



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE & POPULAIRE
Ministère de L'enseignement Supérieur & de la Recherche Scientifique



Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem

Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Sciences Agronomiques

Mémoire de fin d'études pour l'obtention de diplôme du Master en Sciences
Agronomiques

Spécialité : Gestion Conservatoire des eaux, des sols et de l'environnement

Thème

Comportement de l'*Atriplex canescens* dans les sols salés
de la plaine de la Mina (W. Relizane).

Présenté par : Mr. Benkhedda youcef

Soutenu devant le jury :

Président	Mr. Boualem Abdelkader	Pr	Université de Mostaganem	Mr.
Encadreur	Mr. HADDAD Ahmed	Pr	Université de Mostaganem	
CO-Encadreur	Mr. Gacem Farid	MCA	INSID Matmar	
Examineur	Mr. Khatem Rachid	MCA	Université de Mostaganem	

Promotion: 2016-2017

Dédicaces

Je dédie ce modeste travail en signe de reconnaissance et de respect A :

Ma mère et mon père que dieu me les garde et me les protège.

Mon cher frère

Toute ma famille, Tous mes amis

Tous mes collègues de l'université:

Remerciements

A Dieu le tout puissant, le clément et miséricordieux,

Pour m'avoir permis de réaliser ce modeste travail. Puisse ALLAH

continuer à m'aider, car nul ne peut passer d'aide.

Je profite cette occasion pour adresser mes remerciements à mes encadreurs

Mr. HADDAD Ahmed et mr. Gacem faride pour ses efforts, ses disponibilité et

ses précieux conseils qui m'ont été un grand apport tout au long de mon travail.

Je tiens aussi à exprimer mes remerciements à tout le personnel

de L'INSID d'EL MATMAR .

Liste des Figures

Figure	Page
Figure 1. Le cycle des sels dans le sol (Lahlou et al, 2002).	7
Figure 2. Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes inclure ou exclure (Levigneron et al, 1995).	14
Figure 3. Principales cibles cellulaires de la réponse des plantes au stress salin (Hasegawa et al., 2000).	17
Figure 4. Perception et traduction du signal par la plante (Nebors, 2008).	17
Figure 5. Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation (Lahlou et al, 2002).	18
Photo 6. Plante <i>Atriplex canescens</i> (Pursh) Nutt.	23
Figure 7. Carte de situation de la plaine de la Mina (Relizane).	24
Figure 8. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles	26
Figure 9. Histogramme du régime saisonnier de la région d'étude.	26
Figure 10. Diagramme ombrothermique de la station de Relizane (1988-2007).	28
Figure 11. Diagramme pluviométrique d'Emberger pour la station de Relizane (1988-2006).	29
Figure 12. Carte géologique 1/50000 de Relizane (Boualla, 2002).	31
Figure 13. Carte de salinité des sols du périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha (INSID, 2008).	35
Figure 14. Carte d'occupation des sols du périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha (INSID, 2008).	36
Figure 15. Carte des zones arides du monde.	37
Figure 16. Démarche méthodologique.	40
Figure 17. Localisation du site expérimental.	42
Figure 18. Protocole expérimental.	43
Figure 19. La pipette de Robinson.	44
Figure 20. Schémas et protocole expérimental de la pâte saturée.	46
Figure 21. Protocole de la pâte saturée.	46
Figure 22. Attaque au froid sur le bain de sable.	47
Figure 23. Séparation des phases	47
Figure 24. Dosage avec le sel de Mohr.	47
Figure 25. Calcimètre de Bernard.	48
Figure 26. Dosage de calcaire actif.	48
Figure 27. Dispositif de la capacité d'échange cationique (CEC).	49
Figure 28. Extraction de chlorophylle.	51
Figure 29. Le Colorimètre UV (Jenway).	51
Figure 30. Séparation des phases.	52
Figure 31. Creusets dans le four à moufle	52
Figure 32. Les échantillons après deux heures de calcination.	52
Figure 33. Les échantillons pendant l'évaporation.	53
Figure 34. Les échantillons après une heure de calcination.	53
Figure 35. La lecture par spectrophotométrie à flamme.	54
Figure 36. Profils salins moyens des échantillons prélevés (CEps en dS.m-1).	65
Figure 37. Corrélation entre CED1/5 et CEps pour la parcelle Témoin de la première campagne.	67
Figure 38. Corrélation entre CED1/5 et CEps pour la parcelle Témoin de la deuxième campagne.	67

Figure 39. Corrélation entre CEd1/5 et CEps pour la parcelle de Traitement de la première compagne.	67
Figure 40. Corrélation entre CEd1/5 et CEps pour la parcelle de Traitement de la deuxième compagne.	67
Figure 41. La teneur relative en eau (en %) des deux compagnes.	68
Figure 42. La teneur en chlorophylle (a) ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.	69
Figure 43. La teneur en chlorophylle (b) ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.	70
Figure 44. La teneur en chlorophylle (a+b) ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.	71
Figure 45. Les teneurs en chlorophylle ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.	71
Figure 46. La teneur en proline des racines ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.	72
Figure 47. La teneur en proline des tiges ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.	73
Figure 48. La teneur en proline des feuilles ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.	74
Figure 49. La teneur en proline ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.	74
Figure 50. Les teneuses de sodium (ppm) des deux compagnes.	75
Figure 51. Les teneuses de potassium (ppm) des deux compagnes.	76
Figure 52. La relation entre les moyennes de salinité et paramètres physiologiques de la plante.	76

Liste des Tableaux

Figure	Page
Tableau 1. Relevés pluviométriques de la station de Relizane (Période de 1988 à 2006)	25
Tableau 2. Précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station de Relizane en (mm) pour la période (1988 – 2006).	25
Tableau 3. Précipitations mensuelles, en (mm), de l'année 2012 de la station de l'INRA de H'madna, Relizane.	25
Tableau 4. Moyennes mensuelles des températures (°C) de la station de Relizane pour la période (1988 – 2006).	27
Tableau 5. Evapotranspiration potentielle moyenne en mm, établie selon la formule PENMAN (18 ans). (Station ONM de Relizane).	27
Tableau 6. Salinité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (Relizane) (Source. ANRH, 2003).	32
Tableau 7. Qualité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (Relizane) (Source. INSID, Relizane ,2008).	32
Tableau 8. Répartition des superficies irriguées entre les différentes spéculations pratiquées (Source : AGID, cité par l'INSID, 2008).	33
Tableau 9. Répartition de l'occupation du sol, dans le périmètre de la Mina, sur 6000 Ha (Source, INSID, 2008).	34
Tableau 10. Les calendriers des prélèvements du sol et de la plante.	43
Tableau 11. Résultats de l'humidité (en %) de parcelle Témoin (22/02/2017).	56
Tableau 12. Résultats de l'humidité (en %) de parcelle Témoin (22/05/2017).	57
Tableau 13. Résultats de l'humidité (en %) de la parcelle de traitement (22/02/2017).	57
Tableau 14. Résultats de l'humidité (en %) de la parcelle de traitement (22/05/2017).	57
Tableau 15. Résultats de l'Argile (en %) de parcelle Témoin.	58
Tableau 16. Résultats de Limon (en %) de parcelle Témoin.	58
Tableau 17. Résultats de Sable (en %) de parcelle Témoin.	58
Tableau 18. Résultats de l'Argile (en %) de la parcelle de traitement.	58
Tableau 19. Résultats de Limon (en %) de la parcelle de traitement.	59
Tableau 20. Résultats de Sable (en %) de la parcelle de traitement.	59
Tableau 21. Résultats du pH de parcelle Témoin (22/02/2017).	59
Tableau 22. Résultats du pH de parcelle Témoin (22/05/2017).	59
Tableau 23. Résultats du pH de la parcelle de traitement (22/02/2017).	59
Tableau 24. Résultats du pH de la parcelle de traitement (22/05/2017).	60
Tableau 25. Résultats de la Matière organique (en %) de parcelle Témoin (22/02/2017).	60
Tableau 26. Résultats de la Matière organique (en %) de parcelle Témoin (22/05/2017).	60
Tableau 27. Résultats de la Matière organique (en %) de la parcelle de traitement (22/02/2017).	60
Tableau 28. Résultats de la Matière organique (en %) de la parcelle de traitement (22/05/2017).	61
Tableau 29. Résultats du calcaire totale (CaCO3 en %) de parcelle Témoin (22/02/2017).	61
Tableau 30. Résultats du calcaire total (CaCO3 en %) de parcelle Témoin (22/05/2017).	61
Tableau 31. Résultats du calcaire total (CaCO3 en %) de la parcelle de traitement	61

(22/02/2017).	
Tableau 32. Résultats du calcaire total (CaCO ₃ en %) de la parcelle de traitement (22/05/2017).	61
Tableau 33.Résultats du calcaire actif (en %) de parcelle Témoin (22/02/2017).	62
Tableau 34. Résultats du calcaire actif (en %) de parcelle Témoin (22/05/2017).	62
Tableau 35. Résultats du calcaire actif (en %) de la parcelle de traitement (22/02/2017).	62
Tableau 36. Résultats du calcaire actif (en %) de la parcelle de traitement (22/05/2017).	62
Tableau 37. Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de parcelle Témoin (22/02/2017).	63
Tableau 38. Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de parcelle Témoin (22/05/2017).	63
Tableau 39. Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de la parcelle de traitement (22/02/2017).	63
Tableau 40. Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de la parcelle de traitement (22/05/2017).	63
Tableau 41. Résultats de la conductivité électrique (CEpsds/m) de la parcelle Témoin (22/02/2017).	65
Tableau 42. Résultats de la conductivité électrique (CEpsds/m) de parcelle Témoin (22/05/2017).	65
Tableau 43. Résultats de la conductivité électrique (CEpsds/m) de la parcelle de traitement (22/02/2017).	66
Tableau 44. Résultats de la conductivité électrique (CEpsds/m) de la parcelle de traitement (22/05/2017).	66
Tableau 45. Résultats de la conductivité électrique (CEd1/5) de la parcelle Témoin (22/02/2017).	66
Tableau 46. Résultats de la conductivité électrique (CEd1/5) de parcelle Témoin (22/05/2017).	66
Tableau 47. Résultats de la conductivité électrique (CEd1/5) de la parcelle de traitement (22/02/2017).	66
Tableau 48. Résultats de la conductivité électrique (CEd1/5) de la parcelle de traitement (22/05/2017).	66

Sommaire :

Titre	Page
Introduction	1
Chapitre I. synthèse bibliographique	4
I. Généralités sur la salinité	4
1. Définition	4
2. Définition de sols salés	4
3. Facteurs intervenants dans le processus de la salinisation	5
4. Origine des sols salés	5
4.1. Salinisation primaire	5
Salinisation géologique	5
Salinisation marine et lagunaire	6
4.2. Salinisation secondaire	6
5. Classification des sols salés	6
5.1. Sols à complexe sodique ou sols alcalins (les solonetz)	6
5.2. Sols salins à complexe calcique (Solontchaks)	7
II. La Salinité, les sols et les plantes	8
II.1. La Salinité et les plantes	8
1. Stress	8
1.1. Définitions du stress	8
1.2. Catégories de stress	8
1.3. Stress salin	9
1.4. Le stress hydrique	9
1.5. Le stress ionique	10
1.6. Le stress nutritionnel	10
2. Conséquences de la salinité sur la plante	10
2.1. Effet de la salinité sur la germination	10
2.2. Effet de la salinité sur la croissance et le développement	11
2.3. Effet de la salinité sur le comportement biochimique de la plante	12
2.4. Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante	12
3. Mécanismes de résistance à la salinité	13
3.1. Exclusion	13
3.2. Inclusion	13
4. Mécanismes d'adaptation à la salinité	14
4.1. Adaptations morphologiques	14
4.2. Adaptations anatomiques	14
4.3. Ajustement osmotique et relations hydriques dans la plante	15
4.3.1. Absorption et répartition des ions	15
4.3.2. Synthèse d'Osmoticum	16
II.2. la salinité et les sols	18
1. Effets de la salinité sur les sols	18
2. Mise en valeur des sols salés	19
III. L'Atriplexe	20
1. Définition	20
2. Répartition des Atriplexe	20
3. Propriétés écologiques de l'Atriplexe	21
4. Potentiel écologique et économique de l'Atriplexe	21

4. 1. Intérêt fourrager	21
4. 2. Mise en valeur des sols pauvres	22
4. 3. Mises en valeur des sols salés	22
5. Présentation d'Atriplexe canescens	23
5. 1. Systématique de l'espèce	23
5. 2. Origine	23
5. 3. Description	23
Chapitre II. La zone d'étude	24
1. Situation géographique	24
2. Synthèse climatique	24
1) Les précipitations	25
2) Les températures	27
3) L'évapotranspiration	27
4) Classification du climat	28
a) Diagramme Ombrothermique de Gaussen et Bagnouls	28
b) Climagramme d'Emberger	28
2.5. Conclusion	29
3. Géologie	30
4. Géomorphologie	30
1) Les glacis de piedmonts :	30
2) Les alluvions :	30
3) Les cônes de déjection des oueds :	31
5. Réseau hydrographique et ressources en eaux	32
6. Les sols	33
7. Occupation du sol	33
8. Conclusion	34
Chapitre III. Matériel et méthodes	38
1. Méthodologie	38
1.2. Analyse des documents de base	38
1.3. L'expérimentation	38
2. Matériel utilisé	41
2.1. Matériel végétal	41
2.2. Matériel pédologique	41
1.2. Dispositif expérimental	41
3. Analyses de laboratoire	44
3.1. Paramètres physico-chimiques du sol	44
1-Préparation des échantillons de sol	44
2-La Granulométrie	44
3-Le pH	44
4-La Conductivité Electrique	45
4.1. Extrait de la pâte saturée	45
4.2. Extrait dilué	46
5-La Matière Organique	47
6-Le Calcaire Total	48
7- Le Calcaire Actif	48
8- La capacité d'échange cationique (CEC)	49
3.2. Paramètres physiologiques de la plante	50
1. La Teneur Relative en Eau	50

2. La Teneur en Chlorophylle	50
3. La proline	51
4. Dosage des éléments minéraux	52
Extraction	52
Dosage	53
A- la solution de potassium	53
B- la solution de sodium	53
4-Étude statistique	54
Chapitre VI .Résultat et Discussions	55
Introduction	55
Partie I. Résultats d'analyses du sol et du végétal	55
I. Etude des paramètres physico-chimiques du sol	55
1. Résultats statistiques des analyses physiques du sol	56
1.1. Analyse de l'humidité	56
1.2. Analyse de la texture	57
2. Les résultats statistiques des analyses chimiques de sol	59
2.1. Analyses du potentiel Hydrogène (pH)	59
2.2. Analyses de la matière organique (M.O)	60
2.3. Analyses statistiques du calcaire total (CaCO₃)	61
2.4. Analyses statistiques du calcaire actif	62
2.5. Analyses statistiques de la capacité d'échange cationique (CEC)	62
3. Caractérisation de la salinité du sol	64
3.1. Analyses de la conductivité électrique de la pâte saturée (CE ps) et diluée (CE 1/5)	64
3.2. Conductivité électrique de l'extrait dilué (CEd1/5)	66
II. Etude des paramètres physiologiques de la plante	69
1-La Teneur Relative en Eau	69
2. La chlorophylle	70
2.1. Le chlorophylle a	70
2.2. La chlorophylle B	71
2.3. La chlorophylle Totale	71
3. Le Proline	72
3.1. La teneur de proline des racines	73
3.2. La teneur de proline des tiges	73
3.3. La teneur de proline des feuilles	74
4. Les Sels Minéraux	75
4.1. La Teneur de Sodium	76
4.2. La Teneur de Potassium	76
5. La relation entre les moyennes de salinité et paramètres physio- biochimiques	77
Partie II .discutions générale	78
1. Les paramètres physico-chimiques du sol	78
2. Les paramètres physiologiques de la plante	81
Conclusion générale	85

Résumé :

L'objectif de ce travail est d'explorer l'effet de la salinité sur les modifications et les réponses d'ordre physiologiques d'une halophyte « ***Atriplex Canescens (Pursh). Nutt*** », et d'étudier l'effet de cette plante sur les propriétés physico-chimiques des sols salés de la plaine de la Mina (Relizane). Cette étude a été réalisée en plein champ dans une exploitation agricole privée, située dans la région d'El Matmar (Relizane). Afin de pouvoir mener notre expérimentation nous avons divisé la parcelle expérimentale. Les deux parcelles obtenues concernent la parcelle « Témoin » et l'autre parcelle concerne la parcelle « Traitée » par l'***Atriplex canescens***. Nous avons ensuite positionné 03 profils de prélèvements, au niveau de chaque parcelle, pour le suivi de l'expérimentation. Dans chaque profil et à l'aide d'une tarière pédologique nous avons procédé à des prélèvements des échantillons de sol jusqu'à une profondeur de 01mètre (0 – 25cm ; 25-50cm, 50-75cm et 75-100cm). Aussi autour de chaque profil trois prélèvements, au niveau la plante, ont été effectués (racines, tiges et feuille) avec trois répétitions. Ainsi, 48 échantillons de sols et 18 échantillons du végétal ont été prélevés sur deux campagnes de mesures et analysés au laboratoire. L'interprétation des résultats des analyses du sol obtenus a permis de mettre en évidence l'effet de la plante sur les paramètres physico-chimiques du sol par l'abaissement de la salinité de sol pendant les 90 jours de la plantation. L'analyse des paramètres physiologiques de la plante (teneur relative en eau, chlorophylles, sels minéraux et proline) a montré que ***Atriplex Canescens*** est une espèce tolérante aux fortes intensités salines, est peut être exploitée dans la valorisation des sols fortement salés.

Mots clés : Sol, physico-chimie, physiologique, salinité, ***Atriplex Canescens***, teneur relative en eau, chlorophylles, sels minéraux, proline, Halophyte.

ملخص:

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم تأثير الملوحة على الخواص الفيزيولوجية للنبتة القطف كانيسونس ثم دراسة تقييم تأثير استعمال نبتة علي الخصائص الكيميائية الفيزيائية للتربة المالحة لهضبة مينا، التجربة جرت في حقل مستثمرة فلاحية خاصة متواجدة على مستوى هضبة مينا لولاية غليزان (المطمر). للقيام بالتجربة نقوم بتقسيم الارض الى قطعتين ارض الالى نتركها كشاهد و الثانية نقوم بغرس النبتة فيها .

في كل قطعة نقوم بعمل ثلاث مواضع لآخذ عينات التربة في كل موضع نقوم بعمل اربع مستويات للعمق (0-15سم)، (15-50سم)، (50-75سم)، (75-100سم)، كذلك نقوم باخذ عينات من النبات من الجذور والسيقان والاوراق، في شهر فيفري ثم في شهر ماي. نتحصل في الاخير على 48 عينة تربة و 18 عينة نبات نقوم بتحليلها في المختبر.

التحليل التي اجريت على الخصائص الفيزيائية و الكيميائية للتربة بينت انخفاض في نسبة الملوحة على مدى 90 يوم من التجربة، اما فيما يخص الخصائص الفيزيوجية للنبات من كمية الماء داخل الاوراق والكلوروفيل و البرولين و المعادن، فقد بينت هته الاخيرة ان النبتة مقاومة جدا للملوحة و يمكن استعمالها لاعادة تهيئة الاراضي المالحة .

الكلمات المفتاحية: تربة، الفيزيائية-الكيميائية، الفيزيولوجية، الملوحة، برولين، الكلوروفيل، المعادن، كمية الماء في الاوراق، القطف كانيسونس .

Summary:

The objective of this work and to investigate the effect of salinity on changes and physiological responses of a halophyte "AtriplexeCanescens (Pursh) .Nutt", and to study the effect of this plant on the physicochemical properties of the salt soils of the plain of La Mina (Relizane). This study was carried out in the field on a private farm, located in the El Matmar area (Relizane). In order to conduct our experiment we divided the experimental plot. The two parcels obtained concern the "control" plot and the other plot relates to the plot "Treated" by the Atriplexecanescence. We then placed 03 sampling profiles, at the level of each plot, for the follow-up of the experiment. In each profile, soil sampling is carried out up to a depth of 1 meter (0 - 25cm, 25-50cm, 50-75cm and 75-100cm) using soil auger. Also around each profile three samples, at the plant level, were made (roots, stems and leaf) with three repetitions. Thus, 48 soil samples and 18 plant samples were taken from two surveys and analyzed in the laboratory.

Key words: Soil, physico-chemistry, physiological, salinity, AtriplexeCanescens, relative water content, chlorophylls, mineral salts, proline, halophyte.

Introduction Générale

La salinisation des sols et de l'eau, est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale (Al-karaki, 2000; Baatour et al. 2004), et le rendement agricole (Zid et Grignon., 1991; Zhu., 2001). Dans les écosystèmes arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (Munns et al. 2006) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (Mezniet al. 2002). Elle provient également de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (BenNaceur et al. 2001). Chaque année, les surfaces perdues à cause de la salinité des sols, varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. Ainsi, ces surfaces sont passées de 48 millions à 265 millions d'ha de terres agricoles touchées par la salinité, les surfaces agricoles affectées dans le monde seraient de 340 millions d'ha, soit 23% des terres cultivées dans le monde (Cheverry., 1995). Selon Szabolcs (1994), un milliard d'ha est menacé, dont 3,2 millions d'ha en Algérie (BELKHODJA et Bidai., 2004).

Pour pallier à cette contrainte environnementale, diverses stratégies peuvent être adoptées, par exemple l'application des techniques de drainage des sels en excès, puisqu'elles exigent un volume d'eau important pour lessiver ces sels, cette technique est très coûteuse (Rhodes et Laveday., 1990), de ce fait l'introduction d'espèces végétales tolérantes aux stress abiotiques et de haute valeur socio-économique, constitue une des approches pour réhabiliter les sols salins. Le choix idéal d'une végétation appropriée à ces conditions, constitue la première étape pour résoudre le problème de la salinité. C'est ainsi que l'introduction des espèces halophytes qui complètent leurs cycles de vie à des niveaux de salinité élevés et qui ont l'habileté d'accumuler de fortes concentrations en micronutriments, supérieures aux niveaux normaux (Wang et al. 1997; Ramos et al. 2004 in et al. 2009) sont prometteuses pour le dessalement des sols dans les zones arides et semi-arides (Messedi et Abdelly., 2004).

Les plantes répondent aux contraintes de l'environnement par de nombreux changements, révèlent le caractère multifactoriel des mécanismes de tolérance et d'adaptation aux stress abiotiques. La réponse au sel des espèces végétales, dépend de l'espèce même, de sa variété, de la concentration en sel et du stade de développement de la plante (BenNaceur et al. 2001). En conditions stressantes, les plantes peuvent réagir en mettant en œuvre des mécanismes, entre autres, physiologiques (Kylin et Quatrano., 1975; Parida et Das., 2005) et biochimiques (Brugnoli et Lauteri., 1991) impliquant une activité enzymatique (Stephanopoulos., 1999; Chaffei et al. 2004). Ainsi, par la synthèse de composés organiques

ayant un rôle d'osmoprotecteurs ou de régulateurs osmotiques (**Hanson., 1990 ; SANNADA et al. 1995; Huang et al. 2000, El-Shintinawy et Hassanein., 2001**).

Les critères d'identification de la tolérance au sel les plus usuels, incluent le rendement, la vigueur, les dommages foliaires et la taille des plantes (**Maas et Nieman., 1975; Shannon., 1984**). D'autres indices de tolérance ont été proposés, basés sur des caractéristiques physiologiques spécifiques, notamment l'accumulation d'ions ou la production de métabolites spécifiques. Néanmoins, la tolérance au sel est habituellement déterminée en termes de croissance ou de rendement (**Maas et Nieman., 1975; Shannon, 1984**).

Les réponses des plantes au stress salin ont été étudiées par l'usage des approches anatomiques, écologiques, physiologiques et moléculaires (**Tal., 1984; Sachas et HO., 1986 ; Hurkman., 1992 in Wang et al. 1997**). Des modifications morphologiques et anatomiques au niveau de la plante sont capables de minimiser les effets indésirables du stress salin (**Poljakoff-Mayber., 1988**).

En effet, pour atténuer l'effet de toxicité dans les milieux hautement concentrés, les plantes, aussi bien les halophytes que les glycophytes, peuvent développer plusieurs mécanismes pour assurer leur cycle de croissance et de développement. Certaines espèces utilisent le mécanisme d'exclusion des sels en excès (**Zid et Grignon., 1991; Alem et Amri., 2005**) ou les compartimentent dans la vacuole (**Niu et al. 1995**).

Dans le but d'explorer l'effet de la salinité sur les modifications et les réponses d'ordre physiologique de la plante et de valoriser les zones menacées par la salinité, nous sommes intéressées à une halophyte qui est l'**Atriplexe** pour ses intérêts écologiques et économiques. Les **Atriplexe** constituent une réserve fourragère importante, et sont capables d'accumuler de grandes quantités de sels dans leurs tissus et plus particulièrement dans les trichomes, situés à la surface des feuilles (**Mozafar et Goodin., 1970**). Les espèces du genre **Atriplexe** sont souvent utilisées dans la réhabilitation de sites difficiles. Elles possèdent par ailleurs, un système racinaire très développé, fixant les couches supérieures du sol et peuvent être utilisées comme moyen de lutte contre la désertification (**Belkhodja et Bidai., 2004**).

Pour répondre à cet objectif nous avons articulé ce document en quatre parties, la première partie est consacrée à une synthèse bibliographique sur la salinité et son effet sur le sol et sur la végétation avec une description générale sur l'**Atriplexe Canescens**. La deuxième partie, est consacrée à la présentation de la zone d'étude : situation, lithologie, hydrologie, géologie, climatologie, la troisième partie et une présentation méthodologique de

travail d'analyses suivies pour les compartiments sols et pour la plante . Avant de conclure ce travail, une dernière partie, est consacré à la présentation des résultats obtenus après analyses, ainsi qu'une analyse statistique, afin de mieux interpréter les résultats obtenus.

Chapitre I .Synthèse bibliographique

I. Généralités sur la salinité

1. Définition

Le terme de salinité se rapporte à la présence des principaux solutés inorganiques dissous (essentiellement des ions Na^+ , Mg^{++} , Ca^{++} , K^+ , Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , NO_3^- et CO_3^{--}) dans des échantillons aqueux. La salinité est quantifiée en termes de la concentration totale de ces sels solubles, ou plus concrètement, en termes de conductivité électrique de la solution, parce que les deux sont étroitement liés (**Ussl, 1954**).

La salinisation est l'accumulation des sels solubles (plus solubles que le gypse) à la surface du sol et dans la zone racinaire (**Mermoud, 2006**). La conductivité, inverse d'une résistivité (en ohms), a longtemps été exprimée en mhos (en inversant l'ordre des lettres). Dans le système international on se réfère désormais au Siemens (S), et à ses subdivisions (milli = m et micro = μ), pour exprimer une conductivité électrique (**FAO, 1988**) :

- $1 \text{ dS / m} = 1 \text{ mS / cm} = 1 \text{ mmhos / cm} = 0.1 \text{ S / m} = 1000 \mu\text{S / cm}$.

- Conductivité en mmol (+) par litre: **$\text{mmol (+) / l} = 10 \times \text{CE (CE en dS / m)}$**

Pour l'eau d'irrigation et les extraits de sol dans la gamme 0,1-5 dS / m.

- Conductivité en pression osmotique en bars: **$\text{PO} = 0,36 \times \text{CE (CE en dS / m)}$**

Pour les extraits du sol dans la gamme de 3 à 30 dS / m.

- Conductivité en mg / l:

$\text{Mg / l} = 0,64 \times \text{CE} \times 10^3$, ou (CE en dS / m)

$\text{Mg / l} = 640 \times \text{CE}$

Pour les eaux et extraits de sol ayant une conductivité jusqu' à 5 dS / m.

- mmol / l (analyse chimique) en mg / l.

- Multipliez mmol / l pour chaque ion par son poids moléculaire pour obtenir la somme.

2. Définition de sols salés

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

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles, ou par la richesse de leur complexe absorbant en ions, provenant de ces sels et

susceptibles de dégrader leurs caractéristiques et propriétés physiques, en particulier leur structure. On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse 0,5 g/l (**Robert, 1996**). Selon **Calvet (2003)** un sol est dit salé quand la conductivité électrique est supérieure à 4 dS/m. Génétiquement, les sols sont constitués par deux unités très différentes, les Salisols, dans lesquels les sels de sodium, de calcium ou de magnésium sont sous la forme soluble de sels simples ou complexes. Les Sodisols à complexe sodique dans lesquels les cations, essentiellement le sodium, sont sous la forme échangeable, les sels solubles étant très peu abondants (**Bouteyre et Loyer, 1992**).

3. Facteurs intervenants dans le processus de la salinisation

Selon **Jones et Gouston (1991)**, la salinisation des sols peut être due à la lixiviation des sels solubles et/ou à l'évaporation, qui dépose leurs sels dans les sols, et en régime, non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (**Raju et al. 1993**).

4. Origine des sols salés

D'après **Cherbuy (1991)**, la salinisation d'un milieu, implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle, dénommée primaire, et une salinisation anthropique, généralement liée à l'irrigation, que l'on appellera secondaire.

4.1. Salinisation primaire

La salinisation primaire, d'origine géologique, marine ou lagunaire correspond à une salinisation liée au fonctionnement naturel des terrains, sous l'influence du climat, de l'altération des roches et de la dynamique des eaux.

Salinisation géologique

Les sels solubles peuvent provenir soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques potassiques et magnésiques. En région arides et semi-arides, ces sols se concentrent sur place ; dans les dépressions fermées, soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates, etc. Les évaporites se localisent essentiellement dans les bassins élémentaires, ou de l'altération des roches volcaniques (**Servant, 1975**).

Salinisation marine et lagunaire

L'origine des sels peut se trouver dans les dépôts lagunaires ou matériaux salés plus ou moins récents qui peuvent être eux-mêmes des roches mères des sols et fournir leurs sels aux oueds qui les transportent jusqu'aux nappes superficielles plus ou moins profondes sous les sols des vallées et basses plaines (**Gaucher et Burdin, 1974**).

4.2. Salinisation secondaire

Dans les zones à climat aride et semi-aride, la pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire.

Actuellement, on dénombre environ 350 millions d'hectares irrigués dans le monde (**Szablocs, 1994**). Ces chiffres sont susceptibles d'être augmentés à l'avenir.

En effet, **Hamdy et al (1995)** ont constaté que les terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27% de la surface irriguées dans le monde. Cette menace selon **Cheverry (1995)** occasionne, chaque année des pertes de terres, variables selon les auteurs de 10 à 12 millions d'hectares.

5. Classification des sols salés

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

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

Caractérisés par une saturation marquée en Na et une accumulation des sels en profondeur.

Ces sols se caractérisent par la présence d'une quantité importante de sodium qui dépasse les 15% de la C.E.C. (Capacité d'Echange Cationique). La conductivité électrique (C.E) ne dépasse pas 4 ds/m à 25°C, et le pH est supérieur à 8,5.

La relative abondance de l'ion sodium, dans la garniture ionique absorbant, peut avoir deux origines soit provenir du sodium libéré par l'altération de certains minéraux alcalins ou un résultat d'une saturation progressive du complexe en sodium, aux dépens d'une solution saline (**Duchaufour, 1983**).

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

5.2. Sols salins à complexe calcique (Solontchaks)

Caractérisés par une accumulation marquée des sels solubles en surface. Ces sols se rencontrent dans les zones à climat sec. Ils se caractérisent par un pH généralement inférieur à 8,5 et supérieur à 7 et le sodium n'y forme pas plus de 50% des cations en solution (**Dajoz, 1982**). La conductivité électrique de l'extrait aqueux à saturation, est supérieur à 4,5 ds/m à 25°C, dans les horizons de surface (25 cm); 15ds/m dans les horizons inférieurs (suivant la texture) (**Duchaufour, 1983**); avec un taux de sodium échangeable (E.S.P) inférieur à 15% de la C.E.C du sol.

Ces sols présentent une structure non dégradée, caractérisés par une richesse en sels solubles, tels qu'ils inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées (**Aubert, 1978**).

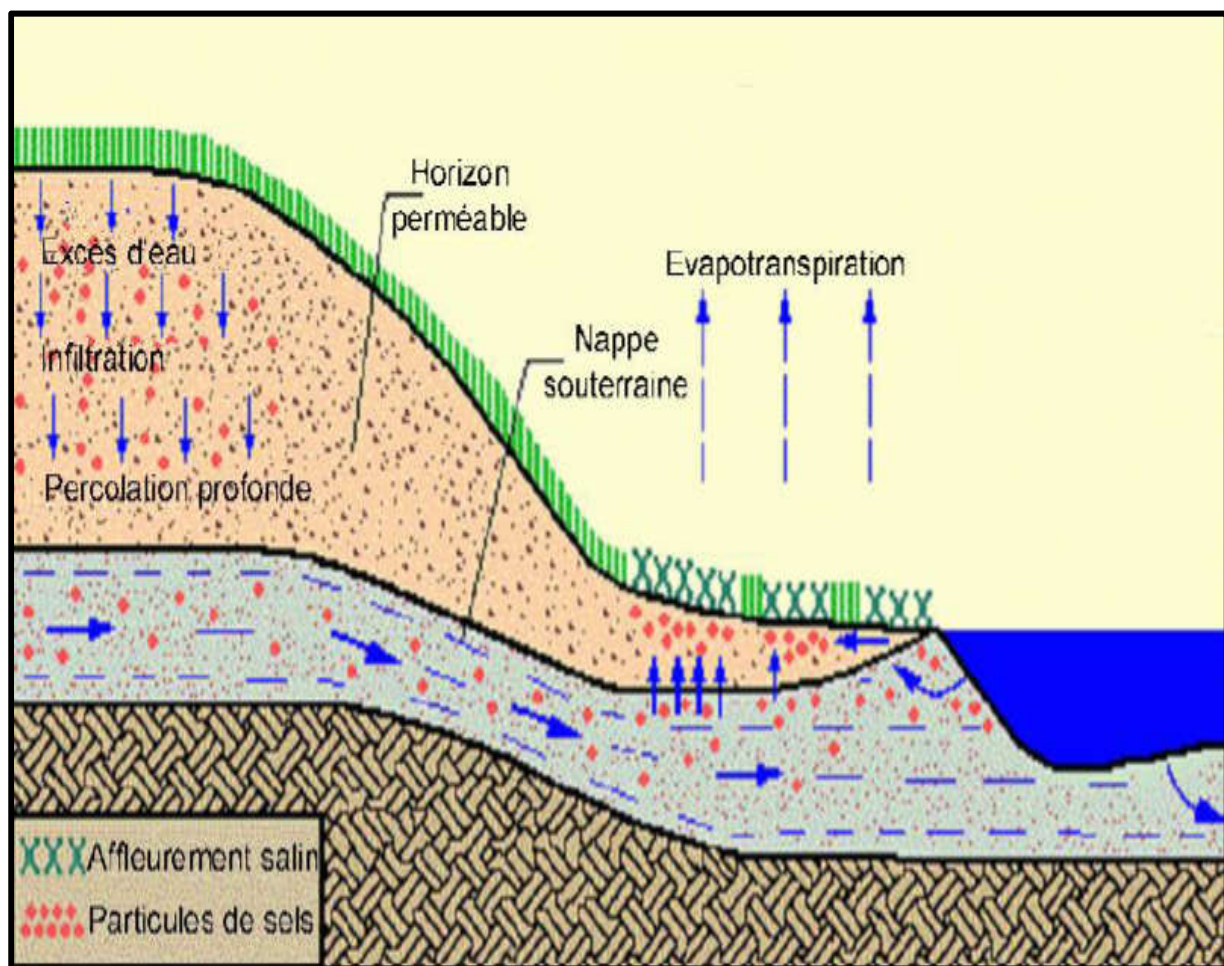


Figure 1. Le cycle des sels dans le sol (Lahlou et al, 2002).

