Pommier, poirier, prunier, amandier, pêcher, abricotier, framboisier
1.5	Fraisier

5.2. Modes de résistance des plantes au stress salin

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 (Levit, 1980)(Fig.7).

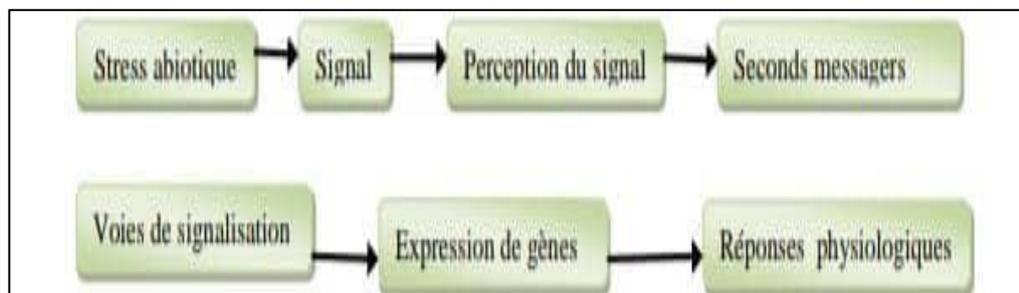


Figure 7 Schéma du principe d'adaptation et de résistance des plantes face aux stress abiotiques (Levitt, 1980).

Les effets néfastes de la salinité sur la croissance des plantes sont généralement associés au faible potentiels osmotiques de la solution du sol et au niveau élevé de toxicité du sodium (et du chlore pour certaines espèces) qui provoquent des perturbations multiples sur le métabolisme, la croissance et le développement des plantes aux niveaux moléculaire, biochimique et physiologique (Munns, 2006). Selon leur tolérance à la salinité, la plupart des espèces d'intérêt agronomiques sont rangées dans le groupe des glycophytes ; plantes sensibles au sel, parce que leur croissance est diminuée en présence du sel dans le sol, à l'inverse un certain nombre de plantes dites halophytes sont naturellement tolérante au sel et pousse bien voire mieux dans un environnement salin qu'en condition normale (Levigneron *et al.*, 1995).

La capacité des halophytes à résister au stress oxydatif généré par la salinité est une caractéristique distincte qui est contrôlée par des mécanismes de résistance physiologique et biochimique tels que le maintien de l'homéostasie ionique, l'accumulation d'osmolytes, la défense antioxydant et la régulation réactive des espèces d'oxygène ainsi que la compartimentation des toxiques ions dans le vacuole (Wang *et al.*, 2004a ; Flowers *et al.*, 2015). L'adaptation aux environnements salins par des halophytes peut prendre la forme de tolérance de sel (*halotolérance*) ou d'éviter le sel. Parmi les stratégies utilisées par les halophytes, pour faire face aux stress salin, c'est minimiser l'entrée du sel et réduire sa concentration dans le cytoplasme et la paroi cellulaire, en réduisant le taux du Na et du Cl; en les incluant dans la vacuole, afin d'éviter la toxicité cellulaire (Munns, 2002).

Les glycophytes les plus sensibles au sel restreignent le transport de Na⁺ dans les parties aériennes et maintiennent de la sorte des niveaux de sel relativement bas dans les tissus photosynthétiques (Telles *et al.*, 2007). Les glycophytes sont des plantes apparemment dépourvues

de bases génétiques pour une tolérance au sel, elles englobent la majorité des cultures végétales (Glenn & Brown, 1999). Les plantes exposées à des conditions salines, subissent des désordres nutritionnels (Grattan & Grieve, 1992). Selon Park *et al.* (2002), cette sensibilité est due à leur incapacité d'éliminer efficacement les ions Na^+ du cytoplasme. La croissance et le développement des glycophytes sont affectés dans les sols salins, en raison de la présence en excès de sels solubles, essentiellement du cation sodium (Na^+). Les symptômes visuels des dommages causés par le sel sont la chlorose de la pointe des feuilles, suivie de leur brûlure, du brunissement et de la mort des feuilles. On observe alors une croissance réduite des plantes, des racines qui ne se développent plus, une stérilité et une production de graines (Munns & Tester, 2008). Les modes de résistance sont comme suit :

5.2.1. Adaptation morphologique

La salinité est connue pour affecter de nombreux aspects des plantes et d'induire de nombreux changements dans leur morphologie. La morphologie et la structure des halophytes sont adaptées dans le sens de l'économie d'eau ; les caractères liés à cette adaptation sont une cuticule épaisse, des stomates rares (Heller *et al.*, 1998) et des cellules à grandes vacuoles permettant de stocker le NaCl (Garza *et al.*, 2015). Ces adaptations jouent un rôle crucial dans la conservation de l'eau pour la croissance des plantes vivant dans des milieux salins. Une augmentation de la succulence des feuilles ou des tiges est très répandue chez les halophiles, comme les feuilles de *Suaeda* qui deviennent épaisses ou cylindriques, permettant de mitiger les effets toxiques et osmotiques des ions par dilution (Dajic, 2006). Une diminution du rapport en biomasse « appareil racinaire/appareil aérien » peut se produire chez les halophytes (Orcutt & Nielsen, 2000). de nombreuses halophytes présentent un rapide turnover de leurs feuilles, les plus jeunes feuilles remplacent les plus anciennes, dans lesquelles est stocké l'excédent de sels (Breckle, 2002).

5.2.2. Adaptation anatomique

La salinité induit des modifications anatomiques dans les racines, les tiges et les feuilles chez les xéro-halophytes ; à savoir la réduction des stomates, le nombre de cellules de l'épiderme, ainsi que l'épaisseur de la feuille et la distance entre les faisceaux vasculaires (Boughalleb *et al.*, 2009). D'autres auteurs ont observé une augmentation de l'épaisseur de la feuille, du nombre de cellules épidermiques et de stomates (Vijayan *et al.*, 2008). Des changements structurels peuvent

également être observés, comme un changement du diamètre et du nombre de vaisseaux, la présence de tissus de soutien et l'abondance du parenchyme aquifère (Hacke *et al.*, 2006). Lors d'un stress salin, les halophytes sont capables de compartimenter les ions Na⁺ et Cl⁻ au niveau vacuolaire. d'autres mettent en place des structures particulières, telles que des poils excréteurs ou des glandes sécrétrices de sels, permettant d'isoler physiologiquement les sels des tissus photosynthétiques (Breckle., 2002).

5.2.3. Adaptation moléculaire

Dans l'avenir, les stratégies d'améliorations des plantes cultivées sont basées sur l'utilisation des techniques des marqueurs moléculaires et des biotechnologies, et peuvent être utilisées conjointement avec des méthodes traditionnelles d'amélioration (Ribaut & Hoisington, 1998). Les marqueurs de l'ADN devraient rehausser le taux de la récupération de génome récurrent isogonique après hybridation et faciliter l'introgession des locus quantitatifs (quantitative trait locus) nécessaires à augmenter la tolérance au stress. Les techniques des marqueurs moléculaires ont été utilisées avec succès pour transférer les allèles d'intérêt de parents sauvages dans les cultivars commerciaux (Tanksley & Mccouch, 1997). Les ressources de base pour la biotechnologie sont des déterminants génétiques de la tolérance au sel et la stabilité du rendement. La mise en œuvre des stratégies de la biotechnologie pour accomplir ce but exige que les efforts de la recherche substantiel soient concentrés à identifier les facteurs de la tolérance du sel et les composants régulateurs qui les contrôlent pendant les phases de stress (Hasegawa *et al.*, 2000).

5.2.4. Adaptation physiologique et biochimique

La recherche sur la tolérance physiologique aux stress a pour objectif d'améliorer les capacités génétiques de production des plantes sous des conditions qui sont, en générale, moins favorables à l'expression du potentiel. Cette approche se justifie par le fait que certaines variétés sont plus tolérantes aux stress que d'autres (Benderradji, 2012).

Le comportement caractéristique des variétés populations locales, comparativement aux variétés améliorées, illustre bien cette situation et il est souvent avancé comme exemple (Tardieu, 2003).

La plante pour survivre à divers stress hydrique, salin ou thermique doit réaliser des réactions sous forme d'accumulation de composés organiques. le végétal confronté à une

contrainte qui est la salinité accumule des sucres et composés azotés ainsi que l'ajustement osmotique qui est une forme d'adaptation (goals, 1978 in Ayadi *et al.*, 1979). L'aba hormone qui est synthétisée dans ces situations de stress salin, cette dernière contribue à la fermeture des stomates, stimule l'assimilation, l'absorption d'eau par les racines et la formation des racines latérales et des poils absorbants (Ayadi *et al.*, 1979).

