

UNIVERSITE ABDELHAMID IBN BADIS
DE MOSTAGANEM



FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET
DE LA VIE

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE
THESE DE DOCTORAT EN SCIENCES

Filière : Biologie

Spécialité : Sciences du Sol et Environnement

Présentée par :

Mr NOURI Tayeb

**Evolution de la salinité des sols irrigués de la
palmeraie de Brézina (El Bayadh), étude de
comportement de la fève *Vicia faba* L.**

Laboratoire de biodiversité et conservation des eaux et des sols

Soutenue publiquement le : 25/04/2019

Devant les membres de jury :

Président	Pr. CHADLI Rabah	Université de Mostaganem
Directeur de thèse	Pr. REGUIEG YSSAAD Houcine Abdelhakim	Université de Mostaganem
Examineur	Pr. MEHDADI Zoheir	Université de Sidi Bel Abès
Examineur	Pr. MEKHALDI Abdelkader	Université de Mostaganem
Examineur	Pr. BELKHODJA Moulay	Université d'Oran 1 Ahmed Benbella
Examineur	Pr. M. BOUTHIBA Abdelkader	Université de Chlef

Année universitaire : 2018 /2019

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

À ma très chère mère

Symbole de douceurs, de tendresse, d'amour et d'affection

Qu'Allah t'offre son éternel Paradis

À celui à qui je dois ce que je suis

Mon cher père

Pour son amour, sa patience et ces sacrifices

À ma femme pour sa compréhension et son soutien sans

faillir

À mes chères filles Chams El Houd Safaa et Raoudhat El

Djanna

À mon encadreur : Reguieg Yssaad H.A

À mon ami : Bouyahia hadj

À tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la

réalisation de ce travail

NOURI Tayeb

Remerciements

Au terme de ce travail, il m'est agréable d'exprimer ma profonde reconnaissance et ma gratitude aux personnes qui ont contribué à faciliter ma tâche et la mener à bien.

Mes reconnaissances respectueuses vont d'abord à mon Encadrant Professeur **REGUIEG Yssaad.H.A**, pour avoir accepté de m'encadrer ainsi que pour ses précieux conseils et orientations, la confiance qu'il m'a accordé tout au long de mon thème. sa disponibilité, sa gentillesse, sa modestie et pour l'intérêt bienveillant manifesté pour mon travail, qu'il trouve ici l'expression de mon profond respect et de ma sincère reconnaissance.

Mes plus vifs remerciements vont à Monsieur **CHADLI Rabah** professeur à l'université de Mostaganem pour l'intérêt porté à mon travail et pour avoir accepté de présider ce jury.

Mes vifs et sincères remerciements vont aussi au membre du jury Monsieur **BELKHODJA Moulay**. Professeur à l'université d'Es- Senia-Oran pour sa disponibilité, ses orientations, d'avoir eu l'amabilité d'accepter d'être examinateur de ce travail.

Mes remerciements s'adressent particulièrement à monsieur **MEKHALDI Abdelkader**, Professeur à université Abdelhamid Ibn Badis-Mostaganem, qui a bien voulu accepter d'examiner cette thèse.

Je remercie énormément Monsieur **BOUTIBA Abdelkader**, Professeur à université de chleff d'avoir accepté d'être parmi les examinateurs de ce manuscrit.

Et Monsieur **MEHDADI Zoheir**, Professeur à l'université de Sidi Bel Abbès, pour avoir accepté de prendre part du jury d'examen de ma thèse.

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à Monsieur **GUECEM Farid**, Directeur du Laboratoire régional Ouest d'analyses des sols et des eaux d'irrigation à El Matmar (Wilaya de Relizane) pour la confiance qu'il m'a témoigné en m'accueillant au sein de son laboratoire et m'avoir facilité mon intégration au sein de son équipe.

Il m'est agréable d'exprimer mes remerciements à tous mes amis qui m'ont aidé pour le bon achèvement de ce travail.

Un merci tout particulier à toute ma famille qui m'a soutenue et encouragé depuis toujours, dans mes études et dans ma vie.

NOURI Fayek

RESUME

La salinité constitue une contrainte majeure au développement de la production agricole et à l'équilibre écologique dans l'écosystème aride et semi-aride du sud-ouest algérien. L'objectif de ce travail est d'étudier l'évolution de la salinité dans la palmeraie de Brézina par des tests de corrélation entre la qualité des eaux d'irrigation du barrage de Larouia d'une part et la variabilité spatio-temporelle de la salinité des sols par une cartographie à partir du système d'information géographique. L'étude de comportement morpho physiologique et biochimique de la fève cultivée dans différents niveaux des sols salés amendés ou non par le mono ammonium phosphaté 12-61 ou le compost de pin d'Alep a constitué la deuxième étape de ce travail. Dix prélèvements des eaux d'irrigation ont été effectués au cours de deux campagnes, sèche et pluvieuse, afin de procéder à toutes ces analyses physiques et chimiques. En vue d'étudier l'évolution de la salinité des sols, 200 mesures de la conductivité électrique de la pâte saturée ont été réalisées sur des échantillons prélevés sur une grille régulière de 10 x10 m. Le krigeage a été employé pour extrapoler aux endroits non échantillonnés. L'élaboration des cartes de salinité s'est fondée sur ces valeurs prédites. Cinq profils pédologiques ont été implantés, au niveau de la parcelle d'étude, et ont subi une description morphologique détaillée et des analyses physiques et chimiques ont été déterminées en laboratoire. Ayant pour objectif d'étudier le comportement de la fève face à la salinité, les plantes sont cultivées dans des cylindres en plastique de 40 cm de hauteur contenant les différentes classes de la salinité de la palmeraie de Brézina (S0 ; S1 ; S2 et S3) et traitées ou non d'un côté par mono ammonium phosphaté 12.61.0 aux doses de 1 ; 1.5 g et par 10 et 20 % de compost du pin d'Alep, l'irrigation s'effectuant selon la réserve facilement utilisable. Les résultats ont mis en évidence que le faciès géochimique des eaux du barrage est chloruré calcique et appartient à la classe C3S2. Les profils salins sont de type ascendant avec cinq classes des sols salés ont été distinguées pendant les campagnes sèches et pluvieuses la plus forte salinité (S4) est concentrée dans le sud ouest de la parcelle étudiée. Les résultats de l'étude de comportement de la fève face à différentes classes de salinité montrent une diminution significative de la longueur des tiges et racines, de la surface foliaire et racinaire, du poids sec de la plante et chlorophylle totale contre une augmentation de la proline, malondialdéhyde et sodium dans les plantes stressées. L'addition de 1g de monoammonium phosphaté et 10 % de compost du pin d'Alep a amélioré significativement la croissance et la réponse de la fève au stress salin.

Mots clés : Brézina, Salinité, La fève, Eau d'irrigation, Monoammonium phosphaté, Compost du pin d'Alep, comportement.

SUMMARY

Salinity is a major constraint to the development of agricultural production and ecological balance in the arid and semi-arid ecosystem of southwestern Algeria. The objective of this work is to study the evolution of salinity in the palm grove of Brézina by correlation tests between the quality of the irrigation water of the Larouia dam on the one hand and the spatial and temporal variability of the soil salinity by mapping from the geographic information system. The morphological, physiological and biochemical study of the bean cultivated in different salt soil levels, modified or not by the mono ammonium phosphate 12-61 or the compost of Aleppo pine was the second step of this study. Irrigation water sampling was carried out during the dry and rainy season in total ten water samples in plastic bottles with a capacity of one liter for physical and chemical analyzes. In order to study the evolution of soil salinity, a set of 200 measurements of the electrical conductivity of the saturated paste were carried out on samples taken from a regular grid of 10 x 10 m. Kriging has been used to extrapolate to unsampled areas. The development of salinity maps was based on these predicted values. Five soil profiles were implanted at the study plot level, undergoing a detailed morphological description, and physical and chemical analyzes were determined in the laboratory. For the study of the behavior of the bean in the face of salinity, the plants are grown in 40 cm high plastic cylinders containing the different classes of salinity of the Brézina palm grove (S0; S1; S2 and S3) and treated or not on one side by Mono-Ammonium Phosphate 12.61.0 at doses of 1; 1.5 g and per 10 and 20% compost of Aleppo pine, watering is done according to the RFU. The results showed that the geochemical facies of the dam water is calcium chloride and belong to the C3S2 class, cycles of salinization and desalinization of the soil. The saline profiles are of ascending type with five classes of salty soils were distinguished during the dry and wet season. The results of the study of behavior of the bean against different classes of salinity show a significant decrease in the length of the stems and roots, leaf and root surface, dry weight of plant and total chlorophyll against an increase of proline, malondialdehyde and sodium in stressed plants. The addition of 1g of phosphate monammonium or 10% of Aleppo pine compost significantly improved growth and bean response to salt stress.

Key words: Brezina, Salinity, Bean, Irrigation water, Monoammonium phosphate, Aleppo pine compost.

ملخص

تشكل الملوحة عقبة رئيسية أمام تطوير الإنتاج الزراعي والتوازن في النظام البيئي الجاف و شبه القجاف في جنوب غرب الجزائر. الهدف من هذا العمل هو دراسة تطور الملوحة في واحة في برزينة من خلال اختبارات الترابط بين جودة مياه الري في سد "لارويا" من جهة والتنوع المكاني والزمني ملوحة التربة عن طريق رسم الخرائط من نظام المعلوماتية الجغرافية، الدراسة المورفولوجية والفسولوجية والكيميائية الحيوية للنبات في مستويات مختلفة من التربة المالحة ، والتي تم تعديلها أو عدم تعديلها بفوسفات الأمونيوم الأحادي 12-61 أو سماد الصنوبر الحلبي هي الخطوة الثانية من هذه الدراسة .

تم أخذ عينات مياه الري خلال موسم الجفاف والرطوبة في عشر عينات مياه في زجاجات بلاستيكية بسعة لتر واحد للتحاليل الفيزيائية والكيميائية لدراسة تطور ملوحة التربة ، أجريت مجموعة من 200 قياس للناقلية الكهربائية للعجينة المشبعة على عينات مأخوذة من شبكة منتظمة 10×10 م . تم استخدام Kriging لاستقراء المناطق غير المستندة إلى عينات . تم زرع خمس طبقات من التربة على مستوى الدراسة ، حيث تم وصفها بالتفصيل المورفولوجي ، وتم تحديد التحليلات الفيزيائية والكيميائية في المختبر . من أجل دراسة سلوك نبات الفول أمام الملوحة ، تزرع النباتات في اسطوانات بلاستيكية بارتفاع 40 سم تحتوي على فئات مختلفة من الملوحة بواحة برزينة و معالجة أم لا على جانب واحد بواسطة مونو أمونيوم فوسفات 12.61.0 عند جرعات 1 ؛ 1.5 جم أو 20 ٪ و 20 ٪ من سماد الصنوبر الحلبي ، ويتم الري وفقا ل RFU . أظهرت النتائج أن السلالات الجيوكيميائية لمياه السد هي كلوريد الكالسيوم وتنتمي إلى فئة C3S2. ملوحة التربة هي من النوع التصاعدي التي تنتمي الى خمسة أصناف من التربة المالحة كانت متقلبة خلال موسم الجفاف والرطب . أظهرت نتائج دراسة سلوك الفول أمام مستويات مختلفة من الملوحة انخفاضاً ملحوظاً في طول الساق والجذور والأوراق و سطح الجذر والوزن الجاف للنبات والكلوروفيل الكلي مقابل زيادة البرولين و المالونديلهيد والصوديوم . وقد أدت إضافة 1 غرام من الفوسفات الأمونيوم أو 10٪ من سماد الصنوبر الحلبي إلى تحسن كبير في نمو واستجابة الفول لإجهاد الملح .

الكلمات المفتاحية: برزينة ، ملوحة ، فول ، ماء الري ، فوسفات أحادي الأمونيوم ، سماد الصنوبر الحلبي ، سلوك



RESEARCH PAPER

OPEN ACCESS

Effect of Mono-ammonium phosphate 12-61 and salinity on growth, total chlorophyll and proline content of bean *Vicia faba* L minor , Variety Sidi Aich

Nouri Tayeb^{1*}, Reguieg Yssaad Houcine Abdelhakim¹, Latigui Ahmed², Oubachir Ahlem³, Djebbar Naziha³ and Bouyahia Hadj³

¹Laboratory of Biodiversity and Conservation of Water and Soils, Université of Mostaganem, Algeria

² Faculty of nature and life sciences, University of IBN Khaldoun, Tiaret, Algeria.

³University Center SALHI AHMED, Naama, Algeria.

Key words: Salinity, MAP, Bean, Growth, Biochemical's parameters

<http://dx.doi.org/10.12692/ijb/11.2.163-169> Article published on August 30, 2017

Abstract

Soil salinity is a major constraint to agricultural development in the whole world, particularly in arid and semiarid areas. The purpose of this study is to evaluate the combined effect of four salinity levels 0, 3, 6, 9dS/m and three concentrations of Monoammonium phosphate (MAP) 12-61 on Growth, biochemical's parameters as total Chlorophyll and the content proline of bean *Vicia faba* L minor, variety of SIDI AICH. Sowing was carried on plastic cylinders of 40cm in height containing soil of different salinity levels (0.3.6 and 9dS/m), and treated with Mono-Ammonium Phosphate 12.61 at doses of 1 and 1.5g/ 5kg of dry soil. However, The Irrigation of plants was performed with distilled water and a Hoagland nutrient solution. Also, Saline and MAP effect were investigated on leaf and root area, stem and root length, total chlorophyll and proline content. So, the results showed that; the strong salinity of 9dS/m caused a reduction in the length of the stems and roots, the leaf and root area, total chlorophyll. Nevertheless, the treatment of plants by the MAP at the dose of 1 and 1.5g was significantly improved leaf and root area, stem length and proline content under the effect of salinity.

Corresponding Author: Nouri Tayeb □ nouritayeb@yahoo.fr *

Liste des tableaux

Tableau 1. Surfaces affectées par la salinité dans le monde.	7
Tableau 2. Classe de la salinité des sols	9
Tableau 3. Normes d'interprétation d'une analyse d'eau pour la production de plantes annuelles	15
Tableau 4. Composition chimique moyenne pour 100 g net de fève	31
Tableau 5. Production de fèves et féveroles à Bejaia et en Algérie de 2010 à 2014	32
Tableau 6. Châteaux et réservoirs d'eau potable	35
Tableau 7. Ressources d'eaux exploitées par AEP.	35
Tableau 8. Caractéristiques du barrage de Brézina	35
Tableau 9. Répartition générale des terres de la commune de Brézina	36
Tableau 10. Températures mensuelles minimales, maximales et moyennes de la région de Brézina sur 20 ans (1995-2015).	37
Tableau 11. Précipitations mensuelles (mm) sur 20 ans (1995-2015) de la région de Brézina.	37
Tableau 12. Quotient pluviométrique d'EMBERGER	39
Tableau 13. Cordonnées GPS des points de prélèvement de l'eau de barrage de Brézina.	45
Tableau 14. Caractéristiques physico-chimiques de substrat de la culture.	51
Tableau 15. Propriétés physiques et chimiques du Monoammonium phosphate (MAP) 12-61	53
Tableau 16. Dispositif expérimental adopté sous serre automatisée.	53
Tableau 17. Propriétés physico-chimiques de compost du pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill	54
Tableau 18. Poids sec de compost du pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill par rapport à la masse totale du sol.	54
Tableau 19. Composition chimique de la solution Hoagland.	56
Tableau 20. Analyses de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation du barrage de Brézina dans la campagne sèche (Juin 2013).	60
Tableau 21. Résultats d'analyses de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation du barrage de Brézina dans la campagne pluvieuse (Janvier 2014).	60
Tableau 22. Valeur du Résiduel sodium carbonates de l'eau de barrage de Brézina dans les campagnes sèches et pluvieuses	64
Tableau 23. Résultats analytiques de la moyenne des profils de l'unité 1 (Juin ,2016)	66

Tableau 24. Résultats analytiques de la moyenne des profils de l'unité 1 (Novembre ,2016)	68
Tableau 25. Résultats analytiques de la moyenne des profils de l'unité 2 (Juin ,2016)	71
Tableau 26. Résultats analytiques de la moyenne des profils de l'unité 2 (Novembre ,2016)	72
Tableau 27. Répartition et occupation des sols salins en fonction de la conductivité électrique CE (ds/m).	74
Tableau 28. Répartition et occupation des sols salins en fonction de la conductivité électrique CE (ds/m) de l'horizon 30 à 60 cm de la campagne Juin 2013.	78
Tableau 29. Répartition et occupation des sols salins en fonction de la conductivité électrique CE (ds/m) de l'horizon 0 à 30 cm de la campagne Novembre 2013.	81
Tableau 30. Répartition et occupation des sols salins en fonction de la conductivité électrique CE (ds/m) de l'horizon 30 à 60 cm de la campagne Novembre 2013.	83
Tableau 31. Moyenne de la longueur des tiges et des racines (cm) de la fève <i>Vicia faba</i> L stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).	89
Tableau 32. Moyenne du poids sec (g) des parties aérienne et souterraine de la fève <i>Vicia faba</i> L stressée la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).	92
Tableau 33. Moyenne de la surface foliaire et racinaire (cm ²) de la fève <i>Vicia faba</i> L stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).	95
Tableau 34. Moyenne de la quantité de chlorophylle totale (µg/g MF) de la fève <i>Vicia faba</i> L stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).	98
Tableau 35. Moyenne de la teneur en proline de la fève <i>Vicia faba</i> L stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).	99
Tableau 36. Moyenne de la quantité de malondialdéhyde (MAD) de la fève <i>Vicia faba</i> L stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).	101
Tableau 37. Moyenne de la teneur en sodium dans les feuilles et les racines de la fève stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).	102
Tableau 38. Moyenne de la teneur en Potassium dans les feuilles et les racines de la fève stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).	104
Tableau 39. Moyennes de la longueur des tiges (cm) et des racines (cm) de la fève <i>Vicia faba</i> L. sous l'effet de la salinité (ds/m) et du monoammonium phosphaté (g).	113
Tableau 40. Moyenne du poids sec (g) de la fève <i>Vicia faba</i> L sous l'effet de la salinité (ds/m) et de monoammonium phosphaté (g).	116
Tableau 41. Moyenne de la surface foliaire et racinaire (cm ²) des parties aériennes et souterraines de la fève <i>Vicia faba</i> L. sous l'effet de la salinité (ds/m) et de monoammonium phosphaté (g).	117

Tableau 42. Moyenne de la teneur en chlorophylle totale ($\mu\text{g/g}$ MF) dans les feuilles de la fève sous l'effet de la salinité (ds/m) et du monoammonium phosphaté (g).	120
Tableau 43. Moyenne de la teneur en proline ($\mu\text{Mol}/100\text{mg}$) de la fève sous l'effet de la salinité (ds/m) et du monoammonium phosphaté (g).	122
Tableau 44. Moyenne de la quantité de malondialdéhyde (MAD) sous l'effet de la salinité et du monoammonium phosphaté 12-61	124
Tableau 45. Moyenne de la teneur en sodium dans les feuilles et les racines sous l'effet de la salinité et du monoammonium phosphaté 12-61	126
Tableau 46. Moyenne de la teneur en Potassium dans les feuilles et les racines de la fève <i>Vicia faba</i> L sous l'effet de la salinité et du monoammonium phosphaté 12-61	128
Tableau 47. Récapitulatif des données les plus marquantes obtenues au cours de cette thèse.	134

Liste de figures

Figure 1. Distribution de quelques domaines pédologiques dans le nord de l'Algérie -----	8
Figure 2. Répartition des sols salins du Nord de l'Algérie. -----	8
Figure 3. Régulations et compartimentation ionique. -----	25
Figure 4. Graines de la fève, variété Sidi Aisch .-----	28
Figure 5. Différentes parties de la fève : A : le système racinaire, B : la tige et les feuilles, C : les fleurs, les fruits. -----	29
Figure 6. Localisation géographique de la région de Brézina. -----	33
Figure 7. Situation de la parcelle étudiée par rapport à la commune de Brézina. -----	34
Figure 8. Diagramme ombro-thermique de la région de Brézina. -----	38
Figure 9. Localisation de la région de Brézina dans le climagramme d'EMBERGER. -----	40
Figure 10. Extrait de la carte géologique de Brézina au 1/200000). -----	43
Figure 11. Délimitation de la zone d'étude-----	44
Figure 12. La serre automatisée du centre universitaire de Nâama -----	50
Figure 13. Tamisage de sol avec tamis de 2 mm de mailles -----	51
Figure 14. Grains de la fève <i>vicia faba</i> L minor -----	52
Figure 15. Plantule de la fève. -----	52
Figure 16. Dispositif expérimental adopté sous serre. -----	55
Figure 17. Dispositif expérimental sous serre automatisée-----	56
Figure 18. Méthode de mesure la surface racinaire et foliaire par le logiciel <i>ImagJ</i> -----	57
Figure 19. Diagramme de la classification des eaux d'irrigation du barrage de Brézina selon U.S.S.L 1954 dans les deux campagnes. -----	61
Figure 20. Diagramme de Piper des anions des eaux d'irrigation du barrage de Brézina. ----	63
Figure 21. Sol et végétation de l'unité 1, (a) palmiers dattiers avec cime dégradée -----	65
Figure 22. Sol et culture de l'unité 02 de la zone d'étude-----	70
Figure 23. Moyenne de la conductivité électrique en fonction de la classe de la salinité des sols. -----	75
Figure 24. Taux d'occupation (%) des sols par les classes de la salinité. -----	76
Figure 25. Carte de la salinité des sols de l'horizon 0-30 cm de la parcelle étudiée de la palmeraie de Brézina pendant la campagne de juin 2013. -----	77
Figure 26. Le sud de la parcelle étudiée. -----	77

Figure 27. Moyenne de la conductivité électrique en fonction de la classe de la salinité des sols. -----	78
Figure 28. Taux d'occupation (%) des sols par les classes de la salinité de l'horizon 30-60 cm de la campagne Juin 2013. -----	79
Figure 29. Carte de la salinité des sols de l'horizon 30-60 cm de la parcelle étudiée de la palmeraie de Brézina pendant la campagne de juin 2013. -----	80
Figure 30. Moyenne de la conductivité électrique en fonction de classe de la salinité des sols de la campagne Novembre 2013 -----	81
Figure 31. Taux d'occupation (%) des sols par les classes de la salinité de l'horizon 0-30 cm dans la campagne Novembre 2013. -----	82
Figure 32. Carte de la salinité des sols de l'horizon 0.30 cm de la parcelle étudiée de la palmeraie de Brézina pendant la campagne Novembre 2013. -----	83
Figure 33. Répartition (a) et occupation (b) des sols salins en fonction de la conductivité électrique CE (ds/m) de l'horizon 30 à 60 cm de la campagne Novembre 2013. -----	84
Figure 34. Carte de la salinité des sols de l'horizon 30-60 cm de la parcelle étudiée de la palmeraie de Brézina pendant la campagne Novembre 2013. -----	85
Figure 35. Classes des sols salés et submersion de la palmeraie de Brézina (Photo prise par Nouri Le 20/11/ 2013). -----	86
Figure 36. Comparaison des plants de fève selon les différents niveaux de salinité et pourcentage du compost de pin d'Alep. -----	88
Figure 37. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> L sur la longueur des tiges de la fève <i>Vicia faba</i> L. -----	90
Figure 38. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill sur la longueur des racines de la fève. -----	91
Figure 39. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep sur le poids sec de la partie aérienne de la fève <i>Vicia faba</i> L. -----	93
Figure 40. Effet de la salinité et de compost de pin d'Alep sur le poids de la partie racinaire de la fève. -----	94
Figure 41. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill sur la surface foliaire de la fève <i>Vicia faba</i> L. -----	96
Figure 42. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill sur la surface racinaire de la fève <i>Vicia faba</i> L. -----	97
Figure 43. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> mill sur la teneur en chlorophylle totale de la fève. -----	99

Figure 44. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill sur la teneur en proline de la fève.-----	100
Figure 45. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill sur la quantité de malondialdéhyde.-----	102
Figure 46. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill sur la teneur en sodium dans les feuilles (A) et les racines de la fève <i>Vicia faba</i> L (B).-----	104
Figure 47. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill sur la teneur en potassium dans les feuilles (A) et les racines de la fève <i>Vicia faba</i> L (B).-----	106
Figure 48. Comparaison de la croissance de la fève <i>Vicia faba</i> L stressée à la salinité et traitée par monoammonium phosphaté 12-61..-----	112
Figure 49. Effet combiné de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la longueur des tiges de la fève.-----	114
Figure 50. Effet combiné de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la longueur des racines de la fève.-----	115
Figure 51. Effet de la salinité et du monoammonium phosphaté sur le poids sec de la fève.	117
Figure 52. Effet combiné de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la surface foliaire de la fève.-----	118
Figure 53. Effet combiné de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la surface racinaire de la fève.-----	119
Figure 54. Effet combiné de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la teneur en chlorophylle totale de la fève.-----	121
Figure 55. Effet de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la teneur de proline de la fève.-----	123
Figure 56. Effet de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la quantité de MAD ($\mu\text{mol/g ms}$) de la fève <i>Vicia faba</i> L-----	125
Figure 57. Effet de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la teneur en sodium dans les feuilles (a) et dans les racines (b) de la fève <i>Vicia faba</i> L.-----	127
Figure 58. Effet de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la teneur en potassium (ppm) dans les feuilles (a) et dans les racines (b) de la fève <i>Vicia faba</i> L .-----	129

Liste des Abréviations

Mg	Micro gramme
µg/g MF	Microgramme par gramme de matières fraîches
µMol	Micro mole
ABA	Acide Abscissique
Ans	Année
C°	Degré Celsius
Ca Cl₂	Le chlorure de calcium
Ca SO₄	Le sulfate de calcium
Ca⁺⁺	Calcium
CaCl₂	Chlorures de calcium
CaCO₃	Carbonate de calcium
CE	Conductivité électrique
C.E.C	Capacité d'échange cationique
Cl⁻	Chlore
Cm	Centimètre
CO₂	Dioxyde de carbone
CO₃	Carbonate
D.O	Densité optique
ds	Décisiemens
ds/m	Décisiemens par mètre
FAO	Organisation de la nation unie pour l'alimentation et l'agriculture
Fig.	Figure
Ex	Exemple
g	Gramme
H	Heure
Ha	Hectare
HNO₃	Acide Nitrique
INRA	Institut National des Recherches Agronomiques
K⁺	Ion de potassium
KCl	Chlorure de potassium
L	Litre
MAP	Mono-Ammonium Phosphaté
meq/100g	Milli équivalent pour 100 grammes de terre Matière fraîche
MF	matière fraîche
mg	Milligramme
MgCl₂	Chlorure de magnésium
mgCO₃	Le carbonate de magnésium
MgSO₄	Le sulfate de magnésium
ml	Millilitre
mm	Millimètre
mM	Milliohms
MS	Matière sèche
Na HCO₃	Bicarbonate de sodium
NaCl	Le chlorure Sodium
NaSO₄	Sulfate de sodium
nm	Le nanomètre
pH	Le potentiel d'hydrogène
ppm	Particule par million
qx	Quintaux
RFU	Reserve Facilement Utile
Tab	Tableau
Var	Variété
MAD	Malondialdéhyde