II. La Salinité, les sols et les plantes

II.1. La Salinité et les plantes

1. Stress

1.1. Définitions du stress

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

Selon **Dutuit et al (1994)**, le stress est le dysfonctionnement (rupture d'un équilibre fonctionnel) produit dans un organisme ou dans un système vivant, par exemple par une carence. Le stress est un ensemble de conditions qui provoquent des changements de processus physiologiques résultant éventuellement en dégâts, dommages, blessures, inhibition de croissance ou de développement. D'après **Jones et al (1989)**: "C'est une force ou influence hostile qui tend à empêcher un système normal de fonctionner". Au niveau d'un écosystème par exemple, toute contrainte externe qui limite la productivité en deçà de la potentialité génétique d'une plante peut être considérée comme stress (**Grime, 1979**).

1.2. Catégories de stress

Les plantes sont souvent confrontées à des conditions environnementales défavorables qu'on peut dénommer « stress » et qui ont pour conséquence une diminution de la croissance.

Tous les stress impliquent des réactions de signalisations capables d'aboutir à la mise en place de défense ou de déclencher une mort cellulaire programmée.

On distingue deux grandes catégories de stress:

Biotique: imposé par d'autres organismes (insectes, herbivores...).

Abiotique: provoqué par un défaut ou excès de l'environnement physico-chimique comme la sécheresse, les températures extrêmes, la salinité...

Les stress abiotiques ou environnementaux affectent la croissance et le rendement des plantes, contrairement aux animaux qui peuvent se déplacer lorsque les conditions de vie ne leur sont plus favorables. Les plantes ont développé des stratégies d'adaptation pour répondre aux chocs chimiques ou physiques, engendrés par l'environnement en contrôlant et en ajustant leur système métabolique.

On peut considérer que la notion de stress implique, d'une part, une déviation plus ou moins brusque par rapport aux conditions normales de la plante ou de l'animal; et d'autre part une réaction sensible de l'individu dans les différents aspects de sa physiologie, avec soit une adaptation à la nouvelle situation, soit à la limite dégradation menant à une issue fatale **(Laclerc, 1999)**.

Dans le cas du stress salin, la présence de fortes concentrations de sels dans le milieu crée une pression osmotique élevée dans l'environnement racinaire, réduisant la disponibilité de l'eau du sol pour la plante. A ce déficit hydrique s'associe un stress ionique dont l'ampleur dépend de la perméabilité des membranes végétales vis-à-vis des ions, et du niveau de toxicité de ces ions pour l'espèce végétale considérée **(Hamza, 1980)**. Le maintien des processus vitaux dans ces conditions de forte salinité passe donc par une résistance de la plante à la déshydratation, par une adaptation de son potentiel osmotique afin de rétablir les relations hydriques et d'assurer une alimentation en eau convenable, ainsi que par un contrôle efficace des flux ioniques intracellulaires **(Chretien, 1992)**.

1.3. Stress salin

Le stress salin est un excès d'ions, en particulier, mais pas exclusivement, aux ions Na^+ et Cl^- **(Hopkins, 2003)**. Le stress salin est dû à la présence de quantités importantes de sels potentiels hydriques. Il réduit fortement la disponibilité de l'eau pour les plantes, on parle alors de milieu "physiologiquement sec" **(Trembun, 2000)**.

La quantité de sels dans le sol que les plantes peuvent supporter sans grand dommage pour leur culture, varie avec les familles, les genres et les espèces, mais aussi les variétés considérées **(Levigneron et al. 1995)**.

1.4. Le stress hydrique

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

1.5. Le stress ionique

En dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique.

1.6. Le stress nutritionnel

Des concentrations salines trop fortes dans le milieu, provoquent une altération de la nutrition minérale, en particulier vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires. Le sodium entre en compétition avec le potassium et le calcium, et le chlorure avec le nitrate, le phosphore et le sulfate.

2. Conséquences de la salinité sur la plante

La salinité est l'un des facteurs limitant pour la croissance des plantes. Les effets de la salinité sont: l'arrêt de la croissance, 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**).

La salinité provoque le plus souvent un retard dans le développement (**Gili, 1979; Elmekkaoui, 1990 et Boukachabia, 1993**) et d'une manière générale la hauteur, le diamètre des tiges des différentes espèces, ainsi que la grosseur des fruits, diminuent d'une façon importantes avec l'augmentation de la salinité: c'est le cas de riz (**Khan et al. 1997**) et de la pomme de terre (**Bouaziz, 1980**).

D'une façon générale, la tolérance au sel n'est pas constante pour une même espèce ou variété. Elle peut changer en fonction de l'espèce, du génotype, de l'âge et de l'état physiologique de l'organe.

2.1. Effet de la salinité sur la germination

Les semences des glycophytes et des halophytes répondent de la même manière au stress salin, en réduisant le nombre total des graines germées et en accusant un retard dans l'initiation du processus de la germination (**Ismail, 1990 in Lachihebet et al. 2004**).

Parmi les causes de l'inhibition de la germination en présence de sel, la variation de l'équilibre hormonal a été évoquée (**Ungar, 1978; Kabar, 1986 in Debez et al. 2001**).

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

Les effets osmotiques se traduisent par l'inaptitude des graines à absorber des quantités suffisantes en eau pour les ramener à leur seuil critique d'hydratation, nécessaire au déclenchement du processus de germination,

Les effets toxiques sont liés à une accumulation cellulaire de sels qui provoquent des perturbations des enzymes impliquées dans la physiologie des graines en germination, empêchent la levée de dormance des embryons et conduisent à une diminution de la capacité de germination (**Rejili et al., 2006**).

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

Le stress salin entraîne des modifications morphologiques, mais c'est le poids de la matière végétale sèche et la longueur des tiges qui rendent compte du milieu de la tolérance ou de sensibilité des plantes au sel (**Bekhouche, 1992**).

Selon **Levigneron et al (1995)**, une augmentation brutale de la salinité du sol se traduit par une réduction immédiate de la croissance foliaire. Un retard de croissance important est signalé chez la plupart des glycophytes dès 50 mM/l de NaCl dans la solution du sol. Par contre chez les halophytes leur croissance ne semble diminuer que pour des concentrations beaucoup plus élevées; par exemple chez *Atriplex halimus* L. c'est à partir de 480 mM/l de NaCl que sa production diminue (**Brun, 1980**).

Parmi les manifestations morphologiques des plantes au stress salin, on distingue une faible ramification, une diminution de la longueur de diamètre, du poids sec des tiges, racines, un raccourcissement des entre-nœuds et une diminution du nombre de nœuds, et une réduction du nombre de feuilles (**Hamza., 1977**) et de la surface foliaire chez l'haricot avec une diminution de 20% à 40% (**Larheret al. 1987**).

Ainsi les *Medicago*, plantes fourragères telle la luzerne, ont une productivité mesurée en biomasse qui peut être réduite de 40% en présence d'une concentration en sel de 12 g/l (**Levigneron et al. 1995**). Le soja, son rendement en grains diminue de 50% en présence de seulement 0,6g/l de NaCl (**Beecher, 1993 in Levigneron et al., 1995**). De même, la teneur en huile des graines d'arachide est réduite de 12 à 25% selon l'intensité du stress salin (**Heueret al., 1994 in Levigneron et al., 1995**).

La salinité influence également la croissance et la qualité des fruits dont l'aspect (fruits plus petites et nécrosés) et la qualité organoleptique sont modifiés, et dont la valeur marchande devient médiocre (**Levigneron et al, 1995**).

Le ralentissement de la croissance peut résulter de plusieurs facteurs, à savoir :

La perte de turgescence des cellules, due au stress osmotique, induit par lessolutés externes (**Serrano et Gaxiola., 1994**) ;L'utilisation des composés carbonés et azotés à des fins de protection et d'osmorégulation, aux dépens de leur implication dans la production de biomasse (**Aalarcon et al. 1994**) ;L'accumulation excessive d'électrolytes dans les tissus de la plante, entraînant un effet de toxicité (**Grouziset al. 1976**) ;Le déséquilibre nutritionnel causé par l'absorption réduite des ions essentiels comme K^+ , Ca^{++} ou NO_3^- en liaison avec cette accumulation excessive (**Grouziset al., 1976 ; Haoualaet al., 2007**).

2.3. Effet de la salinité sur le comportement biochimique 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**).

Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de la membrane cellulaire, affectant ainsi sa stabilité (**Alem et Amri, 2005**). La présence du sel en forte concentration inhibe principalement le métabolisme cellulaire et la photosynthèse (**Tremblinet Coudret, 1986**) par l'imposition d'un stress osmotique (**Hayashiet Murata, 1998**) sur la cellule et par la toxicité du sodium (**Niuet al. 1995**) et du chlorure dans le cytoplasme.

2.4. Effet de la salinité sur les processus physiologiques de la plante

Un excès de sel dans le protoplasme conduit à des modifications dans la balance ionique, des perturbations des enzymes, membranes et autres macro-molécules. Ces perturbations entraînent une faible production d'énergie par la phosphorylation et la photorespiration, une assimilation de l'azote est perturbée, et un dérèglement de nombreuses voies métaboliques.

Si la concentration en sel excède le niveau de tolérance de la plante, des perturbations fonctionnelles apparaissent au niveau de la photosynthèse, par effet du sel dans le stroma des chloroplastes qui perturbe le transport des électrons. La glycolyse et le cercle de Krebs sont aussi affectés. 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.

3. Mécanismes de résistance à la salinité

La résistance d'une plante à la salinité s'exprime par sa capacité à survivre et à produire dans des conditions de stress salin (**Piriiri et al. 1994**). Les plantes développent plusieurs stratégies pour limiter le stress salin (figure 1), qui diffèrent selon la catégorie de la plante (**Berthomieu et al. 2003**).

Chez les plantes sensibles au NaCl, le Na⁺ s'accumule dans les racines, puis exclu des feuilles, ces plantes sont dites « exclure ». A l'inverse, les plantes tolérantes le NaCl, sont dites « inclure » car elles ont en général des feuilles plus chargées en Na⁺ que les racines lorsqu'elles sont cultivées en présence de sel (**Haouala et al. 2007**).

3.1. 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 réexcréter les ions Na⁺ (**Genoux et al. 1991**).

Quelques halophytes peuvent empêcher l'absorption excessive de sel par 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**).

3.2. Inclusion

La plante retient le sel qui parvient aux feuilles au même titre que l'eau, par le mouvement ascendant de la sève dans les vaisseaux. A l'intérieur des cellules, le sel est alors stocké dans les vacuoles grâce à des systèmes de pompes moléculaires. Les vacuoles sont des compartiments fermés au sein de la cellule, le sel est ainsi isolé des constituants cellulaires vitaux (**Berthomieu et al. 2003**), ou excrété par des glandes vers l'extérieur (**Alem et Amri, 2005**). L'excrétion dans les glandes à sel est très spécifique ; d'abord Na⁺, Cl⁻ et HCO₃⁻ sont excrétés contre le gradient de concentration, alors que des ions comme Ca⁺⁺, NO₃⁻, SO₄⁻ et H₂PO₄⁻ sont maintenus contre leur gradient (**Hopkins, 2003**).

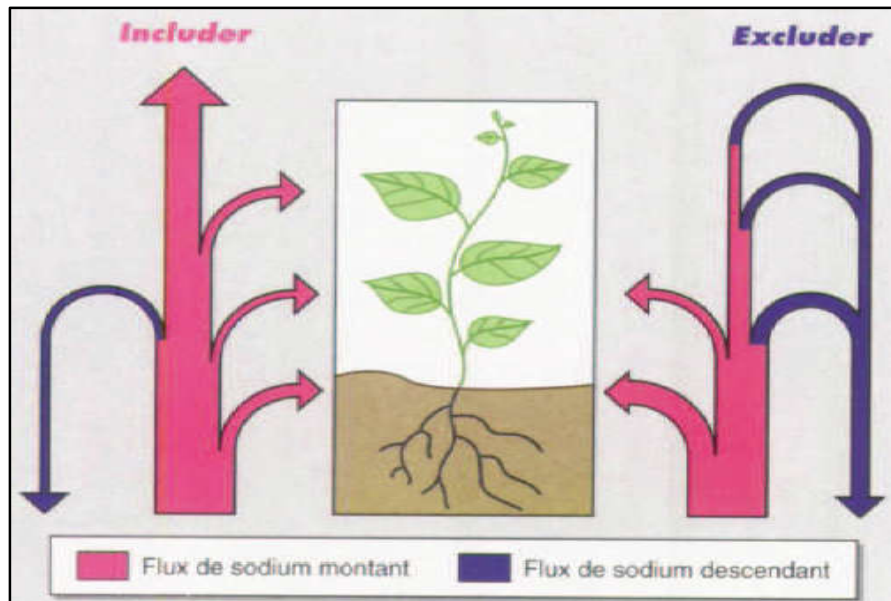


Figure 2. Schématisation du bilan de la circulation du sodium dans les plantes includer ou excluder (Levigneron et al, 1995).

4. Mécanismes d'adaptation à la salinité

4.1. Adaptations morphologiques

La succulence, qui se traduit par une accumulation d'eau dans les cellules constitutives des tissus des organes aériens, est l'un des caractères les plus communs aux halophytes. La succulence des cellules foliaires augmente, se traduisant par une augmentation de l'épaisseur des feuilles sont l'une des modifications qui apparaît de façon plus importante chez les espèces les plus tolérantes. On note de plus la réduction de la surface foliaire, par exemple chez *Cressacretica* et *Tamarix gallica* (Raacheet Karboussa, 2004); la présence d'une cuticule épaisse et l'apparition plus précoce de la lignification de quelques organes à la fin de leur cycle de vie (Poljakoff-Mayber, 1975; Raacheet Karboussa, 2004).

4.2. Adaptations anatomiques

Des modifications anatomiques apparaissent au niveau des différents organes lors d'un stress salin. Selon Poljakoff –Mayber(1975), on observe des modifications du cortex qui, chez les halophytes est constitué de deux à trois couches de cellules seulement, ainsi qu'une diminution du diamètre de la stèle au niveau des racines du blé et chez la tige de la tomate, où le cortex devient épais alors que le nombre de vaisseaux conducteurs diminue.

D'autres modifications s'observent sous l'effet de la salinité comme la raréfaction des stomates, la présence de tissus de soutien et l'abondance du parenchyme aquifère **(Benhamida et Djeghbala, 2005)**.

Certaines plantes peuvent développer différentes stratégies qui leur permettent de réguler les concentrations internes en ions. Lors d'un stress salin, les halophytes sont capables de compartimenter les ions Na^+ et Cl^- au niveau vacuolaire. Certaines halophytes possèdent des structures spécialisées, appelées « glandes à sel », constituées d'une à plusieurs cellules, sont souvent protégées par une mince cuticule perforée de pores, situées au niveau des cellules épidermiques des feuilles et des tiges, ayant pour rôle d'excréter le sel, lorsque la charge minérale des tissus est excessive **(Thomson, 1975)**, c'est le cas du tamarix.

4.3. Ajustement osmotique et relations hydriques dans la plante

4.3.1. Absorption et répartition des ions

Les halophytes accumulent les ions jusqu'à 800 mM. Les glycolphytes le font entre 300 et 600 mM selon leur degré de résistance **(Greenway et Munns, 1980 in Bidal, 2001)**. L'intégration de ces ions dans l'organisme est complexe et fait intervenir des mécanismes d'absorption et de répartition dans les tissus de la plante. Cette intégration repose sur des processus de transport actif et sélectif d'ions contre les gradients de concentration. Par exemple, chez l'orge (*Hordeum vulgare*) comme chez la plupart des glycophytes, la sensibilité au sel est tributaire de la capacité de rétention du Na^+ dans les racines et les tiges, et du transport préférentiel d'ions K^+ dans les feuilles. En outre, la présence d'ion calcium joue un rôle important dans la réponse à la salinité puisqu'il augmente la sélectivité du potassium aux dépens du **sodium (Colmeret al. in Hernandez, 1997)**. Le Ca^{++} externe permet ainsi l'exclusion du Na^+ et aide à maintenir la concentration en K^+ des tissus racinaires des plantes non halophytes, surtout au niveau de la zone en **croissance (Colmeret al. in Hernandez, 1997)**. Le calcium pénètre dans la cellule de façon passive par des canaux ioniques **(Niu et al. 1995)**.

L'entrée des ions Na^+ dans la cellule peut, en effet, être limitée par l'intermédiaire des ions Ca^{++} qui régulent la perméabilité membranaire **(Cramer et al. 1997)**.

Dans la plante, les ions peuvent être séquestrés dans des organes spécialisés tels des poils vésiculeux, similaires à ceux de l'*Atriplex halimus* **(Frnklet et LeHouerou, 1971)**. Les ions peuvent également s'accumuler préférentiellement dans des cellules ou des tissus spécialisés de la racine, de la tige ou de la feuille, comme chez le sorgho (*Sorghum bicolor*) exposé au

NaCl, qui concentre les ions Cl⁻ dans les cellules parenchymateuses de la gaine foliaire (**Bourrsieret Lauchli, 1989**).

4.3.2. Synthèse d'Osmoticum

Pour surmonter le stress, les plantes développent d'autres mécanismes, complexes qui contribuent à l'adaptation aux contraintes de l'environnement (**Yeo., 1983**). Ces mécanismes incluent l'ajustement osmotique faisant suite à l'intervention d'ions inorganiques et aussi l'accumulation de solutés compatibles comme les osmoprotecteurs (**Stewart, 1981**).

L'ajustement du potentiel hydrique du cytoplasme peut être réalisé par la synthèse d'osmoticum, c'est-à-dire de composés à fort pouvoir osmotique. Ces composés sont:

- 1- Soit des colloïdes fortement hydrophiles qui diminuent le potentiel matriciel.
- 2- Soit des substances neutres qui abaissent le potentiel osmotique du cytoplasme (**Chretien, 1992**).
- 3- Les composés azotés sont les plus importants car ce sont de petites molécules non toxiques qui jouent un rôle principal dans l'ajustement osmotique du cytoplasme chez les plantes, en réponse au stress osmotique (**WynJonesetGouston, 1991**).
- 4- La glycine bétaine (composé d'ammonium quaternaire méthyle) est synthétisée dans le chloroplaste et contribue à l'ajustement osmotique du chloroplaste durant le stress salin et hydrique (**Hamdy., 1999**). Elle est retrouvée particulièrement chez les halophytes (**Jolivet et al. 1983 in Chahrour., 2002**).
- 5- Les acides aminés peuvent s'accumuler par blocage de la protéogenèse oùhydrolyse des protéines. La proline est l'acide aminé le plus communément retrouvé dans les tissus des halophytes et glycophytes soumises à un stress (**Chretien, 1992**). Elle a été mise en évidence par de nombreux auteurs (**Stewart et Larher, 1980; Rhodes, 1987; Delauneyet Verma, 1993; Samaras et al, 1995; Taylor, 1996**). Le rôle de la glycine bétaine pour l'ajustement osmotique sous stress salin a été confirmé par plusieurs travaux, mais la signification de l'accumulation de la proline dans l'ajustement osmotique demeure encore peu claire et varie selon les espèces (**Rhodes et Hanson, 1993; Luttsset al. 1996 et Meloniet al. in Bennabi, 2005**).

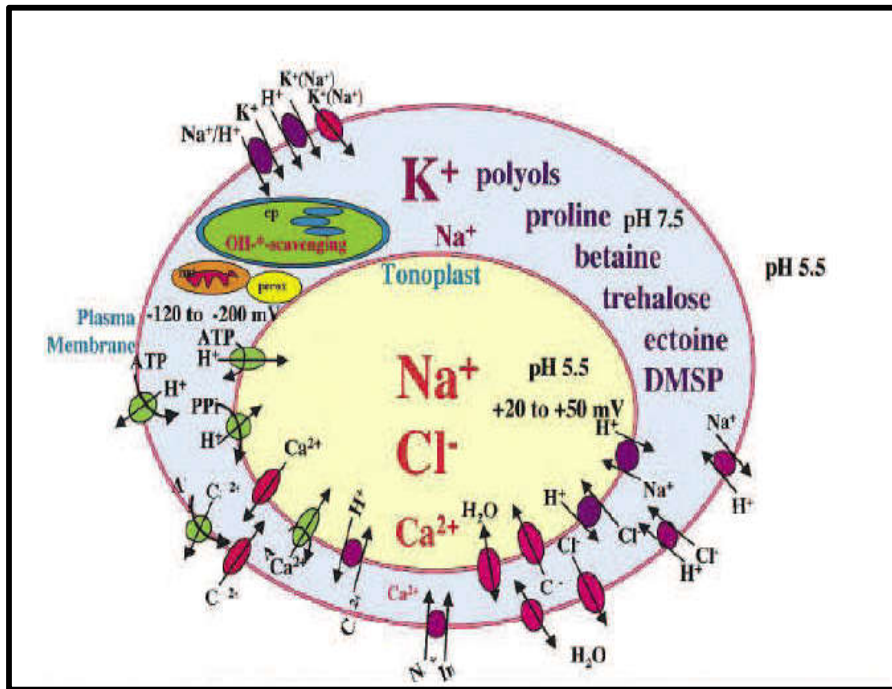


Figure 3. Principales cibles cellulaires de la réponse des plantes au stress salin (Hasegawa et al., 2000).

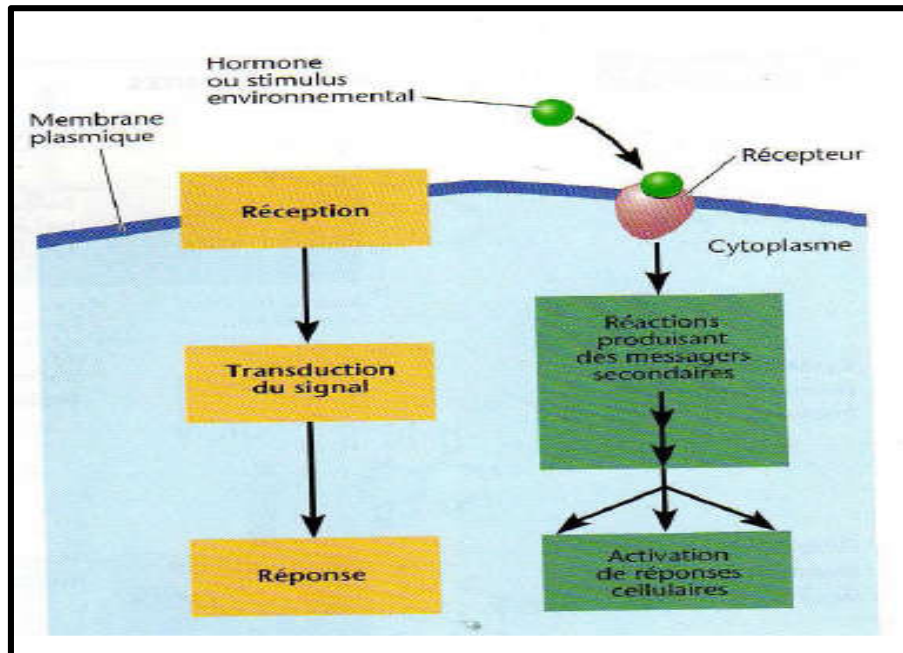


Figure 4. Perception et traduction du signal par la plante (Nebors, 2008).

II.2. la salinité et les sols

1. Effets de la salinité sur les sols

Dans les sols salins, la présence excessive de sels solubles neutres floccule la fraction argileuse, mais les maintient stable, alors que dans les sols alcalins, un excès en sodium échangeable favorise la dispersion de l'argile et rend la structure du sol instable. Ces sols sont ainsi sensibles aux encroûtements de surface qui favorisent le ruissellement de surface (**Hassan, 2005**). Une prise en masse du sol peut également réduire fortement l'infiltration de l'eau dans le sol et conduire à une hydromorphie plus ou moins importante du sol selon sa texture et sa position topographique dans le paysage (**Douaoui et al, 2004**).

Un taux de sodium échangeable élevé a pour effet une dispersion des agrégats, ce qui conduit à une réduction de la perméabilité, de la porosité et un tassement des sols. Du point de vue agricole, cela se traduit d'une part par la prise en masse du sol qui devient très compact, dur, difficile à labourer, et d'autre part, par des difficultés de germination, et d'enracinement des plantes. Par ailleurs le sol devient totalement asphyxiant, ce qui s'accompagne d'une atrophie du système racinaire, de son développement de plus en plus superficiel, avec des conséquences défavorables sur la nutrition minérale des plantes, et la baisse considérable des rendements.

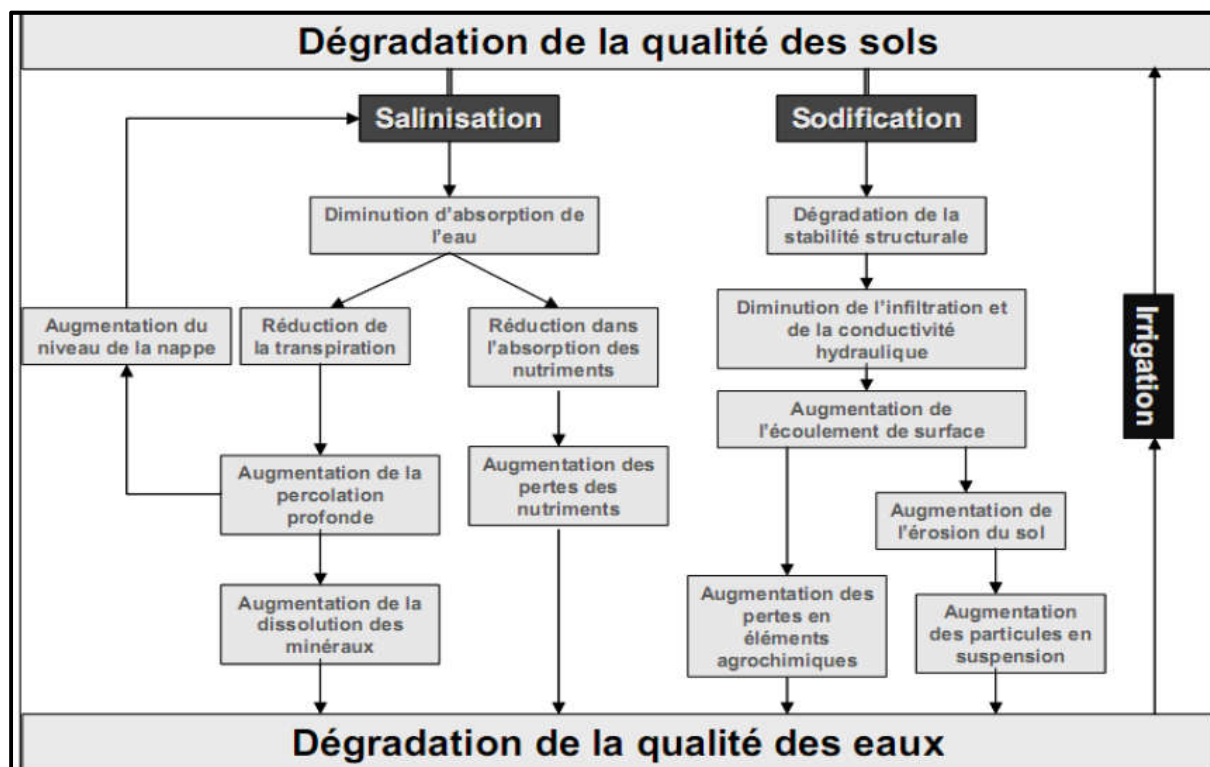


Figure 5. Processus de dégradation de la qualité des sols suite à l'irrigation (**Lahlou et al, 2002**).

2. Mise en valeur des sols salés

Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite l'élimination des excès en sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée).

Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne qualité.

L'utilisation des plantes résistantes à la salinité ; La reconstitution de la fertilité par des amendements qui enrichissent les argiles en calcium échangeable ; Des pratiques culturales particulières, labour de défoncement, ratissage des sels en surface (**Girard et al., 2005**).

III. L'Atriplexe

1. Définition

Les plantes du genre Atriplexe sont des halophytes présentes dans la plupart des régions du globe. Ce sont des plantes qui poussent sur des terrains riches en chlorures et nitrates (terrains salés) (**LeHouerou, 1992**). Ces plantes élèvent leur concentration osmotique à un niveau supérieur à celui du sol et accumulent une grande quantité de sels. Les Atriplexe semblent actuellement les plantes les mieux adaptées pour stabiliser et augmenter la production fourragère en climat semi-aride et aride. Ils sont susceptibles de mettre en valeur des terres où la végétation naturelle est profondément dégradée et la production agricole très irrégulière; ou encore des terres chargés en sels sur les quelles peu d'espèces peuvent se développer. Leur production fourragère, bien qu'ayant un maximum en fin de printemps, peut être exploitée dans certains milieux presque, toute l'année (**Fromnet, 1972**).

L'Atriplexe est une plante arbustive, appartenant à la famille des Amaranthaceae qui comprend 1400 espèces, réparties en une centaine de genres. Le genre Atriplexe comprend environ 417 espèces dans le bassin méditerranéen (**LeHouerou, 1992**). En Afrique du nord, le genre Atriplexe comprend 15 espèces spontanées et 2 espèces introduites, soit 07 espèces vivaces, 01 bisannuelle et 09 annuelles (**Farncltet LeHouerou, 1971**). Par ailleurs, **Maire (1962)**, a identifié une dizaine d'espèces en Algérie dont les plus répandues sont: Atriplexehalimus et Atriplexeportulacata.

2. Répartition des Atriplexe

Dans le monde, les Atriplexe se rencontrent de l'Alaska à la Patagonie, de la Bretagne à la Sibérie et de la Norvège à l'Afrique du sud (**Francltet LeHouerou, 1971**). En Algérie, l'Atriplexe est spontané dans les étages bioclimatiques semi aride et arides, les plus grandes superficies correspondent aux zones dites steppiques (Tébessa, Batna, M'sila, Boussaâda, Biskra, Djelfa, Tiaret, Saida...). Le genre Atriplexe se rencontre aussi sur le littoral et même au Sahara, particulièrement dans la région de Béchar où les nappes longent les dépressions d'Oued (**Benrebiha, 1987**).

3. Propriétés écologiques de l'Atriplexe

Les Atriplexe présentent une bonne tolérance aux conditions défavorables du milieu: l'Atriplexehalimus L.cv halimussupporte des concentrations de chlorure de sodium (NaCl) voisines de celles de l'eau de mer (30 g/l) (**Zid et Boukheris, 1977**).

Cependant, les graines ne sont pas aussi tolérantes au sel au stade germination.

En effet, **Belkhodja et Bidia (2004)** rapportent que la germination des graines d'Atriplexehalimusdes sites de Djelfa et de Senia est inhibée dès que la concentration en NaCl dépasse 5 g/l.L'examen de la répartition du genre Atriplexe, montre que la plupart des espèces se situent dans les régions où les précipitations varient entre 200 et 400 mm/an(**Francllet et Le Houerou., 1971**). L'Atriplexe supporte des températuresminimales de 5 à 10°C (**Froment., 1972**) et selon (**H.C.D.S., 1996**) l'Atriplexehalimuspeut supporter jusqu'à -10°C. Selon **Froment (1972)**, cette espèce peut s'adapter à des milieux divers.Selon **Killian (1953)**, les Atriplexeprospèrent dans les sols sableux et limoneux.Pour **Pouget(1971)**, l'espèce Atriplexehalimuss'accommode à divers types de sols mais selon **Forment (1972)**, il préfère les sols limoneux. Par contre l'Atriplexecanescensse développe mieux dans les sols sableux et argileux (**H.C.D.S., 1996**).

4. Potentiel écologique et économique de l'Atriplexe

4. 1. Intérêt fourrager

Au vu de sa grande résistance à la sécheresse, à la salinité et à l'ensoleillement, les Atriplexe constituent une réserve fourragère importante, utilisable par les ovins, les caprins et les camélidés (**Castroviejo et al. 1990**). Sous des précipitations annuelles de 200 à 400 mm, Atriplexehalimus compte, avec Atriplexenummularia et Atriplexecanescens, parmi les espèces les plus intéressantes, produisant de 2000 à 4000 kg de matière sèche par an et par ha de fourrage riche en protéine (10 à 20 % de la MS) (**LeHouerou., 1992; Ben Ahmed et al. 1996**). Cependant, la teneur importante en NaCl du fourrage augmente la consommation en eau des animaux et diminue son appétence, pouvant à terme limiter l'exploitation d'Atriplexehalimus en tant que plante fourragère dans les régions où l'accès à l'eau est difficile.