Certaines plantes, algues marines, bactéries et autres organismes accumulent des composés organiques tels que les sucres et les acides aminés à la réponse au stress osmotique (Yancey *et al.*, 1982). Ces composés sont appelés des solutés compatibles (Johnson *et al.*, 1968) parce que à hautes concentrations ils n'inhibent pas l'activité enzymatique. ils protègent aussi les enzymes et les membranes contre les effets nuisibles des déséquilibres ioniques tels que le Na^+ et le Cl^- (Yancey *et al.*, 1982).

5.2.5.L'accumulation

La plante capte le sel, qui parvient aux feuilles avec l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vacuoles. Le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux. cette accumulation d'ions dans la vacuole permet à la fois d'ajuster son potentiel osmotique et de détoxifier le cytoplasme ou s'effectuent les processus de métabolisme cellulaire (Koyro, 2006). Les plantes tolérantes accumulent Na^+ dans leurs feuilles, mais non les plantes sensibles (Shannon, 1998). Les racines des plantes sensibles sont moins efficaces pour introduire Na^+ dans le xylème et plus efficaces pour le retenir dans leurs tissus, que celles des plantes tolérantes (Slama, 1986). Selon Lessani (1969) et Slama (1974), les plantes tolérantes accumulent le sodium dans leurs feuilles, afin de l'utiliser pour l'ajustement osmotique dans leurs organes.

5.2.6.L'ajustement osmotique

Selon El Midaoui *et al.* (1999) l'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs qui peuvent être des ions tels que les K^+ , Na^+ et Cl^- ou des composés organiques tels les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructanes) et certains aminoacides (proline, glycine bêtaïne, β -alanine bêtaïne, proline bêtaïne) conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence. L'accumulation de ces composés a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la contrainte saline. Elle varie dans de larges proportions suivant l'espèce, le stade de développement et le degré

de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés (acides aminés libres, proline et sucres solubles totaux) entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes. Ce phénomène permet le maintien de nombreuses fonctions physiologique (photosynthèse, transpiration, croissance...) et peut intervenir à tous les stades du développement du végétal. Il permet une protection des membranes et des systèmes enzymatiques surtout dans les organes jeunes, la proline semblant jouer un rôle dans le maintien des pressions cytosolvacuole et de régulation du pH (Hassani *et al.*, 2008).

5.2.7.La compartimentation vacuolaire

Elle permet d'évacuer les ions Na^+ du cytoplasme en excès vers la vacuole afin d'éviter leur effet toxique et inhibiteur des processus enzymatiques qui est assuré par l'action des antiports vacuolaire sodium/proton (Na^+/h^+) dont l'énergie est fournie par les pompes à protons atpases (h^+ -adénosine triphosphatases) et PPases (H^+ -pyrophosphatases) vacuolaires (Gaxiola *et al.*, 2002 ; Horie et Schroeder 2004 ; Yamaguchi & Blumwald, 2006).

5.2.8.L'exclusion

La plante empêche le sel de remonter dans la sève jusqu'aux feuilles.La présence de l'endoderme dans les racines ainsi que le transport sélectif, leur permet d'absorber les ions nutritifs utiles et de ré excréter les ions Na^+ (Genoux *et al.*, 2000).

Quelques halophytes peuvent empêcher l'absorption excessive du sel par son exclusion,

Du sel au niveau des racines et de la partie inférieure de la tige. Dans ce cadre, la sortie de Na^+ des vaisseaux du xylème en échange d'une entrée de K^+ venant des cellules parenchymateuses du xylème et du parenchyme avoisinant, joue un rôle important dans la tige et les racines (Luttge *et al.*, 2002).

5.2.9.L'inclusion

Un second mécanisme de tolérance au sel, c'est la captation de sel, qui parvient aux feuilles, au même titre que l'eau ; le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de « pompes » moléculaires. elles utilisent, en effet, le sel pour ajuster la pression osmotique de leurs cellules est, ainsi, l'isoler des constituants cellulaires vitaux (Levit,1980 ; Genoux *et al.*,1991)(Fig.8)..

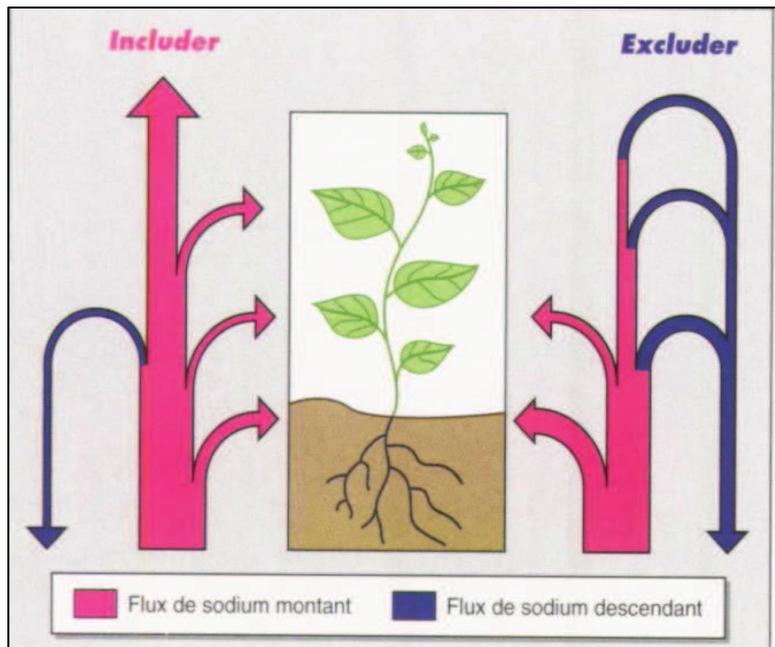


Figure 8 Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les Plantes de type incluser ou excluser (Levignon et al.,1995).

5.2.10. La recirculation

Récemment, Berthomieu *et al.* (2003) ont montré chez *arabidopsis thaliana* une troisième stratégie à l'intermédiaire entre l'exclusion et l'inclusion, la recirculation. Le Na^+ est absorbé et parvient jusqu'aux parties aériennes, mais il est aussitôt repompé et reconduit par les vaisseaux du xylème vers les racines, qui peuvent excréter les ions à l'extérieur.

5.3. Autres mécanismes de résistance

5.3.1. Contrôle de l'absorption ionique par les racines

Les plantes régulent l'équilibre ionique pour maintenir le métabolisme normal par exemple, l'absorption et la translocation d'ions toxiques tels que Na^+ et Cl^- sont limitées, et l'absorption d'ions métaboliquement nécessaires tels que K^+ est maintenue ou augmentée. Ils le font en régulant l'expression et l'activité des transporteurs K^+ et Na^+ et de la pompe H^+ qui génèrent la force motrice du transport ionique (Zhu *et al.*, 1993). Il est bien documenté qu'un degré plus élevé de tolérance au sel chez les plantes est associé à un système plus efficace pour l'absorption sélective de K^+ sur Na^+ (Noble & Rogers, 1992).

5.3.2. Modifications de la capacité photosynthétique

La réduction des taux de photosynthèse chez les plantes sous stress salin est principalement due à la réduction du potentiel hydrique. à cet effet, certaines plantes, comme l'halophyte facultatif (*Mesembryanthemum crystallinum*), déplacent leur mode C3 de photosynthèse vers cam (Cushman *et al.*, 1989). Ce changement permet à la plante de réduire la perte d'eau en ouvrant les stomates la nuit. dans les espèces tolérantes au sel comme *Atriplex lentiformis*, on observe un déplacement de la voie C3 vers C4 en réponse à la salinité (Zhu & Meinzer, 1999).

5.3.3 Induction des hormones végétales

Les effets inhibiteurs du NaCl sur la photosynthèse, la croissance et la translocation des assimilés se sont révélés être atténués par aba qui agit sur l'ouverture et la fermeture des stomates (Grondin *et al.*, 2015). Il existe également des preuves de l'implication de l'aba dans la phosphorylation/ réversible des protéines, via des kinases de type mapk (mitogen activated protein kinase), ou cdpk (kinases Ca²⁺dépendantes) et des phosphates (Kroniewicz, 2011).

L'augmentation de l'absorption de Ca⁺⁺ est associée à l'élévation de l'aba sous stress salin et contribue ainsi à l'entretien de l'intégrité membranaire, ce qui permet aux plantes de réguler l'absorption et le transport à des niveaux élevés de salinité externe à plus long terme (Chen *et al.*, 2001). L'aba réduit la libération de l'éthylène et provoque l'abscission des feuilles probablement en diminuant l'accumulation d'ions cltoxiques dans les feuilles (Gomez-Cadenas *et al.*, 2002)

5.3.4. Induction des enzymes antioxydants

Le stress salin est complexe et implique un déficit hydrique à cause des effets osmotiques sur une large variété d'activités métaboliques (Cheeseman, 1988). Ce déficit hydrique conduit à la formation des espèces réactives d'oxygène (ROS) comme le superoxyde, le peroxyde d'hydrogène (H₂O₂), le radical hydroxyle (O-H) (Eltner, 1987). Les espèces d'oxygènes cytotoxiques activées peuvent perturber sérieusement le métabolisme à travers un dommage oxydatif des lipides, des protéines ou des acides nucléiques (Linn, 1988). Les plantes se défendent contre ces espèces réactives de l'oxygène avec l'induction des activités de certaines enzymes antioxydants comme la catalase, peroxydase, glutathion réductase et le superoxydedismutase ce qui élimine les ERO (Fig.9).