Table de matière

Dédicace.....	
Remerciements	
Résumé-----	
Summary -----	
ملخص.....	
Liste des tableaux.....	
Liste des figures-----	
Liste des Abréviations-----	
Introduction générale.....	
Première partie : Bibliographie	
Chapitre I : Salinité des sols	
1 Salinité des sols	4
I-1 Définition de la salinité des sols -----	4
I-2 Origines et cause de la salinité des sols -----	4
I-2-1 Origine primaire	5
I-2-2 Origine secondaire.....	5
I-3 Importance de la salinité du sol -----	5
I-4 Facteurs intervenants dans le processus de la salinisation du sol -----	6
I-5 Répartition géographique -----	6
Dans le monde	6
En Algérie	7
I-6 Classification des sols salés-----	8
I-7 Effet de la salinité sur le sol -----	9
I-7-1 Effet de la salinité sur les propriétés physiques des sols.....	9
I-7-1-1 Effet sur la stabilité structurale du sol-----	9
I-7-1-2 Effet sur la perméabilité du sol-----	9
I-7-1-4 Effet de la salinité sur les propriétés chimiques du sol-----	9
I-7-1-5 Action de la salinité sur les propriétés biologiques du sol-----	10
I.7.1.6 Action de la salinité sur l'eau dans le sol-----	10
I-8 Réhabilitation des sols salés -----	10
Certains sols salins	10
Certains sols alcalins	11

Chapitre II : Salinité des eaux d'irrigation.....	
II .1 Critères pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation-----	12
II.2 Interaction de la salinité et des eaux d'irrigation-----	12
II.3 Classification des eaux d'irrigation -----	13
II.4 Salinité de l'eau d'irrigation -----	13
II.5 Danger d'alcalinisation du sol -----	14
II.6 Normes d'interprétation de la qualité des eaux d'irrigation -----	14
II.7 Solutions de gestion des systèmes d'irrigation -----	16
Chapitre III : Stress salin	
III. Stress salin-----	17
III.1 Notion du stress-----	17
III-2 Types de stress abiotique-----	17
III-2-1 Stress hydrique	17
III-2-2 Stress thermique	18
III-2-3 Stress salin	18
III. 4. Effets de la salinité sur la plante -----	18
III.4.1 Effets de la salinité du sol sur les processus physiologiques de la plante	19
III.4.2 Effets de la salinité sur l'eau dans la plante	19
III.4.3 Effets toxiques.....	19
III. 4.4 Effets du stress salin sur la nutrition minérale des végétaux.....	20
III.4.5 Effet du stress salin sur la photosynthèse.....	20
III.4.6 Effet du stress salin sur les lipides	20
III.4.7 Stress oxydatif.....	20
III.5 Réponses des plantes aux stress salin-----	21
III.5-1 Régulation hormonale	21
III.5-2 Ajustement osmotique	22
III.5.3 Accumulation de proline	22
III.5.4 Production des antioxydants contre les ROS	23
III.5.5 Les stratégies d'adaptation	23
III.5.6 Tolérance au sel des légumineuses.....	24
Exclusion-----	24
Dilution-----	24
Compartimentation -----	25
Chapitre IV : La fève <i>Vicia faba</i> L minor	26
IV. La fève <i>Vicia faba</i> L minor-----	26
IV-1 Généralités sur les légumineuses -----	26
IV-1-1 Classification des légumineuses	26

IV-2 La fève et la fèverole -----	27
IV-3 Classification systématique-----	27
IV-4 Description et écologie-----	28
IV-4-1 Description	28
IV-4-2 Saisons de la culture de <i>Vicia faba</i> L minor.....	30
IV-4-3 Intérêt et domaines d'utilisation de la fève.....	30
IV-4-4 Production de la fève dans le monde et en Algérie.....	31
Deuxième partie :Etude géophysique et climatique de la zone d'étude	
Chapitre I : Présentation de la zone d'étude -----	
I-1- Situation géographique -----	33
I-2- Hydraulique-----	35
I-2-1-Répartition des Barrages	35
I-3 Répartition des terres agricoles-----	35
I.5 Etude climatique-----	36
I.5.1 Climat de la région d'étude.....	36
I.5.1.1 La température -----	36
I.5.1.2 La pluviométrie -----	37
I.5.1.3 Les Vents -----	38
I.5.1.4 Sirocco -----	38
I.5.1.5 Synthèse climatique -----	38
a. Diagramme ombrothermique de BAGNOLS et GAUSSEN -----	38
b. Climagramme d'EMBERGER -----	39
I.6.Erosion-----	41
I.7 Etude pédologique de la région de Brézina -----	41
I.8 Géologie -----	41
I.8.1-Litho stratigraphie :	41
I.8.2 Tectonique.....	42
Troisième partie :Etude expérimentale	
Matériels et méthodes	
Chapitre I : Etude de la salinité des eaux d'irrigation et des sols -----	
I-1 Délimitation de la zone d'étude -----	44
I.2 Méthode d'échantillonnage et analyse des eaux d'irrigation -----	44
I.2 .1 Analyses chimiques de l'eau d'irrigation	45
I.2.1.1 Mesure du pH -----	45
I.2.1. 2 Conductivité électrique-----	45
I.2.1.3 Les sels dissous totaux (TDS)-----	46

I.2.1.4 Dosage de sodium, potassium et calcium -----	46
I.2.1.5 Dosage de Magnésium -----	46
I.2.1.6 Dosage des anions Cl ⁻ , SO ₄ ⁻ , CO ₃ ⁻ et HCO ₃ ⁻ -----	46
I.2.1.7 Calcul des paramètres des eaux à usage agricole -----	47
I.3 Prospection de terrain -----	47
I.3.1. Analyses physiques et chimiques du sol	48
I.3.2 Mesure de la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée	49
I.4 Traitements numériques -----	49
Chapitre II : Etude de comportement de la fève <i>Vicia faba</i> L minor. -----	
II.1 Dispositif général de l'essai -----	50
II.2 Matériels et méthodes -----	50
II.2.1 Matériels sol	51
II.2-2 Matériel végétal	52
II.2.2.1 Choix de l'espèce végétale -----	52
II.2.2.2 Stérilisation des graines -----	52
II.2.2.3 Semis et repiquage -----	52
II.2.3 Amendement des substrats	53
II.2.3.1 Cas du sol amendé par le Mono ammonium Phosphaté 12-61 -----	53
a. Méthodes -----	53
II.2.3.2 Cas du sol amendé par le compost de pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill -----	54
a. Méthodes -----	54
b. Arrosage et solution nutritive -----	55
II-3 Paramètres Mesurés -----	57
II-3-1 Paramètres biométriques	57
a. Longueur aérienne et souterraine -----	57
b. Surface foliaire et racinaire -----	57
c. Poids de la biomasse végétale -----	58
II-3-2 Paramètres biochimique et physiologique	58
a. Extraction et dosage de la chlorophylle -----	58
b. Détermination de la proline -----	58
c. Dosage du maldondialdéhyde -----	58
II.3.3 Paramètres chimiques	59
II.3.3.1 Extraction et dosage des sels minéraux -----	59
II.4 Analyses statistiques -----	59
Résultats et discussion	

Chapitre I : Résultats d'analyses de la qualité des eaux d'irrigation-----	
I.1 Evolution temporelle de la qualité des eaux d'irrigation de la palmeraie de Brézina.---	60
I.1.2 Classification des eaux d'irrigation du barrage de Brézina	62
I.1.3 Diagramme de Piper	62
I.1.4 Résiduel sodium carbonates.....	63
Conclusion -----	64
Chapitre II : Cartographie des sols salins de la palmeraie de Brézina	
II.1 Etude des paramètres physico-chimiques du sol de la zone d'étude-----	65
II.1.1 Résultats de la prospection de terrain de l'unité 1	65
II.1.2 Résultats des analyses physico-chimiques au laboratoire de l'unité 1	66
Campagne Juin 2016 -----	66
Campagne Novembre 2016 -----	67
Conclusion -----	69
II.2.1 Résultats de la prospection de terrain de l'unité 2.....	70
a-Campagne Juin 2016 -----	71
b-Campagne Novembre 2016 -----	72
II- 3 Evolution spatio-temporelle de la salinité des sols de la palmeraie de Brézina -----	74
II-3-1 Campagne juin 2013	74
II-3-2 Campagne Novembre 2013.....	81
Conclusion -----	87
Chapitre III : Etude de comportement de la fève	
III-1 Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep <i>Pinus halepensis</i> Mill sur le comportement de la fève.-----	88
III-1. 1 Constat visuel des plantes	88
III-1-2 Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep sur la longueur des tiges et les racines de la fève.....	89
a-Longueur des tiges de la fève -----	89
b-Longueur des racines de la fève -----	90
III-1-3 Poids de la biomasse végétale de la fève.....	91
a-Poids sec des parties aériennes-----	92
b- Poids sec des parties racinaires -----	93
III-1-4 Surface foliaire et racinaire de la fève	94
a. Surface foliaire de la fève -----	95
b-surface racinaire de la fève -----	96
III. 1.5 Paramètres biochimiques et physiologiques de la fève.....	97
a. Teneur en chlorophylle -----	97

b. Teneur en proline dans les feuilles de la fève -----	99
c. Quantité de malondialdéhyde dans les feuilles de la fève-----	100
III.1.6 Bilan minéral du sodium et du potassium dans la plante (feuilles et racines)	102
a. Teneur en sodium dans la fève -----	102
b. Teneur en potassium-----	104
Discussion générale -----	106
III.2 Effet de la salinité et de monoammonium phosphaté 12-61 sur le comportement de la fève <i>Vicia Faba</i> L minor -----	111
III-2-1 Constat visuel	111
III.2.2 Longueur des tiges et des racines de la fève	112
a) Longueur des tiges de la fève-----	113
b) Longueur des racines de la fève-----	114
III.2.3 Effet de la salinité et du monoammonium Phosphaté sur le poids sec de la fève	115
III.2.4 Effet de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la surface foliaire et racinaire de la fève.	117
a. Surface foliaire de la fève -----	118
b. Surface racinaire de la fève -----	119
III-2.5 Paramètres biochimiques et physiologiques	120
a. Teneur en chlorophylle totale-----	120
b. Teneur en proline -----	121
c. Quantité de malondialdéhyde (MAD) -----	123
III.2.6 Bilan minéral du sodium et du potassium dans la plante (feuilles et racines)	125
a .Teneur en sodium dans la fève -----	125
b.Teneur en potassium dans la fève-----	128
Discussion générale -----	130
Conclusion générale et perspectives	137
Références bibliographiques	142
Annexe.....	

Introduction générale

Les changements climatiques deviennent de plus en plus contraignants pour la croissance et le développement des plantes notamment dans les zones semi-arides et arides (**Higazy et al, 1955 in Belkhodja et al, 2004**). L'Algérie fait partie du groupe des pays méditerranéens où la sécheresse, observée depuis longtemps, a conduit manifestement au processus de salinisation des sols (**Gaucher et al, 1974**).

L'introduction et le développement des systèmes irrigués ont permis la mise en valeur des terres arables des zones arides. C'est ainsi que depuis une centaine d'années, de grands périmètres ont été construits développant la filière agricole des pays concernés. Cependant, ces pratiques d'irrigation à grande échelle ont modifié le fonctionnement des sols conduisant parfois à la baisse de leur fertilité par le processus de salinisation. Plus de 20 % des terres cultivées sur le globe seraient aujourd'hui affectées à des degrés de dégradation variables par la salinisation (**Tyagi, 1996**).

Dans les régions arides et semi-arides, la salinité constitue une contrainte majeure à la productivité et au développement agricoles (**Rozema et Flowers, 2008 ; Abdel Latef, 2010**). Actuellement, sur 1.5 milliard d'hectares de terres cultivées dans le monde, environ 77 millions d'hectares (5%) sont affectés par la teneur excessive en sel (**Sheng et al. 2008**).

La salinisation est le processus majeur de la dégradation des terres. En moyenne, le monde perd 10 hectares de terres cultivables par minute, dont 3 hectares à cause de la salinisation. 10 à 15% des surfaces irriguées (20 à 30 millions d'hectares) souffrent, à des degrés divers, de problèmes de salinisation (**Mermoud, 2006**). Les zones arides et semi-arides couvrent une grande partie des pays de la frange méridionale du pourtour méditerranéen. Dans ces régions, la disponibilité des eaux, leur salinité et celle des sols sont parmi les principaux facteurs limitant la productivité végétale (**Zid et Grignon, 1991**).

Chartzoulakis et Klapaki, (2000); Navarro et al., (2003), Cabanero et al,(2004) ; Munns et Tester (2008) ; Niu et al.,(2010) ont rapporté que la réduction de la croissance de la plante est due aux diminutions du potentiel osmotique dans le sol, de la conductance stomatique ; de la photosynthèse et aussi à l'augmentation de la concentration des ions Na⁺ et Cl⁻, qui atteignent des niveaux toxiques pour la plante.

La salinité joue un rôle important dans l'existence et la distribution des plantes. A la différence des glycophytes, les halophytes se développent mieux sur un sol riche en sels (**Niu et al, 1995**).

Les caractères physiologiques et biochimiques d'adaptation aux contraintes environnementales ont attiré l'attention de nombreux chercheurs. L'accumulation des composés organiques a été mise en évidence chez plusieurs espèces végétales soumises à la

contrainte saline. Cette accumulation varie selon l'espèce, le stade de développement et le niveau de la salinité. Les différences d'accumulation des solutés tels que la proline et les sucres solubles totaux entre les plantes témoins et les plantes soumises au stress salin sont très importantes. **(El midaoui et al., 2007).**

La réponse de la plante à la salinité dépend de la variété **(Radhouane, 2008, Benmahioul et al, 2009)**, la concentration de sel sur le substrat, les conditions de croissance comme température et lumière et les stades de croissance **(Kaymakanova, 2009; Peel et al, 2004)**. Les variétés tolérantes améliorent certainement la production. Dans les zones irriguées les effets primaires des niveaux élevés de sel sont causés par le déséquilibre ionique et le stress hyper osmotique sur les plantes et leurs dommages oxydatifs aux protéines enzymatiques et à l'intégrité membranaire **(Zhu, 2000)**

Les légumineuses, sous contrainte saline, développent des stratégies adaptatives principalement la biosynthèse et l'accumulation d'osmolytes organiques qui participent à l'ajustement osmotique et à des remaniements protéiques nécessaires au maintien de l'intégrité cellulaire **(Poor mohammad Kiani, 2007)**, ainsi le transport et à la compartimentation des ions pour éviter leurs effets toxiques **(Mezni, 1999)**.

Les applications fréquentes d'engrais Phosphorés peuvent être nécessaires pour maintenir une croissance et un rendement des cultures adéquats **(Pierzynski, 1991)**. Parmi ces engrais, le monoammonium phosphaté est un bon fertilisant du fond dont le phosphore est complètement soluble dans l'eau et qui a un effet acidifiant sur les sols basiques et salins. Dont le pH du sol devient fortement acide **(Lhoucaine, 2000)**.

Le compost est une source importante de matière organique. Il joue un rôle important dans la durabilité de la fertilité du sol. En plus d'être une source d'éléments nutritifs pour les cultures, la matière organique améliore les propriétés biologiques et physico-chimiques du sol. Suite à ces améliorations, le sol devient plus résistant aux agressions telles que la sécheresse, les maladies et la toxicité. Elle aide la culture à mieux prélever les éléments nutritifs et présente un cycle nutritif de bonne qualité en raison d'une activité microbienne vigoureuse. Ces avantages se manifestent par une réduction des risques pour les cultures, des rendements plus élevés et une réduction des dépenses des agriculteurs pour l'achat d'engrais minéraux.

Dans cette perspective, notre travail consiste à étudier le problème de la salinité dans la palmeraie de Brézina par des tests de corrélation entre la qualité de l'eau du barrage de Larouia d'une part et l'évolution de la salinité des différents horizons constituant le sol. L'étude de comportement de la culture constitue la deuxième étape de ce travail de recherche. L'objectif de notre travail est d'établir des cartes de salinité à différentes profondeurs du sol de la palmeraie de Brézina, en utilisant le système d'information géographique (SIG) afin d'étudier l'évolution de la salinité et en fin dégager des stratégies pour mettre en valeur les sols salés de la zone d'étude.

Le second objectif est, à fin de mieux comprendre les stratégies des plantes mises en jeu lors du stress salin, une étude qui repose sur l'effet des fertilisants acidifiants représentée par le Mono-Ammonium Phosphate 12-61 d'une part et du compost du pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill, d'autre part sur la croissance et la physiologie d'une légumineuse communément cultivée en Algérie : la fève *Vicia faba* L. Var. *SIIDI AICH* qui se trouve dans des conditions de la salinité des sols.

Ce travail se divise en deux parties l'une bibliographique synthétisant trois chapitres :

Le premier chapitre traite de la salinité des sols, le second chapitre sur la salinité des eaux d'irrigation, le troisième chapitre intitulé le stress salin, et le dernier chapitre vise à étudier l'espèce végétal de la féverole *Vicia faba* L.

La deuxième partie de cette thèse comporte une étude géophysique et climatique de la région d'étude.

La troisième partie constituée :

- Matériels et méthodes.
- Résultats et discussion.

Enfin cette étude s'achève par une conclusion générale et perspective

Première partie

Bibliographie

Chapitre I

Salinité des sols

1 Salinité des sols

I-1 Définition de la salinité des sols

La salinisation du sol est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles qui aboutit à la formation d'un sol salé (**Mermoud ,2006**).

Selon **Asloum (1990)**, ce phénomène s'établit lorsque les concentrations de Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} sous forme de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées.

La salinisation est définie par la **FAO (2001)**, comme un enrichissement en sels solubles de la surface et de la tranche supérieure du sol lorsque la salinité dans les 20 cm sommitaux dépasse 1 à 2 %. La salinité est un facteur limitatif majeur de la productivité agricole (**Parida et DAS, 2005**). Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de forte quantité 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 leurs structures. On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse 0.5g/l (**Robert ,1996**). Selon **Calvet (2003)** un sol est dit salé quand la conductivité électrique est supérieure à 4 ds/m.

Les principaux sels solubles qui participent dans la formation des sols salés sont :

Les carbonates : Les plus rencontrés sont le carbonate de sodium (Na_2CO_3), le bicarbonate de sodium (Na HCO_3), le carbonate de calcium (CaCO_3) et le carbonate de magnésium (MgCO_3).

Les sulfates : Ce sont les sels de l'acide sulfurique et les plus fréquents sont : Le sulfate de magnésium (MgSO_4), le sulfate de sodium (Na_2SO_4) et le sulfate de calcium (Ca SO_4).

Les chlorures : Principalement : Le chlorure de sodium (NaCl), le chlorure de calcium (Ca Cl_2) et le chlorure de magnésium (MgCl_2) sont plus solubles et de forte toxicité.

La présence de sels solubles en quantité importante ou d'un horizon sodique à structure dégradée, caractères qui ont une influence néfaste sur le développement de la végétation ou des cultures (**Aubert, 1982; Durand, 1983 ; Sylvia, 1982 in Gasrni, 1989; Flowers et al., 1977 et Cramer ,2002**).

I-2 Origines et cause de la salinité des sols

L'origine de la salinité des sols se résume, d'une part, par la salinité primaire, d'origine naturelle, due à la proximité de la mer, ou à l'existence de dépôts salins géologiques ou parfois actuels, c'est la salinisation primaire. D'autre part, la salinité secondaire due à des processus

de salinisation liés à des activités anthropiques en particulier à l'irrigation mal conduite dans certaines zones agricoles (**Epstein, 1985 ; Le houerou, 1986 ; Franchis et Ibanez, 2003**).

I-2-1 Origine primaire

C'est un phénomène naturel. Les causes peuvent être climatique (ex : steppes continentales) où géochimique (ex : Mares salées Lorrain) (**Schwartz, 2007**). 80% des terres salinisées ont une origine naturelle. On parle donc de salinisation "primaire" due aux sels se formant lors de l'altération des roches ou à des apports naturels externes (**Mashali et al., 2005**). La plupart des sols salins-sodiques se sont développés suite aux processus géologiques, hydrologiques et pédologiques naturels (**Wanjogu et al., 2001**).

Durant les périodes de sécheresse, l'eau et les électrolytes qu'elle contient remontent par capillarité. L'eau s'évapore, les sels vont s'accumuler en surface pour être à nouveau lessivés par la pluie. Avec l'hétérogénéité spatiale et temporelle impliquée dans cette circulation de l'eau entre le sol et l'atmosphère, les concentrations en sels de surface montrent une grande variabilité qualitative et quantitative (**Gregory, 2005**). La présence naturelle de sels tel que NaCl, NaSO₄, CaCl₂ sur d'importantes surfaces du globe contribue de manière remarquable à la salinisation des sols arables et exerce un effet dépressif sur la croissance des plantes, à partir d'un certain seuil, qui varie d'une espèce à l'autre (**Hamza, 1977 ; Epstein., 1985; Le houerou, 1986; Lopez, 1996**). 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 (évaporite), hydrogéologique (eaux souterraines) ou hydrologique (eaux marines) (**Girard et al., 2005**).

I-2-2 Origine secondaire

Elle est d'origine anthropique, résultant des activités humaines, notamment l'irrigation avec des eaux chargées de sels (**Munns et al., 2006**). Il s'agit d'une contamination du sol, par des apports extérieurs comme les eaux chargées de sels solubles (de la nappe phréatique salée ou de l'irrigation par des eaux plus ou moins salines) fertilisation chimique excessive. (**Aubert et Boulaine, 1980**).

I-3 Importance de la salinité du sol

La salinité du sol est une contrainte en agriculture parce que la plus part des cultures sont peu tolérantes aux excès de sels. De plus la salinité est associée à l'eau qui est un important facteur d'augmentation des productions végétales. En effet, les 15% des terres irriguées dans le monde participent pour 1/3 dans la production totale mondiale.

La réduction de la productivité, suite à la salinité, pose une sérieuse contrainte à l'augmentation de la production pour couvrir une demande alimentaire de plus en plus importante (Chaves et *al.*, 2003).

I-4 Facteurs intervenants dans le processus de la salinisation du sol

Selon Wyn Jones et Gouston (1991), la salinisation des sols peut être due à :
La lixiviation des sels solubles et / ou à l'évaporation, qui déposent leurs sels dans les sols.
En régime, non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels pas flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (Raju et *al.*, 1993). Selon Philippe (2001), trois processus en sont responsables :

- **La salinisation** : Elle se produit lorsque la minéralisation de la solution du sol dépasse un certain seuil sous l'influence d'un mécanisme physique (évaporation, drainage interne insuffisant, altération de minéraux et accumulation).
- **La sodisation** : Ce processus se produit lorsque le complexe organo-minéral d'échange est progressivement saturé par l'ion Na^+ .
- **L'alcalisation** : C'est la libération de l'ion Na^+ dans la solution du sol, ce qui élève le PH et disperse les feuillets d'argile. Ce processus intervient lorsqu'un sol à complexe saturé en Na^+ se transforme physiquement suite aux réactions d'échange entre l'ion sodium et les protons au moment d'une humectation, (Philippe, 2001 ; Michel, 2005).

I-5 Répartition géographique

Dans le monde

Les données du programme des nations unies (PNUD) pour l'environnement rapportent que 20% des terres agricoles et 50% des terres cultivées dans le monde sont exposées à la salinité (Tanji, 1990 ; Flowers et Yeo, 1995 ; Keren, 2000 ; Munns, 2002).

Selon les estimations les plus récentes de la FAO, la salinisation affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente (Legros, 2009). La plupart de ces terres affectées par le sel sont situées dans les zones arides et semi-arides, en Afrique du Nord, en Asie orientale, en Asie centrale et du Sud de l'Asie (FAO, 2006). Les sols salés sont principalement situés dans les zones arides, et leur proportion est notablement élevée au Proche (Égypte, Tunisie) et Moyen-Orient (Iran, Pakistan, Bangladesh), en Asie centrale (Ouzbékistan), au nord de la Chine et en Argentine. Les sols sodiques sont particulièrement étendus en Australie, mais aussi dans certaines situations spécifiques, comme en Hongrie ou en Ouzbékistan. Par comparaison, le développement d'une salinité liée aux activités humaines ne concernerait que 77 millions d'hectares (Marlet, S., et J.O. Job, 2006). Dans les pays du

Maghreb, les dommages de la salinisation sont connus, à cause de la mauvaise gestion des eaux d'irrigation (**Djili K, et al., 2003**).

Tableau 1. Superficies affectées par la salinité dans le monde (**FAO, 2009 et Larsam, 1995**).

Régions	Superficie (millions d'hectares)
Afrique	80,5
Europe	50,8
Amérique du Nord	15,17
Amérique du Sud	129,2
Australie	357,3
Mexique et Amérique centre	2
Asie du sud Est	20
Assi du centre et du Nord	211,7
Asie du sud	87,6
Total	954,8

La surface affectée par la salinité dans le monde est évaluée à 954,8 millions d'hectares, soit 23 % des terres cultivées (**FAO, 2008**). Le tableau ci dessus présente la superficie affectée par la salinité dans le monde.

En Algérie

Selon **le Houerou (1993)**, les sols salés occupent de vastes superficies (3.2 millions d'hectares de la superficie totale). Ils sont localisés au Nord plus qu'au où sud ils s'expriment mieux entre les isohyètes 450mm semblent être à la limite supérieure des sols fortement sodiques (**Djili, 2000**).

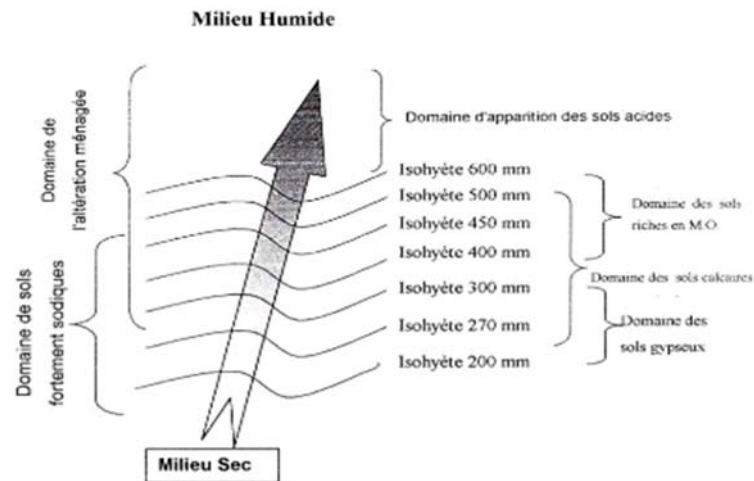


Figure 1. Distribution de quelques domaines pédologiques dans le nord de l'Algérie (Djili, 2000).

Selon la **FAO (2005)**, On rencontre plusieurs types de sols salés en Algérie localisés surtout dans les étages bioclimatiques arides et semi- arides (figure2).