4. 2. Mise en valeur des sols pauvres

Les Atriplexe sont les arbustes les mieux adaptés aux régions arides et au sol pauvres, d'autre part, la couverture d'Atriplexe accroît considérablement la perméabilité des sols et l'augmentation de drainage dans les horizons superficiels. Elles permettent la reconstitution d'un tapis végétal herbacé.

Elles sont susceptibles de mettre en valeur des terres où la végétation naturelle est profondément dégradée et la production agricole irrégulière.

Les Atriplexe permettent également de remettre en état de nombreux pâturages à flore et sols dégradés. En Algérie les essais réalisés dans les régions de Djelfa et Boussaâda avec plusieurs espèces d'Atriplexe dans le cadre du "barrage vert" ont donné des résultats satisfaisants (**Benrebiha, 1987**).

4. 3. Mises en valeur des sols salés

Les plantations d'Atriplexe peuvent permettre la récupération des zones salées surtout avec l'Atriplexe halimus qui est particulièrement résistant au NaCl. Sa croissance est stimulée en présence de NaCl à 150 Mm (**Ben Ahmed et al. 1996**). Les Atriplexe peuvent aussi "désaliniser" les sols. En effet la teneur en NaCl atteint 20% de la matière sèche pour Atriplexe nummularia (**Sarson., 1970**). Il est possible d'extraire d'un hectare 1100 Kg de NaCl en une année de culture (**Francllet et LeHouerou, 1971**). Les Atriplexe sont donc des plantes qui peuvent être utilisées dans les régions menacées par la salinité.

D'après **LeHouerou et Pontanier (1987)**, les espèces d'Atriplexe qui ont suscité un intérêt particulier sont: Atriplexe glauca; Atriplexe malvana; Atriplexe repanda; Atriplexe atacamensis; Atriplexe mollis; Atriplexe semibaccata; Atriplexe halimus; Atriplexe canescens; Atriplexe vesicaria. Selon ces auteurs, cinq espèces seulement présentent un réel intérêt pratique dans un avenir immédiat:

- Atriplexe nummularia**: en raison de sa productivité élevée et sa bonne appétibilité.
- Atriplexe halimus**: en raison de sa grande rusticité et de sa facilité d'implantation.
- Atriplexe canescens**: en raison de sa haute productivité et son adaptation aux sols sableux.
- Atriplexe glauca**: en raison de sa facilité d'implantation par semis direct et de son rôle anti-érosif.
- Atriplexe mollis**: en raison de son adaptation aux sols hydromorphes salés et de sa bonne appétibilité.

5. Présentation d'*Atriplex canescens*

5. 1. Systématique de l'espèce

Règne Végétal (Pursh) Nutt.

Embranchement Spermaphytes (Phanérogames)

Sous-embranchement Angiospermes

Classe Dicotylédones

Sous- classe Apétales

Ordre Centrospermales

Famille Amaranthaceae (Chénopodiacées)

Genre *Atriplex*

Espèce *A. canescens* (Pursh) Nutt



Photo 6: Plante *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt.

Dans sa terminologie originelle (Etats-Unis), il est connu sous le nom de «Forwingsaltbush», dans le sens de buisson salé. Son nom arabe est aussi le **G'ttaf**.

5. 2. Origine

Plante originaire du Mexique et du Canada, elle s'est largement propagée en Afrique du Nord et au Moyen-Orient. Elle est cultivée dans les étages humides et subhumides, semi arides et arides (H.C.D.S., 1996).

5. 3. Description

L'*Atriplex canescens* est un arbuste buissonnant de 1 à 3 m de hauteur, à port plus ou moins étrié, formant des touffes de 1 à 3 m de diamètre.

Les rameaux blanchâtres sont étalés, ascendants ou arqués, retombants vers l'extrémité. Les feuilles courtement pétiolées ou sub-sessiles, sont alternes, et leur limbe linéaire, lancéolé et uninervé est vert grisâtre. Il peut atteindre 3 à 5 cm de longueur et 0,3 à 0,5 cm de largeur. Des feuilles axillaires plus petites (0,5 à 1,5 sur 0,1 à 3 cm) sont aussi présentes le long de l'axe feuillé.

Les inflorescences dioïques en épis simples ou panicules sont au sommet des rameaux pour les fleurs mâles et axillaires ou en épis sub-terminaux pour les fleurs femelles. Les graines vêtues de 4 ailes à bords denticulés, ont des dimensions de 10 à 20 mm (Benrbiha, 1987).

Chapitre II. Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique

Le périmètre de la mina se trouve dans le bassin inférieur de l'Oued Chéelif et couvre une superficie totale de 20000 Ha environ. Il fut créé en 1945 et il est considéré parmi les plus anciens périmètres irrigués de l'Algérie (ANRH, 2003).

La partie centrale du périmètre se trouve dans le Nord de l'Oued Mina, qui coule et se jette dans l'Oued Chéelif. La partie Ouest s'étend à gauche et à droite de la route nationale N°4 et comprend le voisinage immédiat de la ville d'El Matmar. La partie Est s'étend à gauche et à droite de la RN°4 et comprend les environs de la ville de Oued Djemaa (Fig 7).



Figure 7. Carte de situation de la plaine de la Mina (Relizane).

2. Synthèse climatique

Pour estimer rapidement l'influence des principaux éléments, divers systèmes sont proposés. Les plus utilisés en région méditerranéenne sont: le diagramme ombrothermique de **Bagnouls et Gausson** et le climagramme pluviométrique **d'Emberger**.

Ces deux systèmes résument le bioclimat d'une station donnée par trois éléments fondamentaux du climat: précipitations (mm) - températures maximales et minimales (°C)

Les données climatiques dans la présente étude proviennent de la station météorologique de Relizane et couvrent une période de 19 ans allant de 1988 à 2006.

Ces données recueillies concernent les températures maximales M (°C), les minimales m (°C) et les précipitations P (mm).

Concernant l'évapotranspiration potentielle, les valeurs sont celles de l'ANRH qui ont été calculées avec les données de Seltzer.

1) Les précipitations

D'après le **tableau.1**, on remarque que les valeurs des moyennes mensuelles de la pluviométrie indiquent un maximum de sécheresse durant le mois le plus chaud (Juillet) avec une pluviométrie de 01.5 mm, par contre le mois le plus humide est Novembre avec 39.4 mm. La répartition mensuelle des pluies laisse apparaître une répartition irrégulière de celles-ci. En effet, d'après la **figure.8**, 72.5 mm sont enregistrées, au cours de l'automne soit 28.6 % du total, 90.1 mm, en hiver soit 35.6% du total et 80.1 mm, pendant le printemps, soit 31.6 % du total.

Tableau 1. Relevés pluviométriques de la station de Relizane (**Période de 1988 à 2006**)

Station	Relizane (1982-2005)
Code	13505
Coordonnées : X (Lambert en km) Y	304.3 272.2
Altitude (m)	75
Pluie / Année (mm)	253,3

Tableau 2. Précipitations moyennes mensuelles et annuelles de la station de Relizane en (mm) pour la période (1988 – 2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	T
Pluie (mm)	11.2	21.2	39.4	28.4	30.4	31.2	28.8	27.2	24.2	5.3	1.5	3.8	253.3

Tableau 3. Précipitations mensuelles, en (mm), de l'année 2012 de la station de l'INRA de H'madna, Relizane.

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	T
Pluie (mm)	0.7	53.2	86.9	12.5	19.4	66.9	15.1	69.3	4.3	0.1	0.0	0.0	328.5

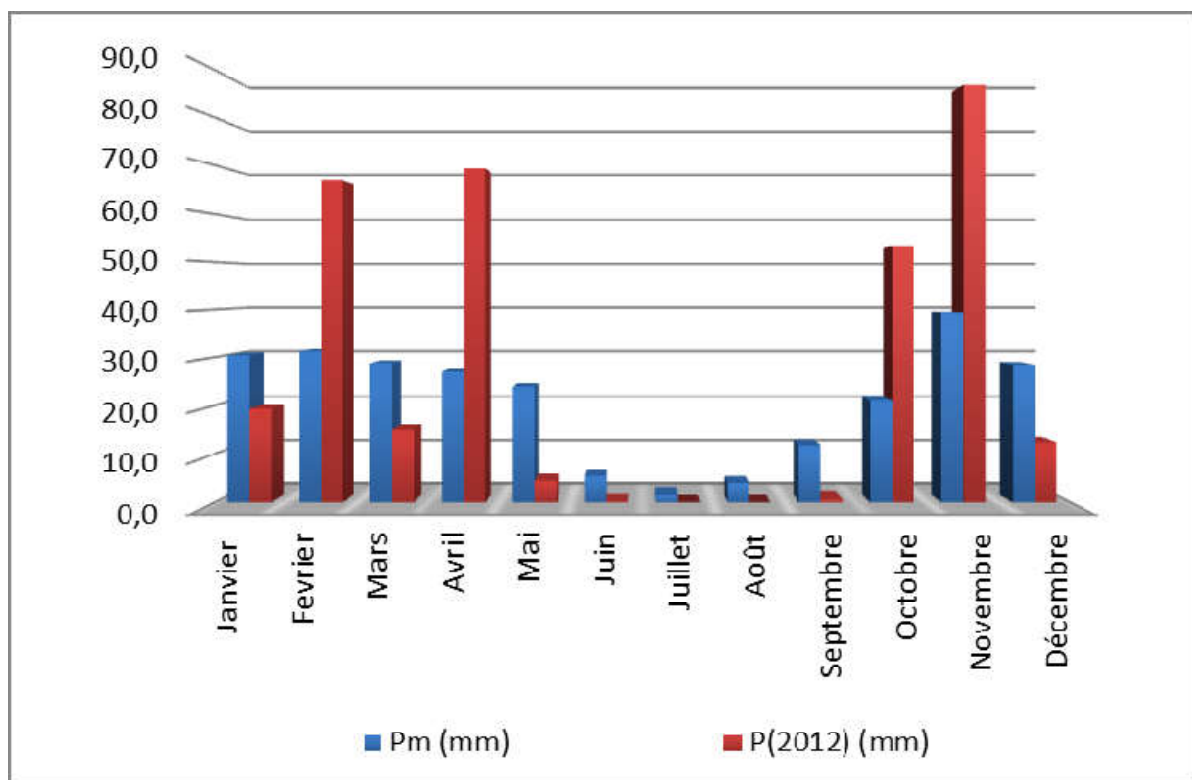


Figure 8. Histogramme des précipitations moyennes mensuelles

- Pm : précipitations moyennes mensuelles (mm) (station de Relizane - 1988/2006)

- P(2012) : précipitations moyennes mensuelles (mm) de l'année 2012 de la station de l'INRAA, H'madna, Relizane.

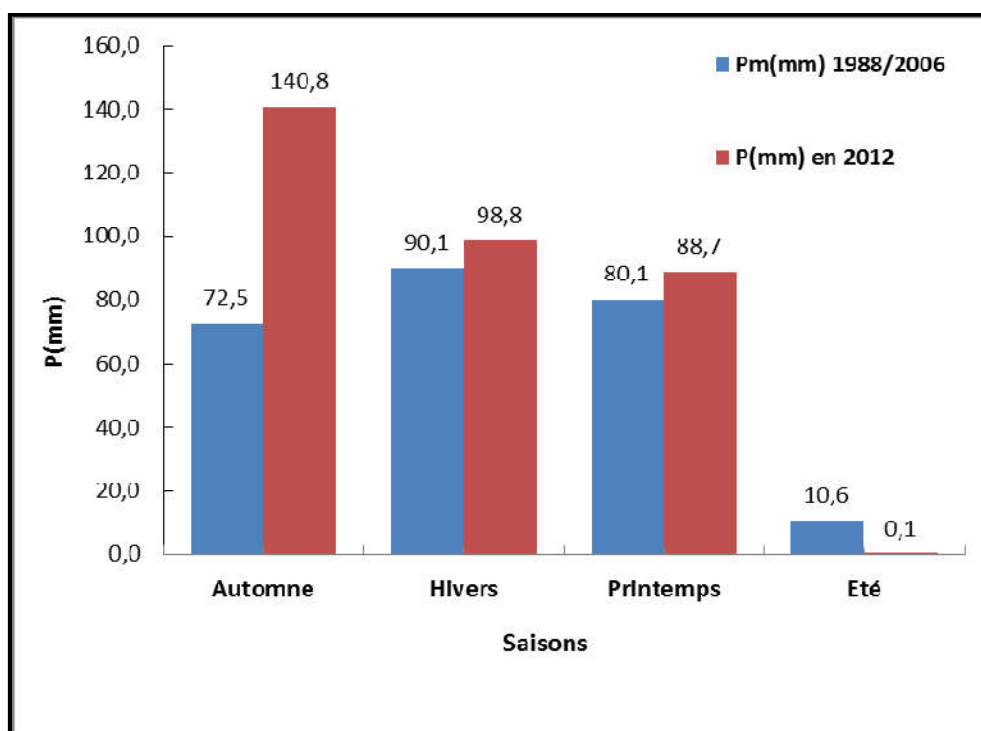


Figure 9. Histogramme du régime saisonnier de la région d'étude.

2) Les températures

La caractéristique de la température en un lieu donné se fait généralement à partir de la connaissance d'au moins cinq variables importantes qui sont les moyennes des minimums et des maximums, la moyenne mensuelle, le minimum absolu et le maximum absolu ainsi que l'amplitude thermique.

Des fortes variations saisonnières sont enregistrées entre le mois le plus chaude 38.9 °C, en Juillet, et le mois le plus froid 6.1 °C, en Janvier, ou la moyenne annuelle est de 20 °C (Tab.4)

Tableau 4. Moyennes mensuelles des températures (°C) de la station de Relizane pour la période (1988 – 2006).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	Moy
m °C	17	14,5	9	7,7	6,1	6,4	9,4	11,6	15	17	21,1	20,8	13,0
M °C	32,5	27,1	23,1	19,3	17,2	18,9	23	24,2	30,1	34,7	38,9	38,5	27,3
Moy°C	24,2	20,8	15,9	13,6	11,6	12,8	16,1	18,5	22,7	25,8	29,6	29,3	20

- M: moyenne mensuelle des maximums.

- m: moyenne mensuelle des minimums.

- Moy : Moyenne mensuelle.

3) L'évapotranspiration

L'évapotranspiration est très importante au mois d'Août avec 232 mm par contre elle est très faible au mois de Décembre avec 39 mm.

Tableau 5. Evapotranspiration potentielle moyenne en mm, établie selon la formule PENMAN (18 ans). (Station ONM de Relizane).

Mois	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	Jt	A	T
ETP (mm)	44	60	99	137	174	198	231	232	153	98	55	39	1523

4) Classification du climat

a) Diagramme Ombrothermique de Gausson et Bagnouls

Le diagramme ombrothermique de **Gausson et Bagnouls** est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année, où sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (**P**) et les températures (**T**), avec $P=2T$.

La **figure.10** porte le Diagramme Ombrothermique de la région de Relizane établi à partir des données pluviométriques et thermiques moyennes mensuelles calculées sur une période de 19ans. D'après ce diagramme, la saison sèche s'étale sur une période de 07 mois, au cours de l'année. La figure.13 montre la courbe des pluies passant au-dessous de la courbe des températures.

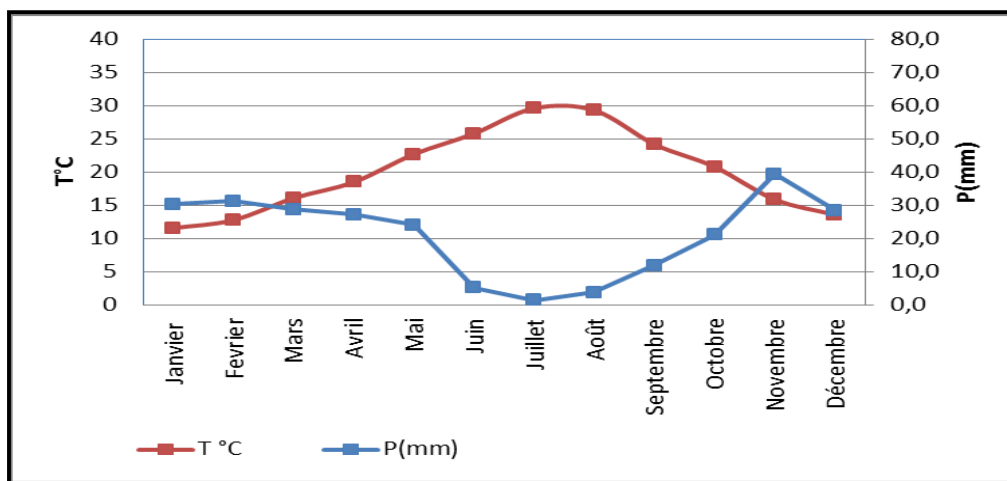


Figure 10. Diagramme ombrothermique de la station de Relizane (1988-2007).

b) Climagramme d'Emberger

Ce climagramme permet, grâce au quotient pluviométrique de **Stewart (Q)** spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique.

Ce quotient tient compte des précipitations et des températures est déterminé comme suit :

$$Q = 3.43 \times PM - m$$

- Q : le quotient pluviométrique d'Emberger ;

- P : Pluviométrie annuelle moyenne en mm = à 253.3 mm

- M : Moyenne maximale du mois le plus chaud = à 38.9°C

- m : Moyenne minimale du mois le plus froid = 6.1°C

Après application de la formule, nous obtenons la valeur de Q égale à 26,5, ce dernier situe Relizane dans l'étage Aride (**Fig.11**).

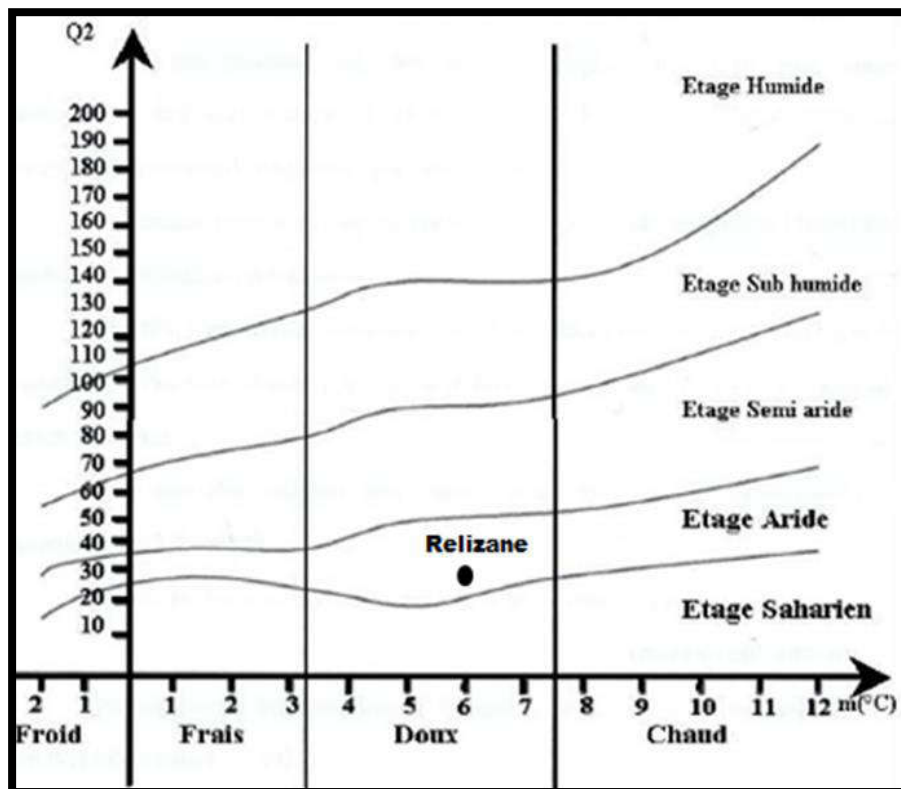


Figure 11. Diagramme pluviométrique d'Emberger pour la station de Relizane(1988- 2006).

2.5. Conclusion

Selon l'analyse climatique, La plaine de la Mina est caractérisée par un climat contrasté, à hiver froid s'étalant de Novembre à Février. Ses caractéristiques essentielles sont : une faible pluviosité annuelle (328.42mm.), irrégulière d'une année à l'autre (du simple au double, 183mm en 1992, 365mm en 2000 et 272 en 2001), une sécheresse estivale de Mars à Octobre, et souffre d'un déficit pluviométrique de 1194.6 mm/an qui confère à l'irrigation un caractère obligatoire. Grâce au quotient pluviométrique d'Emberger ($Q=26.5$) la zone d'étude se situe dans un étage bioclimatique aride.

3. Géologie

La plaine de la Mina est une zone déprimée dominée au sud, à l'est et l'ouest par des massifs montagneux (ANRH, 2003) :

- **Région de Hillil (Yellel)** : Au nord-ouest, elle est entourée par les monts de Belhacel, qui sont formés de grès pliocène et de sables de désagrégation de ces grès. A l'ouest, on trouve un affleurement de grès recouvert d'une croûte calcaire sur le piedmont. Au sud, les monts de Gerbouça sont formés de grès et marne du pliocène.
- **Région de Touila-Khaourara** : A l'ouest les affleurements sont formés de grès pliocène et de marnes grises du miocène. A l'est, la plaine est séparée de la vallée de la mina par des collines formées de grès et de poudingues.
- **Vallée de la Mina** : Au sud et à l'est, la vallée est bordée de massifs érodés de marnes miocènes (du helvétien) à petits cristaux de gypse. A l'ouest la vallée est bordée par des collines de Relizane, formées de grès et de poudingue encroûtés.
- **Région d'Oued Djemâa** : La partie sud- ouest d'Oued Djemaa est bordée par des affleurements de marnes et d'argiles du miocène qui se raccordent à la plaine de Relizane par un glacis de piedmont ancien, recouvert d'une croûte calcaire.

4. Géomorphologie

Du point de vue géomorphologique, la plaine est caractérisée par quatre types de formations géomorphologiques (Ghoul, 1974 ; Ghoul et Peter, 1974):

1) Les glacis de piedmonts : Ce sont des formations colluviales de piedmonts s'appuyant sur des versants, de topographie régulière ou peu ondulée, se raccordant, en aval à des formations colluviales ou à des alluvions. Elles sont recouvertes d'une croûte calcaire épaisse et durcie du quaternaire ancien.

2) Les alluvions : Ce sont des formations déposées par les oueds qui coulent dans la plaine (Hillil, Mina, Malah, Djemâa). Leur texture est variable et est sous la dépendance de la lithologie de l'arrière-pays drainé vers la plaine. Dans les parties basses la texture devient plus argileuse et vers le centre de la plaine, les sols de la rive gauche sont de texture moyenne et deviennent de texture fine et sont mal structurés dans la rive droite. Dans la limite Est, ces formations sont moyennement salées.

- Certains oueds ont raviné des formations géologiques salées (marnes à gypse miocène du bassin versant de la Mina, massif de gypse du trias du bassin versant de l'oued Malah) qui ont déposés dans certaines zones des alluvions salées .

- Ces alluvions salées sont localisées dans la vallée de l'oued Malah, la plaine de Khourara, la vallée de la Mina, et la partie sud de la sebkha de Benziane (action de la nappe phréatique salée dans certaines zones et ravinement de la colline argileuse salée bordant la sebkha de Benziane) .

3) Les cônes de déjection des oueds : Les bordures géologiques de la zone d'étude sont ravinées par des petits oueds qui déposent un cône de matériaux à l'aval de texture variable : dans la vallée de la mina et la plaine de oued djemaa, le cône de déjection comporte une texture lourde, alors que dans les zones de Khourara et Yellel, la texture est plus légère. Les couvertures sableuses sont caractérisées par des dépôts sableux épais (plus de 2m) d'origine éolienne qui proviennent des ables de désagrégation des grès pliocènes. La topographie est légèrement ondulée à uniforme. Ces dépôts sont localisés dans la plaine de Yellel au pied du massif de Belhacel.

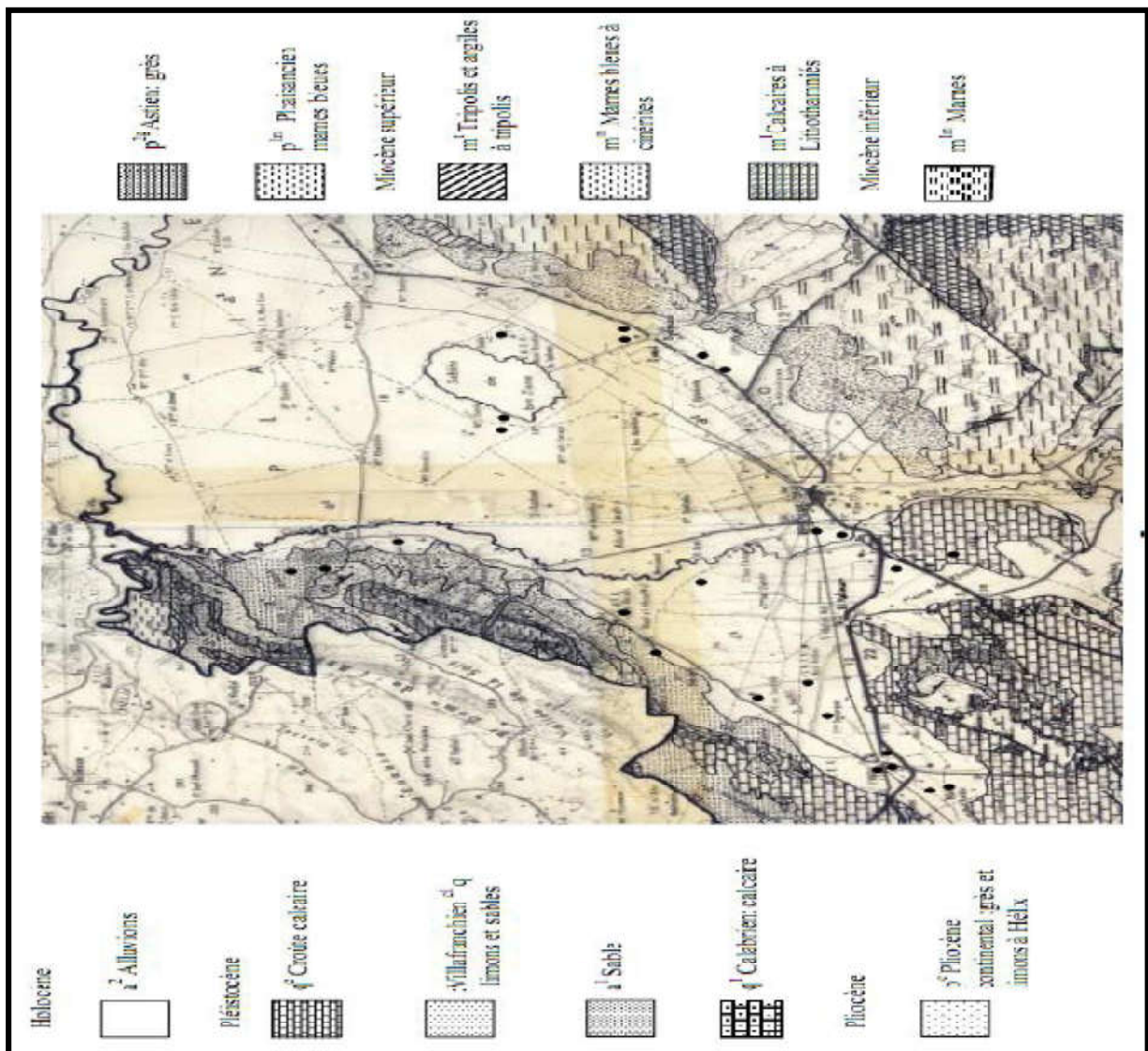


Figure 12. Carte géologique 1/50000 de Relizane (Boualla, 2002).

5. Réseau hydrographique et ressources en eaux

Il existe deux principaux oueds dans la plaine de la Mina : l'oued Yellel à l'est et l'oued Mina au centre qui reçoit un affluent salé au sud du périmètre : l'oued Malah.

Le réseau hydrographique est constitué par l'Oued Mina qui draine les reliefs de l'Ouarsenis et est considéré comme l'un des principaux affluents de l'Oued Cheliff.

La mise en eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda en 1978 avec une capacité de 225 Hm³ a permis l'exploitation du potentiel en eaux de surface de l'Oued Mina pour l'irrigation de la plaine de la Mina. Les **tableaux.6 et 7** montrent la salinité et la qualité de l'eau d'irrigation, au niveau de ce barrage, celle-ci se situe entre 1.28 et 2.02 dS/m (de 1990 à 2002) avec une moyenne générale de 1.47 dS/m (0.94g/l de sel).

Ainsi, l'irrigation avec cette eau présente un risque important de salinisation secondaire sur les sols lourds à drainage déficient.

Le tableau montre la qualité de l'eau d'irrigation au niveau du barrage ainsi que le bilan ionique.

Les résultats analytiques montrent que la qualité de l'eau pour l'irrigation est moyenne à médiocre, elle est à utiliser avec précaution et nécessite un drainage avec des doses de lessivage et/ou apport de gypse.

Tableau 6. Salinité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda (Relizane) (Source.ANRH,2003).

Année	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01	02
BSM	1.35	1.39	1.67	2.02	1.28	-	1.28	1.33	1.44	1.64	1.59	1.29	1.3

Tableau 7. Qualité de l'eau du barrage de Sidi M'hamed Ben Aouda(Relizane)(Source.INSID, Relizane ,2008).

Analyses	CL ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻	HCO	Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺	Na ⁺	SAR	CE	Class
Unité	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	meq/l	/	dS/m	/
Décembre 2005	7.6	7.65	0.24	2.2	4.72	6.09	0.19	6.39	2.74	1.71	C3S1

Le réseau d'irrigation mis en place depuis 1938 est constitué par des canaux à ciel ouvert de différents types. Des moyens financiers importants ont été mobilisés par les pouvoirs publics pour la réalisation de travaux de réhabilitation du réseau d'irrigation et de son extension vers les zones les plus éloignées du périmètre.

Les ressources en eaux souterraines sont représentées par l'existence d'une nappe salée à faible profondeur qui a fait que l'orientation vers l'utilisation de cette ressource n'ayant pas été retenue.

6. Les sols

Du point de vue pédologique, la plaine de la Mina est constituée d'apports alluviaux caractérisés par des terres à structure fine, potentiellement salinisables. Ceux déjà irrigués sont effectivement affectés par la salinité (ANRH, 2003). Selon l'étude menée par l'INSID (2008), les sols affectés par une salinité supérieure à 2 dS.m-1, représentent 75 % de la superficie sur les 6000 hectares prospectés, au niveau du périmètre irrigué de la Mina.

Les sols sont regroupés dans différentes classes pédologiques qui sont : les sols peu évolués, les sols halomorphes, les sols hydromorphes, les sols calcimagnésiques et les vertisols (Ghoul, 1974 ; Ghoul et Peter, 1974).

7. Occupation du sol

L'agriculture dans le périmètre est très diversifiée. Les cultures pratiquées sont les céréales, les fourrages, le maraîchage, l'arboriculture (agrumes, olivier, grenadier et autres fruitiers).

Les superficies irriguées dans le périmètre se situent autour de 3856 Ha qui se répartissent entre les différentes spéculations pratiquées (Tab.8).

Tableau 8. Répartition des superficies irriguées entre les différentes spéculations pratiquées (Source : AGID, cité par l'INSID, 2008).

Spéculations	Superficies (Ha)
Agrumes	2772
Oliviers	396
Arbres fruitiers	160
Fourrages verts	50
Pépinières	58
Maraîchages	100
Tomate industrielle	20
Artichaut	250
Pomme de terre	50
Totale	3856

Les sols très salés abandonnés sont couverts par une végétation halophyte dont la densité de recouvrement est très variable dans l'espace et dans le temps.

Le **tableau.9** et la **figure.13** montrent la répartition de la superficie de l'occupation du sol du sol, au niveau du périmètre, sur une superficie de 6000 Ha (**INSID, 2008**).

Tableau 9. Répartition de l'occupation du sol, dans le périmètre de la Mina, sur 6000 Ha (**Source, INSID, 2008**).

Occupation du sol	Superficie (%)
Agrumes et arbres fruitiers	33
Oliviers	8
Céréales / Jachère	46
Maraîchages	4
Pépinières	1
Végétation naturelle (halophyte)	7
Totale	Sur 6000 Ha

8. Conclusion

Le milieu physique doit son originalité à la combinaison d'un relief en cuvette, d'un climat à sécheresse saisonnière accentuée, d'eaux courantes peu abondantes, de terres parfois salées et d'une végétation d'halophytes couvrant certaines zones de la plaine.

Ces conditions naturelles défavorables à la mise en valeur agricole a conduit les pouvoirs publics à suppléer à l'insuffisance des précipitations par l'installation d'un réseau d'irrigation, alimenté à partir du barrage de Sidi M'Hamed Benaouda.