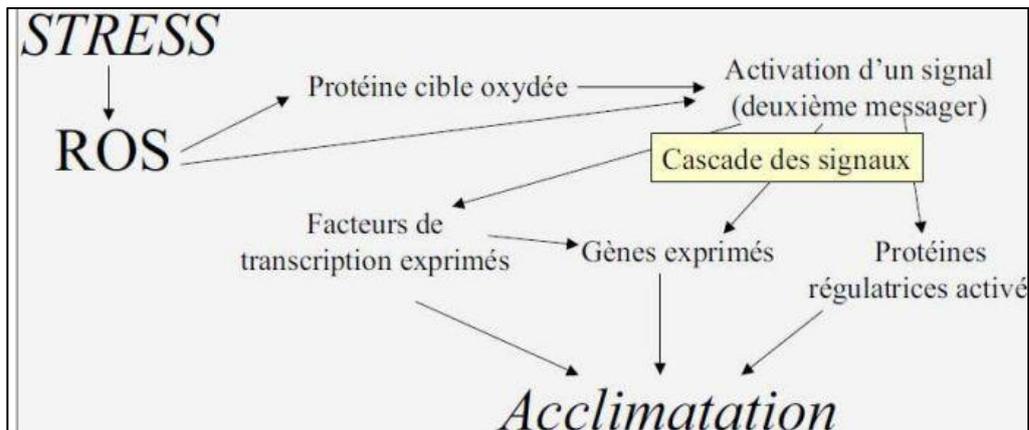


Figure9 Stress et systèmes antioxydants (Laloi, 2010).

5.3.5. Les polyphénols

Les polyphénols constituent un groupe de substances variées et ubiquistes (Hopkins, 2003 ; George *et al.*, 2005). Chez les plantes, la synthèse et l'accumulation des polyphénols est généralement stimulées en tant que réponse des stress tel que la salinité (Nacz & Shahidi, 2004 ; Dixon et Paiva, 1995 ; Navarro *et al.*, 2006). Les composés phénoliques participent dans le processus de défense contre les ROS (espèces réactives à l'oxygène) qui sont produites lors du métabolisme photosynthétique établie sous les stress environnementaux (Sreenivasulu *et al.*, 2000). L'augmentation de la concentration des polyphénols dans les tissus est une réponse de l'augmentation de la salinité indique l'induction du métabolisme secondaire qui est une méthode de défense adoptée par les plantes face au stress salin mais réduit la production de la biomasse (Kate, 2008 ; De Abreu & Mazzafra, 2005).

5.3.6. Biosynthèse de solutés compatibles

Pour adapter l'équilibre ionique dans la vacuole, le cytoplasme accumule des composés de petite masse moléculaire nommés solutés compatibles parce qu'ils n'interfèrent pas avec les réactions normales biochimiques (Zhifang & Loescher, 2003 in Parida & Das, 2005), en revanche il remplace l'eau dans les réactions chimiques. ces solutés compatibles comprennent principalement la proline (Singh *et al.*, 2000 in Parida et Das, 2005), la glycine bêtaïne (Wang et Nil, 2000 in Parida et Das, 2005), les sucres (Pilon-Smits *et al.*, 1995 in Parida & Das, 2005) et les

polyols (Bohnert *et al.*, 1995 Parida & Das, 2005). Les polyols sont classifiés comme acycliques (mannitol) et cycliques(pinitol). Le mannitol, un sucre qui sert comme soluté soluble pour faire face au stress salin, est synthétisé via l'action du mannose-6-phosphate réductase (m6pr) chez le céleri (Zhuang & Loescher, 2003 in Parida et Das, 2005). Les polyols agissent en deux manières qui sont difficile à séparer : ce sont l'ajustement osmotique et osmoprotection. Dans l'ajustement osmotique, ils agissent comme des osmolytes pour faciliter la rétention del'eau dans le cytoplasme et permettant la séquestration du NaCl à la vacuole ou l'apoplaste.

5.3.7.Signalisation cellulaire

La signalisation du stress peut être de deux origines soit liées aux ions spécifiques du sel qui est la plus probable ou leur effet osmotique qui active la synthèse de l'acide abscissique (aba) induit la transcription du gène atnhx1 qui code pour la synthèse des transporteurs vacuolaires qui permet la séquestration de ions Na^+ (Shi & Zhu, 2002). Les ions Na^+ extracellulaire peuvent être détectés soit par un récepteur membranaire (de protéines membranaires) ou par des enzymes sensibles aux ions Na^+ cytoplasmique. Les protéines membranaires Na^+/if^+ antiport peut être un capteur possible de Na^+ sos1 (Shi *et al.*, 2000) ainsi que transporteur (Chamekh,2010) (Fig.10).

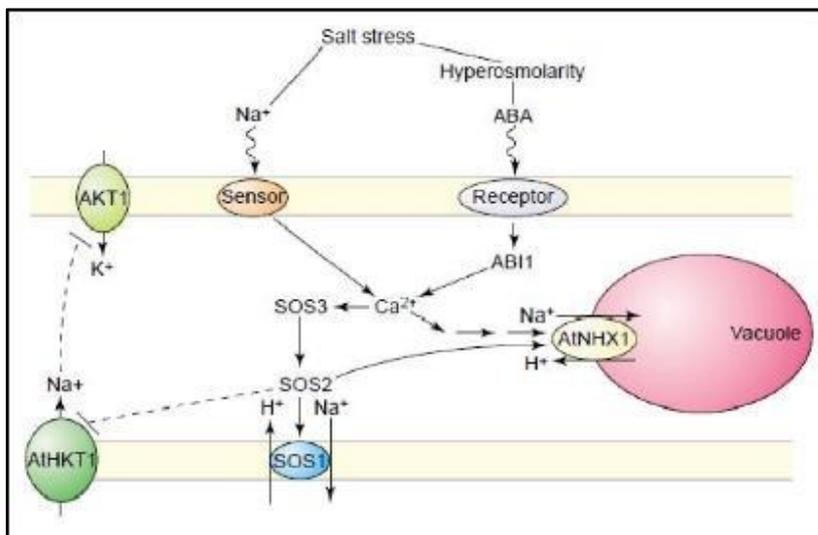


Figure 10 Signalisation cellulaire du stress salin (Zhu, 2003)

CONCLUSION GENERALE

La salinisation est considérée comme l'un des principaux problèmes qui menacent l'agriculture dans différentes parties du monde, en particulier les régions arides et semi-arides. Il a des effets négatifs sur les cultures agricoles, en particulier sur les propriétés du sol qui est à l'origine de la croissance des plantes, car de nombreuses recherches scientifiques montrent que cette dernière affecte tous les aspects de la plante, y compris la croissance, la croissance végétative et la reproduction.

Les plantes ont développé plusieurs stratégies pour s'adapter face à une salinité excessive, et cela ne suffit pas car c'est devenu une menace pour le développement agricole durable, il existe donc des solutions pour se débarrasser de la salinité, notamment ; faire attention à la qualité des eaux usées, effectuer le processus de lavage du sol, ajouter des engrais organiques, irriguer abondamment et cultiver ce que l'on appelle des plantes salines.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ABDELHAFID Youcef,2009** : Cartographie de la salinité des sols par induction électromagnétique Cas de la zone est du périmètre irrigué de la Mina .thèse E.N.S.A , Alger pp16
- ABDEL-KADER DZ. ;SALEHAL A.,2002-** Protection induced by external Ca⁺⁺ application On praline accumulation ,ion balance ,photosynthetic pigment,ABA concentration and Protein of mustard seedlings (*Sinapsis alba* L.) Under salinity stress. Egyptain Journal of Biology.4:14-22.
- AKRAM NA., ASHRAF M., AL-QURAINY F., 2012-** Aminolevulinic acid-induced regulation in some Key physiological attributes and activities of antioxidant enzymes in sunflower (*Helianthus annuus* L.) Under saline regimes. *Sci Hort*, 142: 143-8.
- AKRAM, M., HUSSAIN M., AKHTAR S., RASUL E., 2002-** Impact of NaCl salinity on yield Components of some wheat accessions/varieties. *International Journal of Agriculture & Biology*.
- ALEM C., AMRI A., 2005** - Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la Salinité chez l'orge. *Biology and Biotechnology*, 4.1 : 20-31
- ALEM C., LABHILILI M., BRAHIMI K., JLIBENE M., NASRALLAH N., AND FILALI-MALTOUF A., 2002-**Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. *C. R. Biologies*, 325:1097-1109
- ALI-DINAR H. M., EBERT G. And LÜDDERS P., 1999** - Growth, Chlorophyll Content,Photosynthesis and Water Relations in Guava (*Psidium guajava* L.) Under salinityand Diffèrent Nitrogen Supply. *Gartenbauwissenschaft*, 64 (2) : 54–59.
- ALLEN, R. D. (1995)** - Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiology*, 107(4), 1049.
- ANSLI R.,2018** -Effet de stress salin sur la germination et croissance De l'espèce *Oudneya africana* Mémoire master en sciences de la nature Ouargla. p 5.
- ASHRAF M., 2001** - Relationships between growth and gas exchange characteristics In some Salt tolérant amphidiploïdes Brassica species in relation to their diploid parents. *Environ. Exp. Bot.*, 45 : 155-163.
- ASHRAF M., 2009-** Biotechnological approach of improving plant salt tolerance using Antioxidants as markers. *Biotechnol Adv*, 27:84-93.
- ASHRAF MA, ASHRAF M, ALI Q.,2010-** Response of two genetically diverse wheatcultivars