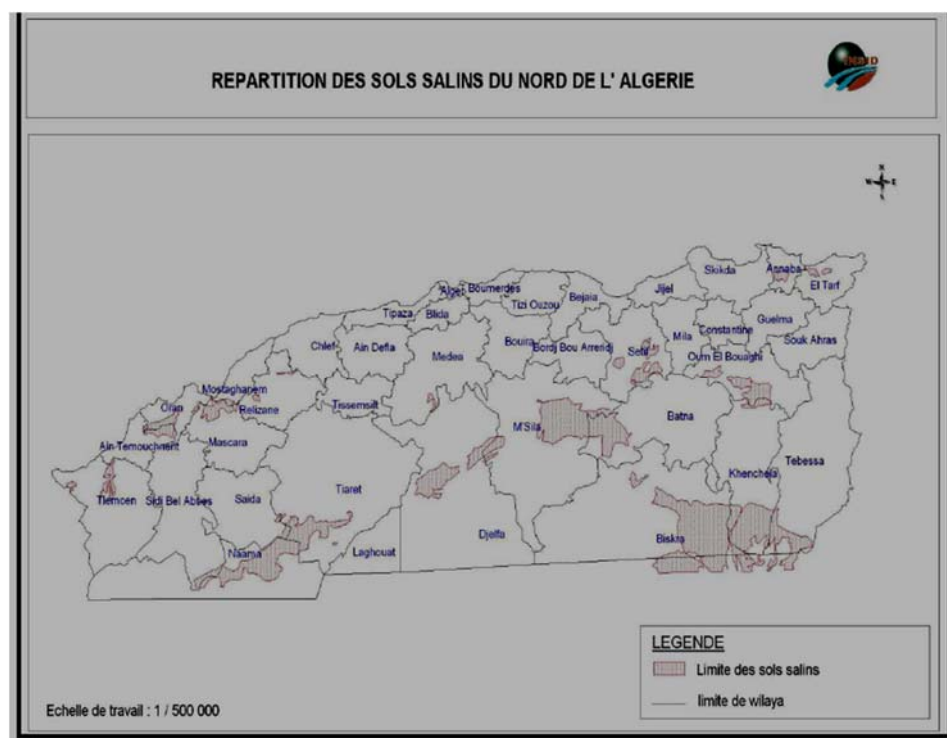


Figure 2. Répartition des sols salins du Nord de l'Algérie (INSID, 2008).

I-6 Classification des sols salés

Elle est basée sur la concentration en sel et le rapport $Na^+ / (Ca^{2+} + Mg^{2+})$, les sols ont été classifiés comme salins, sodiques ou salins-sodiques. La concentration totale en sel est

habituellement mesurée par la conductivité électrique. EC dans les unités de ds/m^{-1} , ou 1 ds/m^{-1} est approximativement égale à une concentration de 10 mM du sel qui se dissocie en deux ions monovalents quand ils sont en solution (par exemple NaCl). Les sols salins sont généralement définis en tant que sols ayant une EC de 4 ds/m^{-1} ou plus. Des sols sodiques sont définis en tant que sols ayant un rapport d'adsorption de sodium (SAR) supérieure à 15. Le SAR est calculé comme suit :

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

Tableau 2 .Classe de la salinité des sols (Maillard, 2001)

Classes	Conductivité de l'extrait de sol saturé (ds/m)
Non salins	0 – 2
Légèrement salins	2 – 4
Modérément salins	4 – 8
Fortement salins	8 – 16
Très fortement salins	Plus de 16

I-7 Effet de la salinité sur le sol

I-7-1 Effet de la salinité sur les propriétés physiques des sols

I-7-1-1 Effet sur la stabilité structurale du sol

Selon **Michel (2005)**, des mécanismes physiques tels que la fracturation, l'éclatement et la dispersion réorganisent l'assemblage des constituants conduisant au remaniement du sol. En effet, la saturation de la fraction argileuse en sodium provoque la dispersion des fines particules et la modification de la structure du sol (**Gassemi, 1995**).

I-7-1-2 Effet sur la perméabilité du sol

La perméabilité dépend de la texture et devient difficile et lente et se fait par diffusion (**Aubert, 1980**). A l'état humide, et par manque de cohésion des particules fines, l'argile occupe les vides de la matrice (sol) et réduit la perméabilité. (**Phelippe, 2001**).

I-7-1-4 Effet de la salinité sur les propriétés chimiques du sol

La disponibilité de l'eau diminue dans le sol, si la concentration de la solution de sol est importante, et l'élévation de pH observé dans ces sols provoque des carences de certains éléments (**Chamayou et Legros, 1989**).

I-7-1-5 Action de la salinité sur les propriétés biologiques du sol

Les sels forment une couche imperméable en surface empêchant toute activité biologique (**Halfaoui, 1988**). Ainsi selon (**Aubert, 1988**) la pression osmotique de la solution des sols sales s'élève d'où l'alimentation en eau difficile des plantes et micro-organismes.

I.7.1.6 Action de la salinité sur l'eau dans le sol

La capacité de rétention en eau diminue en fonction de la nature des cations dans l'ordre suivant : $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$. (**Djamel, 1993**).

I-8 Réhabilitation des sols salés

La gestion des sols salinisés exige une combinaison des pratiques agronomiques et des considérations socio-économiques. La réhabilitation des sols salins peut débuter par la mise en place d'un drainage efficace et l'utilisation d'une eau d'irrigation de bonne qualité pour abaisser les teneurs en sels solubles.

D'un point de vue strictement technique il est possible de régénérer des sols salins ou alcalins, mais ces méthodes sont généralement coûteuses (**Middleton et al., 1997**):

➤ 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**).

Certains sols salins

Peuvent être récupérés par lessivage, c'est-à-dire par l'application de très fortes doses d'irrigation, accompagnées d'un drainage efficace. Le sel en excès est alors évacué avec les eaux de drainage. Pour que cette technique soit applicable il faut impérativement que les sols soient bien drainés ; or c'est justement souvent la mauvaise capacité de drainage des sols qui

est à l'origine de leur salinité. Il faut donc préalablement s'assurer qu'il existe un système efficace de drainage, de collecte et d'évacuation des eaux, ou mettre en place un tel système. Souvent, ceci impose une restructuration totale des périmètres irrigués.

Certains sols alcalins

Peuvent être récupérés grâce à l'application de gypse et d'autres amendements calcaires : Le cation calcium s'adsorbe sur les particules argileuses, ce qui permet d'améliorer la structure des sols. L'apport en complément de matière organique augmente les chances de réussite. Afin d'être efficaces, les apports doivent être de l'ordre de la tonne par hectare. L'amélioration de la structure du sol est temporaire et l'application des amendements doit généralement être répétée à quelques années d'intervalle.

Une autre option possible en milieu carbonaté est la phyto-remédiation. Son principe est d'utiliser le CO₂ de la respiration racinaire et l'excrétion de protons par les racines pour acidifier le milieu et produire la libération du calcium. Dans des essais conduits au Moyen-Orient la phyto-remédiation a prouvé qu'elle était une option efficace et peu coûteuse, dont les résultats sont comparables à ceux obtenus avec du gypse (**Badraoui et al., 2005**).

Chapitre II

Salinité des eaux d'irrigation

II. Salinité des eaux d'irrigation

L'eau d'irrigation, qu'elle provienne de rivières ou de sources ou qu'elle soit pompée dans les nappes, n'est jamais pure ; elle contient des sels dissous qui suivant leur concentration, peuvent affecter les sols et les cultures. La composition chimique d'une eau doit être examinée en fonction de son impact sur les terres et les plantes (**Landreau et Monition, 1977**).

II.1 Critères pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation

D'après **Isabelle 2004**, les principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation sont :

- ❖ La salinité : Contenu total en sel soluble
- ❖ Le sodium : Proportion relative des cations sodium (Na^+) par rapport aux autres
- ❖ L'alcalinité ;
- ❖ La dureté : Concentration d'anions Carbonate (CO_3^{2-}) et bicarbonate (HCO_3^-) en relation avec la concentration en calcium (Ca^{2+}) et en magnésium (Mg^{2+}) ;
- ❖ La concentration en éléments qui peuvent être toxiques ;
- ❖ Le pH de l'eau d'irrigation.

II.2 Interaction de la salinité et des eaux d'irrigation

Selon **Servant (1983)** et la **FAO (1988)** in **Benzahi (1994)**, la contamination des nappes souterraines, ou superficielles aussi bien des fleuves que des Oueds, se fait de diverse façon :

- ☐ Par le contact des sols solubles provenant soit de l'altération des roches mères ou dépôts lagunaires, ou encore des séries sédimentaires contenant des évaporites. Ces évaporites sont très abondantes dans certains faciès des tertiaires (Oligocène et Miopliocène). Elles constituent une très importante source de salinité des eaux en milieu continental. Ce genre de séries sédimentaires est très répandu en zone aride et subaride.
- ☐ Par invasion marine en contribuant à recharger les cours d'eau avec une eau salée
- ☐ Par débordement des affleurements salifères
- ☐ Par infiltration lors de leur passage dans les pores du sol les eaux entraînent certains éléments résultant par le phénomène d'échange ionique.

II.3 Classification des eaux d'irrigation

La classification des eaux d'irrigation, tient compte des conditions d'utilisation de ces eaux et des caractéristiques du sol tels que le taux d'infiltration, le drainage ainsi que la tolérance des cultures (**Durand, 1983**). Le diagramme de **l'USSL (1954)** modifié par Durand (1958), en ajoutant une cinquième classe de salinité s'avère le plus pratique pour les eaux algériennes. Ce diagramme se base sur le paramètre de salinité de l'eau (CE à 25°C) et le danger d'alcalinisation des sols exprimé par le SAR.

II.4 Salinité de l'eau d'irrigation

D'après **Durand (1958)**, ce caractère permet et déterminer cinq classes d'eau d'après la relation entre la conductivité électrique a (25°C) de l'eau et le danger de salinisation du sol.

- (C1) : CE 25°C < 0.25 ds/m : Eaux utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des terrains avec peu de chances d'apparition de salinité dans le sol. Une légère lixiviation est nécessaire mais elle se produit en irrigation normale sauf en sol peu perméable.
- (C2) : CE 25°C comprise entre (0.25) et (0.75) ds/m : Eaux utilisables avec une légère lixiviation. Les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser dans la plupart des cas sans pratique spéciale de contrôle de la salinité ;
- (C3) : CE 25°C comprise entre 0.75 et 2.25 ds/m : Les eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint même avec un bon drainage des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaires et les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées ;
- (C4) : CE 25°C comprise entre 2.25 ds/m et 5 ds/m : La salinité qualifiée de très forte, cette eau est inutilisable en conditions normales. Elle n'est autorisée qu'en pratique de lessivage intense et sur des cultures très tolérantes.
- (C5) : CE 25°C > 5 ds/m : Cette eau est qualifiée d'inutilisable sauf sur sable drainé et pour des cultures du genre palmier dattier.

II.5 Danger d'alcalinisation du sol

Les quatre classes de S.A.R distinguées par la classification d'U.S.S.L (1954) in Khadraoui, (2005) sont:

S1: Eau faiblement sodique: Utilisable pour l'irrigation de presque toutes les classes de sols, avec risque d'alcalinisation minimum. Toutefois à noyaux peuvent accumuler dans leur feuille des quantités de sodium.

S2: Eau moyennement sodique: Elle peut présenter un risque d'alcalisation modérée dans les sols à texture fine (argile) sauf si ces derniers contiennent du gypse utilisable dans les sols grossiers (sableux) ou organiques.

S3: Eau fortement sodique: Fort risque d'alcalisation dans la plupart des sols. Précautions particulières nécessaires: Bon drainage, abondant lessivage et addition de matières organiques. Dans les sols à forte teneur en gypse l'apparition des effets nuisibles du sodium sera retardée. En l'absence de gypse les sols surtout amendés à l'aide de ce dernier ou d'autres produits similaires.

S4: Eau très fortement sodique: Elle est généralement inutilisable pour l'irrigation excepté à des niveaux de faible ou de moyenne salinité, mais seulement après amendement des sols au gypse ou à d'autres additifs.

II.6 Normes d'interprétation de la qualité des eaux d'irrigation

Le tableau ci-dessous résume les valeurs acceptables pour différents éléments trouvés dans l'eau d'irrigation. Ce sont des valeurs souhaitables lorsque l'eau est utilisée de façon continue. Les seuils pourraient être plus élevés lorsque l'eau d'irrigation est utilisée seulement en période de sécheresse. Par contre, des échantillonnages de sol devraient, dans ce cas, se faire plus fréquemment afin d'éviter l'accumulation d'éléments non désirables dans le sol.

Tableau 3. Normes d'interprétation d'une analyse d'eau pour la production de plantes annuelles

Paramètres	Concentration maximale
Alcalinité (CaCO_3)	1 à 100 ppm (pas supérieur à 200)
Aluminium (Al^{3+})	0 à 5 ppm
Bicarbonate (HCO_3^-)	30 à 50 (pas supérieur à 150)
Bore (B)	0,2 à 0,5 (pas supérieur à 0,8)
Calcium (Ca^{2+})	40 à 120 ppm
Chlore (Cl^-)	0-100 ppm (pas supérieur à 140)
Cuivre (Cu^{2+})	0,08 – 0,15 ppm (pas supérieur à 0,2)
Fluor (F^-)	0 (pas supérieur à 1)
Fer (Fe^{3+})	1 à 2 ppm (pas supérieur à 5)
Manganèse (Mn^{2+})	0,2 à 0,7 ppm (pas supérieur à 2)
Molybdène (MO)	0,02 à 0,05 ppm (pas supérieur à 0,07)
pH	5 à 7
Potassium (K^+)	0,5 à 5 ppm
Ratio d'absorption du sodium (RAS)	0 à 4 ppm
Sodium (Na^+)	0 à 30 ppm (pas supérieur à 50)
Sulfate (SO_4^{2-})	24 à 240 ppm
Matière dissoute totale	70 à 700 ppm (pas supérieur à 875)
Zinc (Zn^{2+})	0,1 à 0,2 ppm (pas supérieur à 2,0)
Salinité (ds/m)	Inférieur à 1,0-1,5

(Peterson 1999)

II.7 Solutions de gestion des systèmes d'irrigation

Parmi les solutions préconisables pour une meilleure gestion des systèmes de production par irrigation, la première vise à privilégier toutes méthodes favorables à une économie d'eaux de qualité. Sous conditions salines, la conduite des irrigations et des lessivages doit tenir compte des conditions climatiques différentes en domaine méditerranéen et tropical sec. Sous les premières on peut en particulier profiter au maximum des pluies hivernales pour lessiver les sols déjà bien humectés (**Jean-Yve, 1991**).

Afin d'améliorer la qualité de certaines eaux salines, des rééquilibrages peuvent être envisagés directement dans les réservoirs ou les canaux. En Camargue, dans le Sud de la France, un "Permeator" mobile avait été testé par J. SERVANT pour enrichir en sulfates les eaux d'irrigation destinées, après combinaison au calcium du sol, à faciliter l'élimination du sodium des sols alcalins. L'acide sulfurique était produit à partir de soufre oxydé dans une chaudière en SO₂ à travers la sortie de laquelle transitaient les eaux du canal d'irrigation.

Chapitre III : Stress salin

III. Stress salin

III.1 Notion du stress

Claude Bernard fut le premier à dégager une notion physiologique du stress en 1868. Selon lui, les réactions déclenchées par le stress visaient à maintenir l'équilibre de notre organisme. L'ensemble de ces réactions internes a été nommé homéostasie par le physiologiste américain C.W. **Bradford (1915)**. L'association de ces trois notions stress homéostasie – adaptation constitue l'approche biologique du stress et permet notamment d'expliquer l'influence du stress qui est de permettre, lorsqu'il est appliqué dans certaines limites, l'adaptation à l'environnement, et donc au maintien de la vie (**Levitt, 1980 ; Zhu, 2002 ; Vincent, 2006**).

Le physiologiste canadien Hans Selye, qui a inventé le terme les années 1930, (**Chernyad'ev, 2005**) a défini le stress comme une « réponse non spécifique de l'organisme à toute sollicitation ». D'origine anglaise, le mot « stress » était employé en mécanique et en physique et voulait dire « force, poids, tension, charge ou effort ». Ce n'est qu'en 1963 que HANS SEYLE a utilisé ce mot en médecine et le définit comme étant « des tensions faibles ou fortes éprouvées depuis toujours et déclenchée par des événements futurs désagréables ou agréables ».

Selon **Marouf et Reynaud (2007)**, le stress est l'ensemble des perturbations physiologiques ou pathologiques provoquées dans un organisme par des agents biotiques (parasites, pathogènes) ou abiotiques (salinité, sécheresse, température, pollution, etc.).

III-2 Types de stress abiotique

Il est dû principalement à des facteurs environnementaux comme la sécheresse, les températures extrêmes, les excès d'eau (asphyxie racinaire) et la salinité.

On peut citer quelques types de stress abiotiques qui peuvent affecter les végétaux :

III-2-1 Stress hydrique

Il est provoqué par un déficit en eau constituant une menace permanente pour la survie des plantes, néanmoins, beaucoup d'entre elles produisent des modifications morphologiques et physiologiques qui leur permettent de survivre dans les régions de faible pluviosité et dont la teneur en eau des sols est peu élevée (**Hopkins, 2003**).

III-2-2 Stress thermique

C'est celui dans lequel on distingue les basses températures, gélives ou non gélives, et les hautes températures. En réalité les contraintes environnementales subies par la plante associent, le plus souvent, plusieurs types de stress (**Lu et al, 2003**) : La salinité par exemple, comprend des stress ioniques (toxicité des ions Na^+ et Cl^-) et osmotiques ; la sécheresse quant à elle, recouvre souvent à la fois des stress thermiques et hydriques (ces derniers induisant des stress ioniques) (**Belhassen et al, 1995**). Les plantes sensibles au froid réagissent négativement entre 0 et 12°C (**Mazliak, 1995**), ainsi cette baisse de la température entraîne des ralentissements de la croissance, de chlorose, de nécrose, voire même une destruction des végétaux exposés (**Belhassen et al, 1995**). Les hautes températures sont permises les facteurs les plus importants intervenant dans la limitation des rendements. Elles affectent fortement les organes floraux, la formation des fruits, ainsi que le fonctionnement de l'appareil photosynthétique (**EL Madidi et Zivy., 1993**).

III-2-3 Stress salin

Le stress salin est défini comme une concentration excessive en sel. Le terme stress salin s'applique surtout à un excès des ions, en particulier Na^+ et Cl^- (**Hopkins, 2003**).

III. 4. Effets de la salinité sur la plante

La salinité provoque le plus souvent un retard dans le Développement (**Gill, 1979; Elmekkaoui, 1990 et Boukachabia, 1993**), particulièrement la hauteur, le diamètre des tiges des différentes espèces, ainsi que la grosseur des fruits diminuent d'une façon importante avec l'augmentation de la salinité: c'est le cas du riz (**Khan et al., 1997**) et de la pomme de terre (**Bouaziz, 1980 in Baba- Sidi- Kassi, 2010**).

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

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. A titre d'exemple, l'orge et le blé sont particulièrement résistants à la salinité après la germination (**Elmekkaoui, 1990**).

III.4.1 Effets de la salinité du sol sur les processus physiologiques de la plante

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

III.4.2 Effets de la salinité sur l'eau dans la plante

L'accumulation des sels dans les sols est un grave problème environnemental menaçant les processus physiologiques de la plante et la fertilité des sols. Les teneurs élevées en sels tendent à augmenter la pression osmotique de la solution du sol, ce qui diminue la capacité de la plante à utiliser l'eau dont elle a besoin, au risque de la soumettre à une sécheresse conditionnée (**Halitim, 1988**). Les sels constituent aussi un obstacle physique à l'enracinement à cause de la diminution de la disponibilité en eau et de l'instabilité structurale du sol. (**Ayers et Westcot, 1988 et Romero Aranda et al., 2001 in Parida et Das, 2005**).

III.4.3 Effets toxiques

Ils 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**).

III. 4.4 Effets du stress salin sur la nutrition minérale des végétaux

Les effets nutritionnels de la salinité incluent les deux actions primaires du sel sur les plantes : La toxicité directe due à l'accumulation excessive des ions dans les tissus et un déséquilibre nutritionnel provoqué par l'excès de certains ions. Des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale des plantes (**Levigneron et al, 1995 in Haouala et al, 2004**). L'accumulation des ions Na^+ dans la plante limite l'absorption des cations indispensables tels que K^+ et Ca^{2+} . Il y aurait une compétition entre Na^+ et Ca^{2+} pour les mêmes sites de fixation apoplasmique. L'interaction entre les ions Na^+ et Ca^{2+} (**Jendoubi, 1997**).

III.4.5 Effet du stress salin sur la photosynthèse

L'excès de sel devient toxique à un certain degré et accélère la sénescence naturelle des feuilles, en réduisant la capacité photosynthétique causée par la fermeture des stomates qui limite l'entrée du CO_2 (**Zhu,2001; Munns,2002**). La salinité affecte l'ultrastructure des chloroplastes (**Ackerson,198 ; Salama,1994**) et plus particulièrement celle des granas (**Baker,2002; Rahman, 2002**).

III.4.6 Effet du stress salin sur les lipides

Les lipides sont la source la plus efficace du stockage de l'énergie. Ils fonctionnent comme des isolateurs des hormones et organes délicats, et jouent un rôle important comme des constituants des structures de la plupart des cellules membranaires (**Singh et al, 2002**). Ils ont aussi un rôle vital dans la tolérance à différents stress physiologiques chez une variété d'organismes comme la cyanobactérie. L'instauration des acides gras contrecarre le stress salin ou hydrique. **Wu et al., (1998)** ont analysé le changement de la composition des lipides soumis à un stress salin dans la membrane plasmique des racines chez *Spartina patens* et ont rapporté que les pourcentages molaires des stérols et les phospholipides diminuent avec l'augmentation de la salinité, mais le ratio stérols/phospholipides n'est pas affecté par le NaCl.

III.4.7 Stress oxydatif

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

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

Une conséquence des stress environnementaux, comprenant le stress salin, est l'apparition du stress oxydatif (**Hernandez et al, 2001**), c'est-à-dire l'accumulation d'espèces réactives d'oxygène (ROS) à des concentrations élevées (**Azevedo et al., 2006**), qui endommagent les structures cellulaires (**Smirnoff, 1993 ; Parent et al., 2008**). Ces derniers sont à l'origine du dysfonctionnement de l'appareil photosynthétique et les autres troubles métaboliques (**Rahnama et Ebrahimzadeh, 2005**). La plupart d'entre eux sont des peroxydes d'hydrogène, des radicaux hydroxyles et des anions superoxyde (**Azevedo et al., 2006**).

La tolérance des plantes à la contrainte saline est fortement corrélée à leur capacité de synthèse des antioxydants nécessaires pour faire face au ROS et maintenir leur concentration à faible niveau dans les cellules lors du stress (**Reddy et al., 2004**).

III.5 Réponses des plantes aux stress salin

Les plantes peuvent répondre aux stress de diverses façons ; elles accomplissent leur croissance durant les périodes de moindre stress ou bien ne peuvent pas le supporter auquel cas elles peuvent subir des lésions. Ou bien, subissent des modifications spécifiques de leur métabolisme leur permettant d'éviter ou de tolérer les effets de stress (**ENITA, 2000**).

III.5-1 Régulation hormonale

La synthèse d'osmoprotecteurs chez les espèces naturellement tolérantes au stress est très réglée par le stress. En plus de l'usage des promoteurs du stress inductible par les voies de synthèse de l'osmoprotecteur, les gènes impliqués dans la lecture par exploration du signal du stress sont en outre utiles pour les plantes tolérantes au stress (**Winicov, 1998; Shinozaki et Yamaguchi, 1999**).

L'acide abscissique (ABA) est synthétisé dans les racines de plusieurs espèces en réponse aux différents stress (**Baker et Lachno, 1989, Nemat Alla et al., 1994**). Il a été suggéré que l'accumulation de l'ABA est une réponse naturelle qui sert de médiateur de degré à ce que la plante peut répondre au stress de l'environnement (**Moons et al., 1995**).

Le principal rôle de l'ABA et le plus important est le contrôle d'un stress. Habituellement, les racines sont les premières affectées par le manque d'eau et elles réagissent en produisant de l'ABA qui sera transporté par le système vasculaire vers les

branches et les feuilles où il provoquera une baisse de la transpiration par la fermeture des stomates (**Hartung et al., 2002**).

III.5-2 Ajustement osmotique

Face à l'augmentation des forces de rétention de l'eau dans un sol en cours de dessiccation, un ajustement osmotique peut se manifester, mais à des degrés variables, chez la plupart des végétaux. Les métabolites impliqués dans cet ajustement sont assez variés. Ces solutés ont des propriétés physiques et biologiques compatibles, même à forte concentration, avec les fonctions métaboliques (**Tahri et al, 1998**).

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

L'ajustement osmotique apparaît aujourd'hui comme un mécanisme majeur d'adaptation aux stress ionique et osmotique qui s'exprime par la capacité d'un végétal à accumuler, au niveau symplasmique et de manière active des ions tels que les K^+ , Na^+ et Cl^- ou des composés organiques tels que les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructanes) et certains amino-acides (proline, glycine bêtaïne, β -alaninebêtaïne, prolinebêtaïne). Parmi les acides aminés pouvant être accumulés, la proline représente l'une des manifestations les plus remarquables des stress hydriques et osmotiques. Son rôle d'osmotique a été rapporté par de nombreux auteurs. L'accumulation de la proline, induite par les stress, peut être le résultat de trois processus complémentaires : Stimulation de sa synthèse, inhibition de son oxydation et/ou altération de la biosynthèse des protéines. La proline serait synthétisée à partir de l'acide glutamique via l'acide 5 carboxylique 1 proline (P5C), mais également via l'arginine et l'ornithines (**Tahri et al, 1998**).

III.5.3 Accumulation de proline

L'accumulation de proline est l'une des manifestations les plus remarquables du stress salin et hydrique (**Belkhodja, 1996 ; Chen et Murata., 2002 ; Di Martino et al, 2003**). Le rôle de la proline dans la résistance au stress salin n'est pas encore élucidé. Il peut s'agir d'un

osmoticum dont l'accumulation cytoplasmique permet de neutraliser les effets ioniques et osmotiques de l'accumulation du sel dans la vacuole (**Naidoo, 2001 ; Rontein et al, 2002**). Selon un autre point de vue, l'accumulation de la proline n'est pas une réaction d'adaptation au stress, mais plutôt le signe d'une perturbation métabolique (**Dix et Pearce., 1981**). L'accumulation de proline en présence de NaCl est plus faible chez les espèces sauvages tolérantes que chez l'espèce cultivée sensible, ceci laisse penser que la proline ne joue pas un rôle essentiel dans la résistance au sel (**Tal et al., 1979**).

III.5.4 Production des antioxydants contre les ROS

Les ROS (Reactive Oxygen Species) sont depuis longtemps reconnues pour leur importance dans la réponse des plantes aux contraintes environnementales. Certains symptômes observés en situation de stress d'origine biotique ou abiotiques sont la conséquence d'une forte accumulation de radicaux libres oxygénés et d'une altération de l'homéostasie cellulaire. Ces symptômes traduisent à la fois une oxydation de la chlorophylle au niveau des feuilles, mais aussi la mort par nécrose de cellules isolées ou de groupements de cellules dans les différents tissus végétaux (**Parent et al., 2008**).

Lors d'un stress hydrique ou salin, l'inhibition de la cascade photosynthétique qui est à l'origine de la production de formes réactives de l'oxygène lorsque la plante subit des fluctuations environnementales importantes (**Larkindale et al., 2005**)

Nombreuses études ont montré que les ROS peuvent aussi intervenir dans les cascades de signalisation responsables de l'induction et la régulation de nombreux gènes de défense (protéines chaperonnes, Heat shock Proteins ; enzymes antioxydants, ascorbate peroxydase (APX), glutathione-S-transferase (GST) ; gènes liés à la pathogenèse (PR) (**Desikan et al ,2001 ; Vandenabeele et al., 2003 ; Appel et Hirt, 2004 ; Zago et al., 2006**)

III.5.5 Les stratégies d'adaptation

La présence de fortes concentrations de sel 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 est associé un stress ionique.