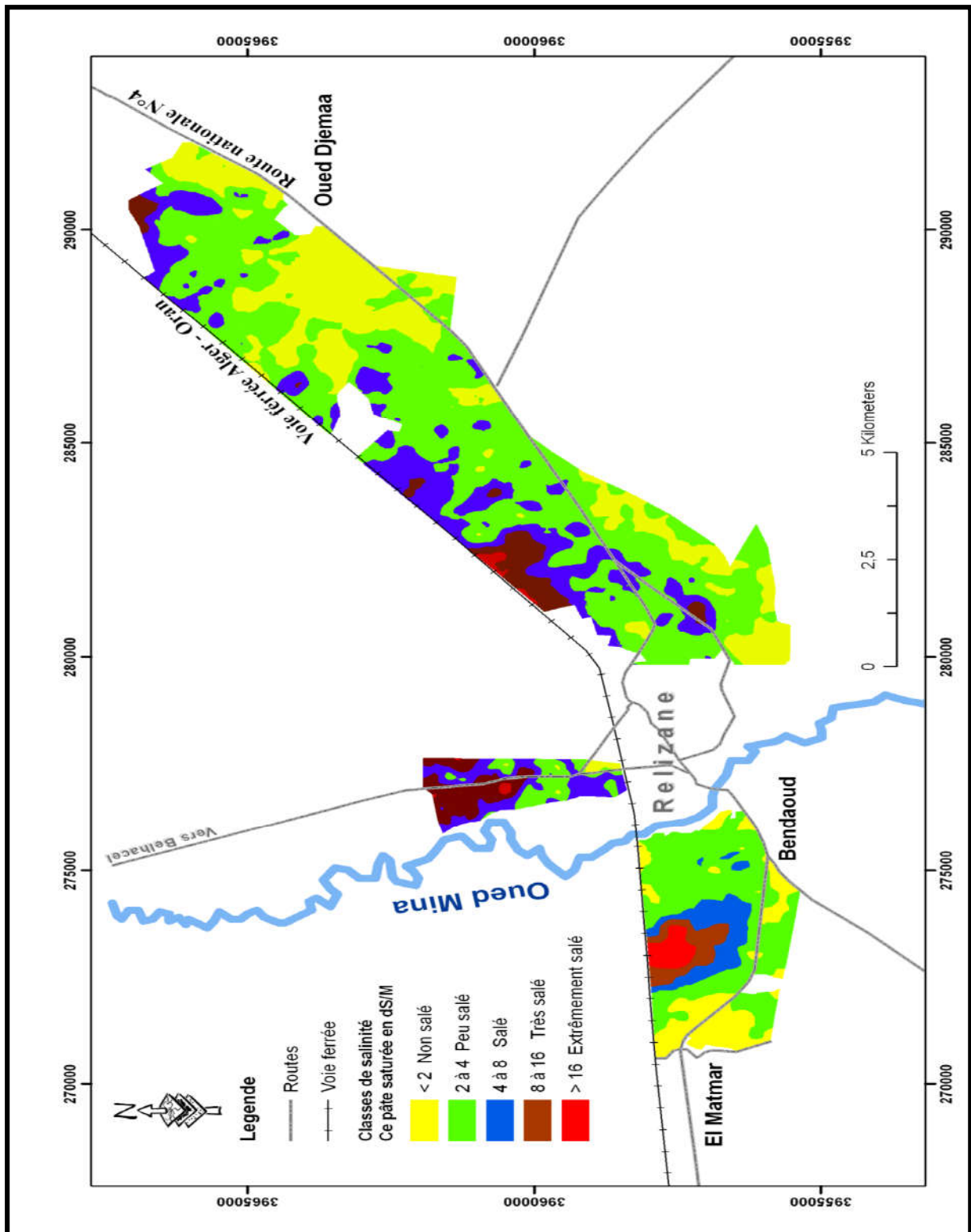


Figure 13. Carte de salinité des sols du périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha (INSID, 2008).

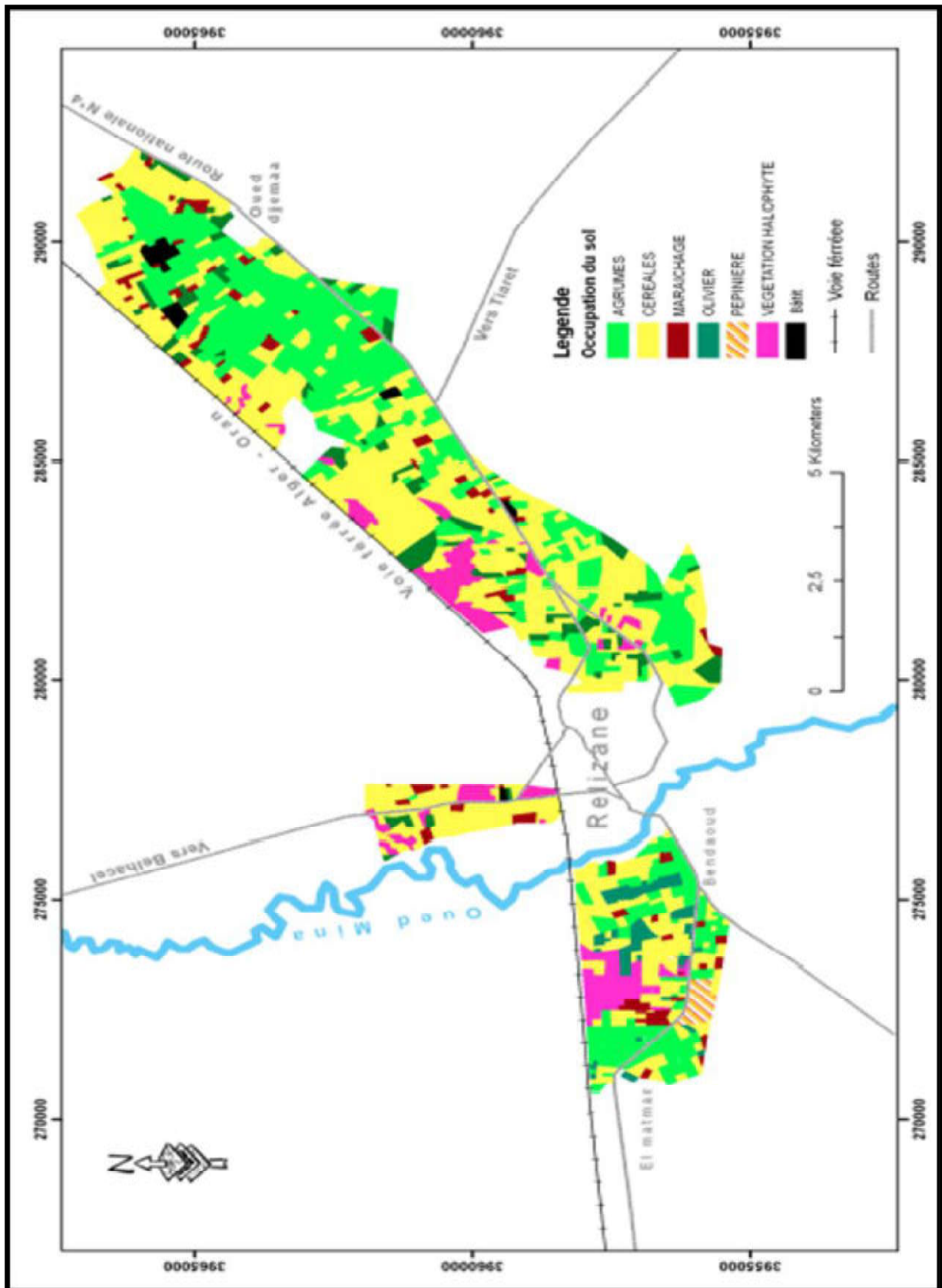


Figure 14. Carte d'occupation des sols du périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha (INSID, 2008).

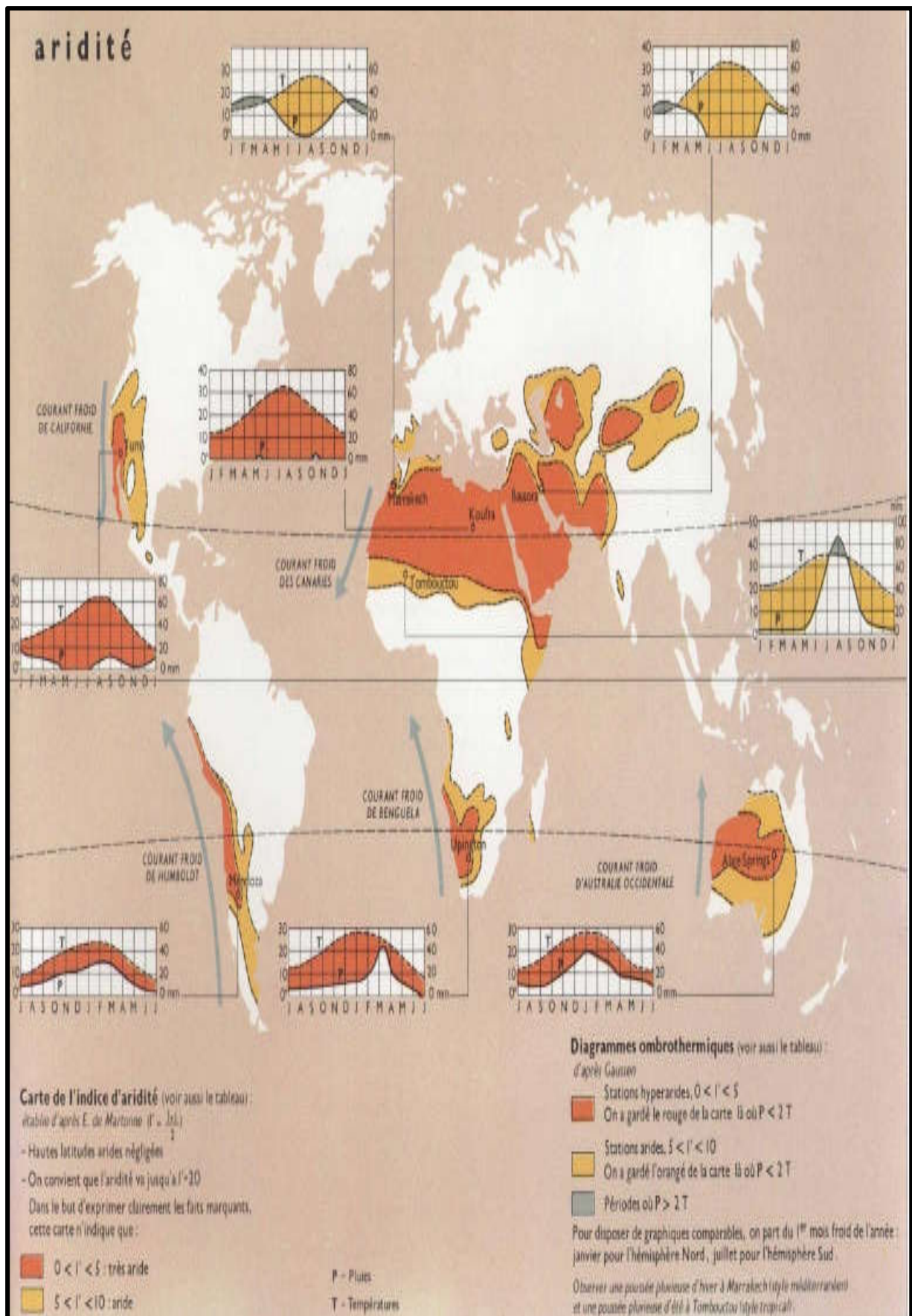


Figure 15. Carte des zones arides du monde.

Chapitre III. Matériel et méthodes

Cette partie est consacrée à la description de la parcelle expérimentale, de la méthodologie utilisée, des techniques analytiques et des différentes méthodes de traitement des données.

1. Méthodologie

Dans le cadre de cette étude, la démarche utilisée comporte quatre étapes importantes :

- Analyse des documents de base.
- L'expérimentation
- Les analyses de laboratoire.
- Le traitement des données.

1.2. Analyse des documents de base

Cette étape concerne l'examen des documents disponibles ainsi que les études réalisées dans la zone d'étude. Elle concerne l'étude sur « la caractérisation de l'état actuel de la salinité dans le périmètre irrigué de la Mina sur 6000 Ha » réalisée par l'INSID en 2008.

1.3. L'expérimentation

Les principaux objectifs de ce travail et d'étudier l'effet de l'Atriplexe canescens, qui est une espèce halophyte non autochtone, sur les sols salés et ses mécanismes d'adaptation face aux stress salins.

Afin de répondre à ces objectifs, il était nécessaire de localiser une parcelle se trouvant sur une zone salée. A cet effet, nous avons procédé à la localisation de la zone d'étude sur la carte de salinité du sol établie par l'INSID en 2008. Nous avons, ensuite, réalisé une sortie sur terrain pour une récolte des données existantes. Le propriétaire de la parcelle localisée était notre principale source d'informations. En effet, nous avons reçu des informations qui concernent :

- la salinité au niveau de la parcelle ;
- le niveau de la nappe ;
- le travail du sol ;
- les cultures pratiquées ;
- la conduite de l'irrigation et le réseau de drainage.

Après la localisation de la parcelle expérimentale, par le biais d'un GPS de navigation de type GARMIN, nous avons procédé à sa délimitation, par le biais d'une corde et d'un ruban-mètre. Nous avons ensuite divisé la parcelle expérimentale afin de pouvoir mener notre

expérimentation. Les deux parcelles obtenues concernent la parcelle « Témoin » et l'autre parcelle concerne la parcelle « Traitée » par l'Atriplexe canescence. Ces deux parcelles sont séparées par un vide de 01m. Ensuite nous avons, procédé à une préparation du sol et la plantation de la plante« Atriplexe canescence », au niveau de la parcelle traitée avec un espacement de 100cm.

Nous avons ensuite positionné 03 profils de prélèvements, au niveau de chaque parcelle, pour le suivi de l'expérimentation. Dans chaque profil et à l'aide d'une tarière pédologique nous avons procédé à des prélèvements des échantillons de sol jusqu'à une profondeur de 01mètre (0– 25cm ; 25-50cm, 50-75cm et 75-100cm). Aussi autour de chaque point trois prélèvements ont été effectués, au niveau de la plante (racines, tiges et feuille) avec trois répétitions (**Figure 18**).

Deux campagnes ont été réalisées, pour le prélèvement des échantillons de sol et de la plante (racines, tiges et feuilles). L'irrigation de la plante a été effectuée, par l'utilisation de l'eau de robinet de la ville d'El Matmar. Nous avons utilisé une citerne pour l'irrigation durant deux mois (20l/plante).

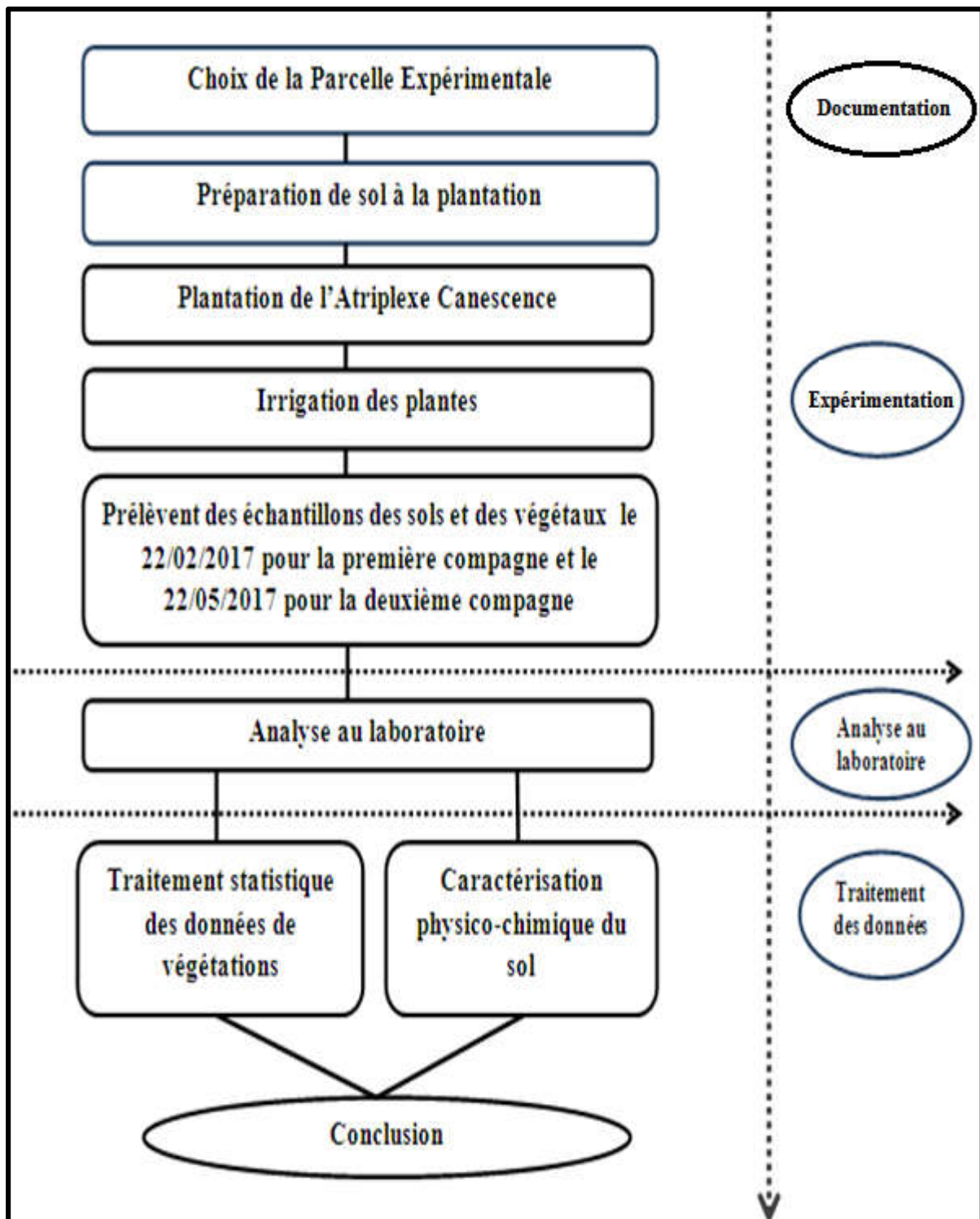


Figure 16. Démarche méthodologique

2. Matériel utilisé

2.1. Matériel végétal

Le matériel végétal utilisé dans le cadre de ce travail, est une espèce du genre *Atriplexe Canescens* (Pursh) Nutt.

Les raisons de ce choix sont d'une part, son importance agro-économique et d'autre part sa tolérance à la salinité et à l'aridité.

La plante provient de la pépinière d'El Matmar située à 10 km à l'ouest du chef-lieu de la wilaya de Relizane. Elle est plantée au mois de septembre à ciel ouvert.

2.2. Matériel pédologique

Les échantillons du sol ont été prélevés à partir du site expérimental, située à 10 km à l'ouest de la ville de Relizane et à 05 km à l'est de la ville d'El Matmar, entre 0°29'35'' et 0°29'46'' de longitudes et 35°43'56'' et 35°44'9'' de latitudes.

L'étude du sol s'est basée sur les analyses de laboratoire des échantillons prélevés sur quatre profondeurs (0-25 cm ; 25-50 cm ; 50-75 cm et 75-100 cm). Les paramètres physico-chimiques utilisés sont, l'humidité, la granulométrie, le pH, la conductivité électrique 1/5, la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée, la matière organique, le calcaire total et actif, la CEC, les cations échangeables et le bilan ionique (cation et anion solubles).

Les méthodes d'analyses utilisées sont celles exposées, par **Aubert (1978)**.

1.2. Dispositif expérimental

L'expérimentation s'est déroulée sur un bloc de deux parcelles (figure.18) : la parcelle « Témoin » et la parcelle « Traitée » plantée par 50 plants d'*Atriplexe Canescens*. Les plants ont été établis le long de sillons espacés de 1 m les uns des autres avec un écartement de 1 mètre entre deux plants. La densité moyenne des plants est estimée à 10000 plants/ha.

Les plants ont été cultivés en pépinière durant six mois avant d'être transplantés. L'irrigation des plants a été réalisée, durant deux mois, à l'aide d'une citerne, par six arrosages à raison de 20 litres/plant.

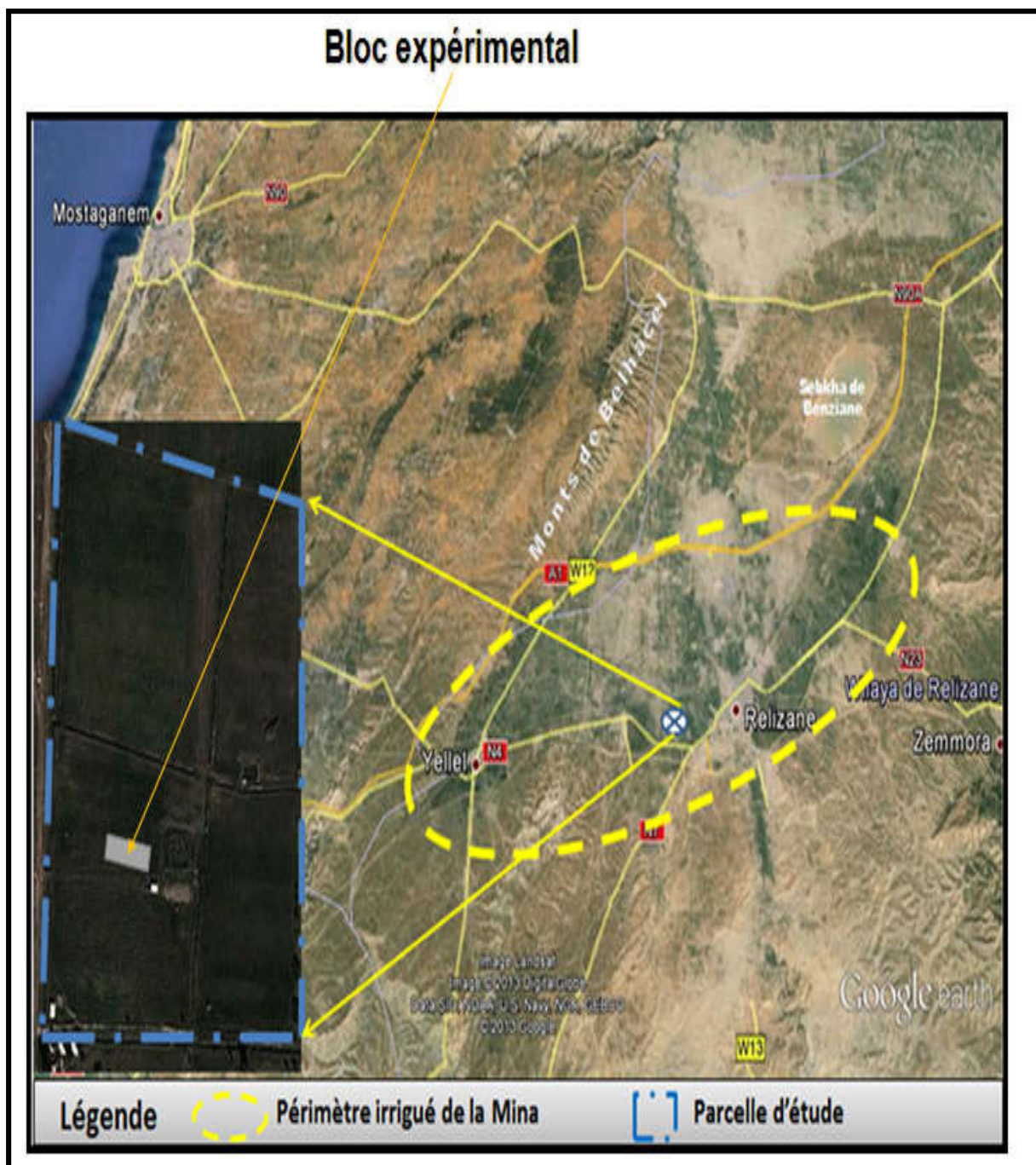


Figure 17. Localisation du site expérimental.

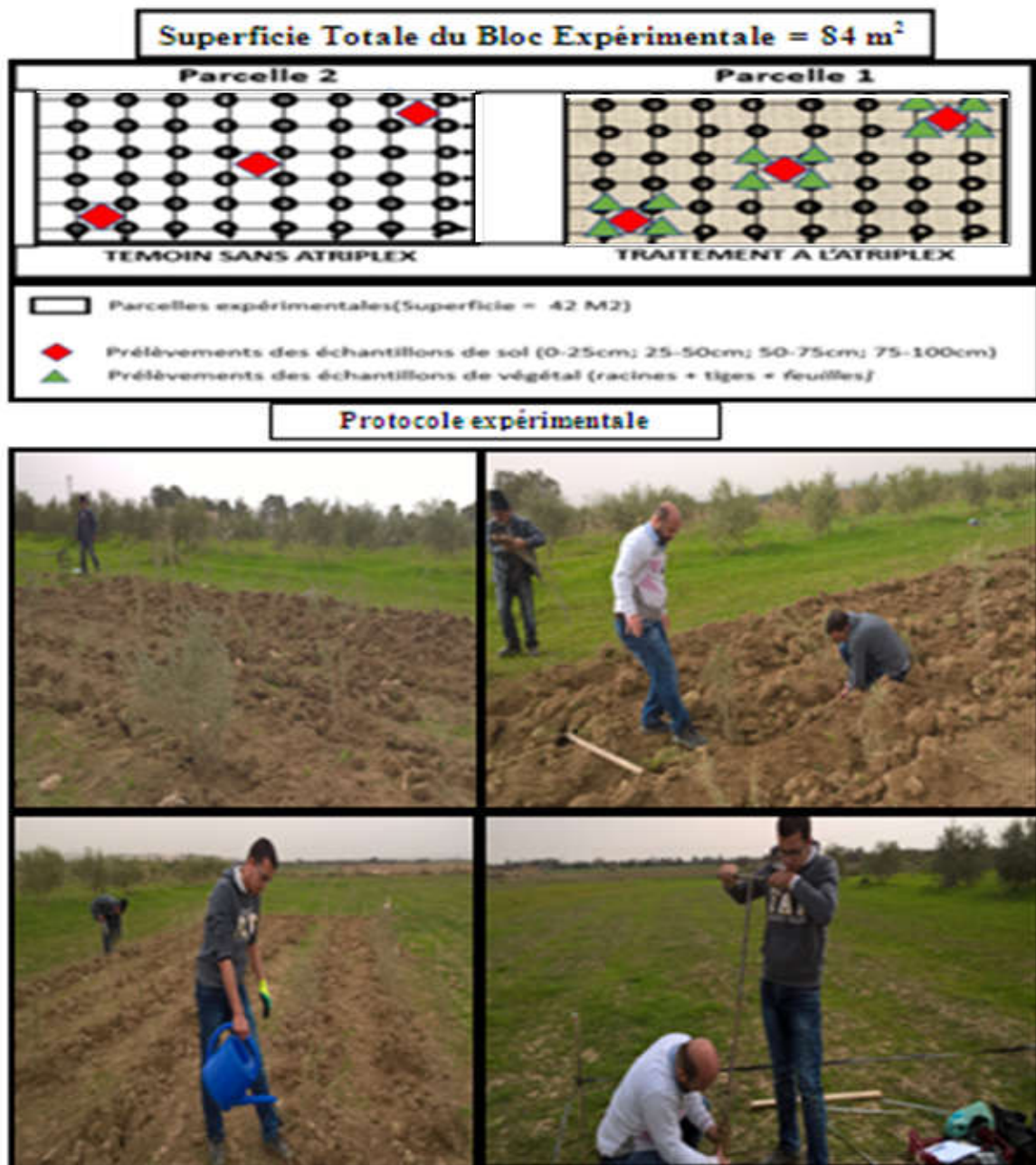


Figure 18. Protocol expérimental

Tableau 10. Les calendriers des prélèvements du sol et de la plante.

Date de prélèvement	Nombre d'échantillons de sol	Nombre d'échantillons de végétal
22/02/2017	24	9
22/05/2017	24	9
Total échantillons	48	18

3. Analyses de laboratoire

3.1. Paramètres physico-chimiques du sol

Les analyses physico-chimiques du sol sont réalisées au niveau du laboratoire régional ouest de l'INSID d'El Matmar (Relizane).

1-Préparation des échantillons de sol

Au niveau du laboratoire, les échantillons du sol prélevés sont étalés et séchés à l'air libre. Les cailloux, graviers et débris organiques grossiers sont éliminés et le reste est broyé puis tamisé à 2 mm. La fraction du sol < 2 mm a été utilisée pour les analyses physico-chimiques.

2-La Granulométrie

L'analyse granulométrique est réalisée par la méthode internationale de la **pipette de Robinson**, la granulométrie exprime la teneur en argile, limon fin, limon grossier, sable fin, sable grossier du sol.



Figure 19. La pipette de Robinson.

3-Le pH

L'accumulation des sels solubles dans le profil d'un sol, réduit son pH mais dans le cas d'un sol alcalin, le pH augmente avec la salinité à cause de la présence des bicarbonates et des carbonates de (Gupta et al, 1990).

D'après Khartir en 2008, les sols salés ont un pH généralement supérieur à 7, il peut atteindre des valeurs nettement supérieures à 8.5 quand il y a une forte abondance et une diversité en espèce chimique des sels.

En fonction de la valeur de pH d'un sol, on peut classer les sols selon l'échelle suivante :

pH 4.5 : sols très acides.

4.5 pH 6 : sols faiblement acides.

6 pH 7 : neutres, sols équilibrés permettant une bonne alimentation des plantes.

pH 7 : sols calcaires (alcalins, basiques).

20 g de terre (<2 mm) séchée à 40 C° sont pesés et ajoutés dans un bécher avec une quantité de 50 ml d'eau distillée. L'agitation est effectuée pendant quelques minutes puis on laisse reposer deux heures. Les mesures du pH sont effectuées à l'aide d'une électrode plongée dans le liquide surnageant.

4-La Conductivité Electrique

La conductivité électrique d'une solution du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans le sol. Elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présentes dans l'échantillon, c'est à dire son degré de salinité.

Cette propriété électro-chimique est basée sur le fait que la conductance (inverse de la résistance électrique, ohm) d'une solution s'accroît au fur et à mesure que les concentrations en cations et anions, porteurs de charges électriques augmente.

La conductivité électrique (CE) est exprimée en mmho.cm^{-1} ou dS.m^{-1} à une température de 25 C°. La CE est la conductance mesurée dans des conditions spécifiées entre les faces opposées d'un cube unité matérialisé par une cellule conductimétrique composée de deux électrodes de 1 cm^2 de surface distance de 1 cm.

Pour extraire les sels solubles et apprécier la salinité du sol, deux méthodes peuvent être utilisées :

4.1. Extrait de la pâte saturée

Cette méthode a été mise au point par l'U.S. Salinity Laboratory. Pour extraire les sels, on amène le sol préalablement séché à saturation, c'est à dire à sa limite de liquidité d'**Atterberg** par malaxage avec de l'eau distillée. En opérant ainsi, on cherche à se rapprocher au mieux de ce qui se passe dans le sol, tout en opérant dans des conditions standardisées. Cette façon de faire permet notamment de se rapprocher d'une réalité agronomique, l'humidité étant à proximité de la capacité de rétention, la plus efficiente pour la plante (**Le Brusq et Loyer, 1982**).



Figure 20. Schémas et protocole expérimental de la pâte saturée.

4.2. Extrait dilué

Dans cette méthode, une quantité d'échantillon de sol est mélangée avec une quantité d'eau suffisante pour obtenir de fortes dilutions. Le rapport poids sol/poids eau est en général de 1/5 ou 1/10.

Cette méthode est plus facile à réaliser et permet ainsi de faire un grand nombre d'échantillons qui est au contraire difficile, par la pâte saturée.

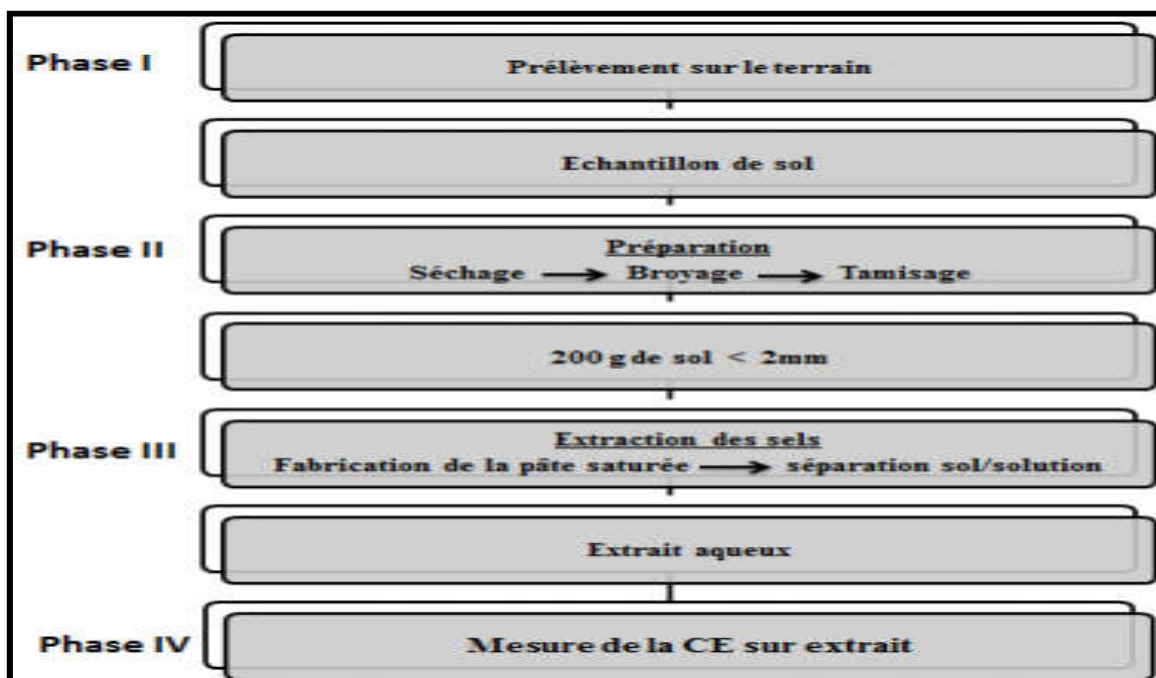


Figure 21. Protocol de la pâte saturée.

5-La Matière Organique

La méthode utilisée est la méthode **Anne** où le carbone organique contenu dans un échantillon de sol est oxydé dans des conditions définies en utilisant une quantité d'un mélange oxydant : le bichromate de potassium en milieu sulfurique.

On effectue un dosage en retour, l'excès de bichromate de potassium non utilisé pour l'oxydation est dosé à l'aide d'une solution réductrice : **le sel de Mhor**.

Il n'est pas nécessaire de connaître le titre exact de la solution oxydante, en effet pour tenir compte des conditions expérimentales de l'oxydation, on effectue un dosage témoin, sans terre ou sur sable calciné, avec une quantité de bichromate de potassium identique à celle utilisée dans le dosage du carbone du sol.

Le pourcentage de la matière organique est obtenu en multipliant le taux de carbone organique obtenu par **1.72**.



Figure 22. Attaque au froid sur le bain de sable. **Figure 23.** Séparation des phases.



Figure 24. Dosage avec le sel de Mohr.

6-Le Calcaire Total

Le taux de calcaire total est déterminé par acidimétrie, on ajoute à l'échantillon de l'acide chlorhydrique (10 %). Le volume de gaz carbonique dégagé est mesuré à l'aide d'un **Calcimètre de Bernard** et comparé au volume produit par du carbonate de calcium pur.