- to salt Stress at different growth stages : leaf lipid peroxidation and phenolic contents. Pak. J. Bot, 42:559-566.
- ASLAM M., TRAVIS RL AND RAIN D.W., 2001** - Le improvement of the activity of nitrate Réductase and the metabolic nitrate concentration by sulfoximine of the methio- nine in the Barley enraccine.Science of plants ; 161 : 133-142.
- AUBERT G., 1978**-Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales de l'i.N.A El-Harrach, VI, 1 : 195.
- AYADLA et al ; 1979** - échange ioniques cellulaire cas des plantes en milieu salé et rôle des Parois cellulaire, physiologie Vgls Vol ED caulier paire .90 pp.
- AYERS R.S, WESTCOT D.W., 1985**-Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and Drainage paper 29. 174P. Rome, Italy
- AYERS R.S., 1976** -Aspects de salinité et de la qualité de l'eau de l'irrigation goutte à goutte. Annales INA El-Harrach VI, 3, 109-113.
- AZRI F. ET BENROUINA H. ,2008** - Effet de stress salin sur les Pigments photorécepteurs chez deux halophytes *Atriplex halimus* *Atriplex halimus* *iplex halimus* et *Atriplex canescens* *Atriplex canes*. Mémoire. D'Etudes Supérieures en Biologie. OUARGLA. p24.
- BABA S. S., 2010** - Effet du stress salin sur quelques paramètres Phoenologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'*Atriplex* en vu d'unevalorisation agronomique, thèse de magister, université Kasdi Merbah Ouargla, pp10-14.
- BADRAOUI, M., SOUDI, B., ET FARHAT, A.,1998** - Variation de la qualité des sols : Une base Pour évaluer la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation par pivot au Maroc. Institue Agronomique et Vétérinaire Hassan II, Rabat, Maroc, pp.227-234.
- BAYUELO-JIMÉNEZ J., CRAIG R., LYNCH J.P., 2002**-Salinity tolerance of *Phaseolus* species during germination and early seedling growth.Crop Sci., 42 : 2184-2192
- BELKHODJA, M. ET BIDAI, Y. 2004**- Réponse des graines d'*Atriplexhalimus* L. A La salinité au stade de la germination. Sécheresse ; 15 (4) : 331-335.
- BEN AHMED, C., BEN ROUINA, B., SENSOY, S., BOUKHRISS, M. et BEN ABDULLAH, F. 2010.** Exogenous proline effects on photosynthetic performance and antioxidant defense System of young olive tree. Journal of Agricultural and Food Chemistry 58(7) : 4216-4222.
- BENCHAMMA H. ET BOUACHAR .2019**–Ecophysiologie de la reponse des plantes du haricot *Phasiolus vulgaris* L variete contender au stress salin pp17

- BERKA S., AÏD F., 2009**-Réponses physiologiques des plants d'Argania spinosa (L.) Skeels Soumis à un déficit hydrique édaphique. Sécheresse, vol. 20(3), p. 296-302.
- BERNSTEIN L., 1963**-Osmotic adjustment of plants to saline media. II. Dynamic phase.Amer.J.Bot. 50: 360-370.
- BERTHOMIEU P., CONÉJÉRO G., NUBLAT A., BRACKENBURY W.J., LAM-BERT C.,SAVIO C., UOZUMI N., OIKI S., YAMADA K., CELLIER F., GOSTI F., SIMONNEAU T., ESSAH P A., TESTER M., VERY A.A., SENTENAC H. And CASSE F., 2003.** Functional analysis of *athkt1* in Arabidopsis shows that *Na*⁺ recirculation by the Phloem is crucial for salt tolerance. Embo Journal 22 : 2004-2014.
- BERTRAND P., 2008.** Implication du stress oxydatif dans la toxicité du plomb sur une plante Modèle *Vicia faba*. Thèse de doctorat. Université de Toulouse. 284 pages.
- BORIBOONKASET T., THEERAWITAYA C., YAMADA N., PICHAKUM A., SUPAIBULWATANA K., CHAUM S., TAKABE T., KIRDMANEE C., 2013-** - Regulation of some metabolism-related genes, starcric And soluble Sugar contents, Photosynthetic activities and yield attributes of two Contrasting rice genotypes subjected to salt stress. Protoplasma, vol. 250 (5) :1157-1167.
- BOUALLA et al. 2012** -Origine de la salinisation des sols de la plaine dem'léta (bordure sud du bassin sebkha Oran).Journal of Applied Biosciences 53 : 3787 – 3796 pp 3387
- BOUCHIKH YAMINA., 2007-2008.** Recherche des marqueurs physiologiques, bio-Chimiques et les composantes du rendement chez le haricot sous stress salin .Thèse nouveau Le diplôme de magister. Universite d'Oran es senia.
- BOUGENDRE A., 1973** Utilisation des eaux salées pour l'irrigation. Mémoire ESAT.
- BOUGHALLEB, F., DENDEN M.ET TIBA BEN B., 2009** - Anatomical changes induced by Increasing NaCl salinity in three fodder shrubs, *Nitraria retusa* , *Atriplex halimus* and *Medicago arborea*. Acta phisiol .Plant , 31 : 947-960.
- BOUKORTT, Y., 2016** - Effets de la salinité sur les caractéristiques physico-chimiques d'un sol du périmètre du Bas Cheliff et surle comportement écophysiologie de la courgette (*Cucurbitapepo*).pp13.
- BOULAINÉ J., 1974-** Hydropédologie. ITA. 121P
- Breckle S.W., 2002**-Salinity, halophytes and salt affected natural ecosystems. In Salinity : Environments-Plants- Molecules, Ed A.L.U. Lüttge. pp 53-77. Kluwer Academic.Publishers.

- CALU G.,2006**-Effet du stress salin sur les plantes. Comparaison entre deux plantes Modèles Arabidopsisthalina et thellingiellahalophila .trends in plant science.p :1-8.
- Calvet, R. 2003**-Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2.Ed. France.Agricole, 511 p.
- Chandna, R., Azooz, M. M., & Ahmad, P., 2013**- Recent advances of metabolomics to reveal Plant response during salt stress.In Salt Stress in Plants (pp. 1-14).Springer, New York, NY.
- CHAUDHURI K. et CHOUDHURI M.A., 1997** - Effect of short-term NaCl stress on Water relations and gas exchange of two jute species. Biol. Plant., 40 : 373–380.
- CHAMEKH Z.,2010** -Analyse de la réponse de quelques génotypes de blé dur (Triticum turgidum ssp durum) à la contrainte saline dans trois Gouvernorats du centre de la Tunisie Magistère en agronomie et biotechnologie Tunisie pp 3.
- CHEN, S., LI, J., WANG, S., HÜTTERMANN, A., & ALTMAN, A. 2001**, -Salt, nutrient Uptake and transport, and ABA of Populus euphratica ; a hybrid in response to increasing soil NaCl. Trees, 15(3): 186-194
- CHINNUSAMY, V., JAGENDORF, A., & ZHU, J. K, 2005**- Understanding and improving salt Tolerance in plants.Crop Science, 45(2) : 437-448.
- CHRISTIAN DUCATTILLON** - Carah La salinité en serre tunnel, ses excès et les Remèdes pp 3.
- CHRISTOPHE P..2004** - Rôle de la salinité dans la dynamique et la Régulation de la biodiversité des communautés De macroinvertébrés dulçaquicoles. pp 4.
- CUSHMAN J.C., MEYER G., MICHALOWSKI C.B., SCHMITT J.M., BOHNERT H.J., 1989**- Salt stress leads To differential expression of two isogenes of pepcase during CAM induction in the Common Ice plant. Plant Cell, 1: 715-725.
- DAJIC Z., 2006 – Salt stress.In** - Physiology and Molecular Biology of Stress Tolerance in Plants. Madhava Rao K.V., Raghavendra A.S. and Janardhan Reddy K.(eds.), Netherlands., Springer, 41-99..
- DAOUD Y., HALITIM A., 1994** -Irrigation et Salinisation au Sahara Algérien. Sécheresse. 3 (5), Pp : 151- 160.
- DEHNI A.,2018** -Intitulé Télédétection de la salinité des sols à l'aide des Techniques de traitement d'images satellitaires -Application à la région d'Oran thèse doctorat en sciences oran Pp28