Ce type de stress est lié à la composition en éléments minéraux du sol et les carences en certains ions. (**Monneveux et This ,1997**).

En conséquence du stress salin, un troisième type de stress peut résulter, le stress nutritionnel. En effet des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale.

Selon le degré de la salinité dans le milieu les glycophytes en particulier sont exposées à des modifications de leur comportement morpho-physiologique (**Bennaceur et al., 2001**), biochimique (**Mekhaldi, 2007**) et minéral (**Martinez et al., 2007**).

III.5.6 Tolérance au sel des légumineuses

La tolérance des végétaux à la salinité correspond à leur aptitude à vivre en présence de sels solubles sans que leur croissance et leur développement ne soient perturbés (**Rathina sadapathi, 2000**). La tolérance à la salinité selon **Bernsteun (1963)**, est le degré avec lequel la plante ajuste sa pression osmotique en sacrifiant un minimum de son développement végétatif, ceci implique une accumulation d'éléments nécessaires pour maintenir la pression de turgescence. **Levitt (1972)** définit la tolérance à la salinité comme une accumulation des ions en absence d'effets négatifs sur la croissance. Selon **Hamdy (2002)** la tolérance des plantes à la salinité est définie comme étant la capacité des cultures à résister aux effets excessifs des sels au niveau de la rhizosphère.

La tolérance des plantes à la salinité varie en fonction des espèces parmi les végétaux, les légumineuses sont les plus sensibles (**Greub et al., 1985**). Parmi les légumineuses, les Médicagos sont les plus tolérantes à la salinité (**Eagleshan et Ayanaba, 1984**). Cependant, la réponse des espèces végétales à la présence de sels solubles dépend de l'espèce elle-même, de sa variété, de la concentration et de la nature des sels, des conditions de culture, et de stade de développement de la plante (**Djanaguiraman et al., 2006**).

Les plantes peuvent résister et s'adapter à la salinité en ayant recours à divers mécanismes :

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 permettent d'absorber les ions nutritifs utiles et de ré excréter les ions Na^+ (**Genoux et al., 2000**).

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

Dilution

La dilution des sels absorbés est liée, chez les plantes résistantes, à une forte rétention d'eau et au développement de la succulence, (**Levit, 1972**). Certaines halophytes accumulent

de grandes quantités de sels dans leurs tiges et feuilles dont le K^+ et Na^+ suite au développement de grandes cellules riches en eau pour diluer les sels, (Binet, 1982).

Compartmentation

Un organisme peut difficilement exclure totalement le Na^+ de ses tissus. Chez les plantes, une des stratégies de tolérance à la salinité des plus communes est la compartimentation des ions (Na^+ , Cl^-) en excès dans les tissus.

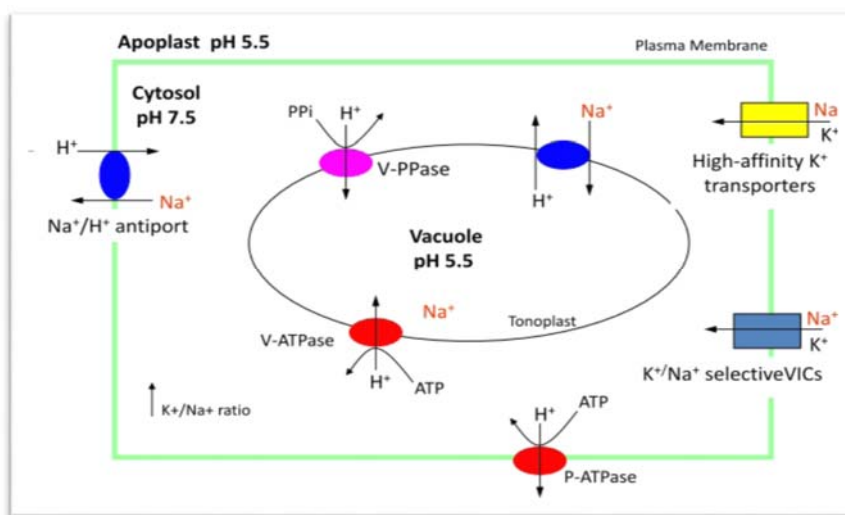


Figure 3. Régulations et compartimentation ionique (Mehdi, 2008).

Cette redistribution contrôlée se fait essentiellement dans les vacuoles (Niu et al., 1995 ; Yeo 1998 ; Horie et Schroeder, 2004) et éventuellement, à l'échelle de la plante entière, dans les organes les plus vieux ou les moins sensibles (Cheeseman, 1988 ; Munns, 1993). Pour être contrôlé, le déplacement des ions au travers des membranes implique un transport actif, consommateur d'énergie, qui utilise différents transporteurs (en densité variable) à la surface des membranes cellulaires (Orcutt et Nilsen, 2000 ; Tyerman et Skerrett, 1999). Une fois vacuolisé, le Na^+ en excès contribue à l'ajustement osmotique sans altérer les processus métaboliques. Les solutés compatibles accumulés dans le cytoplasme contrebalancent la pression pour contenir le Na^+ dans les vacuoles (Levitt, 1980 ; Yeo, 1983 ; Orcutt et Nilsen, 2000 ; Yeo 1998 ; Tyerman et Skerrett, 1999 ; Hasegawa et al., 2000).

Chapitre IV :

La fève *Vicia faba* L

IV. La fève *Vicia faba* L minor**IV-1 Généralités sur les légumineuses**

La famille botanique des légumineuses à grains est connue sous le nom de Fabaceae. Les légumineuses à grains sont cultivées surtout pour leurs graines qui sont récoltées à maturité, et qui sont riches en protéines et en énergie. Les graines mûres sèches de légumineuses sont utilisées soit comme ingrédients des aliments pour animaux ou pour la consommation humaine (**Jezierny et al., 2010**).

IV-1-1 Classification des légumineuses

En se basant sur les caractères floraux, la famille des légumineuses est subdivisée en trois sous-familles assez homogènes : les mimosoideae, les caesalpinioideae, les papilionaceae ou fabaceae.

Les Mimosoideae : Ils ont de très nombreuses petites fleurs en grappes serrées à nombreuses étamines saillantes en dehors des petits pétales ; les fleurs sont symétriques. Ce sont en majorité des arbres et arbustes des régions tropicales et subtropicales. Cette sous-famille comprend 62 genres et environ 2500 espèces. Parmi les 10 % d'espèces déjà examinées, la majorité sont nodulées (**Maxted et Bennett, 2001**).

Les Caesalpinioideae : Ils ont habituellement des fleurs comme des papillons et à étamines unies. Comprenant environ 150 genres et 2200 espèces, ils sont principalement des arbres ou arbustes retrouvés en régions tropicales et subtropicales. 23 % seulement des espèces parmi celles examinées, sont connues pour être nodules par les rhizobia. (**Maxted et Bennett, 2001**).

Les Papilionaceae ou Fabaceae : Ils représentent la sous-famille la plus diversifiée avec 429 genres et plus de 12000 espèces, principalement herbes et petits arbustes distribués dans le monde entier, présents en régions tempérées et tropicales, et incluent les légumineuses à grains bien connues telles que des haricots et des pois (**Ferchichi, 2006**). Elles ont des fleurs en forme de papillon avec un pétale supérieur appelé étendard, deux pétales latéraux ou ailes et une carène formée par deux pétales inférieurs unis ; les sépales au nombre de 5 sont soudés en tube ; les 10 étamines sont habituellement incluses dans les pétales, unies par leurs filets en un tube qui entoure le pistil, ou avec une étamine.

Parmi les 21% d'espèces déjà examinées la grande majorité (97%) sont nodulées (pois, haricot, fève, lentille...) par les rhizobia (**Maxted et Bennett, 2001**).

IV-2 La fève et la fèveole

Les fèves et fèveoles sont des cultivars d'une même espèce, *Vicia faba* L. Les fèveoles à petits et moyens grains sont originaires du sud- ouest de l'Asie (sud de la mer Caspienne) (Boyeldieu, 1991), et la fève provient vraisemblablement d'Afrique (Leclech, 1999). L'homme a probablement utilisé *Vicia faba* dans sa nourriture dès le néolithique (Boyeldieu, 1991). Elle est essentiellement cultivée dans le bassin méditerranéen, en Amérique du sud et en Asie du sud- est, cultivée aussi en Europe occidentale et du nord (Gallais et Bannerol, 1992). L'espèce *Vicia* appartient à la famille des légumineuses est choisie comme type de la sous-famille des papilionacées, et à la tribu des viciées (Boyeldieu, 1991).

IV-3 Classification systématique

Selon Reta Sanchez *et al.* (2008) , la classification botanique de l'espèce fève est comme suit :

Règne : Plantae

Division : Magnoliophyta

Classe : Magnoliopsida

Ordre : Fabales

Famille : Fabaceae

Sous-famille : Faboideae

Tribu : Vicieae

Genre : *Vicia*

Espèce : *Vicia Faba* L.

D'après Nuessly *et al.*, (2004), la fève est subdivisée selon la taille des graines en trois sous-espèces qui sont :

Vicia faba *vas*, *minor* Beek et *Vicia faba* *var, equina* Pers, ou fèveoles dont les graines sont respectivement de petite taille et de taille moyenne. Elles sont principalement cultivées pour l'alimentation animale ou comme engrais vert.



Figure 4. Graines de la fève, variété Sidi Aisch (Photo prise par Nouri le 09/04/ 2017).

Vicia faba var .major, ou fève proprement dite se distingue par la taille importante de ses graines. Elle est destinée à l'alimentation humaine.

IV-4 Description et écologie

IV-4-1 Description

La fève (*Vicia faba* L minor) est une plante diploïde (**2n=12 chromosomes**) et partiellement allogame (**Wang et al.,2012**). Elle est formée d'un appareil végétatif et d'un appareil reproducteur (figure 5).

Il s'agit d'une plante robuste, grimpante, qui peut atteindre plus d'un mètre. Ses feuilles, composées de 2 à 7 folioles, sont alternées sur la tige de section carrée, creuse et rigide. Son épiderme est lisse et brillant, sa couleur est de nuance verte (Evans, 1959). Les fleurs de la féverole sont au nombre de 2 ou 4 et sont groupées en inflorescences. Elles naissent à l'aisselle des feuilles. La fleur présente une structure typique de celle des Papilionaceae, c'est une corolle irrégulière blanche avec des taches brunes ou noires (**Stoddard et Bond, 1987**).

Ses fruits sont des gousses, caractéristiques de la famille des Fabacées. Comme chez tous les représentants de cette famille, les racines de la plante possèdent des nodules (**Evans, 1959**). Les graines sont charnues, de forme ovale, plus ou moins régulière et parfois rétrécies en leur milieu et de couleur blanche, beige, verte ou marron (**Elzebrock et Wind 2008**) .

D'après la grosseur de la graine, on distingue trois sous-espèces (**Brun,1991**) :

- La féverole à petits grains : *Vicia faba minor* ;
- La féverole à grains moyens : *Vicia faba equina* ;
- La féverole à gros grains, ou fève : *Vicia Faba major* .

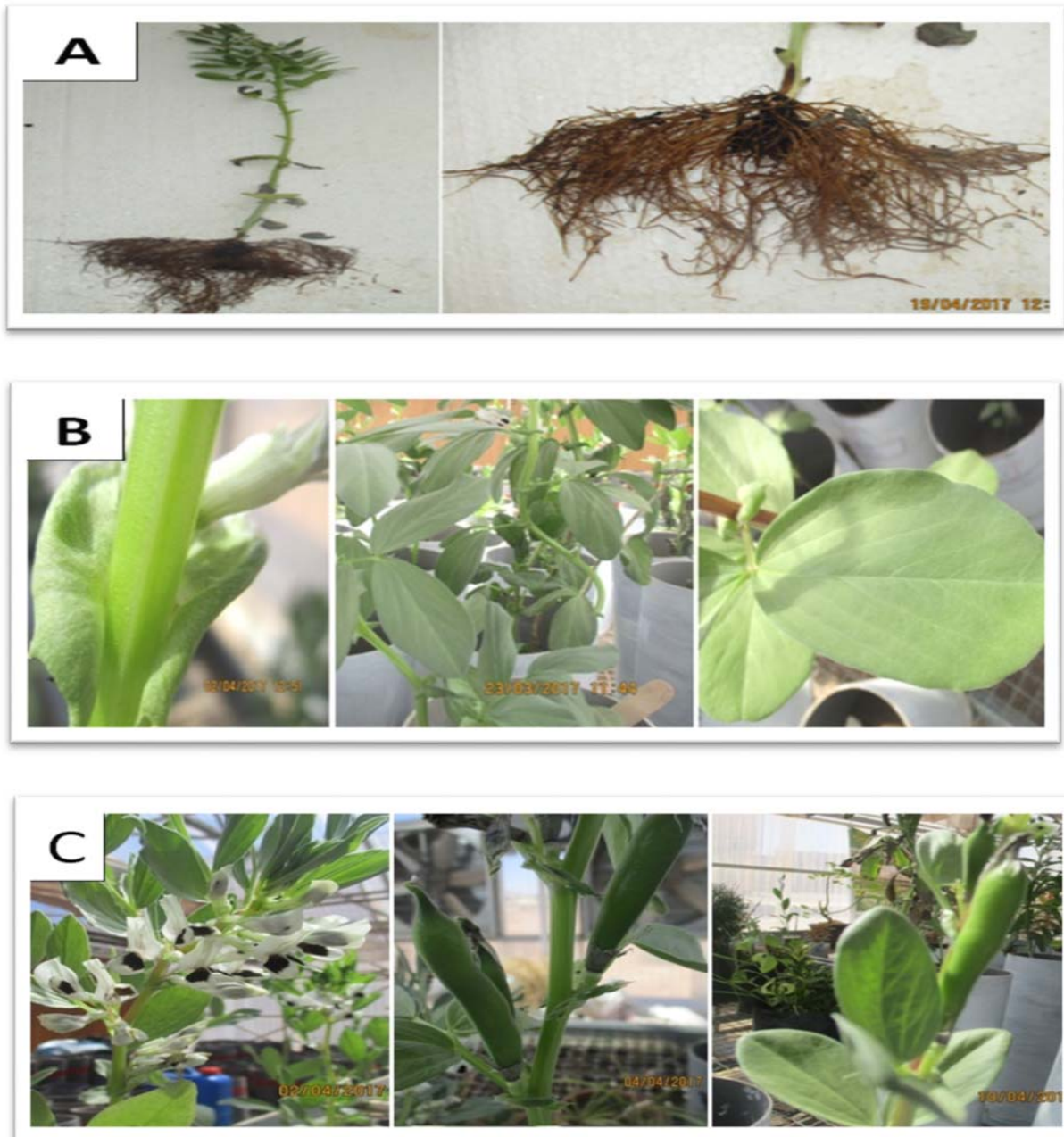


Figure 5. Différentes parties de la fève : A : le système racinaire, B : la tige et les feuilles, C : les fleurs, les fruits (Photo prise par Nouri Le 15/04/ 2017).

IV-4-2 Saisons de la culture de *Vicia faba* L minor

Deux types de développement peuvent être distingués chez la fève :

- Le type hiver ramifié à sa base, longue période végétative et présentant un certain niveau de résistance au froid ;
- Le type printemps à tige généralement unique, à rythme de végétation rapide, sensible au froid (**Moule, 1972**).

La fève pousse particulièrement bien dans les sols argileux ou de limon argileux bien drainés. Elle craint les fortes températures et la sécheresse à la floraison et au stade de remplissage de grains. La température optimale de croissance est comprise entre 21 et 27°C . Elle n'aime pas les sols humides et asphyxiants, ni les sols séchants et peu profonds, ni les pH trop faibles. Par contre, elle tolère bien les sols caillouteux avec une bonne capacité de rétention d'eau. Sa culture peut être effectuée dans les zones bénéficiant d'une pluviométrie supérieure à 400 mm/an (**Zaghouane, 1991**).

IV.4-3 Intérêt et domaines d'utilisation de la fève

La composition chimique globale (tableau 4) ne permet pas toujours de prévoir la valeur alimentaire de la graine, même lorsque sa teneur en facteurs antinutritionnels a été réduite à la suite d'un traitement technologique. La qualité de la protéine et la valeur énergétique de la fraction glucidique pourraient être liées à la structure intrinsèque des protéines d'une part, à celle des glucides d'autre part, voire à l'association des deux (**Kaysi et Melcion, 1992**).

La consommation de fibres est associée à divers effets bénéfiques sur la santé :

- Réduction du taux de cholestérol LDL ;
- Diminution de l'incidence des maladies coronariennes ;
- Augmentation du volume des fèces et réduction du temps du transit intestinal ;
- Diminution du risque de cancer du colon ;
- Amélioration de la tolérance au glucose ; ce qui est particulièrement bénéfique pour les diabétiques (**Oomah et al., 2011**).

Tableau 4.Composition chimique moyenne pour 100 g net de fève (**Fachmann et Kraut, 2006**).

Composition (g)		Vitamine (mg)	
Glucides	10 ,0	Acide ascorbique	82,00
Protides	5 ,40	Provitamine	0 ,100
Lipides	0,30	A(carotène)	0,300
Eau	82,0	B1(thiamine)	0,200
Fibres alimentaire	6,50	B2(riboflavine)	1,800
		B3(nicotamide)	
Minéraux (mg)		Apports énergétiques	
Potassium	210,0	K calories K joules	64,00 268,0
Phosphore	105,0		
Calcium	24,0		
Magnésium	18,00		
Soufre	27,00		
Sodium	4,00		
Chlore	14,00		

La fève offre également de grandes possibilités pour l'alimentation des animaux d'élevage (ruminants et volailles) grâce à son excellente valeur nutritive, à son appétibilité universelle et à sa préparation facile (**INIP, 2002**).

Toutes les légumineuses à graines peuvent fixer l'azote de l'air ; elles hébergent dans les nodules développés sur leurs racines, des bactéries du genre *Rhizobium* qui assurent la fixation de l'azote de l'air. Les graines de pois, de féveroles et de lupins sont faciles à stocker et à conserver (**Duc et al., 2010**).

Ils ont aussi un impact environnemental très positif lié à la réduction d'épandage d'engrais azotés, et par ailleurs réduction des risques de toxicité liés à l'utilisation de produits phytosanitaires (**Carrouee et al., 2003**).

IV.4.4 Production de la fève dans le monde et en Algérie

A l'échelle mondiale, la chine est le premier producteur de la fève, elle assure 43% de la production mondiale (14 millions de quintaux). Les autres pays producteurs sont l'Ethiopie

(7,15 millions de quintaux), l'Australie (4 millions de quintaux), le Royaume-Uni (3,77 millions de quintaux) et la France (3,06 millions de quintaux) (**Unip et Eurostat, 2014**). La production locale de légumineuses en général et de féverole en particulier est faible (Tableau 4). Ainsi, la valorisation de cette graine dans un produit alimentaire largement consommé pourrait promouvoir sa culture à de meilleurs rendements. Elle est utilisée comme légume frais et comme graines sèches dans l'alimentation humaine (**Maatougui, 2006**).

En Algérie, la fève a été l'une des espèces les plus utilisées dans les régions montagneuses, particulièrement en Kabylie, pour l'alimentation humaine et animale. La seule variété de féverole cultivée connue est (Sidi Aich). (**Zaghoulane, 1991**).

Tableau 5. Production de fèves et féveroles à Bejaia et en Algérie de 2010 à 2014 (**Ministère de l'agriculture, Algérie**).

	Production totale en Algérie		
Années	Superficie (ha)	Production (xq)	Rendement (qx/ha)
2010	34210	366252	10,7
2011	37090	379818	10,24
2012	36835	405070	10,99
2013	37668	423862	11,25
2014	37499	413886	11,03

Deuxième partie

Etude géophysique et climatique de la
zone d'étude

Chapitre I

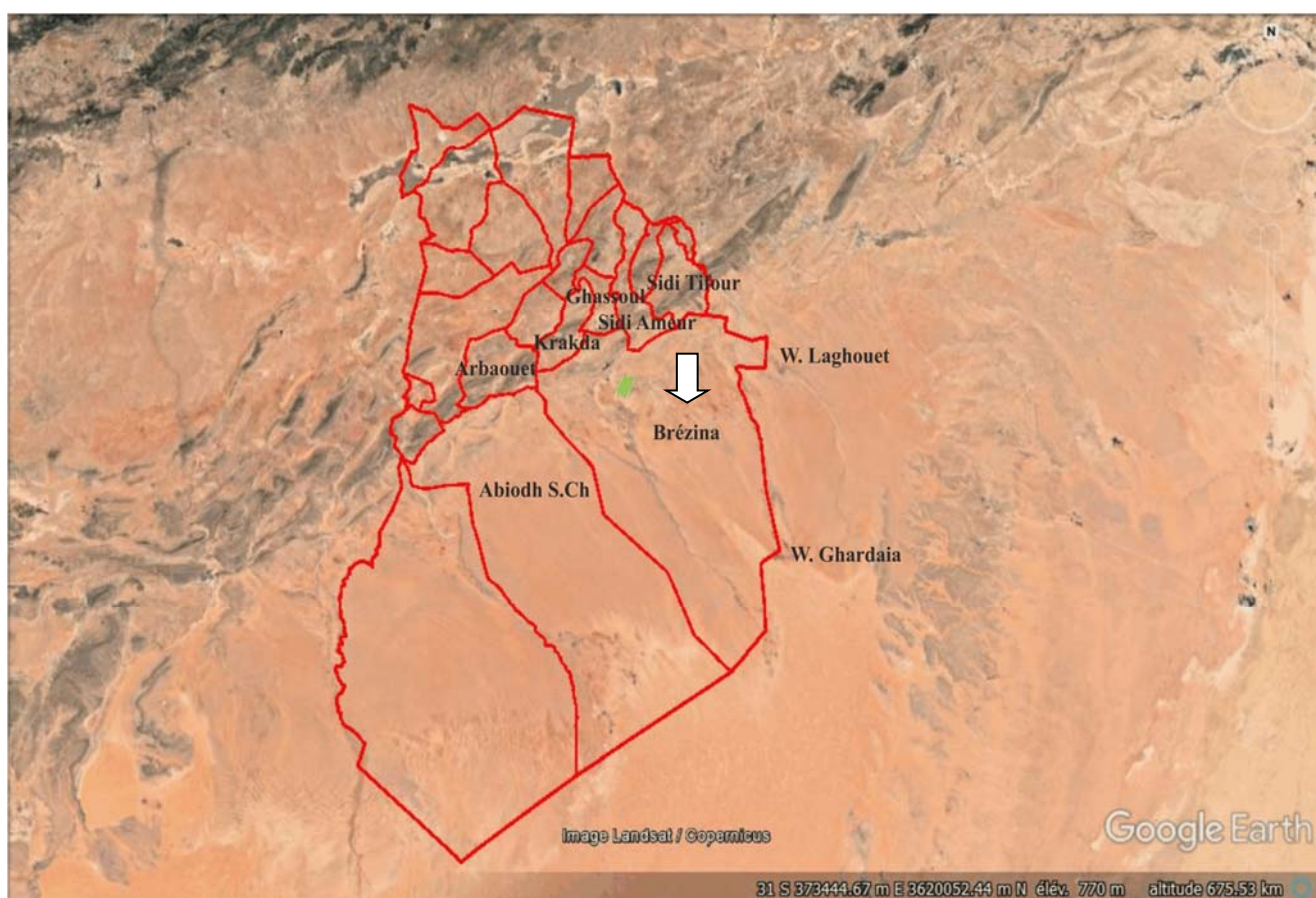
Présentation de la zone d'étude

I-1- Situation géographique

La commune de Brézina se situe au sud de la wilaya d'El BAYADH. Constituant l'espace de transition entre l'Atlas saharien et le pré Sahara, ses limites administratives constituées de :

- Les communes de Sidi Amar, Sidi Taifour, Ghassoul et Krakda au Nord ;
- La commune d'EL Abiodh Sidi Cheikh et Arbaouet à l'Ouest ;
- La wilaya de Ghardaïa au Sud ;
- La wilaya de Laghouat à l'Est ;

Le territoire de la commune de Brézina, s'étale sur une superficie de 16773,60 km² (figure 6)



La zone d'étude

Figure 6. Localisation géographique de la région de Brézina (Image satellitaire).

La parcelle d'étude cartographique se situe au sud et juste à côté du chef-lieu de la commune de Brézina dans une palmeraie occupant 176 Ha (figure 7).

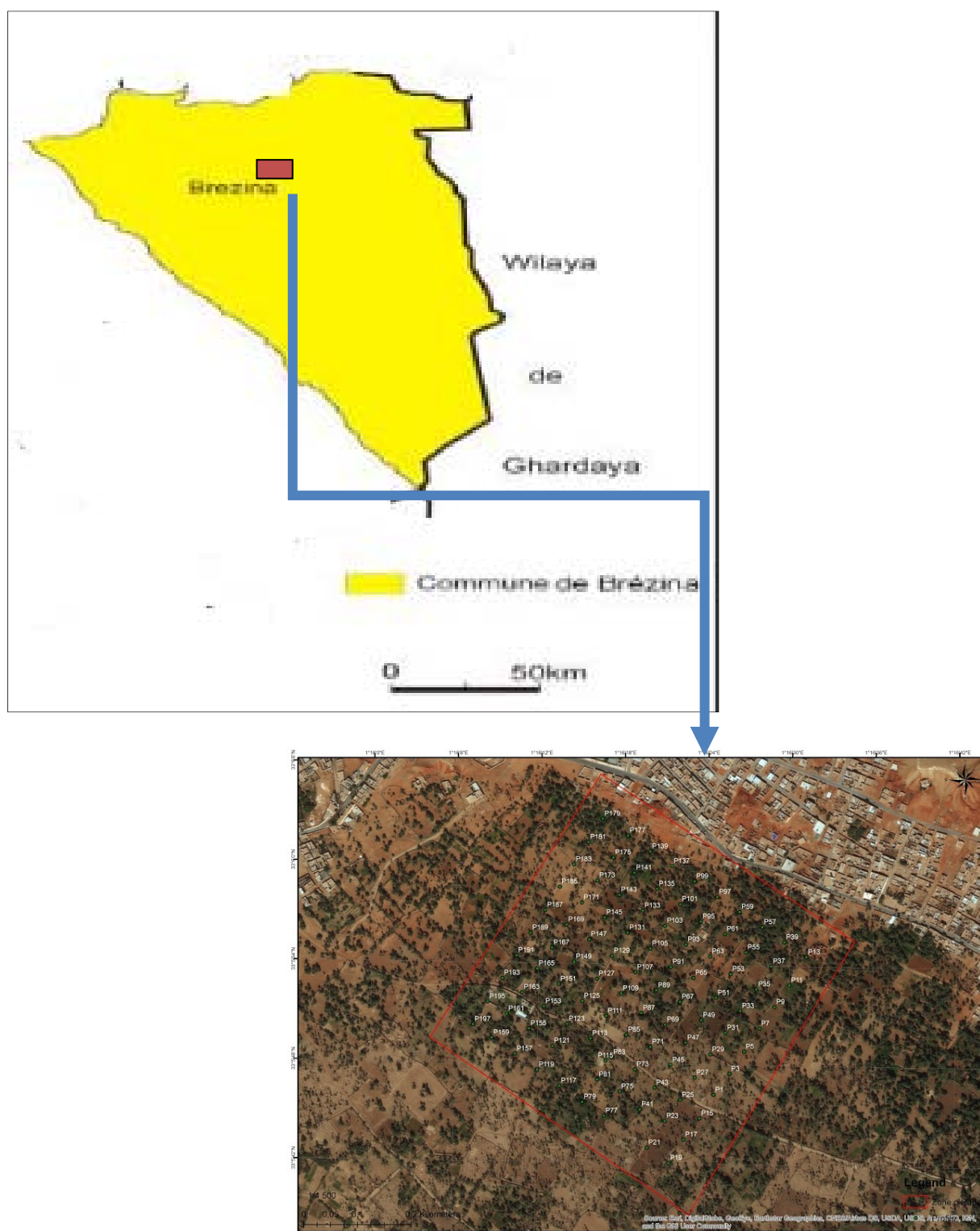


Figure 7. Situation de la parcelle étudiée par rapport à la commune de Brézina (Image satellitaire).