Figure 25. Calcimètre de Bernard

7- Le Calcaire Actif

Le dosage du calcaire actif fait par la méthode de **Drouineau –Galet**, elle correspond au calcaire fin, facilement solubilisé.

Au contact d'une solution d'oxalate d'ammonium, ce calcaire fin se transforme en oxalate insoluble, le reliquat de solution d'oxalate non utilisé est dosé par une solution de permanganate de potassium, le calcaire actif correspond à l'oxalate de calcium précipité.



Figure 26. Dosage de calcaire actif.

8-La capacité d'échange cationique (CEC)

La capacité d'échange cationique (CEC) d'un sol est la quantité totale de cations (ions⁺) que ce sol peut absorber sur son complexe et échanger avec la solution environnante dans des conditions de pH bien définies.

La mesure de la capacité d'échange cationique dans notre cas (sol salé) est déterminée par la méthode **BOWER** qui comporte 3 phases :

1-le lavage et le déplacement des cations échangeables et l'hydrogène du complexe absorbant avec une solution mono-ionique, l'acétate de sodium (CH_3COONa , N 82.03g/l à PH =7).

2-le lavage avec l'éthanol pour enlever l'excès en cationssaturant.Le lavage s'effectue avec le méthanol puis par l'éthanol si la CE <20 μcm .

3-le déplacement des cations échangeables et l'hydrogène du complexe absorbant avec une solution généralement tamponnée à pH déterminé (l'acétate d'ammonium).

A la fin, le filtrat est recueilli contenant tous les cations et l'hydrogène déplacés par la solution mono-ionique. C'est à partir de ce filtrat que l'on déterminera les cations échangeables.

Les mesures de la concentration en cations sont effectuées par le spectrophotomètre d'absorption atomique pour le Ca^{++} et Mg^{++} et le spectrophotomètre à flamme pour le Na^+ et K^+ .



Figure 27.Dispositif de la capacité d'échange cationique (CEC).

3.2. Paramètres physiologiques de la plante

1. La Teneur Relative en Eau

L'eau est une source indispensable pour les végétaux, sa présence est une condition incontournable pour que toute la plante puisse se développer et assurer ses fonctions physiologiques vitales (Calu, 2006).

La réponse des jeunes plantes d'Atriplex vis-à-vis de la salinité est évaluée à l'aide de la teneur relative en eau (T.R.E).

La variation des paramètres donne une idée du changement relatif du volume cellulaire.

La teneur relative en eau des feuilles est le rapport entre la teneur en eau de l'échantillon au moment de sa récolte sur la teneur en eau maximale lorsque les cellules sont à pleine turgescence. Elle est calculée selon la méthode décrite par Turner. Les trois dernières folioles de la quatrième feuille ont été coupées et pesées immédiatement pour déterminer le poids frais (PF). Les feuilles pesées ont été mises dans de l'eau distillée à l'obscurité et à 4°C pendant 24 heures puis de nouveau pesées afin d'obtenir leur poids à la turgescence (PT). Ensuite les échantillons ont été mis l'étuve (à 70°C) pendant 48h ; le poids sec (PS) a alors été mesuré et la Teneur Relative En eau TRE a été calculée selon la formule :

$$TRE = (PF-PS/P_{PT}-PS) *100$$

2. La Teneur en Chlorophylle

Nous avons utilisé pour l'extraction de la chlorophylle la méthode établie par Holden, (1965), qui consiste à prendre 1 g des feuilles fraîches après rinçage avec l'eau distillée est séchage avec papier filtre.

On met les feuilles dans un mortier après découpage en petits morceaux, on ajoute une pincé de carbonate de calcium $CaCO_3$ est on prend 20 ml d'acétone CH_3COCH_3 à 80 % est on les broie doucement jusqu'à disparition de fragment.

On prend la solution et on met la filtration, et on met l'extrait vert en tube à essais et on fait la lecture au Colorimètre Jenway à la longueur d'onde 645 nm pour la chlorophylle a et 663 pour la chlorophylle b.

Le calcul des valeurs de la chlorophylle se fait grâce à la formule d'Arnon en (1949).

Chl.a= 12.7 (D.O663) - 2.69 (D.O645)

Chl.b= 22.9 (D.O645) - 4.86 (D.O663)



Figure28. Extraction de chlorophylle.



Figure29. Le Colorimètre UV (Jenway)

3.La proline

La proline est dosée selon les techniques de **Monneveux et Memmar (1986)**, qui consiste à mettre 0.1g de la matière végétale fraîche dans un tube à essai et ajouter 2 ml de Méthanol à 40 %, l'ensemble est ensuite chauffé au bain marin à 80° C pendant 60 mn, les tubes sont recouverts de papier aluminium pour éviter la volatilisation de l'alcool.

Après refroidissement, on prélève 1 ml de la solution à laquelle on ajoute 1 ml **d'acide acétique** (CH_3COOH) et 1 ml de mélange réactionnel modifié contenant (120 ml d'eau distillé +300 ml d'acide acétique +80 ml d'acide ortho phosphorique densité 1.7) et 25 mg de **Ninhydrines**.

Les solutions sont portées à l'ébullition pendant 30 mn, elles virent au rouge, après refroidissement, on ajoute 5 ml de **Toluène**, après agitation au vortex deux phases se séparent.

1- les phases inférieures sans proline.

2-la phases supérieures qui contient la proline, celle –ci est ensuite récupérée et déshydratée par l'adjonction d'une pincée de **NA₂SO₄**.

Enfin, ont précédé à la détermination de la teneur en proline des échantillons par la lecture au Colorimètre Jenway à la longueur d'onde 525 nm, après étalonnage de l'appareil par le

mélange (acide acétique + eau distillé + acide ortho phosphorique + Ninhydrine), la teneur des échantillons inconnus est déterminé par la suite grâce à une courbe d'étalonnage.



Figure30. Séparation des phases.

4. Dosage des éléments minéraux

L'extraction et le dosage des éléments minéraux sont faits par la méthode de **Lafon et al. (1996)** qui consiste à déterminer la composition en éléments minéraux d'une plante en procédant d'abord par calcination et puis par la destruction complète de la matière organique **Martin-Prevel et al. (1984)**.

Extraction

Après séchage de la poudre fine issue du broyage à l'étuve à 70 C° pendant 16 heures, seulement 100 mg ont été pris pour la calcination mis dans des creusets en porcelaine au four à moufle à 450 C° pendant 2 heures.



Figure 31. Creusets dans le four à moufle Figure32. Les échantillons après deux heures de calcination.

Après refroidissement, 2 ml d'acide nitrique (HNO_3) a été ajouté à chacun des échantillons, puis, les creusets ont été mis sur la plaque chauffante jusqu'à l'évaporation complète de cet acide, puis on les a remis au four une autre fois pour une heure.



Figure 33. Les échantillons pendant l'évaporation. **Figure 34.** Les échantillons après une heure de calcination.

La cendre obtenue est dissoute dans 3 ml d'acide chlorhydrique (HCL) (6N), le volume a été amené par la suite à 50 ml (par de l'eau distillée), la solution obtenue sur laquelle le dosage de Na^+ , K^+ a été effectué a été filtrée.

Dosage

Pour la lecture des échantillons, on utilise de spectrophotomètre à flamme qui nous donne des valeurs en ppm, mais il faut qu'on prépare des solutions standards pour le calibrer.

A- la solution de potassium

Pour préparer une solution standard de potassium, il faut mettre 1 g du chlorure de potassium (KCL) desséché dans une fiole jaugée d'un litre de capacité et compléter le volume avec de l'eau déminéralisée jusqu'au trait de jauge.

B- la solution de sodium

Pour préparer une solution standard de sodium, il faut mettre 1 g de solution de chlorure de sodium (KCL) desséché dans une fiole jaugée d'un litre de capacité, dissoudre avec 8 ml d'eau déminéralisée et 8 ml d' HCL concentré et compléter le volume avec de l'eau déminéralisée jusqu'au trait de jauge.



Figure35. La lecture par spectrophotométrie à flamme

4-Étude statistique

Les résultats obtenus seront traités et analysés à l'aide d'un logiciel adopté de Microsoft Office Excel (**Statbox**) ; dans le but de déterminer la signification entre l'échantillon témoin et l'échantillon traité pour chaque paramètre analysé.

Introduction

Ce chapitre organisé en deux parties, qui est consacrée à la présentation et à la discussion des résultats. Dans la première partie nous présentons les caractéristiques des paramètres physico-chimiques du sol étudié, y compris ceux relatifs à la salinité et .On présente en suite les caractéristiques physiologiques de la plantes .la deuxième partiesontréservéesà la discussion des résultats.

PartieI. Résultats d'analyses du sol et du végétal

I. Etude des paramètres physico-chimiques du sol

Dans cette partie, nous présentons une description statistique des données du sol relative à la texture, à l'humidité, au calcaire total et au calcaire actif, à la matière organique, au pH, et la conductivité électrique de la pâte saturée et diluée 1/5.

Les analyses ont été effectuées sur 48 échantillons provenant de 6 profils de sols, réalisés sur deux campagnes et sur quatre profondeurs (0-25cm), (25-50cm), (50-75cm), (75-100cm).

Pour l'interprétation des résultats, nous avons utilisé le coefficient de variation, pour décrire et étudier la variabilité des propriétés physico-chimiques du sol. Cette approche fournit un outil moderne pour comprendre le modèle de variabilité spatiale des propriétés du sol dans les deux parcelles pour les deux campagnes de mesures. Cinq classes, basées sur la valeur du coefficient de variation (CV en %), sont proposées par **Nolin et al ,1997**, pour qualifier l'intensité de la variabilité des sols (Tableau 1, Annexe) .

1. Résultats statistiques des analyses physiques du sol

1.1. Analyse de l'humidité

Les tableaux 11, 12, 13 et 14 montrent que l'humidité moyenne du sol est en augmentation vers la profondeur pour toutes les parcelles et dans les deux campagnes.

Dans l'horizon (0-25 cm) l'humidité moyenne est de l'ordre de 9.92 %, 10.41 % pour la parcelle témoin et la parcelle de traitement respectivement pour la première campagne, elle est de l'ordre de 1.76 % et 3.44% pour la parcelle témoin et la parcelle de traitement respectivement pour la deuxième campagne.

Pour les horizons (25-50 cm) l'humidité moyenne de la première campagne est respectivement de l'ordre de 12.24 % et 11.56 % pour la parcelle témoin et la parcelle de traitement ; Pour la deuxième campagne l'humidité est respectivement de l'ordre de 16.75 % et 16.61 % pour la parcelle témoin et la parcelle de traitement.

Pour les horizons (50-75 cm) l'humidité moyenne de la première campagne est respectivement de l'ordre de 18.99 % et 12.22 % pour la parcelle témoin et la parcelle de traitement; Pour la deuxième campagne l'humidité est respectivement de l'ordre de 18.72 % et 20.62 % pour la parcelle témoin et la parcelle de traitement.

Pour les horizons (75-100 cm) l'humidité moyenne de la première campagne est respectivement de l'ordre de 14.46 % et 15.93 % pour la parcelle témoin et la parcelle de traitement; Pour la deuxième campagne l'humidité est respectivement de l'ordre 19.78 % et 22.42 % pour la parcelle témoin et la parcelle de traitement.

Le coefficient de variation est très élevé dans tous les horizons de la surface sauf la parcelle de traitement de la première campagne qui a un coefficient de variation modéré.

Pour les horizons (25-50 cm), (50-75 cm) et (75-100 cm) le coefficient de variation est faible <15% dans toutes les parcelles sauf la parcelle de traitement de la première campagne et la parcelle témoin de la deuxième campagne qui ont un coefficient de variation modéré respectivement de l'ordre de 23.83 % et 24.80 %, et la parcelle témoin de la première campagne qui a un coefficient de variation élevé 44.84 % .

Tableau 11. Résultats de l'humidité (en %) de parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	9,92	12,24	18,99	14.46
CV%	46,83	14,76	44,84	8.86

Tableau 12.Résultats de l'humidité (en %) de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	1,76	16,75	18,72	19,78
CV%	90,39	24,80	8,84	7,63

Tableau 13.Résultats de l'humidité (en %) de la parcelle de traitement(22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	10,41	11,56	12,22	15,93
CV%	22,96	6,44	13,86	23,83

Tableau 14.Résultats de l'humidité (en %) de la parcelle de traitement(22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	3,44	16,61	20,62	22,42
CV%	35,59	14,79	10,87	6,73

1.2. Analyse de la texture

D'après les **Tableaux. 15, 16, 17, 18, 19 et 20**, nous remarquons que les fractions granulométriques prédominantes sont les fractions argileuses et limoneuses dans les deux parcelles avec une fraction sableuse peu présente.

Dans la parcelle témoin, les fractions limoneux sont plus présentes par rapport aux fractions argileuses, le taux de limon augmente vers la profondeur par contre on remarque une diminution de taux des argiles, le pourcentage des limons varie entre 46.46 % et 55.04% dans l'horizon de surface et dans l'horizon profonds ; les argiles varie aussi entre 46.46% et 27.31% pour l'horizon de surface et dans l'horizon profonds.

Dans la parcelle de traitement la fraction argileuse et la fraction limoneuse sont homogènes à la surface et aux profondeurs ,sauf s'il ya diminution du taux des argile dans l'horizon (75-100cm), le pourcentage des argile varie ,il est de 44.33% pour l'horizons de surface, et il est de 37.77% pour l'horizon profond ; le pourcentage des limons varie ,il est de 44.77% pour l'horizon de surface , il est de 44.70% pour l'horizon profond .

Pour les fractions sableuses leur taux est en augmentation vers la profondeur pour les deux parcelles, avec des valeurs entre (9.45 % à 21.26%) pour la parcelle témoin et entre (10.88 % à 19.54 %).

Nous remarquons que le coefficient de variation est faible < 15% dans tous les horizons de la parcelle témoin sauf l'horizon (50-75 cm) qui à un coefficient de variation modéré avec une

valeur de 27.03 % ;pour la parcelle de traitement le coefficient de variation augmente vers les profondeurs ,il est faible < 15% dans l’horizon de surface ,modérés dans l’horizon (25-50cm) ,il est plus élevé dans l’horizon (50-75cm) et (75-100cm) avec des valeurs de l’ordre 46.08% et 56.38% respectivement .

Pour la fraction limoneuse la variabilité est faible <15% pour les horizons des deux parcelles, sauf l’horizon (25-50 cm) de la parcelle témoins et (50-75 cm) de la parcelle de traitement qui est modéré avec des valeurs de 19.30% et 16.54% respectivement, il est élevé dans l’horizon (75-100cm) de la parcelle témoin avec une valeur de 46.39 %.

Pour la fraction sableuse, le coefficient de variation augmente vers la profondeur, avec des valeurs modérés dans les horizons de surface des deux parcelles (15.10% et 27.15%), est plus élevés dans tout le reste de profil (61.30 % < CV < 124.95 %).

Tableau 15.Résultats de l’Argile (en %) de parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	44,09	39,07	29,90	27,31
CV%	7,05	3,43	27,03	14,45

Tableau 16.Résultats de Limon (en %) de parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	46,46	48,00	51,43	55,04
CV%	5,85	19,30	14,71	46,39

Tableau 17.Résultats de Sable (en %) de parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	9,45	12,92	15,06	21,26
CV%	15,10	61,30	41,47	94,62

Tableau 18.Résultats de l’Argile (en %) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	44,33	43,97	46,97	35,77
CV%	13,15	28,55	46,08	56,38

Tableau 19.Résultats de Limon (en %) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	44,77	43,80	41,02	44,70
CV%	6,43	4,49	16,54	9,94

Tableau 20.Résultats de Sable (en %) de la parcelle de traitement.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	10,88	12,60	11,88	19,54
CV%	27,15	94,82	124,95	81,12

2. Les résultats statistiques des analyses chimiques de sol

2.1. Analyses du potentiel Hydrogène (pH)

Les tableaux 21, 22, 23,24 montrent que le pH moyen du sol est supérieur à 7.88 avec une moyenne variante entre 7.88 à 8.43, l'étude des moyennes de pH du sol indique que ce paramètre est élevé lorsque la concentration saline augmente, ces valeur indiquent que notre sol est basique, et se caractérise principalement des sols calcaires et des sols salé et confirme notre résultat de calcaire total et de la conductivité électrique.

Le coefficient de variation est faible dans les deux parcelles et pour les deux compagnes, il varie entre (0.07 % < CV<2.97 %).

Tableau 21.Résultats du pH de parcelle Témoin(22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	7,94	8,08	8,13	8,34
CV%	0,63	0,14	0,28	2,97

Tableau 22.Résultats du pH de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	7,90	8,15	8,10	8,30
CV%	0,07	0,63	1,00	2,69

Tableau 23.Résultats du pH de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	8,10	8,18	8,33	8,39
CV%	0,72	0,69	1,60	1,37

Tableau 24.Résultats du pH de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	7,88	7,99	8,32	8,43
CV%	0,52	2,40	1,41	0,65

2.2. Analyses de la matière organique (M.O)

Les tableaux 25, 26,27 et 28 montrent que le taux de la matière organique diminue avec la profondeur, la moyenne varie en profondeur, elle est de l'ordre de 0.32%, et elle est 2.54% dans l'horizon de surface, ces valeurs indiquent que les valeurs de la matière organique sont moyennes dans les couches superficielles, est faible dans les horizons sub-profonds et très faible dans les horizons profonds.

Le coefficient de variabilité est faible <15% dans tous les horizons de surface, sauf la parcelle de traitement de la deuxième campagne qui a un coefficient de variation élevé.

Pour les autres couches le coefficient de variation est élevé >35%, sauf l'horizon (25-50cm) de la parcelle témoin et l'horizon (50-75cm) de la parcelle de traitement de la deuxième campagne qui a un coefficient de variation faible <15%.

Tableau 25.Résultats de la Matière organique (en %) de parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	2,54	1,80	0,84	0,74
CV%	7,06	41,07	33,17	28,38

Tableau 26.Résultats de la Matière organique (en %) de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	2,43	1,24	0,67	0,49
CV%	12,95	13,15	40,03	44,47

Tableau 27.Résultats de la Matière organique (en %) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	2,29	1,48	0,57	0,32
CV%	6,90	37,54	47,10	33,17

Tableau 28.Résultats de la Matière organique (en %) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	2,01	1,59	1,38	0,99
CV%	36,54	33,33	7,63	34,57

2.3. Analyses statistiques du calcaire total (CaCO₃)

Les tableaux 29, 30,31 et 32 montrent que les teneurs en calcaire total sont homogènes au niveau des horizons et dans les deux compagnes, la moyenne varie de 19.10 % à 24.20 %, avec un faible coefficient de variabilité (CV< 15%).ces valeurs correspondent à des sols moyennement calcaire avec un risque de chlorose pour les cultures agricoles.

Tableau 29.Résultats du calcaire totale (CaCO₃ en %) de parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	19.81	20.52	21.37	21.23
CV%	1.22	10.20	7.52	7.99

Tableau 30.Résultats du calcaire total (CaCO₃ en %) de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	19,45	20,94	21,37	21,08
CV%	2,83	11,88	3,05	2,33

Tableau 31.Résultats du calcaire total (CaCO₃ en %) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	19.10	18.40	19.67	19.25
CV%	2.22	2.67	1.23	5.10

Tableau 32.Résultats du calcaire total (CaCO₃ en %) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	22.78	23.06	24.20	23.06
CV%	4.31	2.81	3.05	2.81

2.4. Analyses statistiques du calcaire actif

Les tableaux 33, 34, 35 et 36 montrent que les teneurs en calcaire actif sont homogènes au niveau des horizons et dans les deux compagnes, la moyenne varie entre 3.88 % et 5.09 %. Ces valeurs correspondent à des sol moyennement calcaires avec la présence du risque de chlorose.

Le coefficient de variabilité est faible dans tous les horizons des deux compagnes ($CV < 15\%$) sauf l'horizons (0-25 cm) du parcelle témoin et (75-100cm) du parcelle de traitement de la première compagne et horizon (50-75cm) et (75-100cm) de la parcelle de traitement de la deuxième compagne qui ont une variabilité modérée.

Tableau 33. Résultats du calcaire actif (en %) de parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	4,92	5,09	4,96	3,88
CV%	21,96	6,24	12,95	14,08

Tableau 34. Résultats du calcaire actif (en %) de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	4,79	4,66	4,16	4,91
CV%	14,83	4,05	11,41	10,29

Tableau 35. Résultats du calcaire actif (en %) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	4,58	4,29	4,29	4,46
CV%	3,15	13,69	13,69	18,18

Tableau 36. Résultats du calcaire actif (en %) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	5,08	4,83	4,62	4,04
CV%	2,84	4,00	19,51	15,89

2.5. Analyses statistiques de la capacité d'échange cationique (CEC)

Les tableaux 37, 38, 39 et 40 montrent que la capacité d'échange cationique (CEC) est en diminution vers la profondeur, la moyenne est variable entre (19.87 à 18.06 meq/100g) pour les horizons de surface et (16.33 à 14.43 meq/100g) pour les horizons de profondeurs, d'après **Doucet 1992** ces valeurs correspondent à des sols d'une capacité d'échange cationique très faible.

Pour la parcelle témoin le coefficient de variation est faible < 15% dans la deuxième campagne et dans les horizons (0-25cm) et (75-100cm) de la première campagne ; Pour les horizons (25-50cm) et (50-75cm) de la première campagne leur variabilité est modérée.

Pour la parcelle de traitement, le coefficient de variation est modéré dans la première campagne et dans le horizon (75-100cm) de la deuxième campagne ; Pour les autres horizons le coefficient de variation est faible < 15%.

Tableau 37. Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	19,74	19,61	18,22	14,57
CV%	8,31	20,38	18,41	6,90

Tableau 38. Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	19,87	18,35	17,27	16,33
CV%	2,64	6,99	10,41	12,79

Tableau 39. Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	18,06	16,68	16,61	14,43
CV%	18,49	17,48	16,13	28,43

Tableau 40. Résultats de la capacité d'échange cationique (CEC meq/100g) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	19,45	18,20	17,03	15,26
CV%	7,45	10,60	12,40	19,58

3. Caractérisation de la salinité du sol

3.1. Analyses de la conductivité électrique de la pâte saturée (CE_{ps}) diluée (CE 1/5)

Les tableaux 41, 42,43 et 44 montrent que la conductivité moyenne de la pâte saturé est en augmentation progressive ver la profondeur et ça est expliqué par la concentration élevée en sels solubles au niveau de cette couche, ce type de sols est dit descendant.

Pour la parcelle témoin de la première et la deuxième compagne les moyenne de la conductivité électrique sont homogènes dans les quatre horizons, avec des valeurs respectivement variable entre (9.58 ds/m et 8.19 ds/m) pour l'horizon de surface à (27.72 ds/m et 25.32 ds/m) pour l'horizon profond.

Pour la parcelle de traitement les moyennes de la conductivité électrique sont plus variables ,on affiche respectivement une légère diminution entre les deux compagnes dans les couches superficielles (0-25cm) et (25-50cm) avec des valeurs de l'ordre (8.19 , 15.78 ds/m) et (5.77 , 10.51 ds/m) ;Pour les horizons (50-75cm) et (75-100cm) les valeurs moyennes de la conductivité électriques sont plus homogène dans les deux compagne de mesures avec des valeurs de l'ordre (21.82 et 20.49 ds/m) pour l'horizon (75-100cm) et (20.49 et 24.60ds/m) pour l'horizon (75-100cm).

La salinité moyenne de la couche (0-100cm) révèle que la salinité se situe dans la partie inférieure du profil, ce type de profil salin a été qualifié de descendant par (Servant ,1975) (Fig. 36).

Les valeurs du coefficient de variation du CE_{ps} sont supérieures à 35 % pour l'horizon (0-25 cm) et (25-50 cm) de la parcelle témoin et la parcelle de traitement de la première compagne. Cependant cette variabilité est modérée aux parcelles témoin pour l'horizon (50-75 cm) de la première compagne et (50-75 cm) et (75-100 cm) de la deuxième compagne. Pour les autres horizons le coefficient de variation et faible <15 %.

Tableau 41.Résultats de la conductivité électrique (CE_{ps} ds/m) de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	9,44	20,99	26,35	27,72
CV%	40,76	42,24	19,20	7,17

Tableau 42.Résultats de la conductivité électrique (CE_{ps} ds/m) de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	9,58	20,47	23,21	25,32
CV%	5,48	2,98	17,41	22,13

Tableau 43.Résultats de la conductivité électrique (CE_{ps} ds/m) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	8,19	15,78	21,82	25,57
CV%	83,82	51,24	13,19	1,22

Tableau 44.Résultats de la conductivité électrique (CE_{ps} ds/m) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	5,77	10,51	20,49	24,60
CV%	11,76	7,03	7,24	2,86

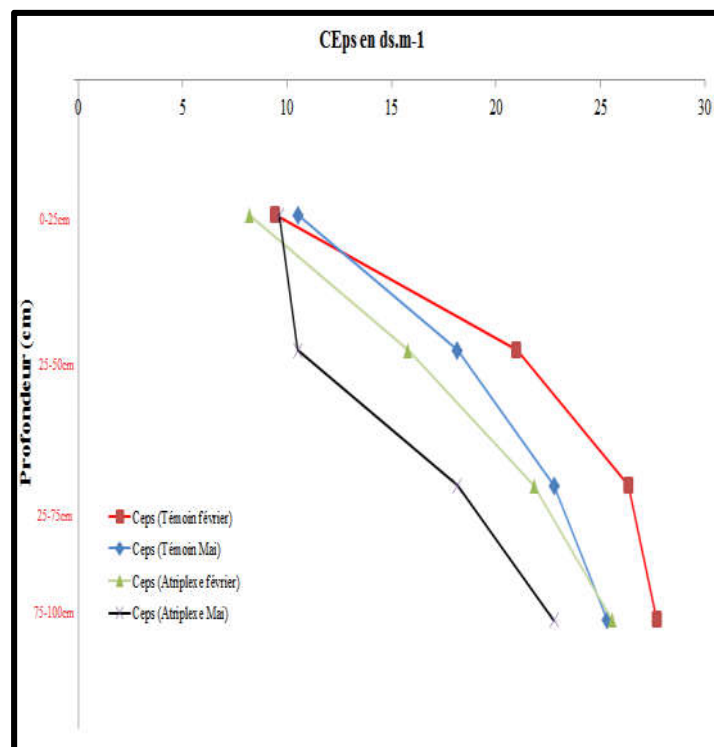


Figure 36. Profils salins moyens des échantillons prélevés (CE_{ps} en $dS.m^{-1}$).

3.2. Conductivité électrique de l'extrait dilué (CEd_{1/5})

Les tableaux 45, 46, 47 et 48 montrent que la salinité est en augmentation progressive vers la profondeur, avec des valeurs moyennes qui passent de 1.69 ds.m⁻¹ pour l'horizon de la surface à 3.64 ds.m⁻¹ pour l'horizon profond dans la parcelle témoin et de 1.36 ds.m⁻¹ pour l'horizon de surface à 3.38 ds.m⁻¹ pour l'horizon profond de la parcelle de traitement de la première compagne.

Pour la deuxième compagne la conductivité CEd_{1/5} passe de 2.05 ds.m⁻¹ pour l'horizon de surface à 4.43 ds.m⁻¹ pour l'horizon profond dans la parcelle témoin, et de 1.28 ds.m⁻¹ dans l'horizon de surface à 4.10 dans l'horizon profond pour la parcelle de traitement.

Les résultats des tableaux révèlent que la conductivité électrique de l'extrait dilué CEd_{1/5} pour l'ensemble des horizons se situe entre 1.28 ds.m⁻¹ et 4.43 ds.m⁻¹.

Les valeurs de coefficient de variation sont >35 % pour les horizons de (0-25cm) et (25-50cm) pour la parcelle de traitement de la première compagne. Cette variabilité est faible dans l'horizon (25-50cm) de la parcelle témoin de la deuxième compagne et pour l'horizon (0-25cm) et (25-50cm) de la parcelle de traitement de la deuxième compagne et aussi pour tous les horizons (50-75cm). Pour le reste des horizons le coefficient de variation est modéré entre (15<CV<35 %).

Tableau 45. Résultats de la conductivité électrique (CEd_{1/5}) de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	1,69	3,27	3,66	3,64
CV%	18,95	23,43	13,97	26,77

Tableau 46. Résultats de la conductivité électrique (CEd_{1/5}) de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	2,05	4,23	4,55	4,43
CV%	19,20	1,36	6,73	21,35

Tableau 47.Résultats de la conductivité électrique ($CEd_{1/5}$) de la parcelle de traitement (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	1,36	2,83	3,87	3,38
CV%	78,04	42,76	14,32	26,48

Tableau 48.Résultats de la conductivité électrique ($CEd_{1/5}$) de la parcelle de traitement (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
MOY	1,28	2,26	4,11	4,10
CV%	11,47	9,36	10,69	30,34

L'analyse de la corrélation entre les valeurs de la conductivité électrique moyenne de l'extrait de pâte saturée (C_{eps}) et celles de l'extrait dilué ($ced_{1/5}$) de la parcelle témoin et la parcelle traitement de la première et la deuxième campagne, montre une bonne corrélation ($r^2 > 0.8$) qui est statiquement et hautement significative.

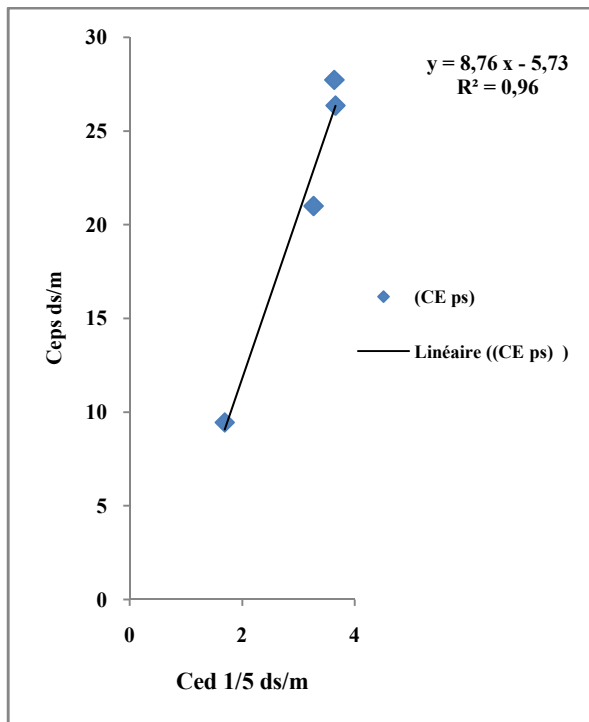


Figure 37. Corrélation entre $CEd_{1/5}$ et CE_{ps} pour la parcelle Témoin de la première compagnie.

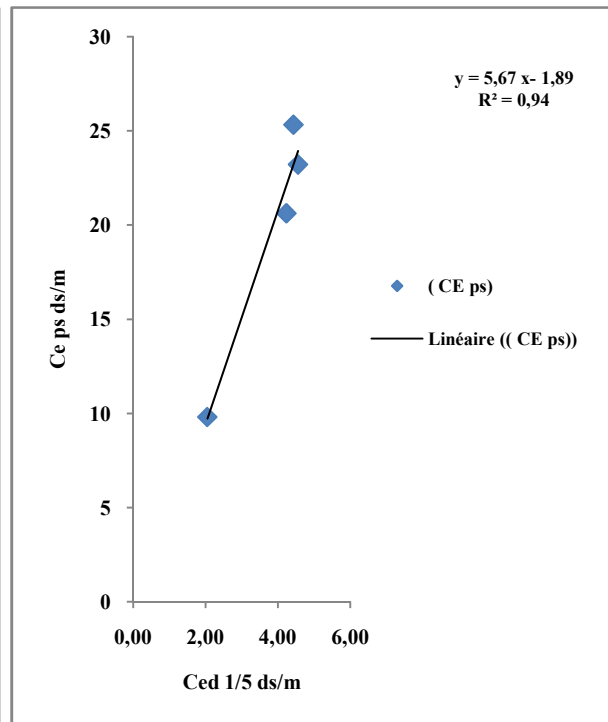


Figure 38. Corrélation entre $CEd_{1/5}$ et CE_{ps} pour la parcelle Témoin de la deuxième compagnie.

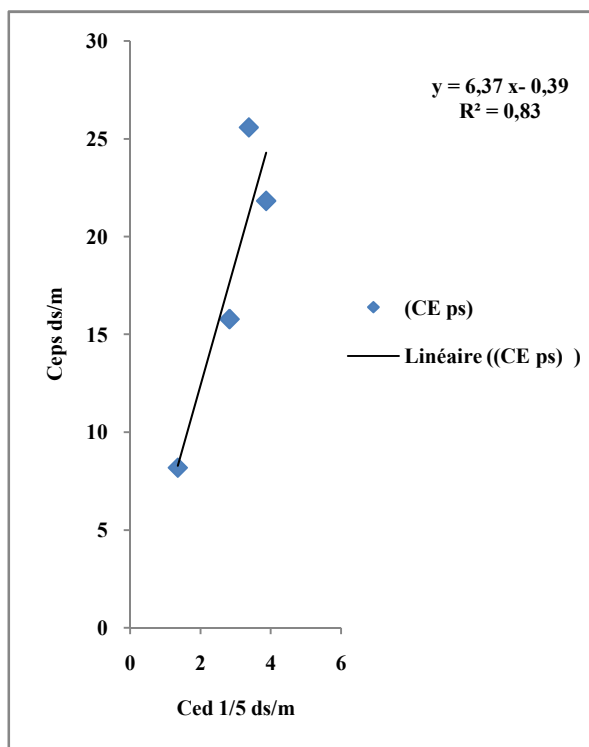


Figure 39. Corrélation entre $CEd_{1/5}$ et CE_{ps} pour la parcelle de Traitement de la première compagnie.