- DEMELON A, 1966** -Dynamique du sol. Tome 1.5ème Ed. Dunod. Paris, 520p.
- DENDEN M., BETTAIEB T., SALHI A., MATHLOUTHI M., 2005**- Effet de la salinité sur la fluorescence Chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces Ornementales. *Tropicultura*, vol. 23(4), p. 220-225.
- Derdour H, 1981**- Contribution à l'étude de l'influence du taux de sodium échangeable sur le Comportement des sols au compactage .Thèse Magister, I .N.A.Alger, 146p.
- Djili K., Daoud Y., et Touaf L., 2000** – La salinisation et la sodisation des sols en Algérie. Proceeding of the Congress. 1, 2, 3 et 4 octobre, El-Oued, pp. 215-223.
- Duchaufour P., 1983** -Pédologie pédogénèse et classification. Ed. Masson, 491 p.
- EL MIDAOUI M., 1999** -Response of sunflower (*Helianthus annuus* L.) To nitrogen and Potassium deficiency. *Helia*. 22(30) : 139-148.
- FAO**. Foresterie en zones arides – Guide à l'intention des techniciens de Terrain. Archive de documents de la FAO. <http://www.FAO.org/>
- FAO., 1972**.La salinité. Doc. FAO. N° 7, Rome, 272p
- .FERDJALLAH AL ,FISLI I ,SIKNIFAYZA ;, 2019** : l'effet de stress oxydatif induit par la salinité chez les céréales (Blé Tendre) mémoire master de sciences la nature Guelma pp 24.
- FLOWERS T. J. And FLOWERS S. A., 2005** - Why does salinity pose such a difficult Problem for plant breeders ?. *Agricultural Water Management*, 78 : 15_24.
- FLOWERS T.J., COLMER T.D.2008**-Salinity tolerance in halophytes, *New Phytol.*, , 179, 945-963
- FLOWERSTJ, GALALHK, BROMHAML.,2010**- Evolution of halophytes : multiple origins of salt tolerance in Land plants. *Funct Plant Biol* 37 :604–612.
- FRANÇOIS R., 2008** -Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité, Edition DUNOD, Paris, 1152 p.
- Aubert g. 1976**,LES SOLS SODIQUES EN AFRIQUE DU NORD.pp 185
- GARZA AGUIRRE R A., HERNANDEZ PIÑERO J L, ROCHA ESTRADA A., FOROUGHBAKHCH-POURNAVAB R., MORENO-LIMON. S., 2015**- Microanalysis of leaves of *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.Under saline Conditions.*Int.Jour.Farm and Alli. Sci.* Vol., 4 (1) : 26-31.

- GAXIOLA, R. A., FINK, G. R., & HIRSCHI, K. D., 2002** -Genetic manipulation of vacuolar proton pumps And transporters. *Plant Physiology*, 129(3), 967-973.
- GENOUX C, PUTZOLA F et MAURIN G., 2000**- La Lagune méditerranéenne : Les plantes Halophiles. TPE. 1^{ère} S-2, 22p.
- GHARABI D., 2018** - »Effet du stress salin sur le comportement physiologique et Morpho-biochimique de jeunes plants de variétés d'olivier Cultivé (*Olea-europea*) locales et introduites non greffés. Thèse doctorat .s env. SIDI BEL ABBES
- GHASSEMI, F., JAKEMAN, A.J. et NIX, H.A., 1995** - Salinisation of land and water Resource : humant causes, extent, management and case studies. Center for resource And environmental studies, The Australian National University, Canberra, Australia. Pp 125.
- GLENN, E., J. J. BROWN ET E. BLUMWALD. 1999** - Salt tolerance and crop potential of halophytes. *Crit. Rev. Plant Sci.*, 18 : 227- 255.Glick, B. R, Todorovic, J. C.
- GOMEZ-CADENAS, A., ARBONA, V., JACAS, J., PRIMO-MILLO, E., & TALON, M., 2002** -Abscisic acid reduces leaf abscission and increases salt tolerance in citrus plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 21(3), 234-240.
- GRATTAN S. R. ET C. M. GRIEVE. 1992**- Mineral acquisition and growth response of plants grown in Saline environments. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 38 :275- 300.
- GREENWAY., H. et MUNNS, R., 1980** - Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. *Annual Review of Plant Physiology* 3: 149-190.
- GRONDIN, A., RODRIGUES, O., VERDOUCQ, L., MERLOT, S., LEONHARDT, N., & MAUREL, C., 2015**- Aquaporins contribute to ABA-triggered stomatal closure through OST1-Mediated phosphorylation. *The Plant Cell*, 27(7), 1945-1954.
- GUEDDA K. et DJABER O. 2016** - Evaluation du comportement de trois variétés de tomate (*Lycopersicum esculentum*) Sous un stress salin.p18.
- HACKE U G., SPERRY JS., WHEELER G K ET CASTRO L., 2006** - Scaling of angiosperm Xylem structure with safety and efficiency .*Tree Physiology* 26 . Pp 619 -701 .
- HAGEMEYER J., 1996**-Salt.In *Plant Ecophysiology*. New York. (J. W. Sons, Éd.) Inc.ISBN : 0-471-13157-11.

- HALITIM A., 1985-** contribution à l'étude des sols des zones arides (hautes plaines steppiques d'algerie). Morphologie, distribution et rôle des sels dans la genèse et comportement des sols. Thèse doct. D'état, université de rennes, 383 p.
- HAMMIA I. ,2012** - impact de l'irrigation sur la salinisation des sols dans les palmeraies de Oued Righ. Mémoire Ing. Agro. Uni. Ouargla. Pp 15.
- HAMOUM F. H. H ,2016**,Etude de l'effet du stress salin sur la croissance Et le potentiel de production de quelques activités Liées à la PGP par des Rhizobactéries thèse master en Biologie Mostaganem
- HAMZA M., 1967-** Contribution à l'étude de la tolérance de l'olivier à l'asphyxie et à la Salure. Service pédologique – Tunis, ES 35.
- HAOUALA F., FERJANI H. et EL HADJ S., 2007** - Effet de la salinité sur la répartition Des cations (Na^+ , K^+ Et Ca^{+2}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines de ray-grass anglais et du chiendent. Biotechnol.Agron. Soc. Environ., 11(3) : 235-244.
- HARDY, S. 2004.** Growing lemons in Australia- a production manual. NSW Départements Of Primary Industries. New South Wales, Australia (5) : 1-17.
- 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. Hautes salinités au stade de la germination –séminaire national Sur la problématique.
- HASSANI et al., 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.
- HAWKINS H. J. et LEWIS O. A. M., 1993** - Combination effect of NaCl Salinity, Nitrogen form and calcium concentration on the growth and ionic content and gaseous Properties of *Triticum aestivum* L. Cv. Gamtoos. New Phytol., 124 : 161-170.
- HAYASHI H., MURATA N., 1998** - Genetically engineered enhancement of salt tolerance in higher Plants. In : Sato Murata N, (Ed.), Stress Response of Photosynthetic Organisme : Molecular Mechanisms and Molecular Regulation. Elsevier, Amsterdam : 133-148.
- HELLER R., ESNAULT R. et LANCE C., 1998-** l'eau dans la plante. In : Physiologie végétale Dunod, 1, 315 p.