I-2- Hydraulique

Les principales actions de la commune dans ce secteur sont la satisfaction des besoins en alimentation en eau potable, la connaissance des potentialités hydriques et leur mobilisation (tableau 6 et 7).

Tableau 6. Châteaux et réservoirs d'eau potable

Commune	Château d'eau		Réservoirs	
Brézina	Nombre	Capacité M ³	Nombre	Capacité M ³
	04	450	04	1040

L'importance des centres urbains, ruraux et la forte croissance démographique impliquent une forte mobilisation et consommation en eau potable.

Tableau 7. Ressources d'eaux exploitées par AEP.

Commune	Ressources exploitées AEP irrigation			
Brézina	Forages		Puits	
	Nombre	Début L/s	Nombre	Début L/s
	10	54	02	04

I-2-1-Répartition des Barrages

La commune de Brézina dispose d'un grand barrage situé à 4 km du chef-lieu de la commune Brézina avec une capacité de 122 millions m³ (tableau 8). Ce barrage est destiné à l'irrigation d'une superficie de 1 200 hectares (BNIDR, 2009).

Tableau 8. Caractéristiques du barrage de Brézina (BNIDR, 2009)

Commune	Lieu d'Implantation	Nombre	Capacité Hm3	Volume Régulé Hm3	Taux d'Envasement %
Brezina	Larouia	01	122	11.50	-

I-3 Répartition des terres agricoles

La répartition en terres labourables, cultures permanentes et en pacages et parcours (tableau 9) .

Tableau 9. Répartition générale des terres de la commune de Brézina

Désignations	Superficie (ha)
Maraichage	170
Arboriculture	121
Phoéniciulture	220
Cultures fourragères	30
Céréaliculture	675
Périmètre irrigué	26691
Oléiculture	50
Parcours	1400000

(DSA ,2017)

I.5 Etude climatique

Le climat est de type Saharien au Sud, présaharien au Nord avec un microclimat au niveau de la palmeraie ; mais aucune culture n'est possible sans irrigation. L'eau est abondante mais l'évaporation aussi en raison des fortes températures estivales. A 900m d'altitude, Brézina est caractérisée par un climat continental et aride.

I.5.1 Climat de la région d'étude

Le climat est un facteur essentiel et influe sur le développement des végétaux. Ces derniers subissent l'influence du froid, de la chaleur et du vent. La rareté et l'abondance des pluies est le phénomène climatique le plus dominant qui caractérise la région d'étude.

Les principaux facteurs étudiés sont la température et la pluviométrie.

I.5.1.1 La température

Les données des températures minimales, maximales et moyennes sur 20 ans (1995-2015) de la région de Brézina sont obtenues à partir de la station du barrage de Brézina. Elles sont mentionnées dans le tableau 10.

Tableau 10.Températures mensuelles minimales, maximales et moyennes de la région de Brézina sur 20 ans (1995-2015).

Années	Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
	T (°C)												
1995-2015	Min (°C)m	3,90	4,51	8,39	11,24	15,72	20,83	25,53	24,19	18,06	14,31	7,94	4,79
	Max (°C)M	14,23	15,61	20,54	23,45	29,31	34,43	39,39	38,55	32,62	26,43	18,63	14,31
	Moy (°C)	9,07	10,06	14,46	17,34	22,52	27,63	32,46	31,37	25,34	20,37	13,29	9,55

(Station météorologique du barrage BREZINA, 2016)

Selon le tableau 10, sur une période de 20 ans, on observe que les mois les plus chauds sont : juillet (39.39°C) et août (38.55°C). Les mois les plus froids sont les mois de janvier et décembre avec respectivement une température moyenne de 9.07 (°C) et 9.55 (°C).

I.5.1.2 La pluviométrie

Les données pluviométriques mensuelles (mm) de la région de Brézina sont mentionnées dans le tableau 11.

Tableau 11. Précipitations mensuelles (mm) sur 20 ans (1995-2015) de la région de Brézina.

Mois	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Total
Années													
P (mm)													
1995-2015	7.65	8.67	16.79	16.61	12.27	5.76	6.72	11.09	26.26	40.00	38.53	18.00	172.81

(Station météorologique de barrage BREZINA, 2016)

L'analyse des données du tableau 11 montre que la répartition des précipitations est irrégulière, le mois d'octobre étant le plus pluvieux avec une valeur de 30.76 mm durant la période (1995-2015).

I.5.1.3 Les Vents

Le régime des vents à Brézina, est assez régulier, leur vitesse faible durant la nuit, croissante entre 10 et 11 heures, puis décroissante. En ce qui concerne l'orientation, huit mois sur douze, soit de Septembre à Mai, le vent souffle du Nord-est et du Nord-ouest.

I.5.1.4 Sirocco

Les données enregistrées font apparaître une manifestation du sirocco, de 24 jours par an. Son apparition est plus répandue durant la saison estivale (juin, juillet, et août) où la hausse des températures est directement liée à ce vent qui réchauffe l'air ambiant.

I.5.1.5 Synthèse climatique

a. Diagramme ombrothermique de BAGNOLS et GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de **BAGNOLS** et **GAUSSEN**, permet de définir la répartition des saisons humides et sèches au cours de l'année.

Ce diagramme est obtenu en portant en abscisse les mois de l'année et en ordonnée les températures et les précipitations, ces dernières avec une échelle double des premières.

D'après **GAUSSEN** et **BAGNOLS** un mois est sec lorsque le total de la précipitation P exprimé en « mm » est égal ou inférieur au double de la température T exprimée en « °C ».

La région de Brézina sur une période de 20 ans (1995-2015) présente une période sèche longue, persistante du mois de Janvier jusqu'au mi- octobre.

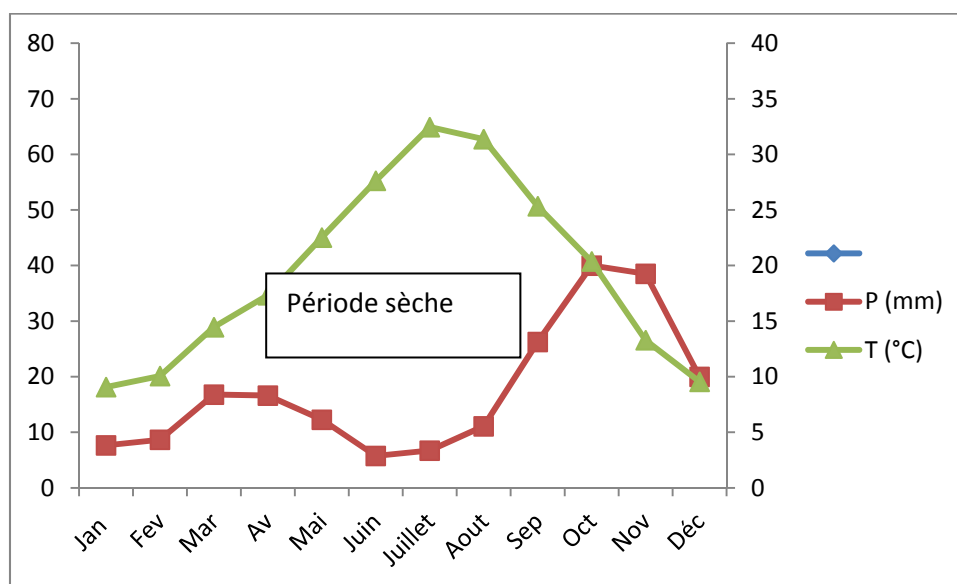


Figure 8. Diagramme ombro-thermique de la région de Brézina.

b. Climagramme d'EMBERGER

Le quotient pluviométrique d'EMBERGER s'obtient selon la formule proposée par Stewart (1969) in Stewart (1974).

$$Q2 = 3.43 \text{ P/M-m}$$

P : précipitations annuelles en mm.

M : moyenne des températures maximales du mois le plus chaud en °C.

m : moyenne des températures minimales du mois le plus froid en °C.

Pour calculer ce quotient, nous avons utilisé les données climatiques sur 20 ans (1995-2015) de la région de Brézina.

Tableau 12. Quotient pluviométrique d'EMBERGER

Station	T.max	T.min	P (mm)	Q2
Brézina	39.39	3.90	172.81	16.70

$Q2 = 3,43 \times 172,81 / 39,39 - 3,90 \Rightarrow Q2 = 16,70$

D'après la valeur de **Q2** et de **m**, la région de Brézina se situe dans l'étage bioclimatique saharien doux (figure 9).

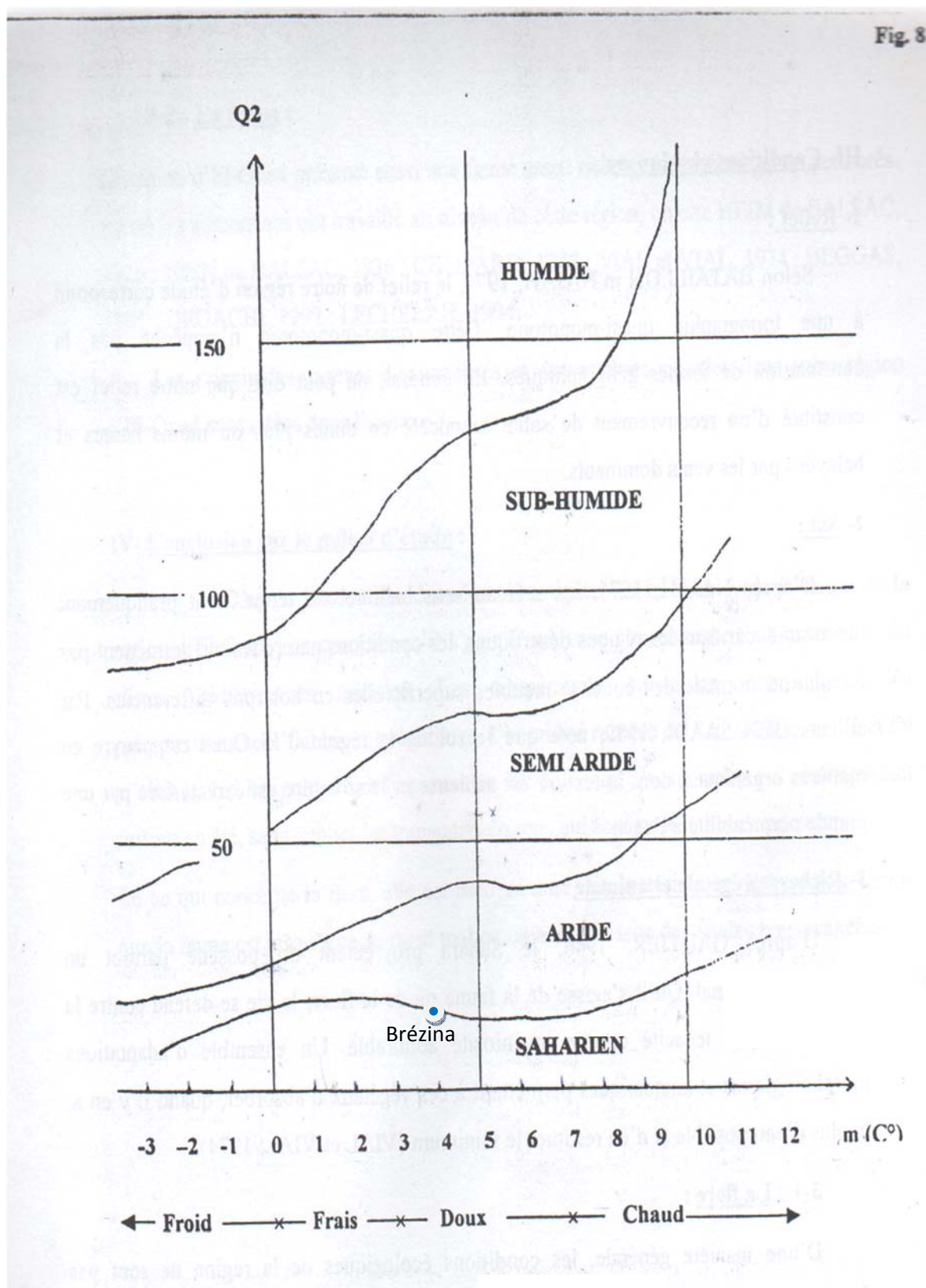


Figure 9. Localisation de la région de Brézina dans le climagramme d'EMBERGER.

I.6.Erosion

La zone d'étude appartient à une vaste étendue sans obstacle topographique, exposée aux vents souvent chargés de particules de sable. Cette zone d'étude se situe sur le versant sud de l'atlas saharien, et présente une topographie plate quasi uniforme, où la pente avoisine 1%, l'érosion éolienne est la plus dominante dans la région des formations sableuses, notamment au voisinage du périmètre irrigué (**BNIDR, 2009**).

I.7 Etude pédologique de la région de Brézina

Selon l'étude de **BNIDR (2009)**, Quatre grandes classes ont été identifiées dans la zone d'étude:

- Classe des sols peu évolués
- Sous-groupe typique, alluvions
- Sous-groupe halomorphe
- Classe des sols halomorphes
- Classe des sols Calcimagnésique
- Classe des sols minéraux bruts

I.8 Géologie

D'après la carte géologique de Brézina, la zone d'étude présente une topographie plane avec une pente faible vers le sud et limitée à l'Ouest par les oueds qui véhiculent les dépôts alluvionnaires vers une partie de notre zone d'étude.

I.8.1-Litho stratigraphie:**1- Le trias**

Il apparaît sous forme d'intrusion au cœur de structures anticlinales éventrées et souvent feuillées, il s'agit d'un amalgame d'argiles et marnes bariolés à évaporites riches en gypse et en Sylvine.

2- Le jurassique

Cette série existe sous le crétacé et n'affleure qu'au niveau des chamières des Djebels de l'Atlas saharien. On se limite à décrire succinctement le lias, le Dogger, et le Malm composant ce jurassique.

3- La série gréseuse-infra-crétacé

Cette série a été assimilée à un ensemble à prédominance gréseuse représentant une épaisseur d'environ 1000 m allant du callovo-Oxfordien à la partie basale du crétacé inférieur.

Le valanginien-hauterivien : Il est visible dans le Djebel el korit el Akhal où il est représenté par des faciès côtiers (calcaire à lumachelles à huîtres) et laguro-marin (Calcaire dolomitiques, marnes bariolées à passées gypseuses). Cette formation est surmontée par un blanc gréseux de 150 m faisant rappeler l'aspect des grès continentaux de l'Albien et du Barrémien. La puissance totale de la série diminue au Nord et au sud de l'Atlas saharien au profit du faciès gréseux.

On trouve aussi :

Le Barrémien-Aptien-Albien : Il apparaît en bordure de Djebel, notamment Djebel d'El Korit el Akhal et Kart.

Le cénomanien : Il se présente en une série de marnes verdâtres à intercalations de petits blancs de calcaire argileux jaunâtres où sont imbriqués des niveaux gypseux en paillettes parfois massifs de 1mètre. Il affleure également dans le flanc Nord de Djebel el Korit el Akhal

Le Turonien : Il affleure surtout dans le cœur des synclinaux perchés de l'Atlas saharien et dans le flanc Nord de Djebel et Korit el Akhal el Kart.

Le tertiaire continental : Il s'agit de l'éocène inférieur et moyen et de l'Oligocène visibles en bordure Nord de Djebel El Kohol et Djebel el korit el Akhal.,

I.8.2 Tectonique

La région de Brézina s'inscrit dans un vaste ensemble géo-structural sud Atlasique. La mise en place de ce dernier s'est faite lors des mouvements tectoniques majeurs de l'éocène qui ont façonné cette région en une succession de structures plissées dont les zones synclinales sont de style coffré et les zones anticlinales sont à flanc redressé et à charnière plate. Ces structures étirées et allongées selon une orientation Nord-est, Sud-ouest se trouvent pratiquement dans l'Atlas saharien.

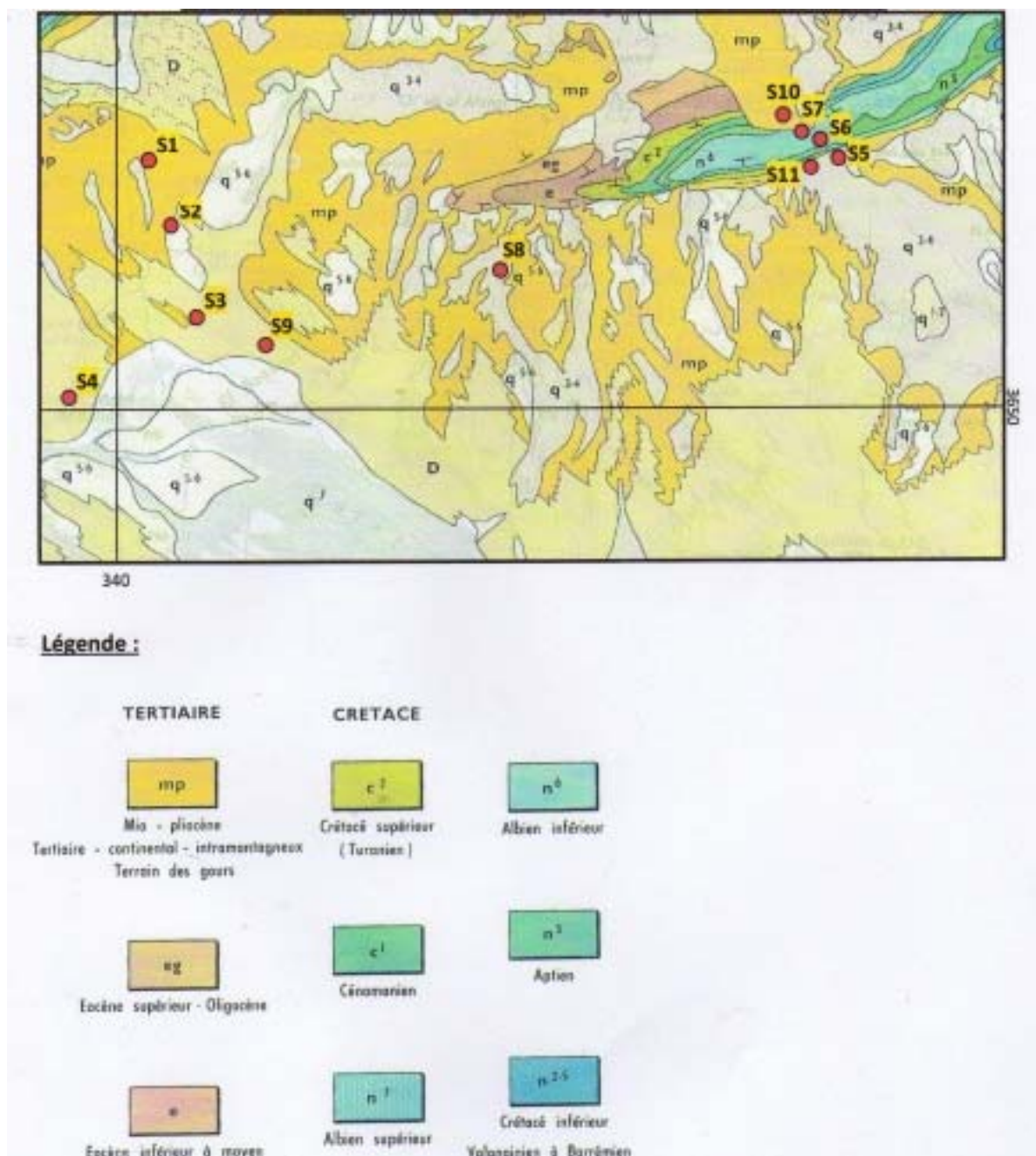


Figure 10. Extrait de la carte géologique de Brézina au 1/200000).

Troisième partie
Etude expérimentale

Matériels et méthodes

Chapitre I : Etude de la salinité des eaux d'irrigation et des sols

I-1 Délimitation de la zone d'étude

L'expérimentation s'est déroulée au niveau des parcelles cultivées, situées dans une zone salée de la palmeraie au Sud-est de Brézina. Les coordonnées de la parcelle, en longitude /Latitude (WGS 1984) se situent entre les longitudes 33°05'53.307''N, 01°16'01.196''E et entre les latitudes 33°05'51.865''N 01°16'24.346''E . Cette parcelle présente une superficie de 20 ha, et elle est occupée par la phoéniculture, l'orge, les légumineuses (Figure 11).

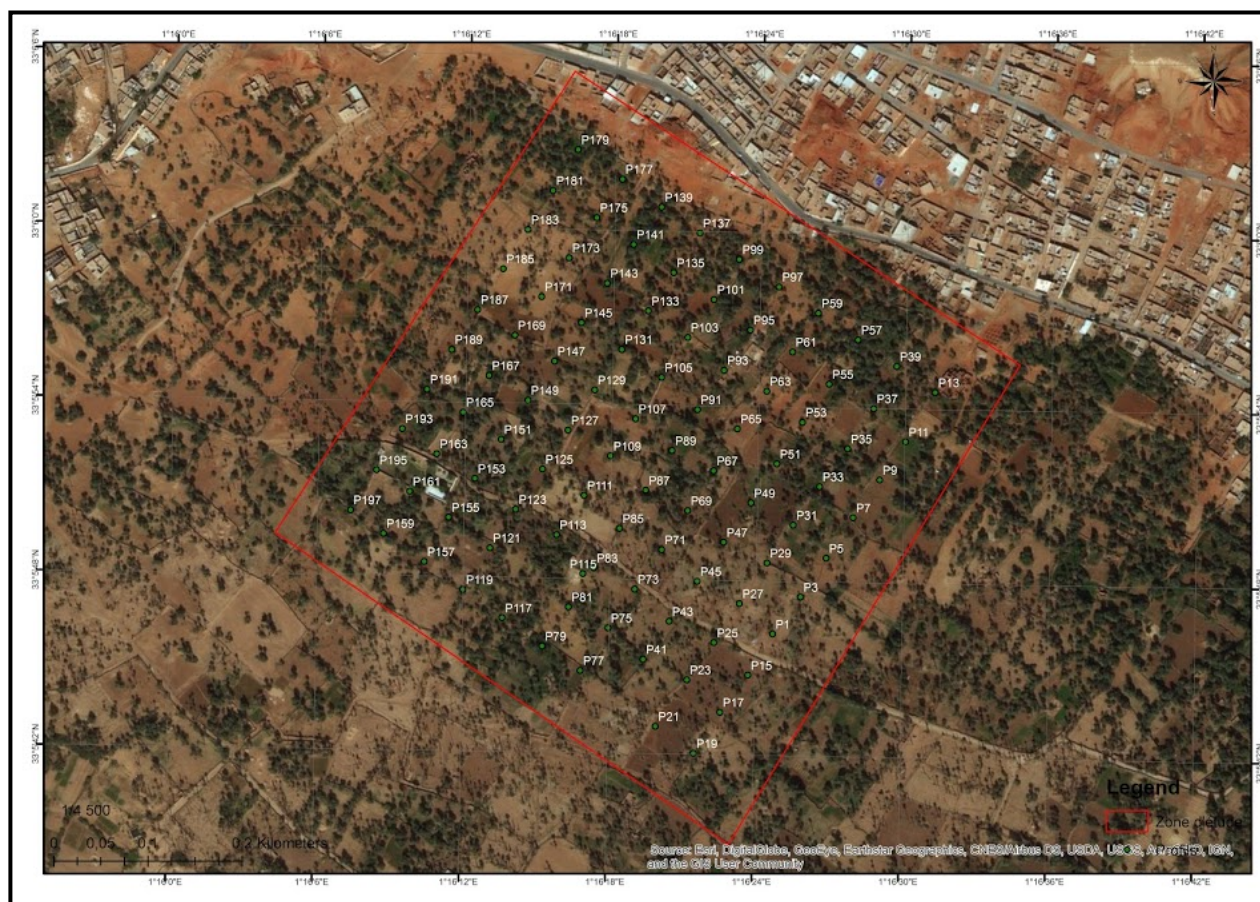


Figure 11. Délimitation de la zone d'étude (Google Earth, 2015)

I.2 Méthode d'échantillonnage et analyse des eaux d'irrigation

Dans le cadre de cette étude, on a effectué au total cinq prélèvements de l'eau du barrage dans des bouteilles en plastique d'une capacité d'un litre (tableau.13). Le matériel servant au prélèvement d'échantillons doit être propre et stérile pour éviter les variations qui peuvent affecter les échantillons d'eau pendant le transport, la période d'échantillonnage a été ciblée en conséquence. Deux campagnes de prélèvements ont été choisies sèches (juin 2013)

et pluvieuses (Janvier 2014) afin d'évaluer la qualité et l'évolution temporelle de l'eau pour l'irrigation.

Tableau 13. Cordonnées GPS des points de prélèvement de l'eau de barrage de Brézina.

Les Bornes de barrage	Points GPS
Borne 1	33°05'53.307''N 01°16'01.196''E
Borne 2	33°05'51.865''N 01°16'24.346''E
Borne 3	33°05'44.421''N 01°16'27.223''E
Borne 4	33°05'37.033''N 01°16'39.087''E
Borne 5	33°05'39.642''N 01°16'58.492''E

I.2 .1 Analyses chimiques de l'eau d'irrigation

Les échantillons ont été filtrés à l'aide d'un papier filtre pour éviter les éléments et les particules suspendus. Les paramètres physicochimiques étudiés sont la température, le pH, la conductivité électrique, le calcium, le magnésium, le sodium, le potassium et les ions.

I.2.1.1 Mesure du pH

Le pH et la température ont été déterminés par un pH-mètre de type Hanna HI 9024 muni d'une sonde mesurant la température (20°C). La lecture s'effectue directement sur l'écran de pH mètre après étalonnage par des solutions standard selon la température affichée.

I.2.1. 2 Conductivité électrique

La conductivité électrique de l'eau s'effectue directement sur l'écran de conductivimètre de paillasse de type Hanna HI 8733 muni d'une sonde mesurant la température (25°C).

I.2.1.3 Les sels dissous totaux (TDS)

Le calcul de la teneur des sels dissous totaux est basé sur le rapport entre la conductivité électrique et les sels dissous totaux (TDS) :

$$EC_w \text{ (dS/m)} \times 640 = \text{TDS (mg/l)}$$

I.2.1.4 Dosage de sodium, potassium et calcium

Les ions sodium, potassium et calcium ont été mesurés par spectrophomètre à flamme de type PFP7/C.

I.2.1.5 Dosage de Magnésium

Le Magnésium a été dosé par spectrophotomètre à absorption atomique.