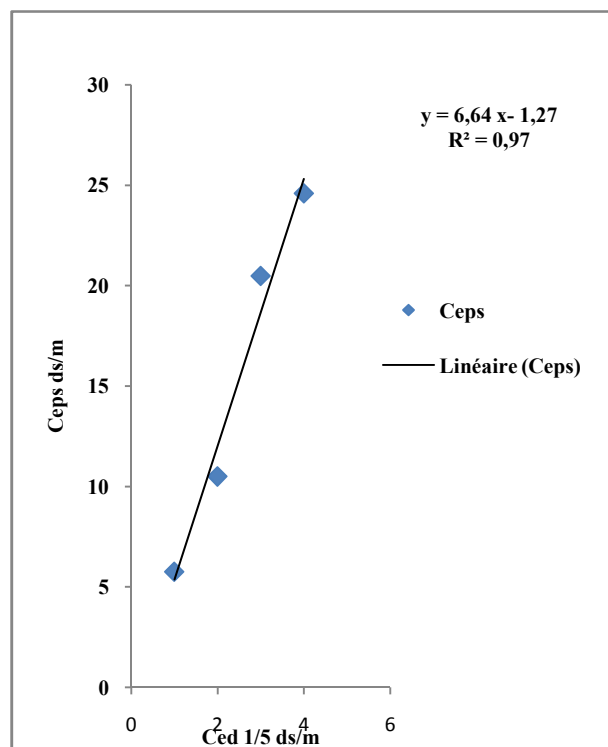


Figure 40. Corrélation entre $CEd_{1/5}$ et CE_{ps} pour la parcelle de Traitement de la deuxième compagnie.

II. Etude des paramètres physiologiques de la plante

Les stress biotiques et abiotiques peuvent induire un dysfonctionnement cellulaire allant jusqu'à la mort des cellules. Face à ces stress les plantes ont développé des mécanismes cellulaires de réponse aux stress particulièrement flexibles qui leur permettent une adaptation efficace. La résistance des plantes aux stress biotiques et abiotiques est un caractère multi-génique qui dépend de la combinaison d'un grand ensemble de gènes, de protéines et de voies métaboliques qui agissent de concert (Chaves et al, 2002).

1-La Teneur Relative en Eau

La caractérisation du statut hydrique d'une plante pourrait passer par la seule évaluation de la teneur relative en eau. Clark et MC Caig, (1982), attirent l'attention sur l'utilisation de la teneur relative en eau comme indicateur de l'état hydrique de la plante sous stress.

La figure 41 indique que la teneur relative en eau est plus élevée dans les plantes stressées avec une valeur moyenne de l'ordre 83.32 % par rapport aux plantes témoins qui ont une valeur moyenne de l'ordre de 78.75 %, les résultats obtenus varient positivement avec la salinité, donc la turgescence augmente positivement dans les plantes Atriplex avec la salinité du sol. L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de cette caractéristique (Tableau 58, annexe), démontre qu'elle se trouve influencée d'une manière significative ($p < 0.05$).

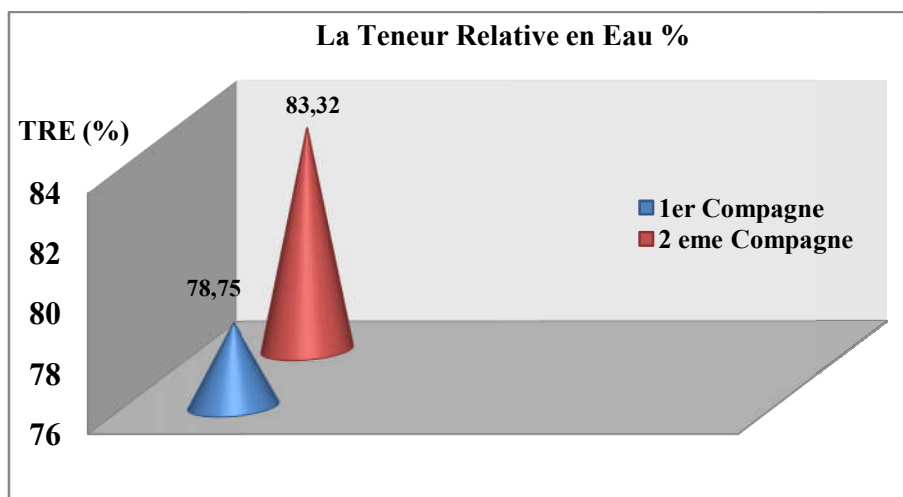


Figure 41. La teneur relative en eau (en %) des deux compagnes.

2. La chlorophylle

Il existe deux principaux types de chlorophylle chez les plantes et certaines algues : la chlorophylle (a) et la chlorophylle (b). chez les plantes, seule la chlorophylle (a) est directement impliquée dans les réactions lumineuses. elle absorbe la lumière des régions bleu violet et rouge du spectre et apparaît vert foncé. car elle réfléchit principalement la lumière verte (Bracket Mathis, 2000).

La chlorophylle b n'est pas directement impliquée dans les réactions lumineuses, mais transmet l'énergie absorbée à la chlorophylle (a). la chlorophylle (b) est donc appelé pigment accessoire. (Bracket Mathis, 2000).

L'effet de la salinité sur la photosynthèse, dépend de la concentration des sels et l'espèce de la plante, ce qui est évident qu'une concentration basse de sels peut stimuler la photosynthèse. un environnement stressant affecte la croissance, et affecte évidemment la photosynthèse.

2.1. Le chlorophylle a

Ces résultats indiquent que la teneur en chlorophylle (a) est très élevée chez les plantes témoins par rapport aux plantes stressées, en effet cette teneur est en moyenne (8.19 $\mu\text{g/g}$ MF) qui représente 3 fois plus les teneurs enregistrées chez les plantes stressées (2.23 $\mu\text{g/g}$ MF).

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de cette caractéristique (Tableau 59, annexe), démontre qu'elle se trouve influencée d'une manière très hautement significative ($p < 0.001$).

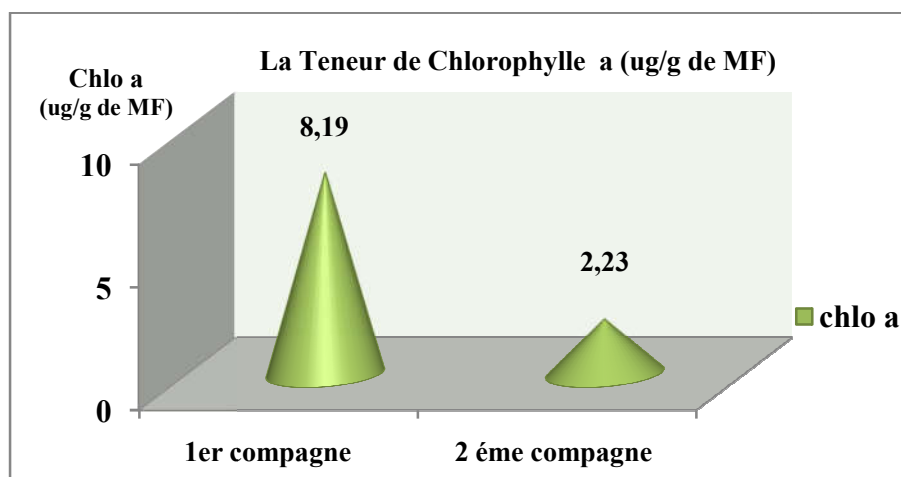


Figure 42. La teneur en chlorophylle (a) ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.

2.2. La chlorophylle B

En ce qui concerne la chlorophylle (b), les résultats présentés dans la figure 43 montrent globalement la même tendance observée pour la chlorophylle (a) avec une des diminutions significatives de l'ordre 720.16 % des teneurs en chlorophylle (b) chez les plantes stressées, les teneurs de chlorophylle (b) passent de (17,86 $\mu\text{g/g}$ de MF) pour la première compagne à (2,48 $\mu\text{g/g}$ de MF) pour la deuxième compagne.

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de cette caractéristique (Tableau 60, annexe), démontre qu'elle se trouve influencée d'une manière très hautement significative ($p < 0.001$).

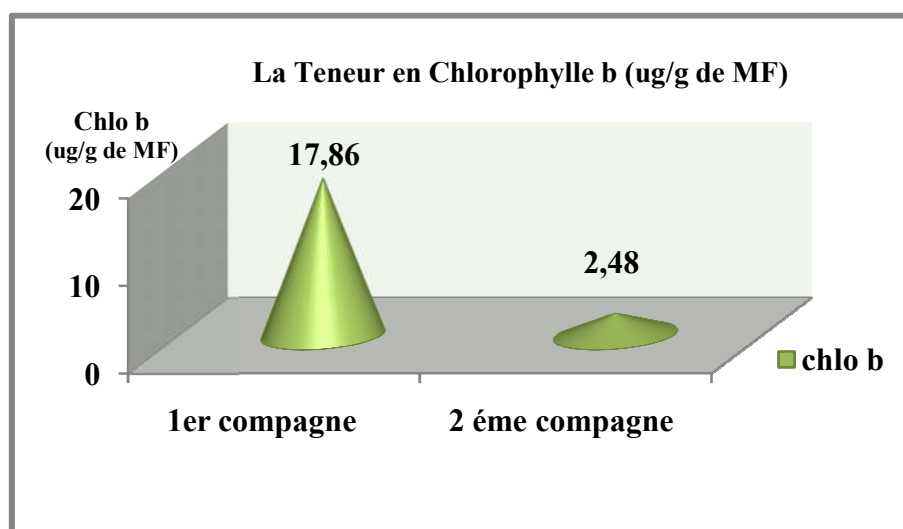


Figure 43. La teneur en chlorophylle (b) ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.

2.3. La chlorophylle Totale

Ces résultats indiquent que la teneur en chlorophylle (b) est très élevée chez les plantes témoins, en effet cette teneur est en moyenne elle est de (26.06 $\mu\text{g/g}$ de PF). Elle représente 5 fois plus les teneurs enregistrées chez les plantes stressées (4.71 $\mu\text{g/g}$ de PF).

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de cette caractéristique (Tableau 61, annexe), démontre qu'elle se trouve influencée d'une manière très hautement significative ($p < 0.001$).

La figures 45 montrent que les chlorophylles (a), (b) et totale diminuent significatives sous l'effet du stress salin. Pour cette espèce, nous avons une baisse importante de la teneur en chlorophylles des plantes stressées par rapport au témoin.

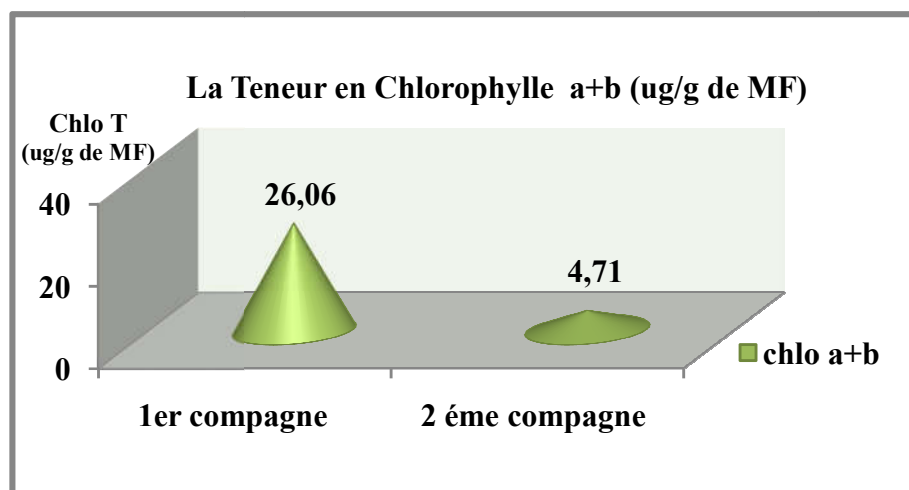


Figure 44. La teneur en chlorophylle (a+b)($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.

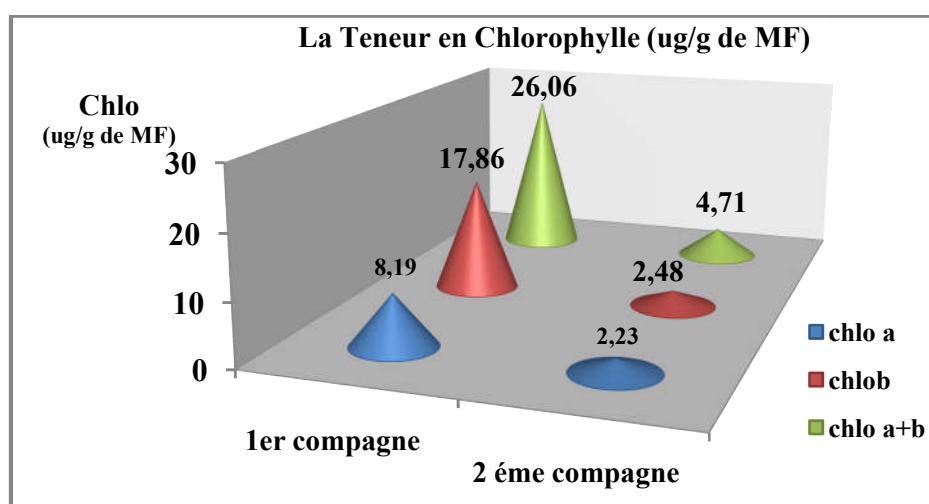


Figure 45. Les teneurs en chlorophylle ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.

3. Le Proline

Proline est une molécule organique dominante qui agit comme un médiateur de l'ajustement osmotique sous le stress de la salinité, un stabilisateur de structure sud-cellulaires, un puits d'énergie, et même une contrainte connexe de signal. Elle participe aussi dans l'osmorégulation de la cellule et de la protection des protéines au cours de la déshydratation, et il peut agir comme un régulateur enzymatique en conditions de stress (Rontain, et al 2002).

3.1. La teneur de proline des racines

La figure 46 montre que la teneur de la proline dans les racines est significativement augmentée dans les plantes stressées par rapport aux plantes témoin avec des valeurs moyennes passant de (**0.18 $\mu\text{g/g}$ de MF**) dans la première compagne à (**14.368 $\mu\text{g/g}$ de MF**) dans la deuxième compagne.

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de cette caractéristique (Tableau 62, annexe), démontre qu'elle se trouve influencée d'une manière hautement significative ($p < 0.001$).

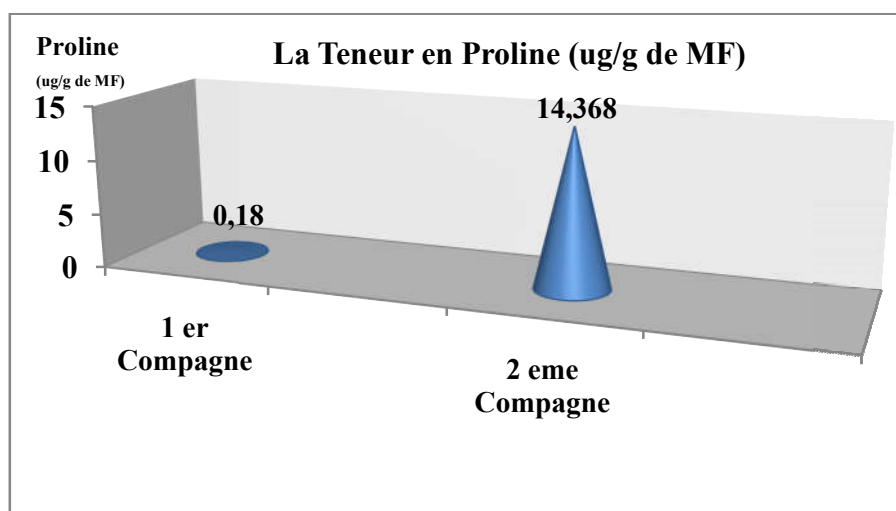


Figure 46. La teneur en proline des racines ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.

3.2. La teneur de proline des tiges

La figure 47 montre que la teneur de la proline dans les tiges est significativement augmentée dans les plantes stressées par rapport aux plantes témoins avec des valeurs moyennes passant de (**0.436 $\mu\text{g/g}$ de MF**) dans la première compagne à (**7.53 $\mu\text{g/g}$ de MF**) dans la deuxième compagne.

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de cette caractéristique (Tableau 63, annexe), démontre qu'elle se trouve influencée d'une manière hautement significative ($p < 0.001$).

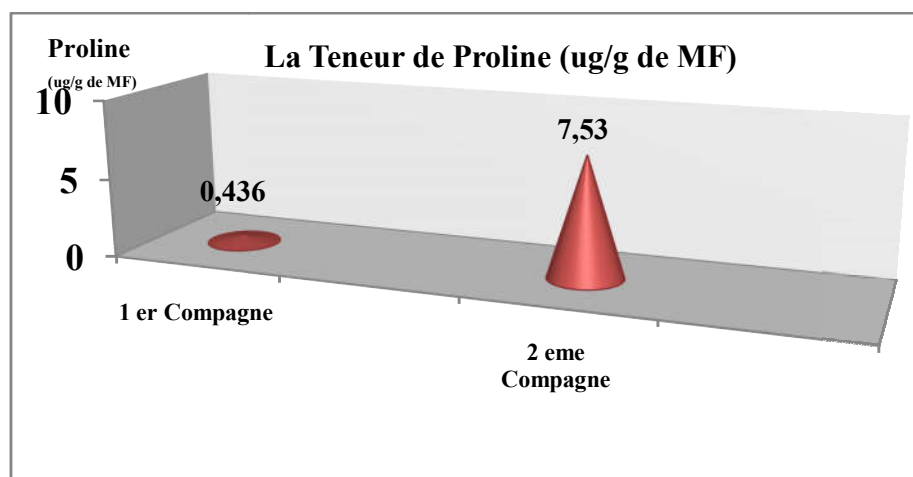


Figure 47. La teneur en proline des tiges ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.

3.3. La teneur de proline des feuilles

La figure 48 montre que la teneur de la proline dans les feuilles est légèrement augmenté dans les plantes stressées par rapport aux plantes témoins avec des valeurs moyenne passant de ($0.692 \mu\text{g/g}$ de MF) dans la première compagne à ($0.949 \mu\text{g/g}$ de MF) dans la deuxième compagne.

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de cette caractéristique (Tableau 64, annexe), démontre qu'elle se trouve influencée d'une manière très hautement significative ($p < 0.001$).

Les résultats de la figure 49 montrent que la proline s'accumule progressivement et lent elle est dans la partie racinaire et vers la partie aérienne. Ces résultats confirment d'autres recherches qui indiquent que la proline s'accumule dans la plante de manière très lente lorsque la concentration en NaCl est plus forte.

Ces auteurs ont rapporté que les concentrations modérées de sel n'entraînaient pas d'accumulation de proline alors que, sous des concentrations élevées, la proline s'accumule dans tous les organes de la plante.

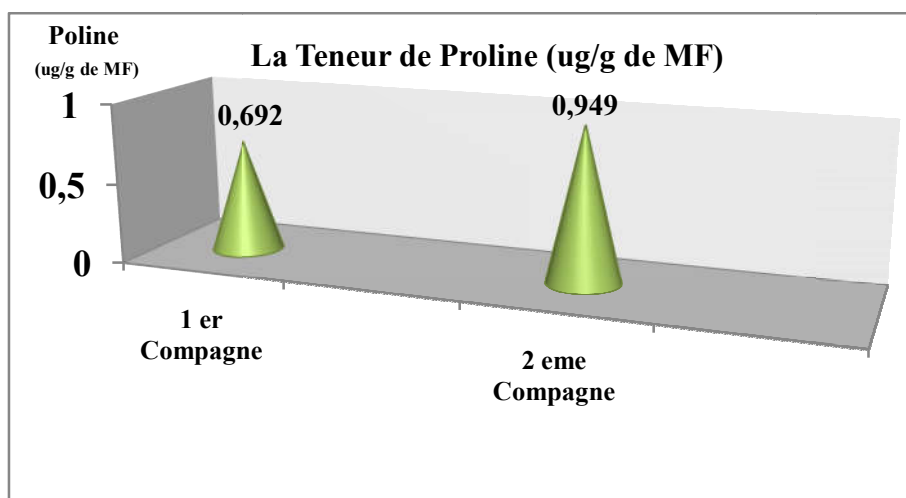


Figure 48. La teneur en proline des feuilles ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.

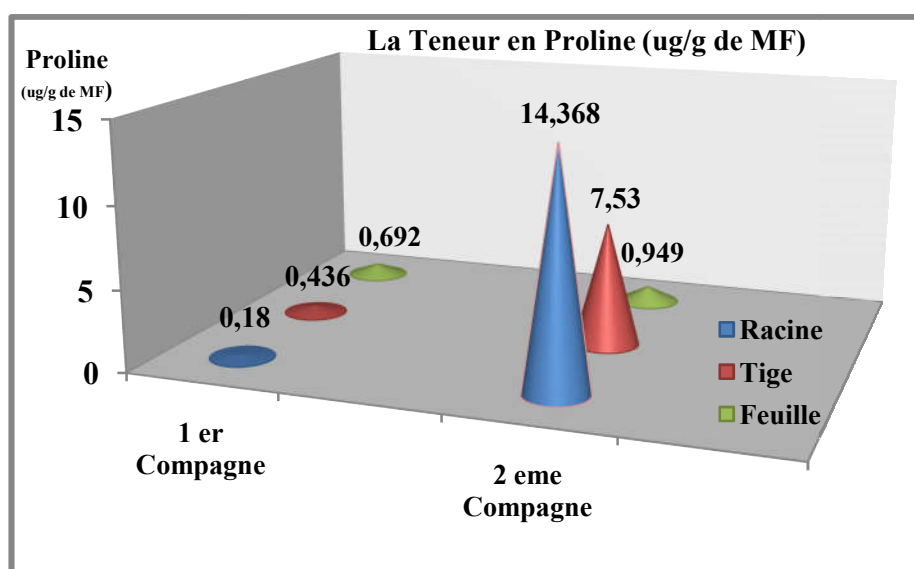


Figure 49. La teneur en proline ($\mu\text{g/g}$ de MF) des deux compagnes.

4. Les Sels Minéraux

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation aux stress ionique et osmotique. Ce phénomène s'exprime par la capacité d'un végétal à accumuler, au niveau symplasmique et de manière active des ions tels que les K^+ et Na^+ et Cl^- (Munns et al., 2006).

Ainsi, l'ajustement osmotique permet le maintien de nombreuses fonctions physiologiques (photosynthèse, transpiration, croissance...) et peut intervenir à tous les stades du développement du végétal (Martinez et al., 2007).

4.1. La Teneur de Sodium

La figure 50 montre que la teneur de Na^+ dans les racines et les tiges n'a pas respectivement changé, avec des valeurs moyennes de l'ordre (42.96, 44.11 ppm) pour les racines, et de (72.22 ppm et 71.85 ppm) pour les tiges dans les deux compagnes, par contre dans les feuilles les résultats indiquent une augmentation significative dans les plantes stressées par rapport aux plantes témoin avec des valeurs moyennes passant de (75.35 ppm) dans la première compagne à (173.04 ppm) dans la deuxième compagne.

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de cette caractéristique (Tableau 65, annexe), démontre qu'elle se trouve influencée dans les feuilles d'une manière très hautement significative ($p < 0.001$).

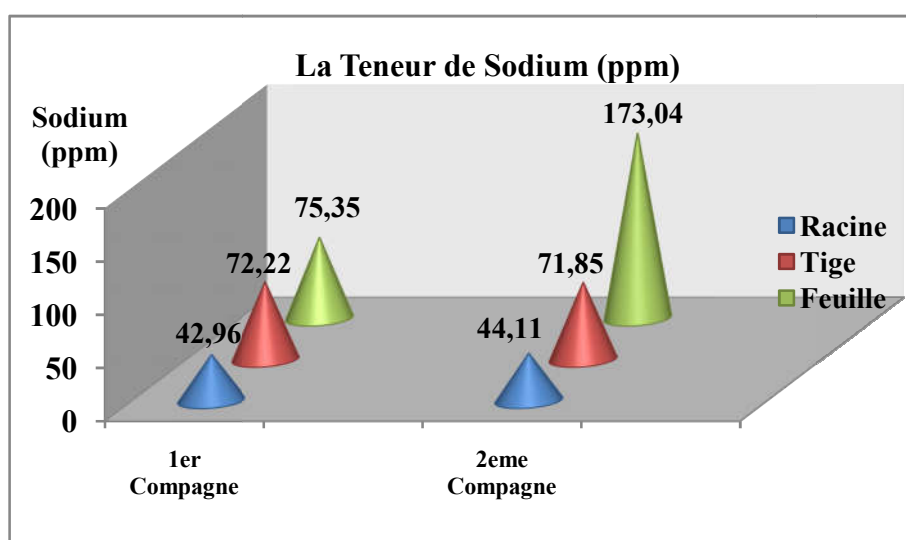


Figure 50. Les teneuses de sodium (ppm) des deux compagnes.

4.2. La Teneur de Potassium

La figure 51 montre que la teneur de K^+ dans les racines et les tiges n'a pas respectivement changé, avec des valeurs moyennes de l'ordre (12.54, 13.15 ppm) pour les racines, et de (18.45 ppm et 18.44 ppm) pour les tiges dans les deux compagnes, par contre dans les feuilles les résultats indiquent une augmentation significative dans les plantes stressées par rapport aux plantes témoins avec des valeurs moyennes passant de (36.14 ppm) dans la première compagne à (51.80 ppm) dans la deuxième compagne.

L'analyse des résultats obtenus de l'estimation de cette caractéristique (Tableau 66, annexe), démontre qu'elle se trouve influencée dans les feuilles d'une manière très hautement significative ($p < 0.001$).

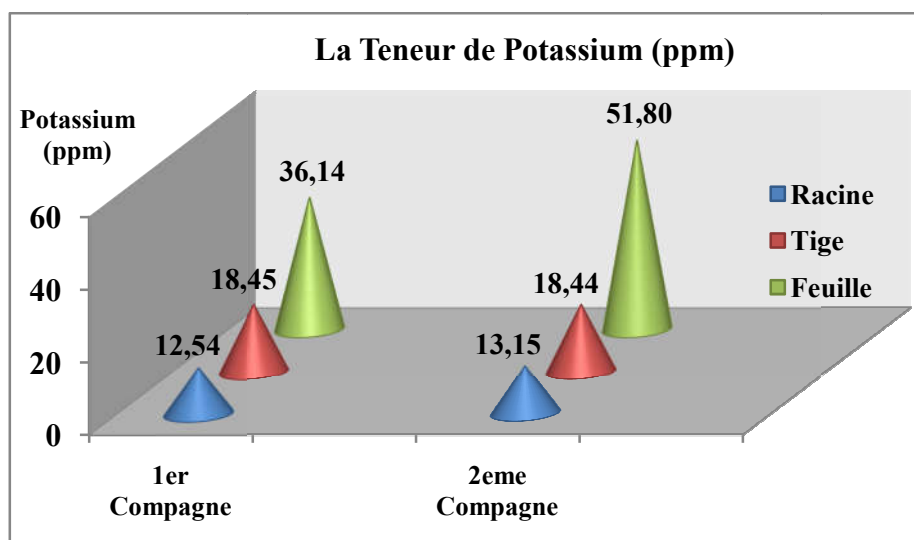


Figure 51. Les teneuses de potassium (ppm) des deux compagnes.

5. La relation entre les moyennes de salinité et paramètres physio- biochimiques :

Les résultats obtenus de cette recherche rapportée dans la figure(52) indiquent que l’excès de sel provoque chez la plante une augmentation de l’accumulation de proline , sodium et de potassium dans les feuilles et une augmentation de teneur relative en eau, et une diminutions des pigments chlorophylliens dans les feuilles d’Atriplexe Canescence.

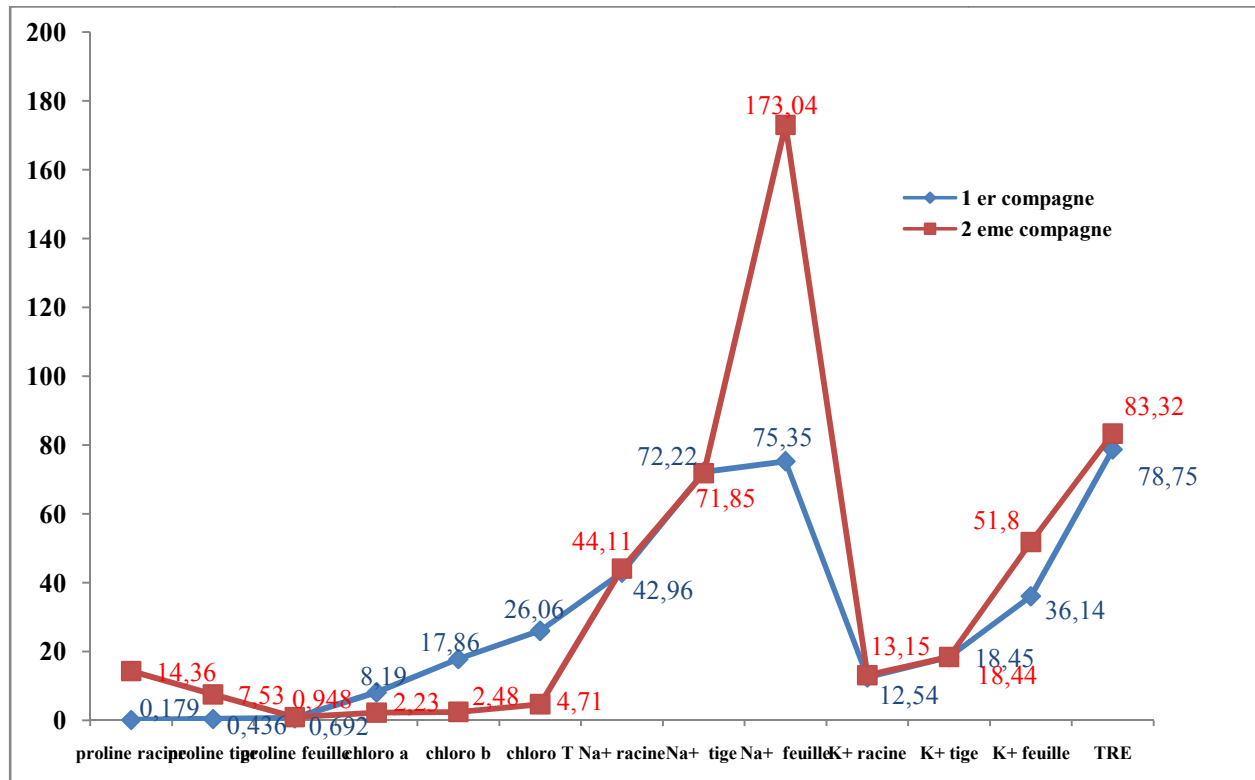


Figure 52. La relation entre les moyennes de salinité et paramètres physiologiques de la plante.

Partie II. Discussion générale

1. Les paramètres physico-chimiques du sol

L'étude expérimentale de ce travail de recherche qui a été effectuée au plein champ, avait pour objectif principal d'apprécier l'utilisation d'une espèce halophyte qui est l'Atriplexe Canescence dans l'amélioration des propriétés des sols salés. Cette étude nous a permis de tester le comportement de l'Atriplexe Canescence dans les sols très salés, par le suivi de quelques paramètres physiques et chimiques du sol.

L'étude de l'humidité du sol a montré une diminution remarquable. Ces taux d'humidité sont respectivement de 10 % en surface et 15 % en profondeur, soit un écart moyen d'humidité entre le haut et le bas du profil de 5 % environ. Ce résultat signifie que lors de la période de prélèvement des échantillons de la première campagne, le sol était plus humide en bas qu'en haut. Ce phénomène ne peut être expliqué que par la connaissance du régime hydrique de la zone d'étude (présence d'une nappe superficielle à faible profondeur, remontée capillaire...) et des événements météorologiques (pluies, températures et vents) qui ont prévalu avant et pendant l'échantillonnage. Pour la deuxième campagne ces taux d'humidité sont de l'ordre de 3 % en surface et 22 % en profondeur, soit un écart moyen d'humidité entre le haut et le bas du profil de 19 % environ. Ceci est expliqué par l'absence de pluies, l'évaporation élevée et l'abaissement du niveau de la nappe par l'ouverture du réseau de drainage.

L'analyse granulométrique montre la dominance de la fraction argileuse et limoneuse, donc comme résultat nous sommes dans un sol lourd, et comme la parcelle est une zone de dépression, ça explique le taux de salinité élevé et aussi la présence d'une nappe perchée à faible profondeur.

Le pH indique le degré d'acidité ou la basicité qui joue un rôle très important sur l'assimilation des éléments nutritifs par la plante, il y a une influence sur trois composantes importantes de la fertilité d'un sol : la biodisponibilité des nutriments, l'activité biologique et la stabilité structurale. La variation de pH dépend des variations saisonnières et le nombre des ions en réserve sur le complexe argilo-humique, l'état hydrique du sol, sa température et la présence ou non d'une culture en période de croissance active (**Paul Thorez, Dejean, 2012**).

Les résultats de l'analyse du pH, montrant que la majorité des horizons ont des pH moyennement alcalin, ils varient entre 7.77 à 8.62. L'Atriplexe Canescence préfère les sols alcalins et se développe bien sur ces sols. Il n'y a pas un changement significatif du pH, durant la période de l'expérimentation (90 jours), l'effet sur le pH n'est donc pas remarquable.

La teneur en calcaire du sol est déterminante pour le choix de la forme des engrais à préconiser et notamment celles des fertilisants phosphatés. Selon les normes d'interprétation des analyses de sol (Tableau 06, Annexe), les teneurs en calcaire du sol du site expérimental sont moyennement calcaire.

L'étude du calcaire total a démontré une augmentation significative de 4 % dans presque tous les horizons de la parcelle de traitement dans la deuxième campagne, sous l'effet du remaniement par le labour.

Dans les sols calcaires, notamment riches en calcaire actif, les bicarbonates dissous dans l'eau sont à l'origine de la carence en Fer par le blocage de cet oligo-élément essentiel à la photosynthèse, après de fortes pluies, la remontée des nappes superficielles riches en bicarbonates représente un risque de chloroses ferriques pour les plantes cultivées.

Plusieurs auteurs ont rapporté que les plantes cultivées dans les sols riches en calcaire connaissent des problèmes de nutrition en fer (Duval et Maurice 1970 ; Lucas et Knezek 1972 ; Citrograph 1976 ; Morlat et al. 1980 ; Loué 1983 ; Tropea et al. 1984 ; Clark et Gross 1986 ; Inskeep et Bloom 1987 ; Tong Yue Ao et al. 1987). La chlorose ferrique due à la présence de calcaire est dominante en zone méditerranéenne (Gouny et Cornillon 1970 ; Tropea et al. 1984 ; Leon et al. 1984).