- HERNÁNDEZ JA, FERRER MA, JIMÉNEZ A, BARCELÓ AR, SEVILLA F., 2001** - Antioxidant Systems and O₂-/H₂O₂ production in the apoplast of pea leaves. Its relation With salt-induced necrotic lesions in minor veins. *Plant Physiology* 127 :817- 831.
- HOCINE F.,2017**,Caractérisation physique et chimique Dés sols sous grenadier : cas d'une Steppe dégradée mise en défens. Thèse master en agronomie Tizi-Ouzou Pp8
- HOPKINS W.G. et EVRARD C.-M., 2003** -Physiologie végétale. Publié par De Boeck Université. 532p.
- HOPKINS W-G., 2003** - Physiologie végétale. William G. Hopkins, (trad. De la 2^{ième} édition Américaine par Serge Rambour, révision scientifique de Charles-Marie Evrard). *Physiologie Végétale*. Edition. De Boeck Université. 514 p.
- HORIE, T., & SCHROEDER, J. I., 2004** -Sodium transporters in plants. Diverse genes and Physiological functions.*Plant Physiology*, 136(1):2457-2462.
- HOUALA ., FFERJANI H. et BEN EL HADJ S., 2007**. Effet de la salinité sur la Répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les Racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 11 (3)
- INSID 2008** «sol salin en Algérie.
- IPTRID., 2006**. Conférence électronique sur la salinisation. Extension de la Salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation : 2-11.
- IYENGAR, E., & REDDY, M., 1996** - Photosynthesis in highly salt tolerant Plants.*Handbook of photosynthesis*.(B. R. Marshal Dekar, Éd.) USA.
- JEAN-MARC SANCHEZ,2020**- Le stress des plantes, article.
- JIA J., CUI X., WU J., WANG J. et Wang G., 2011**- Physiological and biochemical responses of halophyte *Kalidium foliatum* to salt stress. *Afr. Jour. Biotechnol.* 10 :11468–11476
- KAFI M. , KHAN M.A., 2008**- Crop and forage production using saline waters. NAM S and T Centre, Daya Publishing House, New Delhi, India.
- KAFKAI U., 1991**. Root growth under stress. In : Waisel Y., Eshel A. & Kafkafi U., eds. *Plant roots : the hidden half*. New York, USA : Marcel Dekker, 375-391.
- KAO W. Y., TSAI H. C. et TSAI T. T., 2001** - Effect of NaCl and nitrogen aavailabilit On growth and photosynthesis of seedlings of a mangrove species, *Kandelia candel(L.) Druce*. *J. Plant Physiol.*, 158: 841_846.

- KOYRO H.W., 2006-** Effect of salinity on growth, photosynthesis, water relations and Solute composition of the potential cash crop halophyte *Plantago coronopus* (L.) Environ. Exp. Bot. 56 : 136-146.
- KRONIEWICZ, L. (2011).** Caractérisation physiologique et fonctionnelle du Transporteur anionique ATCLC-C chez *Arabidopsis Thaliana* (Doctoral dissertation, Aix-Marseille 2)
- KURBAN H., SANEOKA H., NEHIRA K., ADILLA R., PREMACHANDRA, G. S. And FUJITA, K., 1999** - Effect of salinity on growth, photosynthesis and mineral Composition in leguminous plant *Alhagi pseudoalhagi* (Bieb.). Soil Sci. Plant Nutr., 45 :851–862.
- LAHOUELH., 2013** - Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur le Rendement des céréales (cas de l'orge) dans la région de Hemadna à Relizane, pp18.
- LALOI, C., 2010** - Stress hydrique et osmotique. Laboratoire de génétique et biophysique Des plantes-UMR-6191-IBEB-CEA.122p.
- LARDJANI A. ,2019** - l'effet de stress salin sur la germination du fève(variété locale, luz de coton, claro de luna).thèse mast.agro.biskra pp 3.
- LAID BENDERRADJI,2012** _selection in vitro pour la toleranceaux stress salin et thermique chez le ble tendre (*triticum aestivum* l.) thèse doctorat en biologie constantine pp37
- LECLERC J.C., 1999** - Ecophysiologie végétale – publications de l'univ.saint.
- LEE G ;CARROW R ;DUMCANAR ; EITEMAN M ;RIEGER M.,2008**-synthesis of Organic osmolytes and salte tolerance mechanisms in *pasplumvaginatum*. Enviromental and Experiental Botany,vol.63.p19-27.
- LEVIGNERON A., LOPEZ F., VANSUYT G., BERTHOMIEU P, FOURCROY P. Etfrancine C. D., 1995** - Les plantes face au stress salin. Cahiers agricultures, 4 :263-73.
- LEMZERI Ho. 2006** - Réponses écophysiologies de troisespèces forestières du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Schinus* Soumises à un stress salin .Thèse magi.eco.constantine
- LEVIGNERON, A. LOPEZ, F. VARISUYT, G. BERTHOMIEN, P. ET CASSE-DELBAR, T. 1995** - Les Plantes face au stress salin. Cahier d'agriculture, (4) : 263-273.
- LEVIT J.,1980-Salt and ion stress** In Levitt J. (eds). Response of plant to environmental Stresses. Vol II, water radiation, salt and others stresses. New York : Academic Press, p. 365–406

- LEVITT J., 1972** - Responses of plants to environmental stress 10 : Salt and stress. Acad. Press. N.Y., San Francisco, London. 489-530.
- LEVITT J., 1980** - Responses of Plant to Environmental Stress Chilling, Freezing, and High Temperature Stresses, Academic Press, New York, 606p.
- LINN, (1988). IN PARIDA, A.K, DAS, A.B, (2005).** Salt tolerance and salinity effects on plants : A review. Ecotoxicol. Environ. Saf. 60 : 324-349.
- LUTTGE U, KLUGE M et BAUER G., 2002-** Botanique. 3^{ème} édition, Tec et Doc Lavoisier, Paris : 439- 450.
- LUU Doan Trung, 2020** - Comment les plantes supportent-elles un régime salé, pp 3-12.
- MAAS E. V et POSS J.A., 1989** : Salt sensitivity of wheat at different growth stages. Irrig.Sci. pp29-40.
- MAAS E.V., 1990.** Crop salt tolerance. Engineering practice 71. New York : ASCE, 1990 : p262-304.
- MAHAJAN, S., PANDEY, G.K., ET TUTEJA, N. 2008.** Calcium- and salt-stress signaling in plants : Shedding light on SOS pathway. Arch.Biochem. Biophys. 471(2) : 146–158. Doi :10.1016/j.abb.2008.01.010. PMID :18241665
- MAHJOUBI, H. (2018).** Nouvelle stratégie d'amélioration de la productivité végétale En condition de stress environnemental via un meilleur contrôle du cycle cellulaire (Doctoral Dissertation). Thèses doctorat.
- MAILLARD J, (2001).** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34 p.
- MAILLARD J., 2001** -Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone aride : Risques et Recommandations. Handicap International, 35p.
- MASMOUDI A., 2012** -Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans La région Saharienne : Cas des Oasis des Ziban. thèse doctorat en sciences Biskra, pp23
- Miller W.M. Loewen P.C Et Oresnik I ., 2006-** Isolation of salt- sensitive Mutants of Sinorhizobium meliloti strain Rm 1021 Microbiology : p 2049-2059.
- MORSLI B. (2007)** : Étude de l'intrusion marine et de ses répercussions sur la Dégradation des sols : cas des zones côtières d'Alger Est. Actes des JSIRAUF
- MUNNS R et RAWSON H.M., 1999** : Effect of salinity on salt accumulation and Reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. Aust. J. Plant Physiol. Pp459-464

- MUNNS R., SCHATMAN D.P. , CONDON A.G., 1995** - The Significance of a two- phase growth reponse to sa-Linity in wheat and barely. *Aust. J. Plant Physiol* 22 : 561-56.
- MUNNS R. & TESTER M., 2008**-Mechanisms of Salinity Tolerance.*Annu. Rev. Plant Biol.* 59, 651–681.
- MUNNS R. et TERMATT A., 1986** - Whole plant responses to salinity. *Aust.J. Plant Physiol.*, 13 : 143–160.
- MUNNS R., 2002.** Comparative physiology of salt and water stress ; *Plant, Cell and Environment* 25, 239-250.
- MUNNS, R. JAMES, R.A. et LAUCHLI, A. 2006** -Approaches to increasing the salt tolerance Of wheat and other cereals. *J. Exp. Bot.*, (57): 1025-1043.
- NACZK, M. ; SHAHIDI, F. (2004).**Extraction and analysis of phenolics in food, *J chromatograph.*1054 : 95-111.
- NDOUR P. et DANTHU P., 2000** - Effet des contraintes hydrique et saline sur la germination de Quelques acacias africains. *Projet National de Semences Forestières du Sénégal.* 11 p.
- NIU X., RSESSAN R.A., HASEGAWA P.M., PARDO J.M., 1995** - Ion homeostasis in NaCl stress Environments. *Plant Physiology*, 109.3 : 735- 742.
- NOBLE C.L., ROGERS M.E., 1992-** Arguments for the use of physiological criteria for improving The salt tolerance in crops. *Plant Physiol*, vol. 146, p. 99-107.*Nutritionminérale de l'orge. Thèse de Doctorat d'Etat. Tunis : Faculté des Sciences.*
- OMAMI E.N., 2005** - Response of Amaranth to salinity stress. These Ph.D Horticulture. Department of plant production and soil science, Faculty of natural and agricultural Sciences, University of Pretoria.P 235.
- OMOURI O.,2008** - Contribution à l'étude de la réhabilitation Au laboratoire des sols salsodiques des Palmeraies de la région d'In Salah par l'utilisation du phosphogypse thèse magistère en agronomie pp18
- Orcutt D.M. et Nilsen E.T., 2000-** Salinity stress. In *Physiology of plants under stress.*Soil and biotic Factors Ed Wiley and Sons, New York. Pp 177-235..
- PAREEK, A., SOPORY, S. K., & BOHNERT, H.J. (2009).**Abiotic stress adaptation in plants.*Springer.*
- PARENT C., CAPELLI N. et DAT J., 2008.** Formes réactives de l'oxygène, stress et mort

Cellulaire chez les plantes : Comptes Rendus Biologies. 331: 255-261.