En déduisant la SAR (Sodium absorption ratio)

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}}}$$

Le pourcentage en sodium est donné par :

$$Na(\%) = 100 \times \frac{Na^+ + K}{Ca + Mg + Na + K}$$

I.2.1.6 Dosage des anions Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} et HCO_3^- **a. Dosage du chlore**

Le dosage des ions chlorure d'une eau par la méthode de Mohr, ils sont dosés par titrimétrie au nitrate d'argent ($AgNO_3$ en $meq.l^{-1}$) en présence de chromate de potassium.

b. Dosage de SO_4^{2-}

Les sulfates (SO_4^{2-} en $meq.l^{-1}$) sont dosés par la méthode gravimétrique par précipitation sous forme de sulfate de Baryum ($BaSO_4$) ;

c. Dosage des carbonates et bicarbonates

Les carbonates (CO_3^{2-} en $meq.l^{-1}$) et les bicarbonates (HCO_3^- en $meq.l^{-1}$) sont dosés par titrimétrie avec du H_2SO_4

I.2.1.7 Calcul des paramètres des eaux à usage agricole

L'effet primordial de la salinité totale est de réduire la croissance des cultures et leur production. Elle est généralement exprimée par la minéralisation globale ou par la conductivité électrique (CE). Cette dernière est liée au résidu sec (RS) et à la pression osmotique π par les formules suivantes :

$$\text{RS (mg/l)} = 0.7 \cdot \text{CE } (\mu\text{s/cm})$$

$$\pi \text{ (atm)} = 0,00036 \text{ CE}$$

La salinité du sol est constituée par tous les sels de chlorures de sodium et des sulfates de magnésium, par conséquent la salinité potentielle (S_p) pourrait être estimée par (Doneen, 1961) :

$$S_p = \text{Cl}^- + \frac{1}{2} \text{SO}_4^{2-}$$

I.3 Prospection de terrain

Les principaux objectifs de notre travail consistent à démontrer la présence de sels dans les sols, à définir le degré de la salinisation et à suivre l'évolution spatiale et temporelle des sels. Afin de répondre à ces objectifs, il était nécessaire de localiser une parcelle se trouvant sur une zone salée. On a réalisé une sortie, sur terrain, pour une récolte de données existantes. Le propriétaire de la parcelle était notre principale source d'information. En effet, on a reçu des informations qui concernent la superficie, les limites, le travail du sol, les cultures pratiquées et la conduite de l'irrigation au niveau de la parcelle. Après la délimitation de la parcelle, par le biais d'un GPS de navigation de type GARMIN, on a établi un plan de cette parcelle, par l'utilisation du logiciel ARC-GIS, sur lequel on a défini un plan d'échantillonnage selon une grille régulière de 50 m x 50 m avec deux horizons (0 à 30 cm et de 30 à 60 cm), afin de positionner 160 points de mesures. Ainsi, on a créé une base de données numérique que nous avons intégrée dans un système d'information géographique. La prospection sur terrain l'a nécessité. Ensuite, on a procédé à l'étude des sols par l'ouverture des fosses pédologiques représentant les zones de différents niveaux de salinité, par une description détaillée des profils.

I.3.1. Analyses physiques et chimiques du sol

Les échantillons de sol ont été séchés à l'étuve à 105°C, pendant une nuit. La différence entre le poids avant et après le séchage exprime la teneur en eau de l'échantillon initial ;

➤ L'analyse granulométrique a été réalisée par la méthode à la pipette de Robinson. Elle consiste tout d'abord à détruire la matière organique et à disperser l'argile. La texture du sol est ensuite déterminée, en séparant les fractions granulométriques: Les limons grossiers (20 à 50 μm) et fins (2 à 20 μm) ; les argiles (0 à 2 μm), les sables fins (50 -200 μm) et grossiers (200-2000 μm).

- La mesure du pH a été effectuée par un pH-mètre, avec un rapport sol – eau est de 1/2.5.
- Le dosage du calcaire total (en %) a été réalisé par le calcimètre Bernard ;
- Le carbone organique (en g.kg^{-1}) : dosage par la méthode Ane ;
- La matière organique : Elle est déterminée par dosage du carbone organique en appliquant la formule ($M0\% = C * 1,72$);
- Le gypse (en %) est dosé par la méthode de précipitation par le chlorure de baryum et calcination pendant 2h, au four à moufle;
- Le dosage des anions solubles à partir de l'extrait de la pâte saturée du sol :
 - Les chlorures sont dosés par titrimétrie au nitrate d'argent (AgNO_3 en meq.l^{-1}) en présence de chromate de potassium ;
 - Les carbonates (CO_3^{-2} en meq.l^{-1}) et les bicarbonates (HCO_3^{-} en meq.l^{-1}) sont dosés par titrimétrie avec du H_2SO_4 ;
 - Les sulfates (SO_4^{-2} en meq.l^{-1}) sont dosés par la méthode gravimétrique par précipitation sous forme de sulfate de Baryum (BaSO_4) ;
- Le Dosage des cations solubles à partir de l'extrait de la pâte saturée du sol ;
 - Les éléments minéraux calcium Ca^{++} Mg^{++} , Na^+ et K^+ (exprimés en $\text{meq}/100\text{g}$ de sol) sont dosés, par l'absorption atomique ;
 - La détermination des bases échangeables et la capacité d'échange par la méthode de Bower

- L'extraction des cations échangeables (Ca^{++} , K^+ , Mg^{++}) par l'Acétate de sodium à pH 8.2.

I.3.2 Mesure de la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée

La conductivité électrique du sol est mesurée selon la méthode de la pâte saturée, après saturation de l'échantillon et centrifugation, la conductivité électrique sera mesurée par un conductivimètre de paillasse de type Hanna HI 8733 muni d'une sonde mesurant la température (25°C). Après avoir mesuré la conductivité électrique. Cette solution est destinée aux analyses du bilan ionique (cations et anions solubles).

I.4 Traitements numériques

Les traitements numériques des données (variabilité spatiale et cartographie assistée) ont été réalisés à partir du logiciel ARC-GIS. Ce logiciel se base sur la théorie des variables aléatoires régionalisées (**Matheron, 1965**). Cette théorie est bien adaptée aux problèmes de variabilité spatiale et d'estimation dans les sols (**Burgess et Webster 1980 ; vaucelin, 1982 ; Gascuel, 1984, Gascuel, 1987**). GEOSTAT-PC offre entre autres deux fonctions à l'utilisateur :

- Un module de variographie permet d'étudier la variabilité spatiale d'un lot de données, plus particulièrement la corrélation existant entre deux points de mesure comme fonction de la distance qui les sépare. Cette fonction est appelée variogramme.
- Un deuxième module permet de cartographier par krigeage une variable donnée, et de restituer le résultat de l'interpolation sous forme de carte d'iso valeurs, sur table traçante ou sur imprimante. L'intérêt de ce logiciel est d'être implantable sur tout micro-ordinateur compatible muni d'une carte graphique. Ceci permet de travailler rapidement en toute circonstance, notamment en utilisant un micro- ordinateur portable. L'estimation d'une carte par krigeage présente une nette supériorité sur les autres méthodes d'interpolation, particulièrement:
 - En réalisant une interpolation sans biais (l'erreur moyenne est nulle) ;
 - En fournissant, outre la carte estimée de la variable étudiée, une carte de variante (ou d'écart type) d'estimation.

Chapitre II : Etude de comportement de la fève *Vicia faba* L minor.

II.1 Dispositif général de l'essai

Cette partie constitue une étude de simulation de la première étape de ce travail afin de rapprocher le terrain, la fève ayant été cultivée dans les conditions contrôlées à différentes classes de la salinité selon les résultats de la cartographie par SIG.

S0 : Il représente les sols non salins qui sont inférieurs à 2 ms/cm ($CE = 0.25$ ds/m) ; S1 : Il représente les sols légèrement salins oscillant entre 2 à 4 ms/cm ($CE = 3$ ds/m) ; S2 : Il représente les sols salins compris entre 4 à 8 ms/cm ($CE = 6$ ds/m) ; S3 : Il représente les sols très salins oscillant entre 8 à 16 ms/cm ($CE = 9$ ds/m).

Les différentes classes des sols salés sont amendées ou non par le compost du pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill et par monoammonium Phosphate 12-61 suivant la méthodologie du travail suivant :

II.2 Matériels et méthodes

La réalisation de cette étude s'appuie principalement sur deux expérimentations, la première : l'effet de la salinité et de compost du pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill sur les comportements physiologiques et morphologiques de la fèverole *Vicia faba* L. minor. **Variété SIDI AICH**. Le deuxième essai c'est l'étude de l'effet combiné de la salinité et du monoammonium phosphaté 12-61 sur les comportements physiologiques et morphologiques de cette légumineuse. Les essais expérimentaux ont été réalisés au centre universitaire de Salhi Ahmed Nâama dans une serre automatisée où les facteurs température, humidité, et vent sont contrôlés (figure 12).



Figure 12. La serre automatisée du centre universitaire de Nâama (Photo prise par Nouri Le 12/03/2017).

II.2.1 Matériels sol

Le substrat de culture est un ensemble des sols provenant d'une parcelle située dans la palmeraie de Brézina à différents niveaux de salinité (S0, S1, S2 et S3) sur une profondeur de 40 cm (tableau 14).

Tableau 14. Caractéristiques physico-chimiques de substrat de la culture.

Caractéristique	Résultats
PH eau	7,98
CaCO ₃ Total (%)	1,69
CaCO ₃ actif (%)	
MO (%)	0,21
N total (%)	0,01
P ₂ O ₅ (ppm)	32,26
K ₂ O (ppm)	172,3
CEC (meq/100g)	11,25
Ca ⁺⁺ (meq/100g)	5,62
Mg ⁺⁺ (meq/100g)	0,82
K ⁺ (meq/100g)	0,165
Argile (%)	21,11
Limon (%)	13,15
Sable (%)	65,74
Classe texturale	LAS

Le sol est séché à l'air libre, trié pour éliminer les débris végétaux et les cailloux, ensuite homogénéisé (figure 13), 5 kg était pesé et placé dans chaque cylindre, les cylindres utilisés pour les expérimentations sont en plastique ont un diamètre de 20 cm et une profondeur de 40 cm, à fond criblé et garni de graviers pour assurer un bon drainage.



Figure 13. Tamisage de sol avec tamis de 2 mm de mailles (Photo prise par Nouri Le 20/02/ 2017).

II.2-2 Matériel végétal**II.2.2.1 Choix de l'espèce végétale**

Le matériel végétal utilisé est une légumineuse, la fève (*Vicia faba* L). Les semences de la fève ont été fournies par l'ITGC de Constantine. Elle a été choisie en raison de ses nombreux intérêts : croissance rapide, biomasse importante, sensibilité aux métaux et taille cellulaire importante. Son utilisation à l'échelle internationale dans des études d'écotoxicologie est croissante depuis plusieurs années.

II.2.2.2 Stérilisation des graines

Les graines sont désinfectées à l'eau de javel à 8% pendant 10 minutes et rincées plusieurs fois à l'eau distillée pour éliminer toute trace de chlore (figure 14).

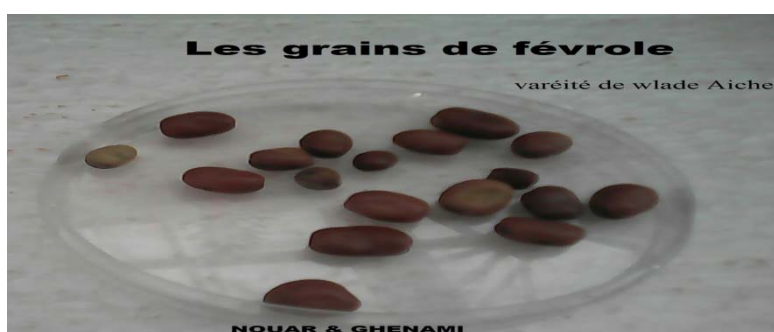


Figure 14. Grains de la fève *vicia faba* L minor (Photo prise par Nouri Le 20/02/ 2017).

II.2.2.3 Semis et repiquage

Le semis a eu lieu le 02-02-2017 dans des alvéoles couramment utilisées dans la serre. Après germination des graines de la fève *Vicia faba* L (figure 15), les jeunes plants ont été repiqués dans des cylindres en plastique contenant le substrat de culture.



Figure 15. Plantule de la fève (Photo prise par Nouri Le 20/03/ 2017).

II.2.3 Amendement des substrats

II.2.3.1 Cas du sol amendé par le Mono ammonium Phosphaté 12-61

a. Méthodes

Les lots sont répartis sur 48 cylindres soit 4 répétitions pour chaque dose saline traitée ou non par le Mono- ammonium phosphaté 12-61 qui se compose principalement de 12% d'azote et de 61 % de phosphore. Le phosphore se retrouve dans le MAP combiné à l'oxygène sous forme d'oxyde de phosphore (tableau.15).

Tableau 15. Propriétés physiques et chimiques du monoammonium phosphaté (MAP) 12-61

Paramètre	Résultats
P ₂ O ₅ (%)	61
P (%)	27
N total (%)	12
N-NH ₄ ⁺ (%)	12
pH (concentration 0.1%)	4.7
CE (ds/m) (Concentration 0.1%)	0.86

Le dispositif adopté sous serre est à deux facteurs (salinité et monoammonium phosphaté 12-61) selon le tableau ci-dessous.

Tableau 16. Dispositif expérimental adopté sous serre automatisée.

Dose de MAP (g/5 kg de sol)	Salinité du sol	Nombre de répétition
0	S0	4
	S1	4
	S2	4
	S3	4
1	S0	4
	S1	4
	S2	4
	S3	4
1.5	S0	4
	S1	4
	S2	4
	S3	4

Total = 48 cylindres

MAP : monoammonium phosphaté 12-61

II.2.3.2_Cas du sol amendé par le compost de pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill

a. Méthodes

Les cylindres utilisés sont en plastique. Le fond de chaque cylindre a été garni d'une couche de gravier pour assurer un bon drainage et les éponges afin d'éviter le lessivage des sels solubles. Ils sont remplis chacun de 5kg de substrat, composé de 4 différentes doses salines les témoins (S0), (S1), (S2) et (S3), Ce substrat est ensuite amendé ou non par le compost du pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill soit 0, 10 et 20% (tableau.18)

Le tableau.17 représente les propriétés physico-chimiques du compost de pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill.

Tableau 17. Propriétés physico-chimiques de compost du pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill

Paramètre	Résultats
pH eau	6,70
CEd1/5 (dS/m)	0,021
MO (%)	17,00
N total (%)	0,850
P ₂ O ₅ (ppm)	393,41
K ₂ O (ppm)	209,11
CEC (meq/100g)	20,25
K ⁺ (meq/100g)	0,447

Le substrat de culture (sol et compost du pin d'Alep) a été vigoureusement mélangé manuellement afin d'obtenir un substrat homogène (tableau.18).

Tableau 18. Poids sec de compost du pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill par rapport à la masse totale du sol.

Pourcentage de compost (%)	0	10	20
Masse totale de sol (kg)	5		
Poids de compost par rapport au substrat (g)	0	500	1000

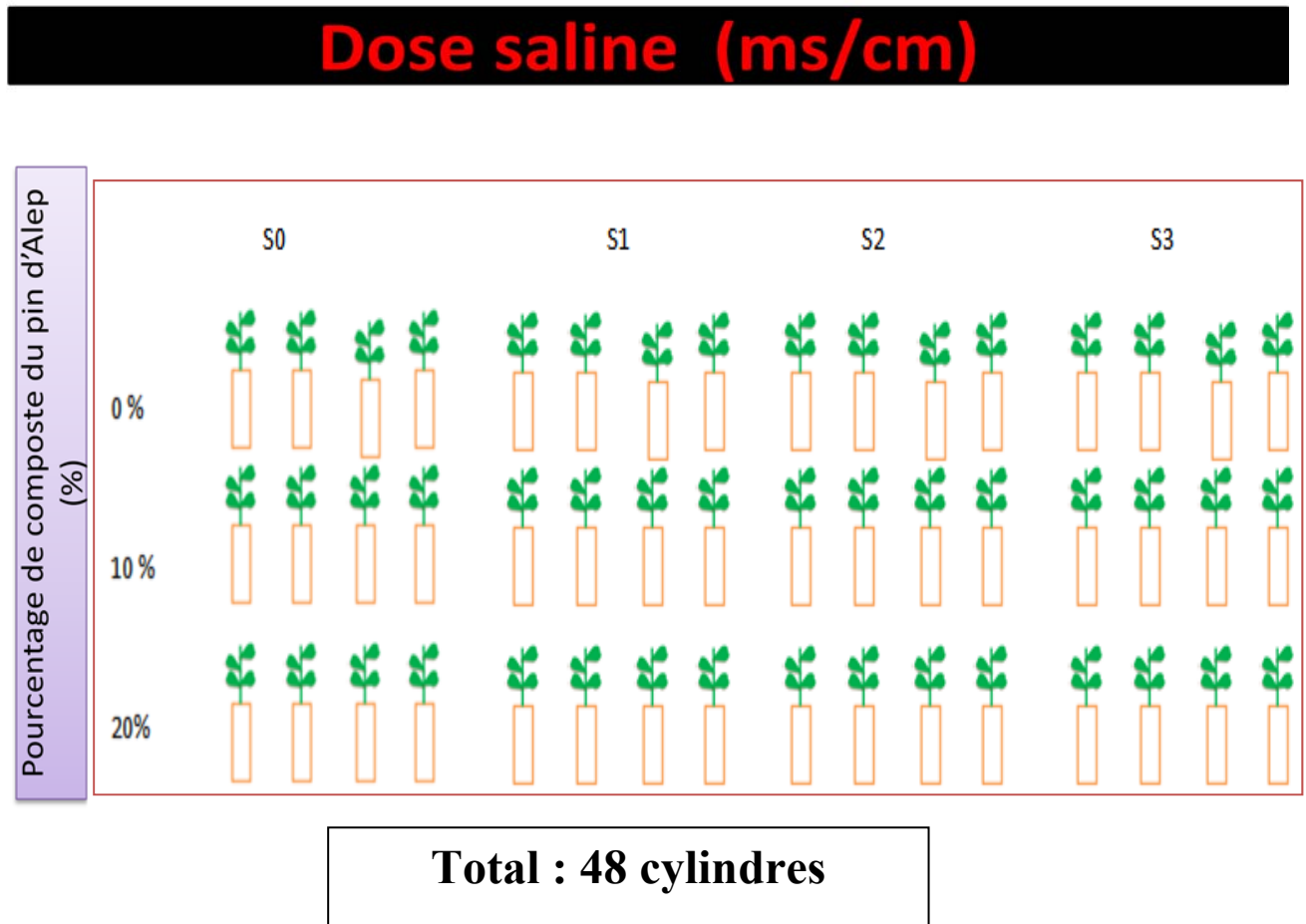


Figure 16. Dispositif expérimental adopté sous serre.

b. Arrosage et solution nutritive

L'irrigation se fait manuellement à l'eau distillée, la capacité de rétention est déterminée par la différence entre la quantité d'eau apportée avant l'arrosage et celle récupérée après 48 h de décantation. La réserve facilement utilisable RFU correspond à 30 et 60 % de la capacité de rétention soit 420 ml respectivement par cylindre. La fréquence d'arrosage est effectuée par la pesée des échantillons de cylindre à raison de trois fois par semaine, deux fois à l'eau déminéralisée et une fois à la solution nutritive de Hoagland et Arnon, 1938 diluée au 1/1000^{ème} couramment utilisée au laboratoire de physiologie végétale (tableau .19).

Tableau 19. Composition chimique de la solution Hoagland.

Produit	Composition	Poids en g/l
Nitrate de potassium	KNO_3	191.90
Nitrate de calcium	$(\text{NO}_3)_2 \text{Ca} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	129.80
Nitrate d'Ammonium	$\text{NO}_3 \text{NH}_4$	210
Sulfate de magnésium	$\text{SO}_4\text{Mg} \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	61.5
Phosphate monopotassique	$\text{PO}_4\text{H}_2\text{K}$	54.40
Di-potassium hydrogénophosphate	$\text{PO}_4\text{K}_2\text{H} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$	34.23
Chlorure de manganèse	$\text{Cl}_2\text{Mn} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	1.80
Sulfate de cuivre	$\text{Cu SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	0.176
Sulfate de zinc	$\text{Zn SO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.219
Acide borique	H_3BO_3	2.861
Molybdate d'ammonium	$\text{MO}_7 \text{O}_{24} (\text{NH}_4) \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	0.285
Complexe ferrique	EDTA ferrique $(\text{C}_{10}\text{H}_{12}\text{FeN}_2\text{NaO}_8)$	0.050



Figure 17. Dispositif expérimental sous serre automatisée (Photo prise par Nouri Le 20/04/ 2017).

II-3 Paramètres Mesurés

II-3-1 Paramètres biométriques

Cette étude a été menée pour évaluer l'influence de la salinité associée aux amendements par le monoammonium phosphate 12-61 et le compost du pin d'Alep sur la croissance et la physiologie de la fève *Vicia faba* L.

a. Longueur aérienne et souterraine

Les plants ont été récoltés en séparant les racines des tiges. Les systèmes racinaires ont été lavés soigneusement à l'eau distillée. Ils ont été essorés rapidement avec du papier filtre. Les longueurs des parties aériennes et souterraines ont été mesurées à l'aide d'une règle graduée. Les valeurs données sont les moyennes des quatre répétitions par variété et par traitement.

b. Surface foliaire et racinaire

Les feuilles et les racines ont été scannées à l'aide d'un scanner type *Epson Sx218* puis les images traitées grâce au logiciel *ImagJ* (figure 18) après la conversion de l'échelle de l'image du Pixel au cm.

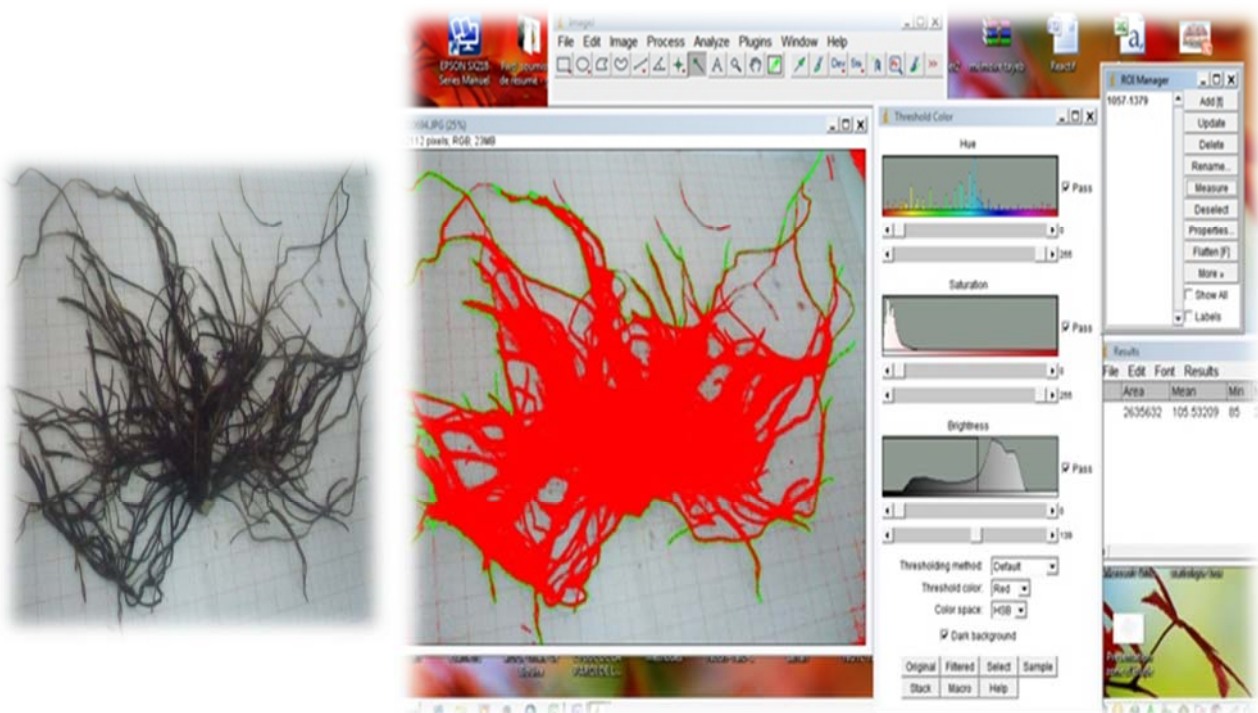


Figure 18. Méthode de mesure la surface racinaire et foliaire par le logiciel *ImagJ* (Image capturée par Nouri Le 20/04/ 2017).

c. Poids de la biomasse végétale

Pour chaque échantillon plant, on a déterminé le poids frais juste après le prélèvement et après passage à l'étuve à 80°C. On pèse les deux parties séparément avec une balance à précision.

II-3-2 Paramètres biochimique et physiologique**a. Extraction et dosage de la chlorophylle**

Le dosage de chlorophylle a été réalisé après broyage du matériel végétal dans le mélange de l'acétone et de l'éthanol. Les extraits ont été centrifugés, puis dosés par spectrophotométrie. La densité optique (Do) a été mesurée à deux longueurs d'ondes : (645 et 663 nm). Les concentrations en chlorophylles totales (Chlorophylles a et b), exprimées en mg. g⁻¹ de matière fraîche MF sont données selon les formules :

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

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

$$\text{Chl(a+b)} (\mu\text{g/g MF}) = \text{Chl a} + \text{Chl b}$$

V : volume solution extraite et W le poids de matière fraîche de l'échantillon En déduisant le déficit hydrique suivant la formule :

$$D = (\theta_m - \theta) / \theta_m ;$$

θ_m = teneur maximum ; θ = teneur réelle.

b. Détermination de la proline

- La proline est dosée selon la méthode de **Monneveux et Nemmar (1986)** . Ses teneurs sont exprimées en μmol de proline.100 mg du poid frais,
- La lecture de la densité optique à 525 nm s'opère sur un spectrophotomètre de type Turner, après étalonnage de l'appareil par le mélange (acide acétique+ eau distillée+ acide ortho phosphorique + Ninhydrine). La teneur des échantillons inconnus est déterminée par la suite grâce à une courbe d'étalonnage.

c.Dosage du maldondialdéhyde

La détermination des quantités de malondialdéhyde selon la méthode de (**Wilbur et al., 1949**). Au cours des phase finales de la peroxydation lipidique, les peroxydes se décomposent en composés volatiles responsables de l'odeur de rance. Il y'a notamment formation d'aldéhydes dont l'aldéhyde malonique qui réagit avec l'acide thiobarbiturique pour former un complexe rose qui absorbe à 530 nm. Ce complexe rend compte de la quantité

de malondialdéhyde(MDA) . La Concentration en MDA a été calculée à l'aide du coefficient d'extinction molaire

$$DO = \epsilon \cdot C \cdot L \text{ (Lemba, 2011).}$$

DO : représente la densité optique.

ϵ : représente le coefficient d'extinction molaire.

C : représente la concentration en malondialdéhyde.