Dans une étude consacrée à la chlorose des porte-greffes des agrumes en sol calcaire, Wacquart et al. (1984) ont montré, par l'analyse de la sève xylémique des plants, que les porte-greffes les plus sensibles à la chlorose véhiculent plus de potassium et moins de calcium que les plus tolérants. Ils distinguent quatre degrés de tolérance à la chlorose : 0 (très sensibles), 1 (sensibles), 2 (résistants) et 3 (très résistants).

L'approche conventionnelle qui consiste à apporter du fer (chélates de fer ou sulfate de fer) pour résoudre le problème de la chlorose est coûteuse ou à arrière effet limité (Huguet 1970, Tropea et al 1984, Hamzé et al 1986, Sudahono et al 1994, Gouny et Cornillon 1970).

Lorsque le taux de calcaire actif est supérieur à 5 %, il y a un risque de toxicité pour les plantes glycophytes. Car le calcaire fin est plus soluble et libère du Ca^{++} qui bloque l'absorption des cations bivalents tels que Mg^{++} , Fe^{++} , et provoque une mauvaise fonction chlorophyllienne (chlorophylle non synthétisée) qui se matérialise par un jaunissement des feuilles, c'est la chlorose, l'Atriplexe est plus résistante.

Les teneurs de la matière organique diminuent vers la profondeur et varient entre (1% < MO < 2%) pour les couches superficielles et (MO < 1%) pour les couches profondes. Pour la première campagne, ces valeurs n'ont pas changé, aussi dans la deuxième campagne. Ceci explique que

la plante n'a aucun effet sur la teneur en matière organique durant la période de l'expérimentation (90 jours). Selon les normes d'interprétation des analyses du sol (Tableau 05, Annexe), les teneurs en matière organique du sol du site expérimental sont variées de la moyenne pour les horizons de surface à très pauvres dans les horizons profonds.

La matière organique contribue et facilite l'obtention d'un état structural stable (**Morie ,1995 cité par Roula ,2005**) par conséquent, il y aurait une meilleure porosité, une bonne perméabilité, une meilleure aération et un meilleur réchauffement du sol. Comme elle joue un rôle important dans la rétention de l'eau (**Jaunes et Jacodsen ,2001**). Aussi sous l'action de microorganismes du sol, elle libère les éléments minéraux qui sont indispensables à la nutrition et au développement des plantes (**Bollag et al.,1998**).

La conductivité électrique (CE) du sol s'élève avec l'augmentation de la concentration saline. Nos résultats concernant la conductivité électrique indiquent que la salinité est extrêmement élevée et augmente progressivement vers la profondeur. Elle varie entre 9.44 dS/m⁻¹ pour l'horizon de surface à 27.72 dS/m⁻¹ pour les couches profondes dans la parcelle témoin pour les deux compagnes. Pour la parcelle de traitement nous avons remarqué une légère diminution de la conductivité électrique au niveau des horizons de surface, par contre elle ne varie pas au niveau des horizons profonds (50-75 et 75-100cm). Cette diminution pourrait être due à :

- l'abaissement du niveau de la nappe perchée à cause de l'ouverture du réseau de drainage par l'exploitant et l'absence des pluies et l'évaporation élevée ;
- l'influence de la plante par l'absorption des sels de la solution du sol. Cette explication est confirmée par les teneurs élevées de sodium et potassium que nous avons trouvées au niveau des feuilles de l'Atriplexe canescens .

La conductivité électrique d'une solution de sol est un indice important des teneurs en sels solubles dans ce sol. Les halophytes transportent et accumulent de grandes quantités de Na⁺ dans leurs feuilles. Ces résultats concordent avec ceux obtenus dans la région de Djelfa par **KABA (1996)** et **BENABDI (1997)** dans la commune de Zâafrane; **SAID et ZAIDI (2001)** dans la plaine d'Ain OUSSERA ; **MESBAHI (2002)** dans la région d'Ain El Bel ; **BERNO et al (2006)** dans la région d'El Mesrane ; **BEKAI et HAMIDOU (2008)**. De même que l'on signale les travaux de : **BOUHROUD et al (2006)** dans la zone de Sidi Hadjeres (w. M'sila) ; **ABOURA (2006)** au Nord et au Sud de la wilaya de Tlemcen ; **BEN AHMED et BEN SAHA (2007)** dans la wilaya de Laghouat ; **MERZOUGUI et BOUNIF (2008)** dans la zone d'Ain Skhoua (Saida) ; et **BOULARAK et al (2009)** dans les wilayas du sud-Oranais.

2. Les paramètres physiologiques de la plante

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

Dans ce travail, nous avons analysé la variation des paramètres physiologiques en présence du stress salin chez **L'Atriplex Canescens**. Ces paramètres (teneur relative en eau, chlorophylles, sels minéraux et proline) sont souvent mesurés pour l'étude de la réponse des différents végétaux au stress salin.

Les résultats obtenus ont montré que la turgescence varie positivement avec le taux de salinité, la teneur relative en eau augmente, la teneur relative des feuilles en eau est le meilleur paramètre indiquant l'état hydrique et permet d'évaluer l'aptitude à réaliser une bonne osmorégulation et de maintenir une turgescence cellulaire.

En effet, face à des teneurs en sel élevées, les pertes en eau des feuilles diminuent considérablement afin de conserver une certaine turgescence cellulaire permettant une bonne tolérance à la salinité. Nous remarquons également que plus le stress est sévère est plus les pertes en eau par les feuilles diminuent.

De même, on précise que, le sel induit à une augmentation de l'épaisseur des feuilles et de la taille des cellules palissadiques chez les halophytes et une réduction de la densité stomatique.

On en déduit donc que les feuilles de l'Atriplex ferment généralement leurs stomates lorsque le stress salin s'intensifie, pour minimiser les pertes en eau. Le maintien d'une certaine quantité d'eau intracellulaire, permet également de diluer les sels introduits, ce qui explique la difficulté d'observer les stomates au microscope optique. En pensant que cette résistance stomatique se manifeste par une présence de nombreux stomates de petites tailles et à fermeture rapide. Notant que, les plantes soumises à un stress salin ferment leurs stomates plus tôt que les plantes en conditions normales, cela augmente la résistance stomatique du fait de la diminution de l'absorption hydrique.

L'absorption d'eau est maintenue à un niveau suffisant pour éviter la déshydratation des tissus de la plante et pour pouvoir ainsi diluer les sels introduits dans les cellules. Ces constatations sont confirmées par plusieurs travaux.

Scofield et al, 1988 notent que la diminution de la TRE est plus rapide chez les variétés sensibles que les variétés résistantes. Ainsi **Matin et al 1989 in Nouri ,2002** montrent que les génotypes qui maintiennent une TRE élevée dans la présence de stress hydrique sont des génotypes tolérants.

Ainsi, **LevitJ** constate que la capacité de maintenir un potentiel hydrique élevé a été considérée comme un mécanisme qui permet à la plante d'esquiver la déshydratation. Ainsi, ces résultats indiqueraient que la teneur relative en eau serait un outil de comparaison ou un critère de sélection pour la tolérance à la sécheresse et au stress salin.

Les résultats obtenus montrent qu'il y a un effet stress salin sur le fonctionnement de la photosynthèse chez les plantes stressées dont le taux de chlorophylle est moins diminué par rapport au témoin. Ceci peut être expliqué du fait que les halophytes sont considérées comme étant des plantes en C4, c'est-à-dire qu'elles sont capables de protéger leur appareil photosynthétique lors d'une sécheresse physiologique suite au stress salin par la fermeture des stomates. Et ça assure une bonne croissance et un bon développement de la partie aérienne.

La diminution de la teneur en chlorophylle (**a**) et (**b**) chez les plantes traitées par rapport au témoin sont en accord avec ceux rapportés par **Younis et al ,2003** ,sur *Vignasinensis* et le *Zeamays*. **Strogonov 1962**, a proposé que la réduction des teneurs en pigments en réponse au stress salin est due probablement à l'effet inhibiteur des ions accumulés sur la biosynthèse des différentes fractions de pigments. Par ailleurs, il a été rapporté que la salinité diminue la teneur en pigments photosynthétiques chez plusieurs plantes (**Sultana et al ,1999 et Mekhaldi,2007**).

La salinité provoque une dégradation de la chlorophylle et une accumulation de la fraction soluble des composés azotés (**Viégas et Siveira, 1999**).

La salinité détruit la structure fine des chloroplastes et provoque l'instabilité des complexes protéines-pigments et la diminution de la teneur en chlorophylle (**Lapina et Popov, 1984 in Lamzeri, 2007**) La réduction de la concentration en chlorophylle en conditions de stress salin est attribuée à l'augmentation de l'activité des enzymes catalytiques, les chlorophyllases (**Rao and Rao, 1981 in Lamzeri, 2007**).

La salinité affecte l'ultra structure des chloroplastes (**Ackerson, 1981 ; Salama, 1994**), et plus particulièrement celle des granas (**Baker, 2002; Rahman, 2002**). Le stress salin induit une perturbation de la composition lipidique et protéique au niveau de la membrane cellulaire, notamment des membranes chloroplastiques et vacuolaires, affectant ainsi sa stabilité (**Alem et Amri., 2005**).

D'une manière générale, le sel induit des modifications quantitatives et qualitatives sur la synthèse des protéines. Le plus souvent, en cas de stress salins, les plantes montrent des signes de stress par la destruction des chlorophylles.

Nos résultats montrent que la proline s'accumule dans tous les organes d'une manière homogène pour les plantes témoins et elle augmente progressivement significativement dans les racines et les tiges et reste constante dans les feuilles pour les plantes stressées, ce qui confirme les résultats qui indiquent que l'accumulation de la proline est lente dans les concentrations très élevées de la salinité.

D'après **Lemzeri, (2007)**, globalement les espèces qui se sont montrées les plus sensibles au sel sur le plan morpho-physiologique, réagissent en accumulant plus rapidement de la proline. Par contre, celles qui se sont montrées tolérantes, présentent une stabilité relative ou une faible accumulation de leur teneur en proline comparativement à celles qui sont sensibles.

L'accumulation de la proline a été démontrée chez de nombreuses espèces et dans différentes situations de stress hydrique chez *Sesuvium portulacastrum* (**Slama et al., 2004**) et à la salinité chez *Atriplex Halimus L.* (**Bidal, 2004**). Cette aptitude des plantes à la synthèse et à l'accumulation de proline n'est pas spécifique seulement aux halophytes (**Huet et al., 1992**). Elle l'est également pour de nombreuses glycophytes, telles que la tomate (**Hernandez et al., 2000**), l'orge (**Hassani, 2008**) et le blé dur (**Zerrad, 2006**).

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**). **Agastian et al., 2000** ont rapporté que les protéines solubles augmentent à des niveaux bas de salinité et diminuent à des seuils élevés de concentrations salines chez les Mûres.

La tolérance au sel chez les plantes supérieures dépend de la façon dont les plantes contrôlent le transport du sel à travers les organes (**Niu et al., 2010**). En effet, les mécanismes de tolérance au sel sont de trois types distincts chez les plantes : celles qui tolèrent le stress osmotique, celles qui excluent le Na^+ et le Cl^- de leurs tissus et celles qui tolèrent l'accumulation de Na^+ et Cl^- dans leurs tissus (**Haouala 2007, Munns and Tester, 2008**). Cette sensibilité ou cette tolérance à la salinité varie selon les espèces et les variétés.

Dans cette étude, la concentration des ions de sodium est plus supérieure dans les plantes stressées par rapport aux plantes témoins. La salinité indique que celle-ci tolère une accumulation élevée de Na^+ dans ses tissus, ce qui indique qu'elle est de type « **accumulator** ». Elle développe des mécanismes pour l'accumulation de Na^+ dans ses tissus.

Le sodium est toxique lorsqu'il est présent à de fortes concentrations au niveau du cytoplasme des cellules foliaires, car il inhibe les réactions enzymatiques, sauf s'il est compartimenté au niveau des vacuoles de ces cellules (**Blumwald, 2000 ; Blumwald et al., 2000**). Donc un génotype tolérant, comme le cas de **Atriplex canescence**, va afficher des concentrations élevées de sodium dans les feuilles, sachant qu'il procède à sa compartimentation dans la vacuole pour protéger le cytoplasme de sa toxicité (**Blumwald, 2000 ; Storey et al., 2003 ; Hanana et al., 2007**) alors que, dans le cas d'un génotype sensible, ce dernier aurait tendance à exclure le sodium dans les cellules des tissus de la tige et des racines où il y a peu de réactions enzymatiques vitales pour la plante. Les niveaux de concentration en sodium obtenus semblent signifiés qu'il y a d'abord accumulation du sodium dans les parties aériennes, puis lorsque cela atteint les doses toxiques, le compartiment racinaire semble prendre le relais et contribuer à son tour à la tolérance.

Une étude faite sur **S. oleracea** montrée que l'accumulation de Na^+ au niveau des feuilles inhibe la conductance somatique et la photosynthèse et cause la diminution de la teneur des pigments chlorophylliens (**Delfine et al., 1999**).

Au niveau des feuilles, les teneurs en potassium augmentent suite au stress salin. Cela semble être un comportement de réajustement osmotique (surtout après l'invasion des ions sodium) qui, par conséquent, assure la survie des plants. Au niveau de la tige et des racines, les teneurs en potassium sont les mêmes par rapport aux témoins. La plante adsorbe et véhicule le maximum de potassium vers les feuilles, ce qui satisfait les besoins osmotiques. Il semble que c'est surtout au niveau des feuilles que la plante rétablit l'équilibre de son potentiel osmotique via l'ion potassium et atténue ainsi le stress osmotique engendré par NaCl. La capacité de la plante à pomper le potassium de la solution nutritive, puis de le véhiculer vers les feuilles, représente une stratégie d'adaptation.

Il est nécessaire de citer le rôle majeur de potassium dans la protection de l'appareil photosynthétique lors d'un stress **Clement, (1981)**, le potassium intervient dans les processus de la photosynthèse, favorise la synthèse des glucides et participe au transfert de ceux-ci vers les organes de réserve. Ce qui lui permet de conférer aux plantes une meilleure résistance aux différents stress.

Conclusion

Les résultats obtenus par le biais de cette étude ont montré que les sols des parcelles étudiées sont caractérisés par une salinité très élevée avec un profil salin descendant .

➤ **Concernant les paramètres physiques du sol**

Le sol est caractérisé par une humidité qui augmente vers la profondeur ,cette humidité varie progressivement entre les deux campagnes à cause de l'évaporation élevée et le manque de pluie.la texture du sol est argilo-limoneuse ,sur tout le profil, ce qui explique la forte salinité du sol .

➤ **Concernant les paramètres chimiques du sol**

L'étude a montré que le sol est moyennement calcaire avec un pH moyennement alcalin variant entre 7.77 et 8.6 .le taux de matière organique est faible et diminue vers la profondeur .les valeurs de la capacité d'échange cationique sont faibles sur tout le profil.

Les résultats de traitement ont montré que la plante n'a eu aucun effet sur les paramètres étudiés du sol (pH, calcaire, matière organique et CEC) ,sauf pour la conductivité électrique qui a subi une diminution ,aux niveaux des besoins de surface.ces résultats sont confirmés par le taux élevé du sodium et du potassium dans les feuilles .

➤ **Concernant la partie végétale**

Pour répondre à la contrainte salin ,la plante a réagi par une augmentation de la TRE ,cette augmentation et s'est accompagnée par une fermeture des stomates pour limiter les pertes d'eau par transpiration .la salinité a détruit la structure fine des chloroplastes et a provoqué l'instabilité des complexes protéines-pigmentés et a entraîné la diminution de la teneur en chlorophylles (**Lapina et Popov,1984 in Lamzeri,2007**) .la réduction de la concentration en chlorophylles ,en condition de stress salin ,est attribuée à l'augmentation de l'activité des enzymes catalytiques ,les chlorophyllases (**Rao and Rao ,1981 in Lamzeri ,2007**) .

D'une manière générale la salinité a introduit des modifications quantitatives et qualitatives sur la synthèse des protéines .le plus souvent ,en cas de stress salin ,les plantes montrent des signes de stress par la destruction des chlorophylles.

Pour la proline les résultats ont montré que celle-ci s'accumule dans tous les organes ,d'une manière homogène ,dans la plante ,au cours de la première campagne ,et elle augmente significativement dans les racines et les tiges et reste constante dans les feuilles de la plante ,au cours de la deuxième campagne .ceci confirme les résultats obtenus qui indiquent que l'accumulation de la proline est lente dans les

concentrations très élevées de sels .cette augmentation de la concentration en sels a été utilisées comme soluté pour l'ajustement osmotique .

La salinité provoque une dégradation de la chlorophylle et une accumulation de la fraction soluble des composées azotés (**Viégas et Siveira ,1999**) .

Dans cette études ,la concentration des ions de sodium sont supérieurs dans la plantes stressé (deuxième compagne) par rapport à la première compagne .les concentrations en sodium dans les feuilles indiquent que la plantes tolère une accumulation élevées en Na^+ ,dans ses tissues ,ce qui indique qu'elle est e type **includer** .

Au niveau des feuilles ,les concentrations en potassium ont augmenté suite au stress salin .cela semble être un comportement de réajustement osmotique (surtout après l'invasion des ions sodium) qui ,par conséquent ,assure la survie de la plantes .

Au niveau de la tiges et les racines ,les concentration en potassium sont identiques pour les deux compagnes .la plantes a absorbé et véhiculé le maximum de potassium vers les feuilles ,ce qui satisfait les besoins osmotique.il semble que c'est surtout ,au niveau des feuilles ,que la plantes a rétablit l'équilibre de son potentiel osmotique via l'ion potassium ,ce qui a atténué le stress osmotique engendré par le NaCl .la capacité de la plantes a pompé le potassium de solution nutritive ,puis de le véhiculer vers les feuilles ,représente une stratégie d'adaptation .

Nous pouvons donc conclus que **l'Atriplexe Canescences (Pursh).Nutt** est plus résistante aux fortes concentrations de salinité ,ce qui rend possible la réhabilitation des parcours dégradés de la plaines de la mina (Relizane) .

Reference Bibliographique

- **Barigah TS, Bonhomme M, Ameglio T, Cochard H. (1998).** L'arbre et le changement climatique, INRA, France.
- **Djahra Ali Boutlelis, Benmakhlouf Zoubida, Benkherara Salah, Benkaddour Mounia , December 2015 :** Effet du stress salin sur la teneur en eau et certains osmolytes chez le blé dur *Triticum durum* var *kebir* pulvérisé par une phytohormone synthétisée : Benzyl-Amino-Purine (BAP) : Laboratoire de Biologie Végétale et Environnement, Département de Biologie Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.
- **Ndiaye et al. J. Appl. Biosci ,2014 :** Effets du stress salin sur la germination des grains de *Gossypium hirsutum* L : Université de Thiès, Institut Supérieur de Formation Agricole et Rurale : Journal of Applied Biosciences 80:7081 – 7092.
- **Baha-Eddine Ghezlaoui, Noury Benabadji, Djamel Benmansour & Abdessamad Merzouk ,30 mars 2011 :** Analyse des peuplements végétaux halophytes dans le Chott el-Gharbi (Oranie-Algérie) : Laboratoire d'Ecologie et gestion des Ecosystèmes Naturels, Faculté des Sciences, Université Abou-Bekr Belkaid,
- **M. Grouzis, G. Heim et A. Berger 1977 :** Croissance et accumulation de sels chez deux salicornes du littoral méditerranéen : Montpellier.
- **Chafika Rezkallah, Rachid Djemai , Souhail Maalemet Chamsseedine Fehdi :** Les effets d'irrigation par l'eau salée sur les propriétés physico-chimiques d'un sol planté avec *Atriplex Halimus* : Laboratoire d'éco-pédologie et de l'environnement, Université d'Annaba, Algérie.
- **Najar T, Hélali S, Nasr H, 2011 :** Valorisation des plantes tolérantes à la salinité par les petits ruminants.

- **Rahmoune C, Maâlem S, Bennaceur M ,2004** :Etude comparative de rendement en matière sèche et en matière azotée totale de trois espèces de plantes steppiques du genre *Atriplex*.
- **S. Dbara, R. Ouni, N. Fezai , Mars 2016** : Réponses physiologiques de deux variétés de poirier (*Pyruscommunis*L.) au déficit hydrique : Centre Régional des Recherches en Horticulture et Agriculture Biologique Chott Mariem Sousse Tunisie.
- **KerbabSouhila** :Les actinomycètes d'un sol salé: Rôle des osmoprotecteurs naturels : Thèse Magistère : Université Ferhat Abbas de Sétif, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Département de Microbiologie.
- **Nadjem Kamel ,2012** : Contribution a l'études des effets du semis direct sur l'efficience d'utilisation de l'eau et le comportement variétal de la culture de blé en région semi aride : Thèse de Magistère : Université Ferhat Abbas Sétif Faculté des Sciences de la Nature et de la vie.
- **Essafi N. E., Mounsif M., Bendaou M., Abousalim A. et RachidaiA, mars 2005** : Evaluation de la valeur fourragère de l'*Atriplexhalimus*, sous l'effet du stress hydrique.
- **NdèyeThioroDiaw ,31 Juillet 2000** : Evaluation au champ et en conditions de salinité des performances agro-morphologiques et physiologiques de lignées de riz *Oryzasativa*L. : Thèse de doctorat : Université ChikhAnta Diop de Dakar.
- **Babou Fatima Zohra ,2010** :L'action du plomb sur les marqueurs de résistance d'*Atriplexe Halimus* et d'*Atriplexe Canescense*(Pursh) Nutt : Thèse de Doctorat : Université d'Oran.
- **Baba Sidi-kaci ,2010** :Effet du stress salin sur quelques paramètres phonologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'*Atriplexe* en vue d'une valorisation agronomique : Thèse de Magistère : Université KasdiMerbah –Ouargla.

- **Bessaih Abderrahmane HellalBenchabenAyadNadira, November 2014 :** Réhabilitation par l'Atriplexe des parcours steppiques du sud de la préfecture de Saida Algérie : Université DjillaliLiabes Sidi Bel Abbes.
- **Lamia Hamrouni, MohsenHanana,ChédlyAbdelly, AbdelwahedGhorbel, 2011 :**Exclusion du chlorure et inclusion du sodium : deuxmécanismes concomitants de tolérance à la salinité chezla vigne sauvage *Vitis viniferasubsp. sylvestris* : Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts. Laboratoire d'Écologie et d'Amélioration sylvo-pastorale, Ariana (Tunisie).
- **Azzouz Fatima ,2011 :** Effet de l'interaction plomb-salinité sue les réponses physiologique et biochimique d'une halophyte (Atriplexe halimus L) et d'une glycophyte (*Vicia faba* L) : Thèse de Magistère :Université d'Oran .
- **Djerroudi O., Mehani. et BelkhodjaM., juin 2011 :**Effet du stress salin sur deux paramètres hydriques (Turgescence et Transpiration) de jeunes plantes d'Atriplexe Halimus et Atriplexe Canescence : *Laboratoire des Bio-ressources Sahariennes*. Université KasdiMerbah, Ouargla (Algérie).
- **FAO, 1986 :** Les besoins en eau des cultures. Bulletin d'irrigationet de drainage n° 24, Rome 1986, 123 pages.
- **Labdelli Amina ,2011 :** Etude des variations morpho-structurales du système racinaire pour la tolérance a la sécheresse du blé dur (*Triticumdurum*Desf) : Thèse de Magistère : Université d'Oran.
- **Boukraâ Djamila ,2016 :** Effet de l'acide salicylique sur les composantes du rendement et la résistancebiotique et abiotique chez *Cicer arietinum* :Thèse de Doctorat : Université Mustapha Stambouli ,Mascara .
- **Meriem Belfakihi, Mohammed Ibrizi, AbdelmjidZouahriet SaidHilali, mars 2013 :** Effet de la salinité sur la croissance des deux variétés de bananier « grande naine » et « petite naine » et leur nutrition minérale au Maroc : *Journal of Applied Biosciences* 63: 4689 – 4702 .

- **Kacis., Bissati. et Djerroudi ,décembre 2012** :Effet d'un stress salins sur la réponse minérale d'atriplexcanescens (Pursh)Nutt :Université KasdiMerbahOuargla.
- **MounaMehani, Samia Bissati, OuizaDjerroudi ,2012** : Effet d'eau de mer sur deux paramètres hydriques (turgescence et transpiration) de jeunes plants d'Atriplexcanescens(Effect of seawater on two water parameters (turgescence and transpiration) of young plants of Atriplexcanescens) : Laboratoire de Génie des procédés. Faculté des Sciences. Université d'Ouargla (Algérie).
- **Zidane DjerroudiOuiza ,12 janvier 2017** : Caractérisation morpho-physiologique d'une halophyte Atriplexe, aux condition arides :Thèse de doctorat :Université d'Oran .
- **M. El Midaoui1, M. Benbella1, A. Aït Houssa1, M. Ibriz2 & A. Talouizte,10 Octobre 2007** : Contribution a l'étude de quelque mécanisme d'adaptation à la salinité chez le Tournesol Cultivé (HelianthusAnnuus L).
- **A.Marmoud, janvier 2006** : Maitrise de la salinité.
- **Meriem Belfakhih , Mohammed Ibriz, AbdelmjidZouahri ,2013** :Effet de la salinité sur les paramètres morpho-physiologiquesde deux variétés de bananier(Musa acuminata L) : Laboratoire de Génétique et Biométrie, Faculté des sciences, Université Ibn Tofail, BP: 133. 14 000. Kenitra. Maroc : Journal of Applied Biosciences 70:5652– 5662.
- **F. Benrebiha, F. Hamdani, C. Chaouia, et F. Bouchenak ,2012** : Effet du stress salin sur le taux de chlorophylle et la perméabilité membranaire chez l'Atriplexe Halimus : Université de Blida.
- **Kajeiou M., Khalid A. et SerghiniCaid H. Juin 2012** :Effet du stress salin sur des paramètresphysiologiques et agronomiquesde différentes variétés de carthame(CarthamustinctoriusL.) :Laboratoire des plantes et biologie des micro-organismes, Faculté des Sciences, UniversitéMohamed Premier, Maroc.

- **M. Denden, T. Bettaieb, AlefSalhi& M. Mathlouthi,2005** :Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, lateneur en proline et la production florale de trois espècesornementales : Tropicultura, 2005, 23, 4, 220-225.
- **Nancy Morin, 1984** :La qualité de l'eau d'irrigation, un facteur à ne pas négliger.
- **Lamia Hamrouni, MohsenHanana, ChédlyAbdelly,AbdelwahedGhorbel ,16 novembre 2010** : Exclusion du chlorure et inclusion du sodium : deuxmécanismes concomitants de tolérance à la salinité chez la vigne sauvage *Vitis viniferasubsp. Sylvestris* : Institut National de Recherches en Génie Rural, Eaux et Forêts. Laboratoire d'Écologie et d'Amélioration sylvo-pastorale.Tunisie.
- **Leila Radhouane ,2013** :Comparaison de la nutrition minérale du mil(*Pennisetumglaucum* L.R. Br.) en présence de stress hydrique et de stress salin : Laboratoire des Sciences et Techniques Agronomiques, Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie : Journal of Applied Biosciences 66:5114– 5129.
- **Bouaouina S., Zid E., Hajji M. ,2000** :Tolérance à la salinité, transports ioniques et fluorescencechlorophyllienne chez le blé dur (*Triticumturgidum* L.).
- **Mouna El fakhria, SaidMahboubb, MounsifBenchekrounc, NasserelhaqNsarellahd , 31 Juillet 2010**: Effet du stress hydrique sur la répartition ionique dans les feuilles et les racines du blé dur (*TriticumDurum*) : Département de Biologie Appliquée et Agro-alimentaire, Faculté des Sciences et Technique, Settat, Maroc.
- **BOUCHOUKH Imane ,2010** : Comportement éco-physiologique de deux Chénopodiacées des genres *Atriplex*et *Spinacia*soumises au stress salin : Thèse de Magistère : Université Mentouri – Constantine.
- **Yamina Bouatrous et Nadia Yakhlef, 19 juin 2013** :Effet de phytohormones (AIA ,GA3) sur la sélectivité k^+/Na^+ et la résistance stomatique dans l'adaptation à la salinité du blé dur (*TriticumDurumDesf*) et une empèse apparentée : Laboratoire de génétique, biochimie et biotechnologie végétales, département de biologie et

d'écologie végétales, faculté des sciences de la nature et de la vie, université Mentouri Constantine, Algérie.

- **Asma Achour, Yasmina Bidai, and Moulay Belkhodja , 2015** :L'impact de la salinité sur le comportement hydrique et métabolique d'une variété de Gombo (*Abelmoschus esculentus* L.) :Laboratoire de Bio-toxicologie Expérimentale, Bio-dépollution et de Phytoremediation, Université d'Oran Ahmed Ben Bella, Département de biologie, Algérie .
- **Sebane Rym Fafa ,27 janvier 2015** : Action combiné de la salinité et de l'acide salicylique sur les réponses biochimiques de deux espèces, *Atriplex halimus* L et *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt :Thèse de Magistère :Université d'Oran .
- **KADI Zahia, 12 mars 2012** : Sélection de l'orge (*Hordeum vulgare* L) pour la tolérance aux stress abiotique : Thèse de Doctorat : Université Ferhat Abbas Sétif.
- **R'him Thouraya., Tlili Imen., Hnan Imen, Ilahy Riadh , Benali Ahlem et Jebari Hager ,2013** : Effet du stress salin sur le comportement physiologique et métabolique de trois variétés de piment (*Capsicum annuum* L.) : Laboratoire d'Horticulture. Institut National de la Recherche Agronomique de Tunisie (INRAT: Journal of Applied Biosciences 66:5060 – 5069.

Annexe :

1. Les tableaux

Tableau1. Classes d'intensité du coefficient de variabilité (Nolinet al, 1997).

Intensité de la variabilité	Coefficient de variation (%)
Faible	<15
Modérée	15-35
Elevée	35-50
Très élevée	50-100
Extrêmement élevée	>100

Tableau 2.Interprétation des valeurs du PH du sol,Norme d'après (AFES, INRA ,1988).

Classe de réaction du sol	PH eau
Hyper acide	<3.5
Très acide	3.5-5
Acide	5-6.5
Neutre	6.5-7.5
Basique	7.5-8.5
Très basique	>8.5

Tableau 3.Conductivité électrique de l'extrait aqueux au 1/5 (ds/m), Norme ISO 11265.

Non salé	Peu salé	Salé	Très salé	Extrêmement salé
C.E Extrait 1/5(ds/m)	0.6	1.2	2.4	6

Tableau 4.Conductivité électrique de la pâte saturé (ds/m)

Echelle de la conductivité électrique de l'extrait de la pâte saturée (dS.m⁻¹ à 25° C.)				
<i>L. A. Richards, 1954. United States Salinity Laboratory Staff – USDA.</i>				
<i>Les effets de la salinité sont négligeables</i>	<i>Les rendements des cultures très sensibles peuvent être limités</i>	<i>Les rendements de nombreuses cultures limités</i>	<i>Seules les cultures tolérantes donnent des rendements satisfaisants</i>	<i>Seules quelques cultures très tolérantes donnent des rendements satisfaisants</i>
Non salé	Peu salé	Salé	Fortement salé	Extrêmement salé
0	2	4	8	16
CE_{ps} en dS.m⁻¹				

Tableau 5. Interprétation des résultats d'analyse de la matière organique (Achkar, non daté)

Intervalle (%)	Jugement	Dose de fumier recommandée (T/ha)
Sols argileux et limoneux : AA, A, AS, ASS, AL, ALS, LA, LSA, L, LS, et LL		
≥3	Large ment satisfaisant	-
≤2-3	Satisfaisant	-
≤1,7-2	Moyenne	-
≤1,6-1,7	Moyennement faible	20
≤1,4-1,6	Moyennement faible	30
≤1,15-1,4	Faible	40
≤1-1,15	Très faible	50
≤0,8-1	Très faible	60
≤0,60-0,80	Excessive ment faible	70
≤0,40-0,60	Excessive ment faible	80
<0,40	Excessive ment faible	100
Sols sableux : SA, SAL, SL, S, et SS		
≥2	Large ment satisfaisant	-
≥1,75-2,00	Satisfaisant	-
≥1,5-1,75	Moyenne	-
≥1,25-1,50	Moyennement faible	20
≥1,00-1,25	Faible	30
≥0,86-1,00	Faible	40
≥0,70-0,85	Très faible	50
≥0,60-0,70	Très faible	60
≥0,50-0,60	Excessive ment faible	80
≥0,40-0,50	Excessive ment faible	90
<0,40	Excessive ment faible	100

Tableau 6. Interprétation des niveaux de calcaire total et calcaire actif (Achkar, non daté).

Calcaire total (%)	Jugement	Commentaires
0	Nul	-
<0-1	Très faible	Aucun risque de chlorose
<1-4	Faible	Aucun risque de chlorose
<4-10	Moyenne	Risque de chlorose très faible
<10-15	Moyennement élevé	Risque de chlorose faible
<15-30	Elevé	Risque de chlorose important
<30-45	Très élevé	Très fort risque de chlorose, éviter toutes les cultures sensibles au calcaire, en arboriculture fruitière et viticulture, utiliser les portes greffes résistants. Risque de déficience en oligo-éléments (Cu, Zn, Fe, B, et Mn), sauf pour le molybdène.
>45	Excessivement élevé	
Calcaire actif (%)		
<0-3	Faible	Risque de chlorose très faible
<3-7	Moyenne	Risque moyen de chlorose
<7-15	Elevé	Risque élevé de chlorose, il faut faire des apports foliaires en oligo-éléments Cu, Zn, B, Fe, et Mn.
>15	Très élevé	Risque très élevé de chlorose, éviter toutes les cultures sensibles au calcaire, en arboriculture fruitière et viticulture, utiliser les portes greffes résistants. Risque de déficience en oligo-éléments (Cu, Zn, Fe, B, et Mn), sauf pour le molybdène.

Tableau 7. Capacité d'échange cationique (CEC) des différents types de sol, adapté de Doucet (1992) cite dans collection (2001).