PARIDA A. K., DAS A. B. et MITTRA B., 2004 - Effects of salt on growth, ion Accumulation photosynthesis and leaf anatomy of the mangrove, *Bruguiera parviflora*. *Trees-Struct.Funct.* 18: 167–174.

PARIDA A., DAS A. B. And DAS P., 2002 - Na Cl stress causes changes in Photosynthétiques pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of atrue mangrove, *Bruguiera parviflora*, in hydroponic cultures. *J. Plant Biol.*, 45: 28–36.

PARIDA A.K., DAS A.B., 2005- Tolerance and salinity effect on plants : review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, (60): 324-349.

PARKS, G. E., M. A. DIETRICH et K. S. SCHUMAKER. 2002 - Increased vacuolar Na^+/H^+ Exchange Activity in *Salicornia bigelovii* Torr. In response to NaCl. *J. Exp. Bot.*, 53: 1055- 1065

PARVAIZ A. et SATYAWATI S., 2008- Salt stress and phyto-biochemical responses of plants-a review. *Plant Soil Environ.* 54: 89–99.

Patricia S. M.DZ -Oregon State University. 1. Salinization. Link :<http://people.oregonstate.edu/~muirp/saliniz.htm>

PAUL-ANDRE CALATAYUD, JEAN-PIERRE GARREC ET MICHEL NICOLE – DZ,adaptation des plantes aux stress environnementaux pp 229.

PRICE A.H. ET HENDRY G.A.F., 1991 - Iron-catalysed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and three cereals. *Plant Cell Environ.*14 :477-484.

RADHOUANE L., 2008- Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en Grains chez quelques écotypes de mil (*Pennisetum glaucom* (L.) R. Br.) Autochtones de Tunisie. *C.R. Biologies*,4(331) : 278-28.

RAJESH A., ARUMUGAM R. et VENKATESALU V., 1998 - Growth and Photosynthetic characteristics of *Ceriops roxburghiana* under NaCl stress. *Photosynthetica*, 35: 285–287.

RASOOL S., HAMEED A., AZOOZ M.M., REHMAN M., SIDDIQI T.O., AHMAD P., 2013- Salt Stress : Causes, Types and responses of plants In : Ahmad P., Azooz M.M. , Prasad M.N.V.,(Eds.), *Ecophysiology and responses of plants under salt stress*. Springer New York Heidelberg Dordrecht London, p. 1-24.

- RATHINASABAPATHI B., 2000**-Metabolic engineering for stress tolerance : Installing Osmoprotectant synthesis pathways. *Ann. Bot.* 86 : 709-716
- REJILI M, VADEL M.A et NEFFATP M., 2006** - Comportements germinatifs de deux Populations de *Lotus creticus* (L.) En présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 1(17) : 65-78.
- RENGASAMY P., NORTH S. & SMITH A. (2010)**-Diagnosis and management of sodicity and salinity in soil and water in the Murray Irrigation region. The University of Adelaide, SA
- REYNOLDS M P., ORTIZ-MONASTERIO J.I., MC NAB A., 2001**- Application of Physiology in Wheat Breeding.D.F. : CIMMYT : 101-111. Mexico.
- RICHTER G., 1993** - Physiologie et biochimie, Presses Polytechniques. Universitaires. Romandes, PUF, 526p.
- RODRIGUEZ, A. A., & TALEISNIK, E. L., 2012** - Déterminations of réactiver oxygen species in salt-Stressed plant tissues.In *Plant Salt Tolerance* (pp. 225-236).Humana Press, Totowa, NJ.
- ROGERS M. E. et NOBLE C. L., 1992** - Variation in growth and ion accumulation Between two selected populations of *triticum repens* L., differing in salt tolerance. *Plant soil*, 146: 131-136.
- ROMERO, ARANDA R., SORIA T. et CUARTERO J., 2001** - Tomato plant-water Uptake and plant- water relationships under saline growth conditions. *Plant Scienc-Es.*160,265-272.
- ROZEMA, J., FLOWERS, ,2008** - Crops for a salinized world. *Science* 322, 1478–1480.
- Rush, D-W.et Epstein, E., 1981** - Breeding and selection for salt-tolerance by incorporation of wild germplasm into a Domestic Tomato. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* (106 : 699-704.
- GILMORES., SALEEMA., AND DEWANA., 2015** - Effectiveness of DOS (dark-object subtraction)Method and water index techniques to map wetlands in a rapidly urbanising megacity with Landsat 8 data,” in *Research@Locate*, 1323: 100–108 .
- KAROUNE S.,2017** -Algérien journal of arid areas,journal algérien des régions arides Pp 61.
- SAIDI D., 2004** - Influence de la phase saline sur les propriétés physiques des matériaux Argileux du Bas Cheliff. Thèse de Doctorat d'Etat Es Sciences en Sciences Agronomiques. Spécialité science du sol. Institut National Agronomique, El Harrach, Alger.181p.

- SALAMA K.H.A. 2004** - Cellular basis of salinity Tolerance in plants. *Environmental and Experimental Botany* ; 52 : 113-122.
- SALEEM M., ASHRAF M., AKRAM NA., 2011-** Salt (NaCl)-induced modulation in some key physio-Biochemical attributes in okra (*Abelmoschus esculentus* L.). *J. Agron. Crop Sci*, 197 : 202-213.
- SALHA B. ,2008** :Étude de l'effet de la salinité et de la présence dumolybdène sur le comportement écophysologique de deuxvariétés de plantes de l'espèce *Phaseolus vulgaris* Thèse magistère en biologie Constantine ,30p.
- KOUBAA S.,2018** - Etude structurale et fonctionnelle d'une protéine lea du groupe 3 impliquée dans la tolérance au stress abiotiques et biotiques chez le blé dur .Thèse doc.bio.tuni.pp 6.
- SANTOS J., AL-AZZAWI M., ARONSON J., FLOWERS T.J. 2016**, ehaloph a Database of Salt-Tolerant Plants : Helping put Halophytes to Work., *Plant Cell Physiol.* 57, e10
- SHABALA S., 2013-** Learning from halophytes : physiological basis and strategies to improve abiotic stress Tolerance in crops. *Ann Bot* 112 :1209–1221.
- SHANNON M. C., 1992** - The effects of salinity on cellular and biochemical processes Associated with salt tolerance in tropical plants. In : *Proc. Plant Stress in Trop.Environ.* Davenport T. L. And Harrington H. M. (eds.), Kailu-Kona, HI, 20-25 Sept,Univ. FL, Homestead, 56-63.
- SHANNON M.C., 1998. SLAMA F., 1986-** Interaction des racines dans la sensibilité ou la tolérance à NaCl de Plantes cultivées. *Agronomie.* 6(7): 651-658.
- SINGH S.C., SINHA R.P., HADER D.P., 2002** - Rôle of lipids and fatty acids in stress Tolerance in cyanobacteria. *Acta Protozool.* 41 : 297–308.
- SKIREDJ A., 2005** - Besoins des plantes en eau et en éléments nutritifs. Département D'Horticulture/IA V Hassan III Rabat/ Maroc. pp.112.
- SLAMA F., 1974-** Absorption du sodium et du potassium par des fragments de limbe et De tige du haricot (*Phaseolus vulgaris* L.) Et du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.).Thèse 3ecycle, Paris, 99p.
- SLAMA F., 2004** - La salinité et la production végétale. Centre de Publication Universitaire, Tunis, 163 p.
- SLAMA I., BEN REJEB K., ROUACHED A., JDEY A., RABHI M., TALBI O., DEBEZ A., SAVOURÉ A., ABDELLY C., 2014-** Presence of proline in salinized nutrient solution

re-enforces the role of this amino acid in osmoregulation and protects lipid membrane peroxidation in *Arabidopsis thaliana*. Australian Journal of Crop Science, vol. 8 (10), p. 1367-1372.

SNOUSSI S.A, HALITIM A., 1998-Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des Plantes cultivées. Etude et gestion des sols, pp289-298.