L : est le trajet optique de la cuve (1cm).

$$\epsilon : 1.56 \times 10^5 \text{ cm}^2\text{mol}^{-1}$$

II.3.3 Paramètres chimiques

II.3.3.1 Extraction et dosage des sels minéraux

Les procédés d'extraction des minéraux sont effectués sur les feuilles, racines des plantes stressées et témoins selon le protocole de LAFON et *al*, 1996) et qui consiste à déterminer la teneur en sodium et potassium d'une plante en procédant d'abord , par calcination et puis destruction complète de matières organiques (Martin-Prevel et al., 1984), le résidu est ensuite analysé. Enfin la lecture de la densité optique s'effectue sur spectrophotomètre à flamme, après avoir établi à partir d'une gamme étalon une courbe d'étalonnage qui permet de traduire la relation entre la densité optique et la concentration pour chaque élément : Na^+ , K^+ .

II.4 Analyses statistiques

Les données obtenues sont soumises à une analyse de la variance à deux facteurs en randomisation fixes de classification, les moyennes sont comparées selon le test de Newmean Keuls à 0.05, réalisé par le logiciel STATBOX 6.40 et confirmé par *statistica* 7. On considère que les résultats sont significatifs quand $P \leq 0,05$.

Résultats et discussion

Chapitre I

Résultats d'analyses de la qualité des eaux d'irrigation

Chapitre I : Résultats d'analyses de la qualité des eaux d'irrigation

I.1 Evolution temporelle de la qualité des eaux d'irrigation de la palmeraie de Brézina.

Les résultats des analyses physico-chimiques de la qualité des eaux d'irrigation du barrage de Larouia dans la campagne sèche (juin 2013) sont illustrés dans le tableau.20.

Tableau 20. Analyses de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation du barrage de Brézina dans la campagne sèche (**Juin 2013**).

Paramètre	pH	CE (dm/m)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ⁺⁺ (ppm)	Mg ⁺⁺ (ppm)	Cl ⁻ Me.l ⁻¹	SO ₄ ⁻	CO ₃ ⁻²	H ₂ CO ₃ ⁻	TDS	SAR
Moyenne	7,25	1,09	68,8	9,6	81	20	30,06	16,446	-	0,96	697,6	9.69

Les résultats des analyses de paramètres physico-chimiques des eaux d'irrigation du barrage de Brézina dans la campagne pluvieuse sont affichés dans le tableau suivant :

Tableau 21. Résultats d'analyses de la qualité physico-chimique des eaux d'irrigation du barrage de Brézina dans la campagne pluvieuse (**Janvier 2014**).

Paramètre	pH	CE (dm/m)	Na ⁺ (ppm)	K ⁺ (ppm)	Ca ⁺⁺ (ppm)	Mg ⁺⁺ (ppm)	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	CO ₃ ⁻²	H ₂ CO ₃ ⁻	TDS	SAR
Moyenne	8.15	1.30	65	9.5	81	19	30	16	-	0.9	864	9.19

D'après les résultats obtenus, la composition physico-chimique des eaux d'irrigation du barrage de Larouia (tableaux 20 et 21) se caractérise par un pH légèrement basique ($7,25 < \text{pH} < 8,15$), une conductivité électrique moyenne (CE) variant entre 1,09 et 1,30 dS/m à 25°C respectivement pour les temps secs et pluvieux. La valeur la plus faible de la teneur en sels totaux dissous (STD) a été enregistrée dans le temps sec soit 697 mg/l, ce paramètre augmentant durant le mois de Janvier avec 864 mg/l. Le ratio du sodium adsorbé (SAR) compris entre 9.19 et 9.69 progressivement pour les temps pluvieux et secs. Les cations et les anions se distribuent selon l'ordre suivant: $\text{K}^+ < \text{Mg}^{++} < \text{Na}^+ < \text{Ca}^{++}$ et $\text{H}_2\text{CO}_3 < \text{SO}_4 < \text{Cl}^-$.

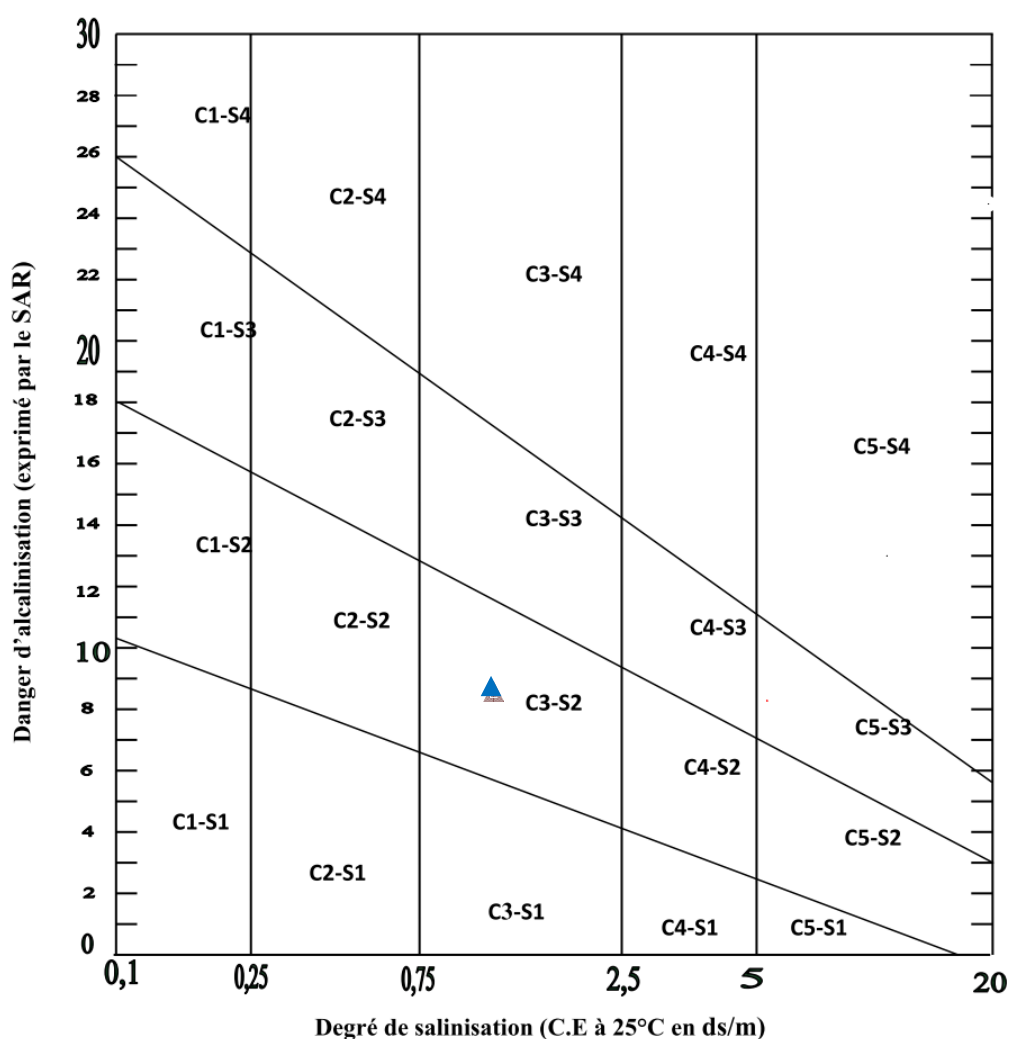


Figure 19. Diagramme de la classification des eaux d'irrigation du barrage de Brézina selon U.S.S.L 1954 dans les deux campagnes.

I.1.2 Classification des eaux d'irrigation du barrage de Brézina

Selon la classification des eaux d'irrigation proposée par l'United States Département of Agriculture (USDA) et. D'U.S.S.L (1954), le degré de salinité y est indiqué en termes de conductivité électrique (plus y a de sels dans l'eau plus la conductivité est grande). Dans notre cas :

La conductivité électrique de l'eau du barrage variant entre 1.09 et 1.30 dS/m respectivement pour les temps secs (mois de Juin) et pluvieux (Janvier), donc elles appartiennent à la Classe **3 (C3) : eaux à haute salinité**.

Ces eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint même avec un bon drainage des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaires et les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées ;

On utilise le SAR pour classer les risques liés au sodium dans les sources d'eau d'irrigation. L'eau caractérisée par un SAR supérieur à 10 aura tendance à produire une accumulation de sodium.

D'après les résultats obtenus le ratio du sodium adsorbé (SAR) des eaux du barrage de Brézina compris entre **9.19** et 9.69 progressivement pour les temps pluvieux et secs qu'elles appartiennent à la classe S2 , cette Classe caractérise l'eau qui présente un danger appréciable d'accumuler du sodium à un niveau dommageable pour les sols ayant une texture fine et une capacité d'échange cationique (CEC) élevée. Par contre, l'eau peut être utilisée dans les sols sableux ayant une bonne perméabilité.

Selon le diagramme U.S.S.L 1954 de la classification des eaux d'irrigation, L'eau du barrage de Brézina appartient à la classe C3S2 (figure.19).

I.1.3 Diagramme de Piper

A partir du diagramme de piper nous remarquons que leur faciès géochimique est chloruré-calcique. Dans les deux campagnes des hautes eaux à Janvier 2014 et des basses eaux en juin 2013. Les eaux du barrage de Brézina ont une tendance très remarquable vers la salinisation. Les cations sodium et calciques, marquent la totalité des eaux du barrage représentés sur le triangle des cations, traduisant ainsi l'origine de ces eaux.

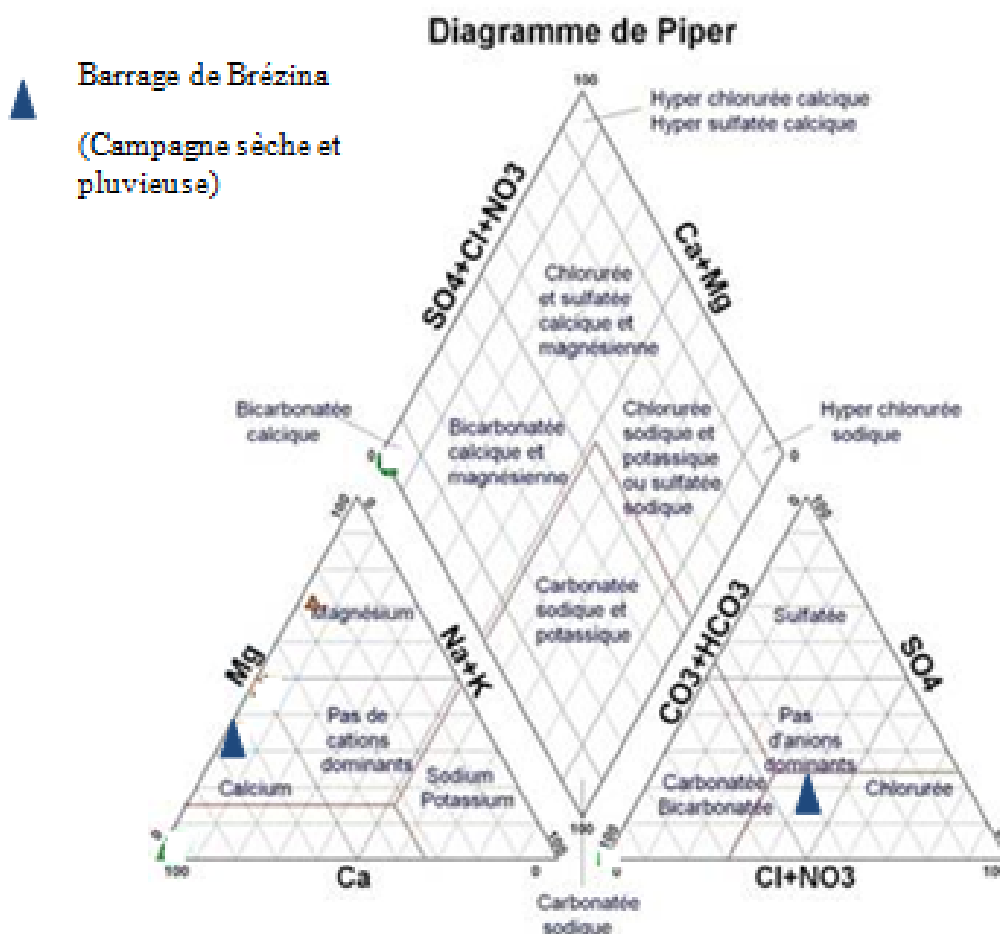


Figure 20. Diagramme de Piper des anions des eaux d'irrigation du barrage de Brézina.

I.1.4 Résiduel sodium carbonates

Le concept de Résiduel sodium carbonate (RSC) utilisé suite aux travaux de **Eaton (1950)** et de **Richards (1954)** (**Marlet et Job, 2006**).

$\text{RSC} = \text{Alcalinité carbonate} - \text{Ca} - \text{Mg} \dots\dots\dots \text{meq/l}$

$\text{RSC index} = \text{HCO}_3/61 + \text{CO}_3/30 - \text{Ca}/20 - \text{Mg}/12 \text{ (ppm)}$

Si le RSC est positif, c'est la voie alcaline relative à la précipitation de calcite/sépiolite, dans le cas contraire ($\text{RSC} < 0$), c'est la voie saline neutre. Dans ce cas, deux cas peuvent se présenter en fonction du signe de l'alcalinité résiduelle appliquée à la précipitation de calcite de sépiolite et de gypse (**Marlet et Job, 2006**) :

Tableau 22. Valeur du Résiduel sodium carbonates de l'eau de barrage de Brézina dans les campagnes sèches et pluvieuses

Campagne	RSC
Sèche	$RSC < 0$ $RSC_2 = \text{Alcalinité carbonatée} - Ca - Mg^{+} < 0$
pluvieuse	$RSC < 0$ $RSC_2 = \text{Alcalinité carbonatée} - Ca - Mg^{+} + SO_4^{-} < 0$

Le résultat montre que RSC est négative ce qui explique que notre eau d'irrigation tend vers la voie saline neutre, l'alcalinité résiduelle devient négative, on parle alors de la voie saline neutre à dominance **chlorurée**.

Conclusion

Au terme de ce travail, l'évaluation de la qualité physico-chimique des eaux de barrage de Larouia utilisées en irrigation dans la palmeraie de Brézina a révélé qu'elles appartiennent à la classe des eaux à salinité élevée (C3), avec ratio du sodium classe (S2) qui représente les eaux à danger appréciable d'accumuler du sodium à un niveau dommageable pour les sols ayant une texture fine et une capacité d'échange cationique (CEC) élevée, le faciès de cette eau est chlorurée calcique.

Chapitre II

Cartographie des sols salins de la palmeraie de Brézina

II. Cartographie des sols salins de la palmeraie de Brézina

II.1 Etude des paramètres physico-chimiques du sol de la zone d'étude

II.1.1 Résultats de la prospection de terrain de l'unité 1

Unité N° 01: Sols peu évolués d'apport alluviaux avec efflorescence saline superficielle

- Date de prélèvement : Juin –Novembre 2016
- Coordonnées Lambert : N 33°04'35.0''E 001°22'10.6'', altitude 907m
- Pente : 0.5 %
- Lithologie : Alluvions
- Géomorphologie : Plat
- **Végétation** : Palmier dattier à cime dégradée, Harmel *Peganum harmala*, *Tamarix* (figure.21)
- Système d'irrigation : Submersion
- La superficie : 05 Ha



Figure 21. Sol et végétation de l'unité 1, (a) palmiers dattiers avec cime dégradée (Photo prise par Nouri Le 20/11/ 2016).

00 – 30cm: Couleur **10YR 5/4** à texture argilo limoneuse, absence de structure, matière organique décelable, très faible Effervescence à l'HCl. Efflorescence saline.

30 – 60cm: Couleur **10 YR 5/5** à texture argileuse, absence de structure .Pas d'effervescence à l'HCl.

60-120 cm : Couleur **10 YR 5/5** à texture argileuse, absence de structure. Pas d'effervescence à l'HCl.

II.1.2 Résultats des analyses physico-chimiques au laboratoire de l'unité 1

Campagne Juin 2016

Les résultats portent sur les paramètres physiques et physico-chimiques des échantillons de sol prélevés, au cours de deux campagnes, sur trois niveaux de profondeur (tableau.23)

Tableau 23. Résultats analytiques de la moyenne des profils de l'unité 1 (Juin ,2016)

Paramètres	0-30 cm	30-60 cm	60-120 cm
Humidité (%)	10.5	15.50	15.00
Argile (%)	45.5	60	60
Sable (%)	4.5	5	5
Limon (%)	50	35	35
Classe textural	AL	A	A
pH	8.22	8.12	8.06
CE (dS/m)	23.21	20.52	16.22
Calcaire actif (%)	3	0.55	0.55
MO (%)	0.5	0.27	0.22
CEC (méq/10 g)	4.42	3.44	3.55
Na⁺ (ppm)	200	204	125
Ca⁺⁺ (ppm)	19	15.22	8.32
Mg⁺⁺ (ppm)	12.23	10.55	7.12

Le tableau 23 montre une variation de l'humidité moyenne du sol de l'unité 1 . Dans la campagne juin 2016, elle varie entre 10.5 % dans les couches superficielles et 15 à 15.50 % dans les horizons sous-jacents. Cette faible teneur en eau dans l'horizon de surface est due probablement à la forte évaporation d'eau pendant la campagne sèche où la température était plus élevée. D'après la loi de Darcy où le sol est saturé en eau, la vitesse d'infiltration de l'eau dans un sol enrichie en argiles de classe texturale lourde présente une perméabilité de l'ordre de 1mm/heure. En effet, nous pouvons constater que la texture des horizons sous-

jacents de l'unité1 intervient à la préservation de l'humidité des sols car l'infiltration se fait très lentement.

- **Analyses du potentiel Hydrogène (pH) et de la conductivité électrique**

Le tableau 23 indique que le pH est supérieur à 8 variant entre 8.05 à 8.22. Ces valeurs correspondent à une réaction du sol relativement alcaline, caractéristique principale des sols présentant un taux maximal du calcaire actif qui est de 3% et des eaux d'irrigation à faciès chloruré calcique en outre des sols fortement salés. Dans la campagne de juin 2016 de cette unité, la conductivité électrique a dépassé dans tout l'horizon le seuil de 16 ds/m qui représente les sols fortement salins (**Millard ,2011**). Elle diminue au fur et à mesure que la profondeur du sol augmente d'une part, d'autre part elle est corrélée négativement à la texture fine du sol. Cela laisse penser que ces profils sont du type ascendant tout en prenant en considération la qualité chimique des eaux d'irrigation qui appartiennent à la classe (C3 S2) qui subissent une forte évaporation en laissant les traces de sels à la surface du sol.

- **Analyses de la matière organique (M.O) et CEC**

Selon les résultats trouvés, le taux de MO est inversement proportionnel à la profondeur du sol. Il est compris entre 0.22 % dans l'horizon le plus profond (60-120 cm) et 0.55 % dans la couche superficielle (0-30 cm). La CEC varie entre 3.55 et 4.42 méq/10 g. Elle est diminuée vers les horizons du fond (60 à 120 cm). Selon les normes de la fertilité du sol de **Doucet, 2006** ce sol appartient aux catégories des terres à faible fertilité chimique.

Campagne Novembre 2016

Les résultats analytiques dans la campagne Novembre 2016 sur trois niveaux d'horizon des sols de l'unité 1 sont résumés dans le tableau 24.

Tableau 24. Résultats analytiques de la moyenne des profils de l'unité 1 (Novembre ,2016)

Paramètres	0-30 cm	30-60 cm	60-120 cm
Humidité (%)	20	18	18
Argile (%)	45.5	60	60
Sable (%)	4.5	5	5
Limon (%)	50	35	35
Classe textural	AL	A	A
pH	8.02	7.95	7.22
CE (dS/m)	16.71	19.13	19.22
Calcaire actif (%)	3.5	2.5	2.77
MO (%)	0.7	0.55	0.55
CEC (méq/10 g)	4.23	4.56	4.99
Na⁺ (ppm)	170	250	24
Ca⁺⁺ (ppm)	17	16.66	15.55
Mg⁺⁺ (ppm)	8	14	15.22

- Humidité du sol

Les résultats de la campagne pluvieuse (Novembre ,2016) révèlent une augmentation de l'humidité dans tous les horizons par rapport à la période sèche avec une différence maximale de 9% d'eau. Pendant la campagne pluvieuse, l'humidité était importante dans les couches superficielles (20%) par rapport à celle de la profondeur (18%). Cela s'explique sans doute par les précipitations en plus des eaux d'irrigation d'un côté, et, de l'autre, la chute de la température maximale durant le mois de novembre induisant à la diminution de l'évaporation de l'eau.

- **Analyses du potentiel hydrogène (pH) et la conductivité électrique**

Selon le tableau 24, le pH est compris entre 7.22 à 8.02 respectivement pour les horizons 60-120 cm et 0-30 cm. Ces valeurs correspondent à une réaction du sol relativement alcaline, caractéristique principale des sols fortement salés (Millard, 2011). Alors que la conductivité électrique varie entre 16.71 et 19.22 ds/m progressivement pour les horizons de 0-30 cm et 60-120 cm cette augmentation de la CE dans la profondeur due probablement au lessivage des sels solubles vers le fond pendant les précipitations ou l'irrigation.

- **Analyses de la matière organique (M.O) et CEC**

Le taux moyen de la matière organique de trois niveaux varie entre 0.7 % dans l'horizon de surface. Il stabilise son évolution dans le chiffre 0.55 % dans les deux horizons sous-jacents (30-60 et 60 -120 cm), cette distribution uniforme revient à son lessivage sous l'action de précipitation ou d'irrigation. La capacité d'échange cationique (CEC) a enregistré sa valeur la plus élevée chez l'horizon 60-120 cm soit 4.99 alors que la valeur la plus faible est affichée dans l'horizon de surface avec 4.23 méq/10g. Selon les normes de la fertilité du sol de Doucet, 2006 ces sols appartiennent aux catégories des terres à faible fertilité chimique.

- **Analyse de la texture des sols de deux campagnes**

D'après les tableaux.23 et 24, nous remarquons que les fractions granulométriques prédominantes sont les fractions argileuses et limoneuses. Dans l'horizon de surface, les argiles et les limons ont pratiquement les mêmes taux avec des moyennes respectives de 45 et 50%. Dans l'horizon de surface, la fraction argileuse prédomine avec un taux moyen de 60 %. La fraction sableuse est peu représentée avec une moyenne qui varie entre 4.5 et 5 %, dans tout le profil. Nous observons, au niveau des horizons profonds, une augmentation de la fraction argileuse, avec une moyenne de 45.5 à 60 % et une forte diminution de la fraction limoneuse avec une moyenne de 35 à 50 %.

Conclusion

L'irrigation avec une eau à haute salinité (C3) provoque une augmentation de la salinité et de l'alcalinité des sols de l'unité 1. La succession des périodes sèches où les irrigations sont réalisées et des périodes pluvieuses provoque une alternance du type de redistribution des sels.

II.2.1 Résultats de la prospection de terrain de l'unité 2

Unité 2. Sols peu évolués d'origine alluvionnaire

- Dates de prélèvement : Juin –Novembre 2016
- Coordonnées Lambert : N 33°04'35.0''E 001°22'10.6'' altitude 907m
- Pente : 0.5 %
- Lithologie : Alluvions
- Géomorphologie : peu accidenté
- Système d'irrigation : Aspersion et submersion
- **Culture** : Palmier dattier en production, Betterave, la fève, orge, Tomate (figure 22).
- Superficie : 15 Ha



Figure 22. Sol et culture de l'unité 2 de la zone d'étude (Photo prise par Nouri Le 20/03/ 2016).

-Les horizons :

00 – 30cm: Couleur 10YR 5/4 à texture limono-sablonne-argileuse, pas de structure, matière organique décelable, très faible effervescence à l'HCl.

30 – 60cm: couleur 10 YR 5/5 à texture limoneuse, absence de structure. Pas d'effervescence à l'HCl.

60-120 cm : couleur 10 YR 5/5 à texture limoneuse, absence de structure. Pas d'effervescence à l'HCl.

II.2.2 Résultats des analyses physico-chimiques au laboratoire de l'unité 2

a-Campagne Juin 2016

Les résultats analytiques dans la campagne Juin 2016 sur trois niveaux d'horizon des sols de l'unité .2 sont affichés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 25. Résultats analytiques de la moyenne des profils de l'unité 2 (Juin ,2016)

Paramètres	0-30 cm	30-60 cm	60-120 cm
Humidité (%)	15.4	16.5	18.5
Argile (%)	30	25	25
Sable (%)	15	15	15
Limon (%)	55	60	60
Classe textural	LSA	L	L
pH	7.89	7.54	7.98
CE (dS/m)	4.22	3.55	3.55
Calcaire actif (%)	1.55	-	-
MO (%)	0.89	0.55	0.45
CEC (méq/10 g)	7.22	5.55	6.45
Na⁺ (ppm)	123	75.22	65.22
Ca⁺⁺ (ppm)	55	45.22	22
Mg⁺⁺ (ppm)	8.12	8.57	7.55

- Humidité de sol

L'analyse du tableau 25 a montré que la teneur en eau dans le sol augmente au fur et à mesure que la profondeur est importante. Elle atteint sa valeur maximale dans l'horizon du 60-120 cm soit 18.5 % alors que l'horizon de surface n'a affiché que 15.4 %. Cette faible valeur est due éventuellement à la texture légère du sol d'une façon et la saison sèche d'autre côté.

- Analyses du potentiel Hydrogène (pH) et la conductivité électrique

Le pH a enregistré des valeurs qui tendent vers la neutralité, la valeur la plus faible étant de 7.54, ce qui est expliqué par le manque du calcaire actif dans cette unité et la faible salinité d'autre façon. La conductivité électrique est inversement proportionnelle à la profondeur du sol. Elle atteint le seuil dans l'horizon de surface soit 4.22 ds/m ce qui représente la classe des sols modérément salins. Elle devient plus faible dans les horizons sous-jacents avec une valeur de 3.55 ds/m.

- Analyses de la matière organique (M.O) et CEC

Les résultats montrent que le taux de MO est inversement proportionnel à la profondeur du sol. Il est compris entre 0.45% dans l'horizon le plus profond (60-120 cm) et 0.89 % dans la couche superficielle (0.30 cm). La CEC varie entre 5.55 et 7.22 méq/10 g respectivement pour les horizons 60-120 cm et 0-30 cm. Selon les normes de la fertilité du sol de Doucet, 2006, ce sol appartient aux catégories des terres à faible fertilité chimique.

b-Campagne Novembre 2016

Les résultats analytiques de la moyenne des profils de l'unité 2 durant le mois de Novembre 2016 sont regroupés dans le tableau ci-dessous.

Tableau 26. Résultats analytiques de la moyenne des profils de l'unité 2 (Novembre ,2016)

Paramètres	0-30 cm	30-60 cm	60-120 cm
Humidité (%)	10.55	12.25	12.55
Argile (%)	30	25	25
Sable (%)	15	15	15
Limon (%)	55	60	60
Classe textural	LSA	L	L
pH	7.22	8.45	8.12
CE (dS/m)	3.55	5.45	6.12
Calcaire actif (%)	1.02	-	-
MO (%)	0.78	0.50	0.45
CEC (méq/10 g)	9.22	8	5.22
Na ⁺ (ppm)	80	120	145
Ca ⁺⁺ (ppm)	25	45	44.22
Mg ⁺⁺ (ppm)	7.22	4.45	3.21

Le tableau 26 donne les caractéristiques physico-chimiques du sol de différents horizons de l'unité 2 durant la deuxième campagne novembre 2016.