Type de sol	CEC (meq/100g)				
	Très faible	Faible	Moyenne	Elevée	Très élevée
Sableux	<4	4-6	6-8	8-10	10
Limoneux	<10	10-15	15-20	20-25	25
Argileux	<25	25-30	30-35	35-40	40

Tableau 8. Echelle d'appréciation du degré de richesse en K soluble (mg k⁺/l).

Degrés de richesse	K soluble en
Très faible	<2
Faible	2-4
Moyen	4-20
Elevé	20-40
Très élevé	>40

Tableau 9. Résultats de l'humidité (en %).

L'humidité %					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T ₁ AH ₁	4,65	1,31	P ₁ AH ₁	11,80	3,73
T ₁ AH ₂	12,01	21,51	P ₁ AH ₂	11,85	19,12
T ₁ AH ₃	12,87	17,27	P ₁ AH ₃	11,43	18,74
T ₁ AH ₄	14,87	18,89	P ₁ AH ₄	15,66	23,13
T ₂ AH ₁	12,47	3,52	P ₂ AH ₁	11,78	4,50
T ₂ AH ₂	10,56	14,88	P ₂ AH ₂	10,71	16,51
T ₂ AH ₃	28,72	18,36	P ₂ AH ₃	14,16	20,02
T ₂ AH ₄	15,48	21,52	P ₂ AH ₄	12,28	13,67
T ₃ AH ₁	12,74	0,44	P ₃ AH ₁	7,65	2,10
T ₃ AH ₂	14,15	13,86	P ₃ AH ₂	12,11	14,21
T ₃ AH ₃	15,39	20,52	P ₃ AH ₃	11,06	23,10
T ₃ AH ₄	13,02	18,92	P ₃ AH ₄	19,86	20,69

Tableau 10. Résultats statistiques de l'humidité (en %) de parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	4,56	10,56	12,87	13,02
Maximum	12,74	14,15	28,72	15,48
Ecartype	4,65	1,81	8,52	1,28

Tableau 11.Résultats statistiques de l'humidité (en %) de parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	0,44	13,86	17,27	18,89
Maximum	3,52	21,51	20,52	21,52
Ecartype	1,59	4,15	1,65	1,51

Tableau 12.Résultats statistiques de l'humidité (en %) de parcelle Atriplexe (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	7,65	10,71	11,06	12,28
Maximum	11,8	12,11	14,16	19,86
Ecartype	2,39	0,74	1,69	3,80

Tableau 13.Résultats statistiques de l'humidité (en %) de parcelle Atriplexe (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	2,1	14,21	18,74	20,69
Maximum	4,5	19,12	23,1	23,45
Ecartype	1,23	2,46	2,24	1,51

Tableau 14.Résultats statistiques de la granulométrie pour les deux parcelles.

Texture									
Code	Argile	Limon	Sable	OBS	code	Argile	Limon	Sable	OBS
T ₁ AH ₁	40,66	49,55	9,79	AL	P ₁ AH ₁	37,83	48,06	14,11	L.A.F
T ₁ AH ₂	38,54	51,95	9,51	LAF	P ₁ AH ₂	29,49	45,14	26,36	L.A
T ₁ AH ₃	20,76	60,12	19,1	LF	P ₁ AH ₃	22,47	48,16	28,92	L
T ₁ AH ₄	23,23	71,35	5,41	LF	P ₁ AH ₄	20,35	47,22	32,43	L
T ₂ AH ₁	46,72	45,41	7,88	AF	P ₂ AH ₁	46,21	43,56	10,23	A.L
T ₂ AH ₂	40,6	37,42	22	A	P ₂ AH ₂	51,97	41,54	6,49	A.L
T ₂ AH ₃	36,1	45,7	18,2	LAF	P ₂ AH ₃	63,59	34,66	1,75	A
T ₂ AH ₄	31,11	24,99	43,9	LA	P ₂ AH ₄	58,59	39,57	1,84	A
T ₃ AH ₁	44,9	44,43	10,7	AL	P ₃ AH ₁	48,99	42,7	8,31	A.L
T ₃ AH ₂	38,08	54,64	7,28	LAF	P ₃ AH ₂	50,35	44,71	4,94	A.L
T ₃ AH ₃	32,83	59,3	7,87	LAF	P ₃ AH ₃	54,8	40,23	4,97	A.L
T ₃ AH ₄	27,58	57,94	14,5	LAF	P ₃ AH ₄	28,33	47,31	24,36	L.A

Tableau 15.Résultats statistiques de la granulométrie d'argile de la parcelle Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	40,66	38,08	20,76	23,23
Maximum	46,72	40,6	36,1	31,11
Ecartype	3,11	1,34	8,08	3,95

Tableau 16.Résultats statistiques de la granulométrie de limon de parcelle la Témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	44,43	37,42	45,7	24,99
Maximum	49,55	54,64	60,12	71,35
Ecartype	2,72	9,26	8,10	23,86

Tableau 17.Résultats statistiques de la granulométrie de sable de la parcelle témoin.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	7,88	7,28	7,87	5,41
Maximum	10,67	21,98	19,12	43,89
Ecartype	1,43	7,92	6,25	20,12

Tableau 18.Résultats statistiques de la granulométrie d'argile de la parcelle Atriplexe.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	37,8	29,5	22,5	20,4
Maximum	49	52	63,6	58,6
Ecartype	5,83	12,55	21,64	20,16

Tableau 19.Résultats statistiques de la granulométrie de limon de la parcelle Atriplexe.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	42,7	41,54	34,66	39,57
Maximum	48,06	45,14	48,16	47,31
Ecartype	2,88	1,97	6,78	4,44

Tableau 20.Résultats statistiques de la granulométrie de sable de la parcelle Atriplexe.

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	8,31	4,94	1,75	1,84
Maximum	14,11	26,36	28,92	32,43
Ecartype	2,95	11,94	14,84	15,85

Tableau 21.Résultats du pH _{1/5}.

pH _{1/5}					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T ₁ AH ₁	7,98	7,9	P ₁ AH ₁	8,06	7,90
T ₁ AH ₂	8,09	8,21	P ₁ AH ₂	8,23	7,77
T ₁ AH ₃	8,12	8,05	P ₁ AH ₃	8,48	8,23
T ₁ AH ₄	8,23	8,13	P ₁ AH ₄	8,51	8,38
T ₂ AH ₁	7,94	7,9	P ₂ AH ₁	8,08	7,92
T ₂ AH ₂	8,07	8,11	P ₂ AH ₂	8,2	8,12
T ₂ AH ₃	8,16	8,19	P ₂ AH ₃	8,26	8,45
T ₂ AH ₄	8,62	8,55	P ₂ AH ₄	8,28	8,49
T ₃ AH ₁	7,99	7,91	P ₃ AH ₁	8,17	7,94
T ₃ AH ₂	8,09	8,14	P ₃ AH ₂	8,12	8,08
T ₃ AH ₃	8,12	8,05	P ₃ AH ₃	8,24	8,27
T ₃ AH ₄	8,16	8,21	P ₃ AH ₄	8,39	8,43

Tableau 22.Résultats statistiques du pH _{1/5} de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	7,89	8,09	8,12	8,23
Maximum	7,94	8,07	8,16	8,62
Ecartype	0,05	0,01	0,02	0,25

Tableau 23.Résultats statistiques du pH _{1/5} de la parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	7,9	8,11	8,05	8,13
Maximum	7,91	8,21	8,19	8,55
Ecartype	0,01	0,05	0,08	0,22

Tableau 24.Résultats statistiques du pH _{1/5} de la parcelle Atriplexe (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	8,06	8,12	8,24	8,28
Maximum	8,17	8,23	8,48	8,51
Ecartype	0,06	0,06	0,13	0,12

Tableau 25.Résultats statistiques du pH _{1/5} de la parcelle Atriplexe (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	7,84	7,77	8,23	8,38
Maximum	7,92	8,12	8,45	8,49
Ecartype	0,04	0,19	0,12	0,06

Tableau 26.Résultats statistiques du calcaire total.

CT%					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T ₁ AH ₁	19,95	19,95	P ₁ AH ₁	19,53	21,65
T ₁ AH ₂	19,10	19,95	P ₁ AH ₂	18,68	22,50
T ₁ AH ₃	22,08	21,23	P ₁ AH ₃	19,95	23,77
T ₁ AH ₄	22,92	21,65	P ₁ AH ₄	20,38	22,92
T ₂ AH ₁	19,53	19,53	P ₂ AH ₁	18,68	23,35
T ₂ AH ₂	19,53	19,10	P ₂ AH ₂	18,68	22,92
T ₂ AH ₃	19,53	20,80	P ₂ AH ₃	19,53	23,77
T ₂ AH ₄	19,53	20,80	P ₂ AH ₄	18,68	22,50
T ₃ AH ₁	19,95	18,68	P ₃ AH ₁	19,10	23,35
T ₃ AH ₂	22,92	23,77	P ₃ AH ₂	17,83	23,77
T ₃ AH ₃	22,50	22,08	P ₃ AH ₃	19,95	25,05
T ₃ AH ₄	21,23	20,80	P ₃ AH ₄	19,53	21,65

Tableau 27.Résultats statistiques du calcaire total de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	19,53	19,1	19,53	19,53
Maximum	19,95	22,92	22,50	22,92
Ecartype	0,24	2,09	1,61	1,70

Tableau 28.Résultats statistiques du calcaire total de la parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	18,86	19,1	20,8	20,8
Maximum	19,95	23,77	22,08	21,65
Ecartype	0,55	2,49	0,65	0,49

Tableau 29.Résultats statistiques du calcaire total de la parcelle Atriplexe (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	18,68	17,83	19,53	18,68
Maximum	19,53	18,68	19,95	20,38
Ecartype	0,43	0,49	0,24	0,98

Tableau 30.Résultats statistiques du calcaire total de la parcelle Atriplexe (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	21,65	22,5	23,77	22,5
Maximum	23,35	23,77	25,05	23,77
Ecartype	0,98	0,65	0,74	0,65

Tableau 31.Résultats statistiques du calcaire active.

CA%					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T ₁ AH ₁	5,13	5,37	P ₁ AH ₁	4,50	5,25
T ₁ AH ₂	4,75	4,62	P ₁ AH ₂	3,63	4,62
T ₁ AH ₃	4,25	4,5	P ₁ AH ₃	3,50	5,37
T ₁ AH ₄	4,13	4,37	P ₁ AH ₄	3,63	4,75
T ₂ AH ₁	5,88	5	P ₂ AH ₁	4,75	5
T ₂ AH ₂	5,38	4,87	P ₂ AH ₂	4,50	4,87
T ₂ AH ₃	5,50	3,62	P ₂ AH ₃	4,75	3,62
T ₂ AH ₄	3,25	5	P ₂ AH ₄	5,25	3,5
T ₃ AH ₁	3,75	4	P ₃ AH ₁	4,50	5
T ₃ AH ₂	5,13	4,5	P ₃ AH ₂	4,75	5
T ₃ AH ₃	4,63	4,37	P ₃ AH ₃	4,88	4,87
T ₃ AH ₄	4,25	5,37	P ₃ AH ₄	4,50	3,87

Tableau 32.Résultats statistiques du calcaire active de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	3,75	4,75	4,25	3,25
Maximum	5,88	5,38	5,5	4,25
Ecartype	1,08	0,32	0,64	0,55

Tableau 33.Résultats statistiques du calcaire active de la parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	4	4,5	3,62	4,37
Maximum	5,375	4,87	4,5	5,37
Ecartype	0,71	0,19	0,48	0,51

Tableau 34.Résultats statistiques du calcaire active de la parcelle Atriplexe (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	4,5	3,63	3,63	3,63
Maximum	4,5	3,63	3,63	3,63
Ecartype	0,14	0,59	0,59	0,81

Tableau 35.Résultats statistiques du calcaire active de la parcelle Atriplexe (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	5	4,62	3,62	3,5
Maximum	5,25	5	5,37	4,75
Ecartype	0,14	0,19	0,90	0,64

Tableau 36.Résultats statistiques de la matière organique.

MO%					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T ₁ AH ₁	2,64	2,75	P ₁ AH ₁	2,33	1,16
T ₁ AH ₂	1,48	1,38	P ₁ AH ₂	0,85	1,06
T ₁ AH ₃	0,74	0,63	P ₁ AH ₃	0,32	1,48
T ₁ AH ₄	0,53	0,32	P ₁ AH ₄	0,21	1,38
T ₂ AH ₁	2,64	2,43	P ₂ AH ₁	2,43	2,43
T ₂ AH ₂	2,64	1,27	P ₂ AH ₂	1,90	1,59
T ₂ AH ₃	0,63	0,42	P ₂ AH ₃	0,85	1,38
T ₂ AH ₄	0,95	0,74	P ₂ AH ₄	0,42	0,85
T ₃ AH ₁	2,33	2,12	P ₃ AH ₁	2,12	2,43
T ₃ AH ₂	1,27	1,06	P ₃ AH ₂	1,69	2,12
T ₃ AH ₃	1,16	0,95	P ₃ AH ₃	0,53	1,27
T ₃ AH ₄	0,74	0,42	P ₃ AH ₄	0,32	0,74

Tableau 37.Résultats statistiques de la matière organique de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	2,33	1,27	0,63	0,53
Maximum	2,64	2,64	1,16	0,95
Ecartype	0,18	0,74	0,28	0,21

Tableau 38.Résultats statistiques de la matière organique de la parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	2,12	1,06	0,42	0,32
Maximum	2,75	1,38	0,95	0,74
Ecartype	0,32	0,16	0,27	0,22

Tableau 39.Résultats statistiques de la matière organique de la parcelle Atriplexe (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	2,12	0,85	0,32	0,21
Maximum	2,43	1,9	0,85	0,42
Ecartype	0,16	0,56	0,27	0,11

Tableau 40.Résultats statistiques de la matière organique de la parcelle Atriplexe (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	1,16	1,06	1,27	0,74
Maximum	2,43	2,12	1,48	1,38
Ecartype	0,73	0,53	0,11	0,34

Tableau 41.Résultats statistiques de la capacité d'échange cationique.

CEC meq/100g					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T ₁ AH ₁	18,18	20,47	P ₁ AH ₁	19,52	19,12
T ₁ AH ₂	17,59	16,87	P ₁ AH ₂	15,38	18,35
T ₁ AH ₃	14,64	16,43	P ₁ AH ₃	14,53	19,04
T ₁ AH ₄	15,03	14,44	P ₁ AH ₄	13,13	18,57
T ₂ AH ₁	19,6	19,53	P ₂ AH ₁	20,42	18,2
T ₂ AH ₂	24,21	19	P ₂ AH ₂	20,02	16,2
T ₂ AH ₃	21,29	19,33	P ₂ AH ₃	19,63	14,83
T ₂ AH ₄	13,42	18,57	P ₂ AH ₄	19,02	12,77
T ₃ AH ₁	21,45	19,6	P ₃ AH ₁	14,24	21,04
T ₃ AH ₂	17,02	19,17	P ₃ AH ₂	14,64	20,05
T ₃ AH ₃	18,72	16,04	P ₃ AH ₃	15,66	17,22
T ₃ AH ₄	15,27	15,97	P ₃ AH ₄	11,13	14,43

Tableau 42.Résultats statistiques de la de la capacité d'échange cationique de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	18,18	17,02	14,64	13,42
Maximum	21,45	24,21	21,29	15,27
Ecartype	1,64	4,00	3,35	1,01

Tableau 43.Résultats statistiques de la de la capacité d'échange cationique de la parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	19,53	16,87	16,04	14,44
Maximum	20,47	19,17	19,33	18,57
Ecartype	0,52	1,28	1,80	2,09

Tableau 44.Résultats statistiques de la de la capacité d'échange cationique de la parcelle A triplexe (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	14,24	14,64	14,53	11,13
Maximum	20,42	20,02	19,63	19,02
Ecartype	3,34	2,92	2,68	4,10

Tableau 45.Résultats statistiques de la de la capacité d'échange cationique de la parcelle A triplexe (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	18,2	16,2	14,83	12,77
Maximum	21,04	20,05	19,04	18,57
Ecartype	1,45	1,93	2,11	2,99

Tableau 46.Résultats de la conductivité électrique 1/5 (ds/m) .

CE 1/5 (ds/m)					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T ₁ AH ₁	1,728	1,60	P ₁ AH ₁	0,86	2,51
T ₁ AH ₂	3,88	4,20	P ₁ AH ₂	2,06	3,77
T ₁ AH ₃	3,13	4,75	P ₁ AH ₃	4,19	4,62
T ₁ AH ₄	3,45	3,49	P ₁ AH ₄	2,48	5,35
T ₂ AH ₁	2	2,33	P ₂ AH ₁	2,58	2,18
T ₂ AH ₂	3,52	4,20	P ₂ AH ₂	4,22	3,97
T ₂ AH ₃	4,15	4,71	P ₂ AH ₃	4,19	3,89
T ₂ AH ₄	4,69	5,38	P ₂ AH ₄	4,27	2,86
T ₃ AH ₁	1,365	2,22	P ₃ AH ₁	0,639	1,82
T ₃ AH ₂	2,41	4,30	P ₃ AH ₂	2,2	2,79
T ₃ AH ₃	3,71	4,20	P ₃ AH ₃	3,23	3,83
T ₃ AH ₄	2,77	4,41	P ₃ AH ₄	3.39	4.10

Tableau 47.Résultats statistiques de la conductivité électrique 1/5 (ds/m) de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	1,36	2,41	3,13	2,77
Maximum	2	3,88	4,15	4,69
Ecartype	0,32	0,77	0,51	0,97

Tableau 48.Résultats statistiques de la conductivité électrique 1/5 (ds/m) de la parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	1,6	4,2	4,20	3,49
Maximum	2,33	4,3	4,75	5,38
Ecartype	0,39	0,06	0,31	0,95

Tableau 49.Résultats statistiques de la conductivité électrique 1/5 (ds/m) de la parcelle Atriplexe (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	0,639	2,06	3,23	2,48
Maximum	2,58	4,22	4,19	4,27
Ecartype	1,06	1,21	0,55	0,90

Tableau 50.Résultats statistiques de la conductivité électrique 1/5 (ds/m) de la parcelle Atriplexe (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	1,12	2,12	3,83	2,86
Maximum	1,41	2,5	4,62	5,35
Ecartype	0,15	0,21	0,44	1,25

Tableau 51.Résultats de la conductivité électrique de la pâte saturé (ds/m) .

CE ps (ds/m)					
Code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne	code	1 ^{er} compagne	2 ^{eme} compagne
T ₁ AH ₁	12,27	10,12	P ₁ AH ₁	4,29	6,13
T ₁ AH ₂	27,74	21,09	P ₁ AH ₂	10,98	10,90
T ₁ AH ₃	32,12	27,73	P ₁ AH ₃	19,79	20,10
T ₁ AH ₄	29,3	31,54	P ₁ AH ₄	25,22	25,23
T ₂ AH ₁	11	9,07	P ₂ AH ₁	16,11	6,20
T ₂ AH ₂	24,29	20,45	P ₂ AH ₂	25,11	9,66
T ₂ AH ₃	22,64	19,94	P ₂ AH ₃	25,11	19,25
T ₂ AH ₄	28,38	20,67	P ₂ AH ₄	25,81	24,74
T ₃ AH ₁	5,06	9,56	P ₃ AH ₁	4,16	4,99
T ₃ AH ₂	10,95	19,78	P ₃ AH ₂	11,24	10,98
T ₃ AH ₃	22,65	21,97	P ₃ AH ₃	20,55	22,14
T ₃ AH ₄	25,49	23,74	P ₃ AH ₄	25,69	23,84

Tableau 52.Résultats statistiques de la conductivité électrique pate saturé (ds/m) de la parcelle Témoin (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	5,06	10,95	22,65	25,49
Maximum	12,27	27,74	32,12	29,3
Ecartype	3,85	8,87	5,06	1,99

Tableau 53.Résultats statistiquesde la conductivité électrique pate saturé (ds/m) de la parcelle Témoin (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	9,07	19,87	19,94	20,67
Maximum	10,12	21,09	27,73	31,54
Ecartype	0,52	0,61	4,04	5,60

Tableau 54.Résultats statistiquesde la conductivité électrique pate saturé (ds/m) de la parcelle Atriplexe (22/02/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	4,16	10,98	19,79	25,22
Maximum	16,11	25,11	25,11	25,81
Ecartype	6,86	8,08	2,88	0,31

Tableau 55.Résultats statistiquesde la conductivité électrique pate saturé (ds/m) de la parcelle Atriplexe (22/05/2017).

Paramètres	Profondeur (cm)			
	0- 25 cm	25- 50 cm	50-75 cm	75-100 cm
Minimum	4,99	9,66	19,25	23,84
Maximum	6,2	10,98	22,14	25,23
Ecartype	0,67	0,74	1,48	0,70

Tableau 56. Coefficient de corrélation linéaire (**Table r de Bravais Pearson**).

v / α	0.10	0.05	0.02	v / α	0.10	0.05	0.02
1	0.9877	0.9969	0.9995	16	0.4000	0.4683	0.5425
2	0.9000	0.9500	0.980	17	0.3887	0.4555	0.5285
3	0.8054	0.8783	0.9343	18	0.3783	0.4438	0.5155
4	0.7293	0.8114	0.8822	19	0.3687	0.4329	0.5034
5	0.6694	0.7545	0.8329	20	0.3598	0.4227	0.4921
6	0.6215	0.7067	0.7887	25	0.3233	0.3809	0.4451
7	0.5822	0.6664	0.7498	30	0.2960	0.3494	0.4093
8	0.5494	0.6319	0.7155	35	0.2746	0.3246	0.3810
9	0.5214	0.6021	0.6851	40	0.2573	0.3044	0.3578
10	0.4973	0.5750	0.6581	45	0.2428	0.2875	0.3384
11	0.4762	0.5529	0.6339	50	0.2306	0.2732	0.3218
12	0.4575	0.5324	0.6120	60	0.2108	0.2500	0.2948
13	0.4409	0.5139	0.5923	70	0.1954	0.2319	0.2737
14	0.4259	0.4973	0.5742	80	0.1829	0.2172	0.2565
15	0.4124	0.4821	0.5577	90	0.1726	0.2050	0.2422
				100	0.1638	0.1946	0.2301

V : le degré de liberté. $v=n-p-1$ avec n : le nombre d'observation.

P : le nombre de variables explicatives. α : le risque d'erreur.

La table indique le seuil inférieur de signification du coefficient de corrélation linéaire. Elle exprime la limite supérieure qui peut être imputée au hasard. Pour que la relation soit significative avec un risque d'erreur α , il faut que r calculé dépasse la valeur de la table au seuil α et au degré de liberté égal à $v = n - p - 1$ (n: le nombre d'observations, p: le nombre de relations considérées ou de variables explicatives). Dans le cas d'une corrélation simple on a $p = 1$ d'où on tire : $v = n - 2$.

Tableau 57. Interprétation des niveaux de calcaire total Norme d'après (**AFES, INRA ,1988**).

CaCO ₃	Teneur
<2	Trace
2-10	Faible
10-25	Moyen
25-55	Fort
>55	Très forte

Tableau 58.Analyse de variance de la teneur relative en eau.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	205,662	11	18,697				
VAR.SALINITE	62,427	1	62,427	4,358	0,06126		
VAR.RESIDUELLE 1	143,235	10	14,323			3,785	4,67%

Tableau 59.Analyse de variance de la chlorophylle (a).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	49,825	5	9,965				
VAR.SALINITE	49,719	1	49,719	1867,99	0,00011		
VAR.RESIDUELLE 1	0,106	4	0,027			0,163	3,17%

Tableau 60.Analyse de variance de la chlorophylle (b).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	366,101	5	73,22				
VAR.SALINITE	364,677	1	364,67	1023,75	0,00015		
VAR.RESIDUELLE 1	1,425	4	0,356			0,597	5,82%

Tableau 61.Analyse de variance de la chlorophylle (a+b).

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	684,6	5	136,92				
VAR.SALINITE	683,7	1	683,7	3037,552	0,00009		
VAR.RESIDUELLE 1	0,9	4	0,225			0,474	3,08%

Tableau 62.Analyse de variance de la proline des racines.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	313,828	5	62,766				
VAR.SALINITE	301,949	1	301,949	101,674	0,00121		
VAR.RESIDUELLE 1	11,879	4	2,97			1,723	23,69%

Tableau 63.Analyse de variance de la proline des tiges.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	83,42	5	16,684				
VAR.SALINITE	75,487	1	75,487	38,066	0,00465		
VAR.RESIDUELLE 1	7,932	4	1,983			1,408	35,36%

Tableau 64.Analyse de variance de la proline des feuilles.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	0,098	5	0,02				
VAR.SALINITE	0,098	1	0,098	83934,79	0,00004		
VAR.RESIDUELLE 1	0	4	0			0,001	0,13%

Tableau 65.Analyse de variance de sodium des feuilles.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	19766,68	7	2823,812				
VAR.SALINITE	19090,59	1	19090,59	169,42	0,00005		
VAR.RESIDUELLE 1	676,092	6	112,682			10,615	8,55%

Tableau 66.Analyse de variance de potassium des feuilles.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	1813,167	7	259,024				
VAR.SALINITE	1709,174	1	1709,174	98,613	0,00013		
VAR.RESIDUELLE 1	103,993	6	17,332			4,163	4,98%

2. Les figures

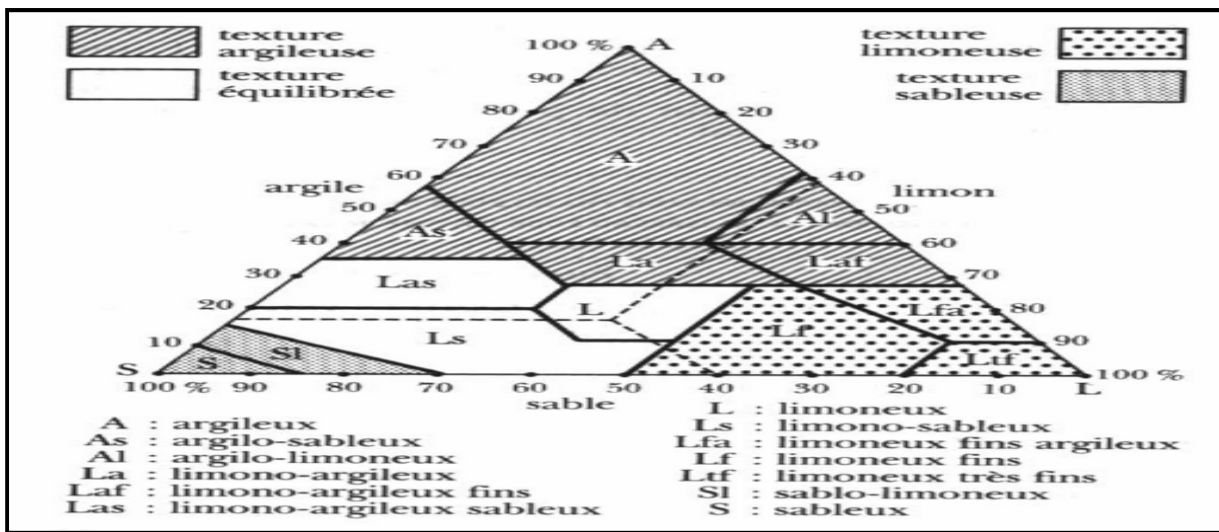


Figure 1 .Triangle de texture d'après U.S. département of agriculture.

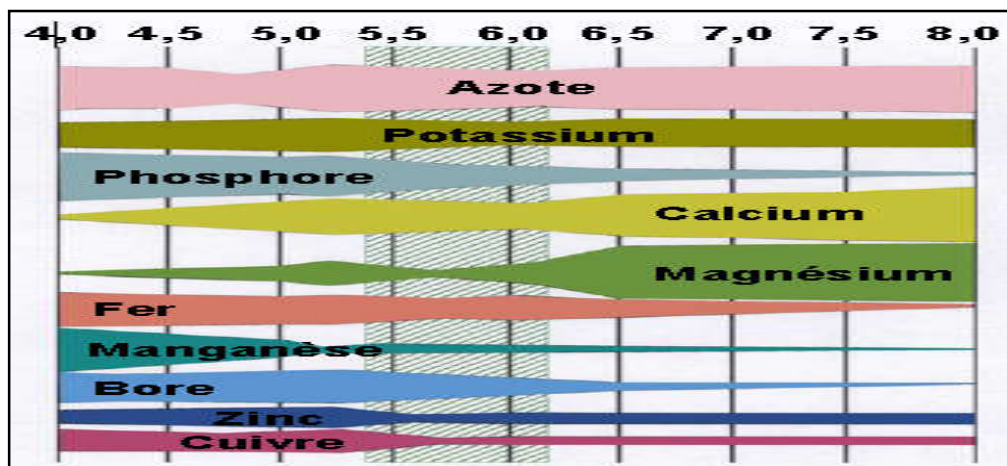


Figure.2. Disponibilité des éléments minéraux selon le pH de la solution du sol.

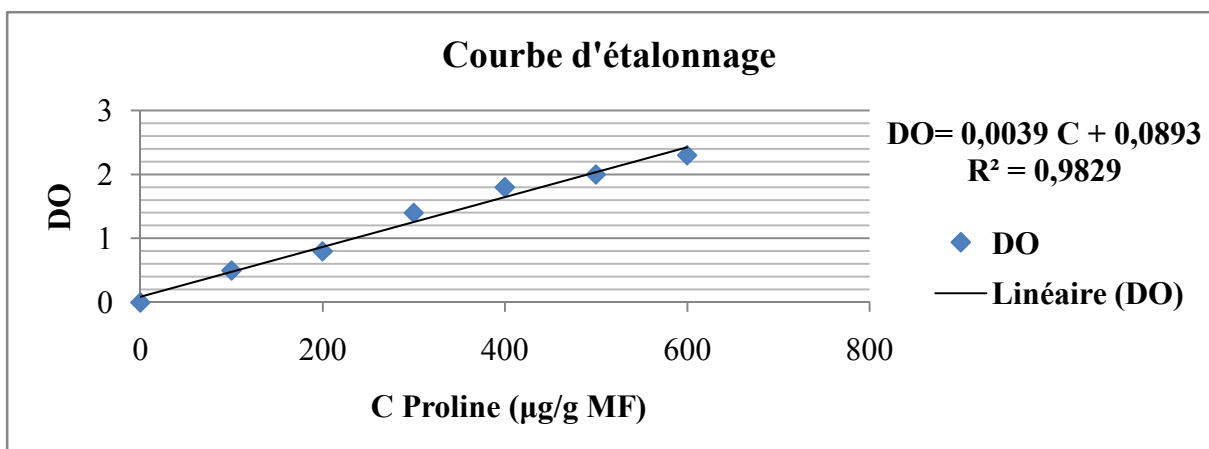


Figure 3. Courbe d'étalonnage de proline.

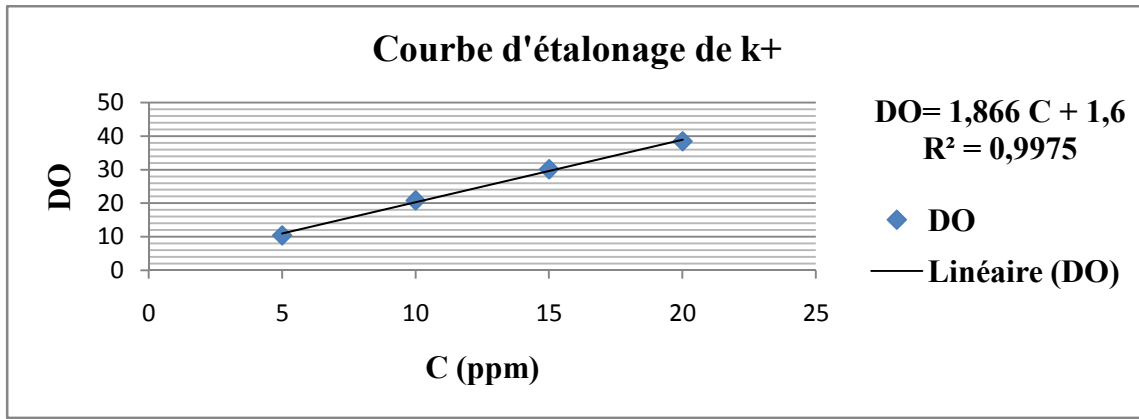


Figure 4. Courbe d'étalonnage de potassium K⁺.

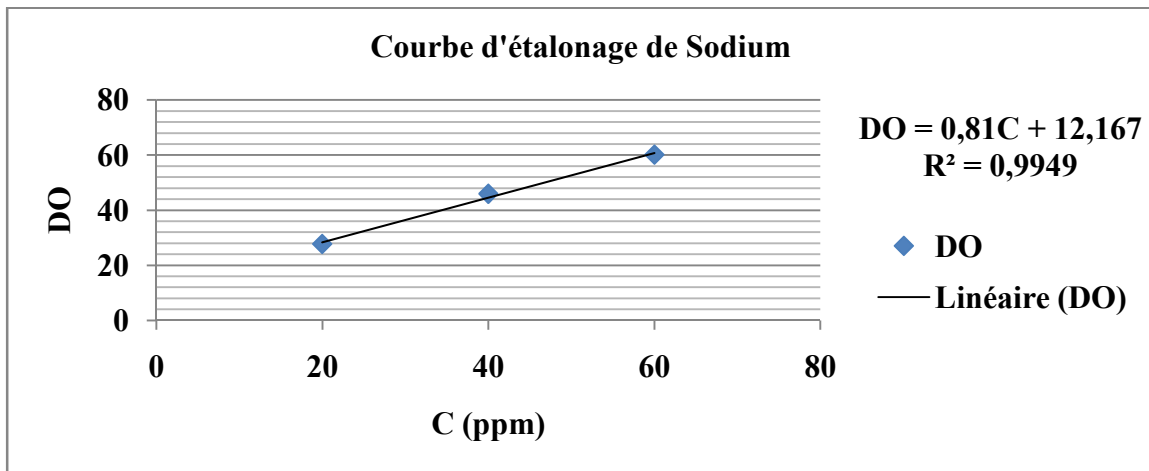


Figure 5. Courbe d'étalonnage de Sodium Na⁺.