SOLTANI A., 1988 -Analyse des effets de NaCl et de la source d'azote sur la nutritionminérale de l'orge .thèse de doctorat d'Etat . Tunis :faculté du sciences.

Soltner.D, 1986 - Les Bases de la Production Végétale. Le Sol- Le Climat- La Plante. Tome I : Le Sol. 14 ème édition. Phytotechnnie Générale. 462p.

SONG J., FENG G., TIAN C., et ZHANG F., 2005 - Strategies for Adaptation of Suaeda physophora, Haloxylon ammodendron and Haloxylon persicum to a Saline Environment During Seed-Germination Stage. Annals of Botany.96 :399-405

SONG J., ZHOU J.C., ZHAO W.W., XU H.L., WANG F.X., XU Y.G., et al.,2016 Effects of salinity and nitrate on production and germination of dimorphic seeds applied both through the mother plant and exogenously during germination in Suaeda salsa, Plant Spec. Biol., 31 : 19-28

MÂALEMS.,2011 - Etude de l'impact des interactions entre le phosphore et Le Chlorure de Sodium sur trois espèces végétales Halophytes du genre Atriplex Halimus, A. Canescens et A. Nummularia.thèse.Doc.sci.annaba.

SOUSSI M., LLUCH C. And OCANA A., 1998 - Effects of salt stress on Growth, Photosynthesis and nitrogen fixation in chick-pea (*Cicer arietinum* L.). J. Exp. Bot.,49 : 1329–1337.

SUI N., LI M., LI K., SONG J., WANG B.S.,2010 - Increase in unsaturated fatty acids in membrane lipids of Suaeda salsa L. Enhances protection of photosystem II under high salinity, Photosynthetica, , 48: 623-629.

TAFFOREAU, M., 2002_Étude des phases précoces de la transduction dessignaux environnementaux chez le lin : une approche protéomique.Thèse de Doctorat de l'Université de Rouen. Spécialité : Biochimie Végétale. pp255.

TAHRAOUI S.,2015 - Effet des sels solubles sur la production de la biomasse Et l'absorption des éléments minéraux chez l'orge (*Hordium vulgare*) et le blé dur (*Triticum durum*)thèse magistère en agronomie Biskra,pp18.

TARDIEU, F. (2003)Virtual plants: modeling as a tool for the genomic of tolerance to water

deficit, Trends in Plant Sciences, 8: 9 -14

TODOROVA D., KATEROVA Z., SERGIEV I., ALEXIEVA V., 2013- Role of Polyamines in Alleviating Salt Stress. In : Ahmad P., Azooz M.M., Prasad M.N.V.,(Eds.), Ecophysiology and Responses of Plants under Salt Stress, Springer New York Heidelberg Dordrecht London, p. 355-38

TREMBLIN G., COUDRET A., 1986 - Salinité, transpiration et échanges de CO₂ chez *Halopeplis amplexicaulis* (Vahl.) Ung. Oecol. Plant, 7. 21 : 417-431.

TROMBLIN G., 2000 - Comportement auto-écologique de *Halopeplis amplexicaulis* : Plante pionnière des Sebkh de l'ouest Algérien. Sciences et changement planétaires. Sécheresse. Vol 11, N°2. P P109-116.

USDA, 1954 Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. Agriculture Handbook 60.

V.G.CHAPMAN ,DZ - The Salinity Problem in General, Its Importance, and Distribution with Special Reference to Natural Halophytes pp7-24

VIJAYAN K., CHAKRABORTI S.P., ERCISLI S. et GHOSH P.D., 2008 -NaCl⁺ induced Morpho-biochemical and anatomical changes in mulberry (*Morus spp.*). Plant Growth Regul. 56: 61-69.

VINOCUR, B., & ALTMAN, A., 2005- Recent advances in engineering plant tolerance to abiotic Stress : achievements and limitations. Current opinion in biotechnology, 16(2):123-132.

RENAUDIN V., 2003 - Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres génie Chimique – Génie des Procédés de l'Institut de Nancy-Brabois (Université de Lorraine)

WANG B., LUTTGE U. et RATAJCZAK R. 2004- A Specific regulation of SOD isoforms by NaCl and osmotic stress in leaves of the C3 halophyte *Suaeda salsa* L. J. Plant Physiol. 161:285–293.

WANG Y., NIL N., 2000 - Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase–Oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus Tricolor* leaves during salt stress. J. Hort. Sci. Biotechnol. 75, 623–627.

WILSON C., LIU X., LESCH S. M. And SUAREZ D. L., 2006 - Growth response of Major USA cowpea cultivars : Effect of salinity on leaf gas exchange. Plant Science, 170: 1095–1101.

- WU J.L., SELISKAR D.M., Gallagher J.L., 1998** - Stress tolerance in the marsh plane *Spartina patens* : Impact of NaCl on growth and root plasma membrane lipid composition. *Physiol. Plant*, 102 :307–317.
- YAMAGUCHI, T., & BLUMWALD, E., 2005** - Developing salt-tolerant crop plants : challenges and Opportunities. *Trends in plant science*, 10(12), 615-620.
- YUAN F., LYU M.J.A., LENG B.Y., ZHENG G.Y., FENG Z.T., LI P.H., et al, 2015,-** Comparative transcriptome analysis of développementale stages of the *Limonium bicolor* leaf generates insights into salt gland differentiation, *Plant Cell Environ.*, 38: 1637-1657
- ZAMAN ALLAH M, SIFI B, L'TAIEF B, ELAOUNI M.H., 2009-** Paramètres Agronomiques lies à la tolérance au sel chez le haricot. *Biotec.Agr. Soc. Envir.* 13,1, 113-119.
- ZHANG T., SONG J., FAN J.L., FENG G.2015,-** Effects of saline waterlogging and dryness/moist alternations on seed germination of halophyte and xerophyte, *Plant Spec. Biol.*, 30: 231-236
- ZHU J., MEINZER F.C., 1999-** Efficiency of C4 photosynthesis in *Atriplex lentiformis* under Salinity stress. *Aust. J. Plant Physiol*, 26:79-86.
- ZHU J.-K.2002** -Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Biol.* 53: 247–273.
- ZHU J.K., SHI J., SINGH U., WYATT S.E., BRESSAN R.A., HASEGAWA P.M., CAPITA N.C., 1993-**Enrichment of vitronectin and fibronectin like proteins in NaCl –adapted plant cells and Evidence for their involvement in plasma membrane-cell wall adhesion. *Plant J*, 3: 637-646.
- ZHU, J. K. 2001** –Plant salt tolerance.*Trends Plant Sci* 6(2): 66-71.
- ZID E. ET 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. Ed. AUPELF-UREF. John Libbey Eurotext. 91-108.
- ZID E., 1982-** Relations hydriques dans la feuille de *Citrus aurantium* : effets de l'âge et de la Salinité. *Rev. FAC. Sc. Tunis*, 2 : 195-205.

Résumé

La salinité est l'un des problèmes les plus importants auxquels sont confrontés les secteurs de l'environnement et de l'agriculture dans le monde entier. Il a des effets négatifs sur les plantes dans ses différents aspects (croissance, reproduction...), cette dernière provoquant plusieurs effets osmotiques, oxydatifs et nutritionnels dans sa structure. Ce problème a soulevé plusieurs recherches scientifiques pour comprendre le phénomène et dégager plusieurs solutions pour s'en débarrasser, surtout ce problème est encore un point d'interrogation pour les chercheurs scientifiques car il affecte la sécurité alimentaire du monde.

Mots clés : salinité, agriculture, croissance, reproduction, sécurité alimentaire

Abstract

Salinity is one of the most important problems faced by the environmental and agricultural sectors all over the world. It has negative effects on plants in its various aspects (growth, reproduction...), where the latter causes several osmotic, oxidative and nutritional effects in its structure. This problem has raised several scientific researches to understand the phenomenon and elicit several solutions to get rid of it, especially this problem is still a question mark for scientific researchers because it affects the food security of the world.

Keywords : salinity, agriculture, growth, reproduction, food security

المخلص

تعد الملوحة من أهم المشاكل التي يعاني منها قطاعي البيئة والزراعة في جميع انحاء العالم . حيث لها تأثيرات سلبية لنباتات في مختلف جوانبها (النمو ، التكاثر)، حيث تسبب هذه الاخيرة عدة تأثيرات تناضحية و تأكسدية و غذائية في هيكلتها . اثارت هذه المشكلة عدة بحوث علمية لفهم الظاهرة و استدرج عدة حلول لتخلص منها لاسيما لا تزال هذه المشكلة علامة استفهام لدى الباحثين العلميين لأنها تؤثر على الأمن الغذائي للعالم .

الكلمات المفتاحية: الملوحة ، الزراعة ، النمو ، التكاثر ، الأمن الغذائي