- Humidité du sol

Le résultat de l'humidité du sol montre que ce paramètre augmente d'autant que la profondeur était élevée. Elle atteint sa valeur maximale dans l'horizon le plus profond soit 12.55 % mais reste moins importante par rapport à l'unité.1 de la même campagne, cela

revient sans doute à la texture fine du sol qui caractérise l'unité 1 en comparaison avec l'unité 2.

- **Analyses du potentiel Hydrogène (pH) et la conductivité électrique**

La valeur du pH est proportionnelle à la profondeur, elle évolue de 7.22 à l'horizon 0-30 cm vers 8.45 et 8.22 aux horizons 30-60 et 60-120 cm progressivement.

Au contraire de l'unité 01 durant la campagne novembre 2016, la conductivité électrique de l'unité 2, était moins importante que celle comprise entre 3.55 et 6.12 ds/m appartenant à la classe des sols légèrement et modérément salins.

- **Analyses de la matière organique (M.O) et CEC**

L'analyse des matières organiques du sol durant la campagne pluvieuse a révélé une teneur importante dans l'horizon de la surface (0.78 %) par rapport aux horizons sous-jacents soit 0.50 et 0.45 %.

La CEC varie entre 5.22 et 9.22 méq/10 g. Elle est moins importante chez les horizons du fond (60 à 120 cm). Selon les normes de la fertilité du sol de **Doucet, 2006**, ce sol appartient aux catégories des terres à faible fertilité chimique.

II- 3 Evolution spatio-temporelle de la salinité des sols de la palmeraie de Brézina

Après l'analyse et les traitements des différentes données acquises sur terrain, soit par les analyses chimiques et granulométriques au laboratoire, soit par les données de la conductivité, nous allons procéder à interpréter les résultats de la cartographie des sols salés.

II-3-1 Campagne juin 2013

Les cartes obtenues montrent que les deux profondeurs de la parcelle présentent la même spatialisation de la conductivité électrique.

a- Horizon de 0-30 cm

Les résultats de l'occupation des sols salins de l'horizon 0.-30 dans la campagne Juin 2013 de la parcelle étudiée sont mentionnés dans le tableau et la figure ci-dessous :

Tableau 27. Répartition et occupation des sols salins en fonction de la conductivité électrique CE (ds/m).

Classes de salinité	S0	S1	S2	S3	S4
Moyenne de la conductivité électrique (ds/m)	1,25	2,61	4,98	11,96	34,87
Ecartype	0,40	0,58	1,00	3,09	11,32
Taux d'occupation (%)	28,00	32,00	22,00	5,00	13,00
Superficie (Ha)	5,60	6,40	4,40	1,00	2,60

On remarque une croissance des valeurs de la salinité qui commence au milieu de la parcelle vers l'extrême sud. La conductivité électrique moyenne du sol de la parcelle varie entre 1.25 ± 0.4 et 34.87 ± 11.32 ds/m (figure.23).

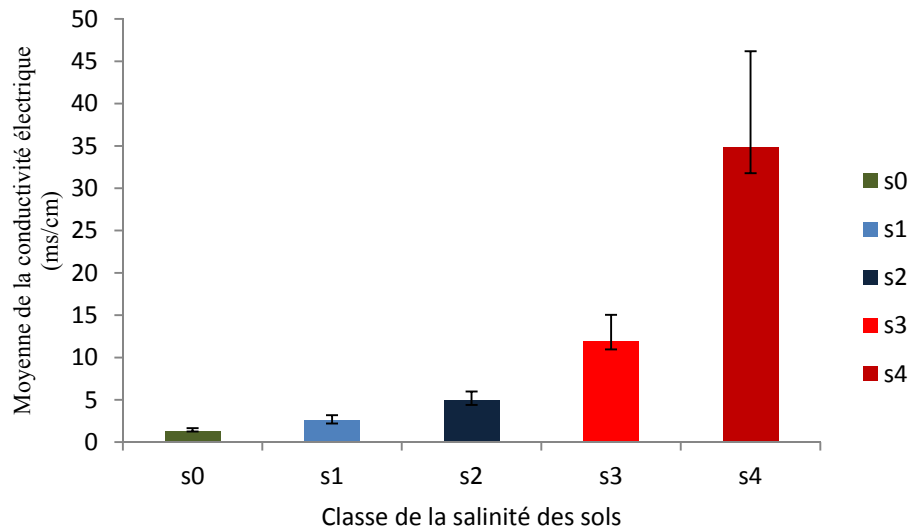


Figure 23. Moyenne de la conductivité électrique en fonction de la classe de la salinité des sols.

La carte dans la figure 25 de la conductivité électrique de la profondeur moyenne 0-30 cm montre une certaine variation de la salinité des sols. En effet, nous pouvons constater que la salinité est surtout concentrée au sud de la parcelle avec des valeurs oscillant entre 8.1 et 48 ds/m soit un taux d'occupation de 18 % qui appartient à la classe S3 (5%) et S4 (13%) . Ce taux élevé de la salinité est dû probablement à la répartition non uniforme des taux d'argile dans l'horizon 0-30 cm et 30 -60 cm et le système d'irrigation par la submersion des palmiers abandonnés en absence de réseaux de drainage. En revanche, le nord de cette parcelle (figure 25) est moins touché soit un taux d'occupation de 60% appartenant aux classes S0 et S1 avec une moyenne de CE qui est comprise entre 1.25 ± 0.4 et 2.61 ± 0.58 ds/m. Cette répartition semble en conformité avec l'amendement organique du sol au cours des cultures intercalaires (la menthe, la fève..) et la fraction de la texture du sol de cette partie de la parcelle où les sols sont légers.

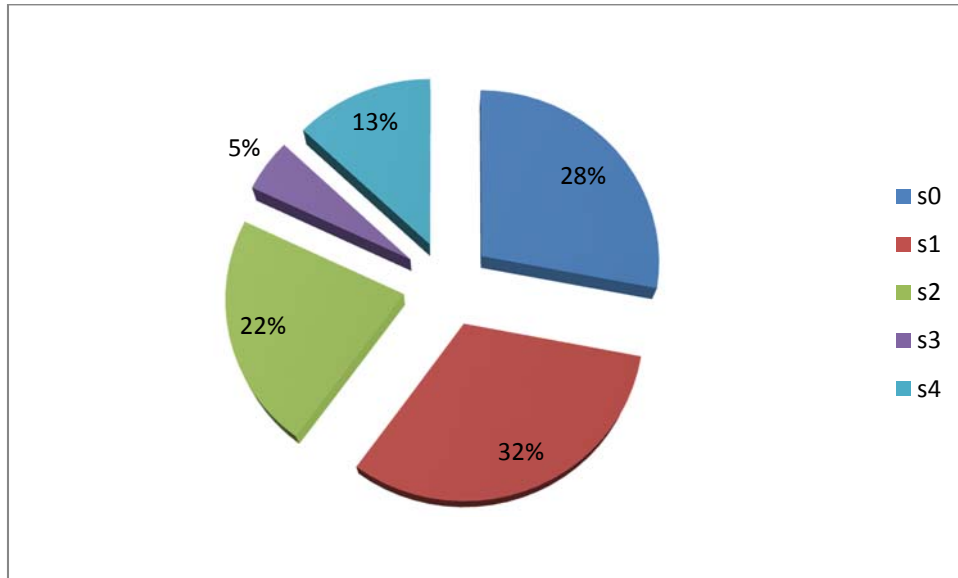


Figure 24. Taux d'occupation (%) des sols par les classes de la salinité.

Le sud de la parcelle est le plus exposé à la salinité comme cela est mis en valeur par les cartes de la CE. Beaucoup de facteurs peuvent expliquer cette situation :

- La présence d'argile
- Absence de lixiviation
- Qualité des eaux d'irrigation et Mauvais drainage (figure 26).

.

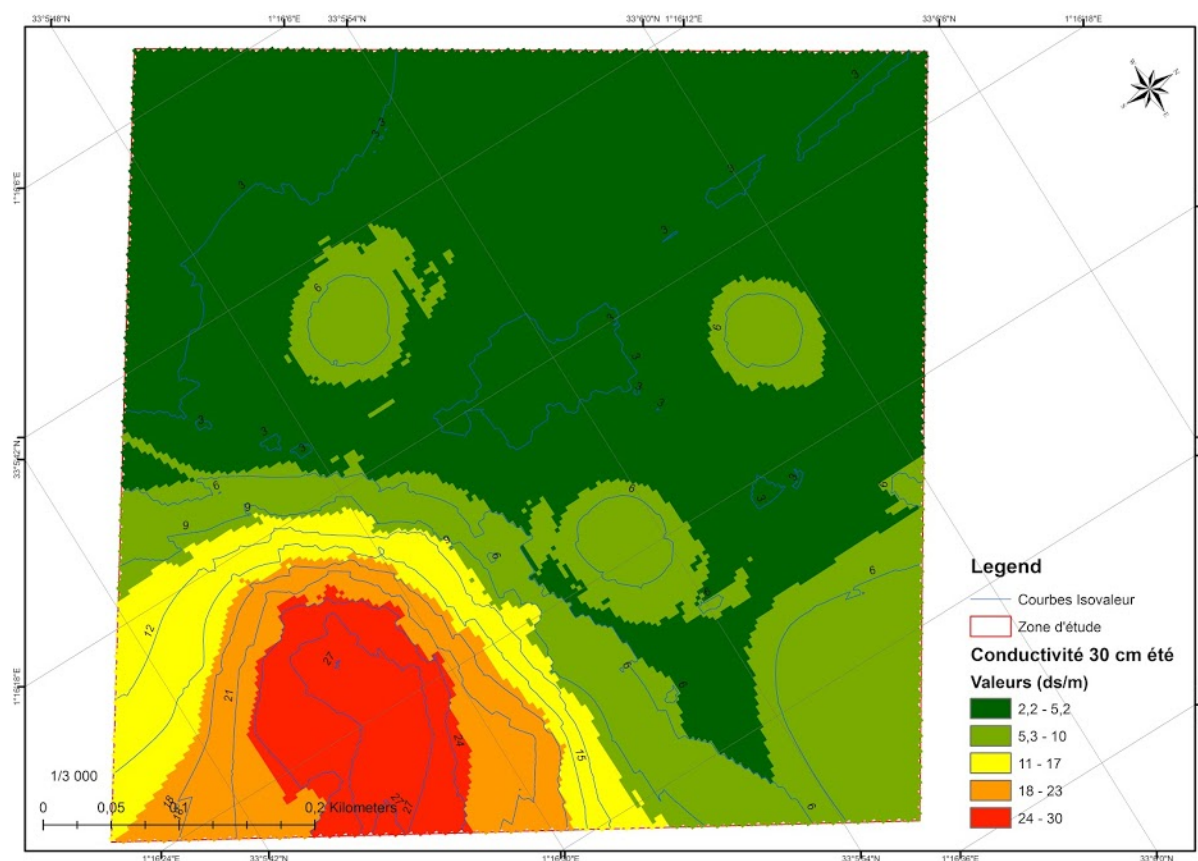


Figure 25. Carte de la salinité des sols de l'horizon 0-30 cm de la parcelle étudiée de la palmeraie de Brézina pendant la campagne de juin 2013.



Figure 26. Le sud de la parcelle étudiée (Photo prise par Nouri Le 20/06/ 2013).

B-Horizon : 30 à 60cm

Le tableau et la figure ci-dessous représentent la répartition de la salinisation du sol de l'horizon de 30 à 60 cm dans la campagne Juin 2013.

Tableau 28. Répartition et occupation des sols salins en fonction de la conductivité électrique CE (ds/m) de l'horizon 30 à 60 cm de la campagne Juin 2013.

Classes de salinité	S0	S1	S2	S3	S4
Moyenne de la conductivité électrique (ds/m)	1,16	2,56	5,24	9,75	31,3
Ecartype	0,43	0,75	0,85	1,52	9,99
Taux d'occupation (%)	24,00	47,00	13,00	6,00	10,00
Superficie (Ha)	4,80	9,40	2,60	1,20	2,00

La représentation graphique de la figure.27 des valeurs moyennes de la CE en fonction de leurs classes correspondantes atteste que sa valeur maximale atteint 31.3 ± 9.99 ds/m avec un taux d'occupation de 10% de la superficie totale de la parcelle vers le sud .

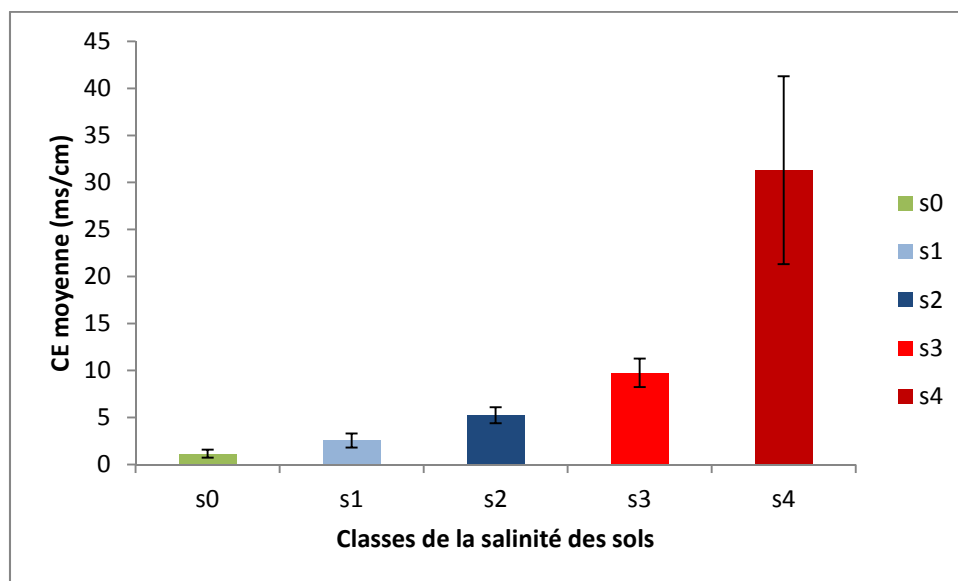


Figure 27. Moyenne de la conductivité électrique en fonction de la classe de la salinité des sols.

Alors que la partie Nord de cet horizon est caractérisée par une légère salinité oscillant entre 1.16 ± 0.43 et 2.56 ± 0.75 ds/m et des taux d'occupation de 24 et 47 % progressivement pour les classes S0 et S1.

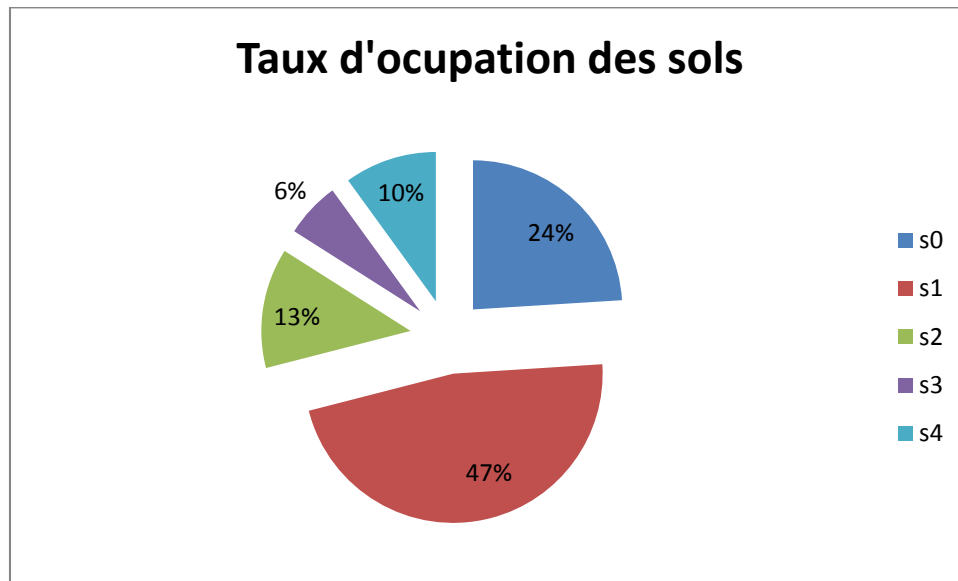


Figure 28. Taux d'occupation (%) des sols par les classes de la salinité de l'horizon 30-60 cm de la campagne Juin 2013.

Nous signalons une croissance des valeurs de la salinité qui commence au milieu de la parcelle vers le sud. Nous proposons les quatre classes suivantes :

Classe faible [2.1- 4 ds/m] « la part du lion » est localisée à l'extrême Nord au milieu de la parcelle. Elle présente une superficie de 9.40 hectares. Aussi, nous distinguons des valeurs très faibles comprises entre 1,9 et 2 ds/m qui ne dépassent pas un taux de 24% (4,80 ha) par rapport à la superficie totale de la parcelle.

Classe moyenne [4.1- 6 ds/m], elle couvre 13% soit 2,60 Ha. Nous pouvons observer les valeurs de la salinité moyenne des sols de 5.24 ds/m sont localisées aux alentours de la première classe. Les valeurs de la conductivité électrique comprises entre 4.1 et 6 ds/m sont repérées majoritairement au nord-est de la parcelle des palmiers dattiers.

Classe des sols salés (S3) et élevés (S4) [6.1- 21ds/m] présente les valeurs les plus élevées dans notre enregistrement. Elles sont localisées principalement au sud de la parcelle. En contrepartie, nous remarquons deux autres petites valeurs qui sont implémentées au Nord-Ouest. Les valeurs de la conductivité électrique entre 6.1 et 21ds/m ont une superficie de 3,20 hectares.

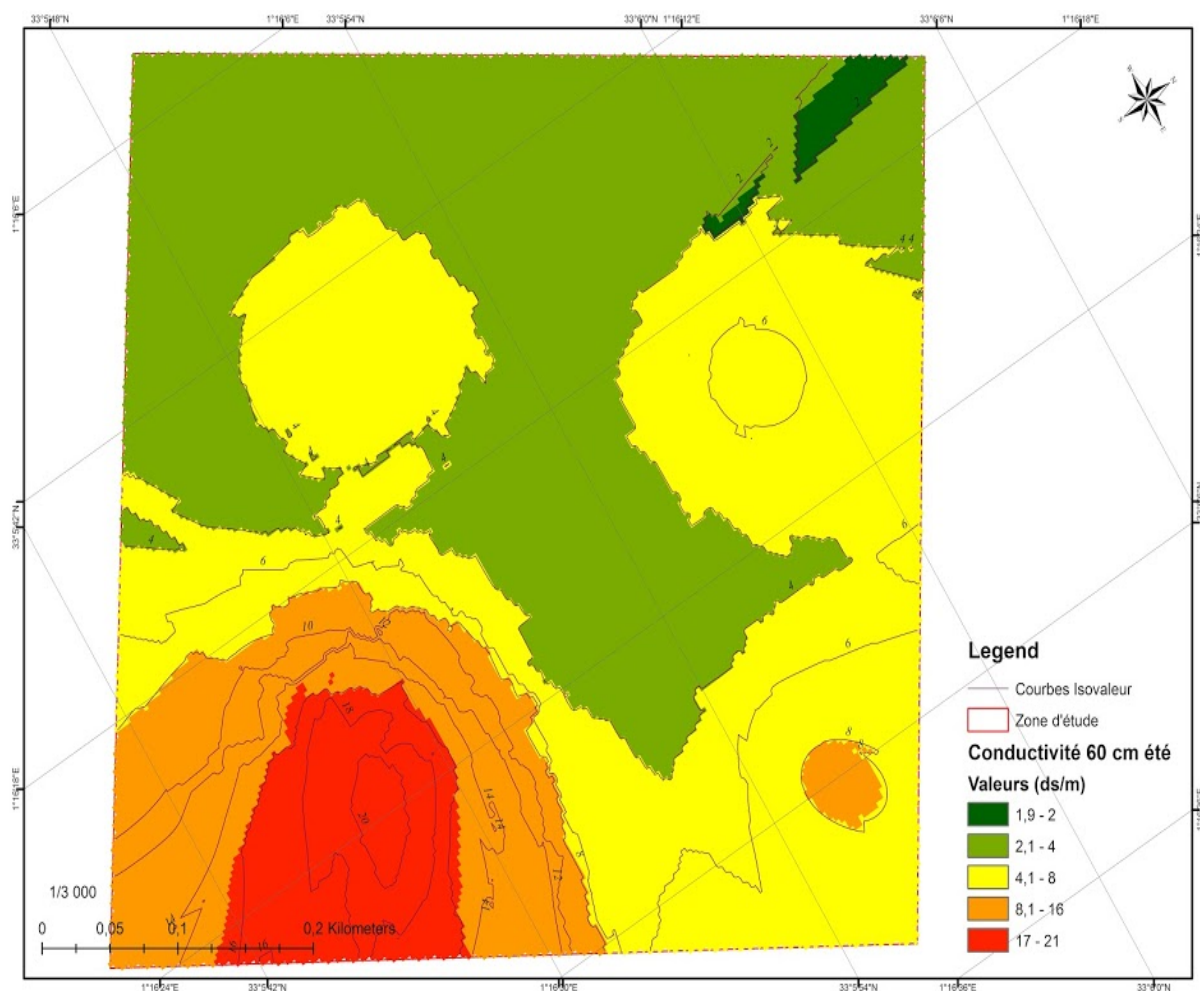


Figure 29. Carte de la salinité des sols de l'horizon 30-60 cm de la parcelle étudiée de la palmeraie de Brézina pendant la campagne de juin 2013.

II-3-2 Campagne Novembre 2013

a- Horizon de 0-30 cm

Les résultats de l'occupation des sols salins de l'horizon 0.-30 dans la campagne Novembre 2013 de la parcelle étudiée sont mentionnés dans le tableau et la figure ci-dessous.

Tableau 29. Répartition et occupation des sols salins en fonction de la conductivité électrique CE (ds/m) de l'horizon 0 à 30 cm de la campagne Novembre 2013.

Classes de salinité	S0	S1	S2	S3	S4
Moyenne de la conductivité électrique (ds/m)	1,27	2,57	5,19	10	23,43
Ecartype	0,4	0,44	0,98	2,82	8,57
Taux d'occupation (%)	32%	33%	22%	2%	12%
Superficie	6,4	6,6	4,4	0,4	2,4

Les résultats des analyses du laboratoire de la campagne novembre 2013 ont confirmé la présence de cinq classes de sols en fonction de la salinité de premier horizon 0-30 cm:

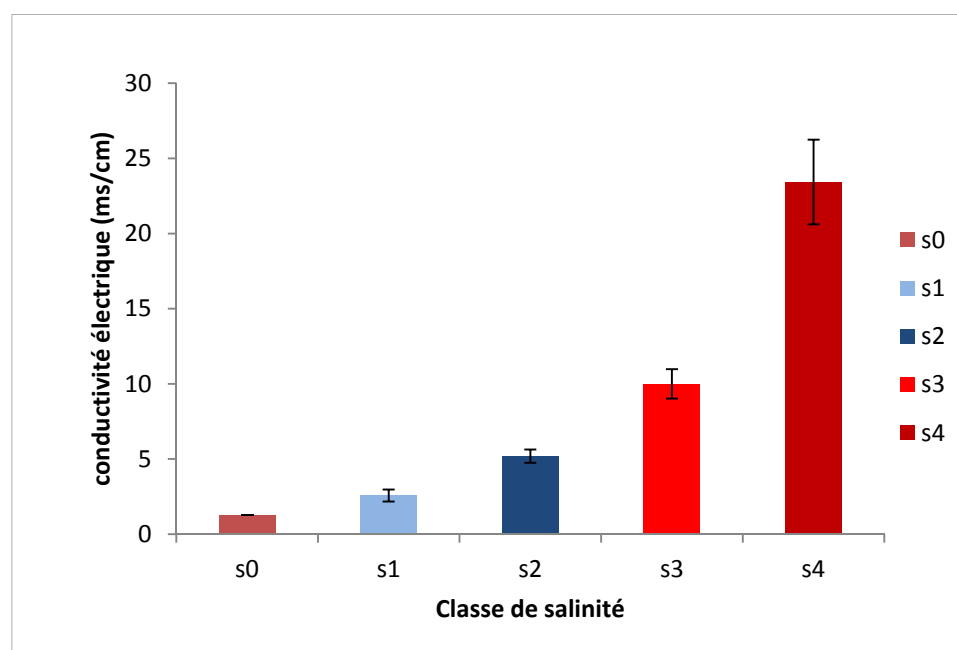


Figure 30. Moyenne de la conductivité électrique en fonction de classe de la salinité des sols de la campagne Novembre 2013

La carte illustrée dans la figure 32 de la conductivité électrique dans la campagne Novembre 2013 et de la profondeur moyenne 0-30 cm montre une certaine variation de la

salinité des sols. En effet, nous pouvons remarquer que la salinité est répartie en cinq classes distinctes. La localisation de la classe S3 et S4 seulement au niveau du sud centre de la parcelle étudiée, elles ont affiché les conductivités électriques moyennes de 23.43 ± 8.57 ds/m et 10 ± 2.82 ds/m et occupant 12 et 2% progressivement.

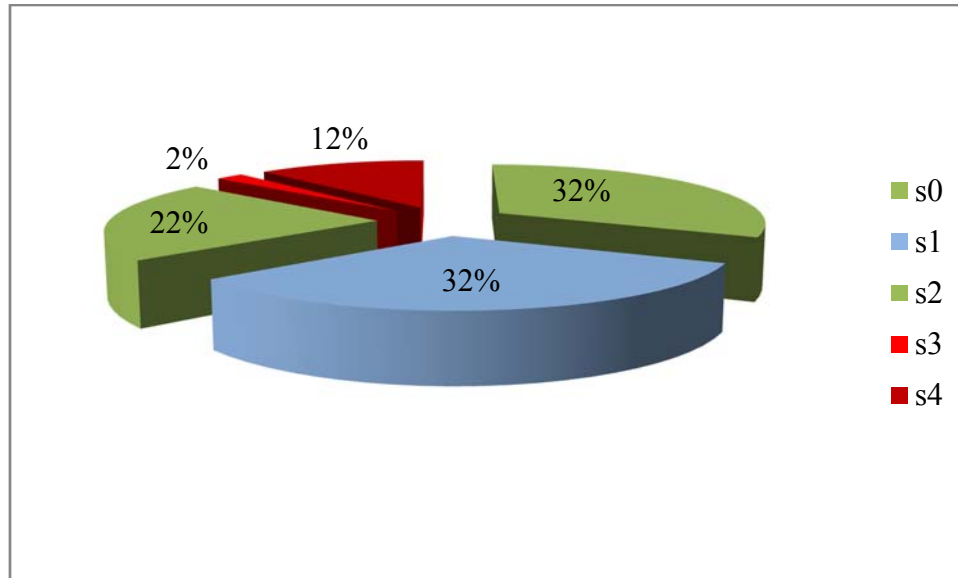


Figure 31. Taux d'occupation (%) des sols par les classes de la salinité de l'horizon 0-30 cm dans la campagne Novembre 2013.

En revanche la classe de la salinité modérée [S2] est représentée en deux noyaux au nord et au sud de la parcelle des palmiers, et présente une superficie de 4.4 hectare. On distingue une valeur moyenne de 5.19 ds/m qui ne dépassent pas une superficie de 22% par rapport à la superficie totale de la parcelle. Les sols non affectés et ont des faibles salinités se trouvent dans le Nord et l'Est et Ouest de la parcelle appartenant à la classe S0 et S1 représentant 32 et 33 % de la surface totale de la zone d'étude (figure.31).

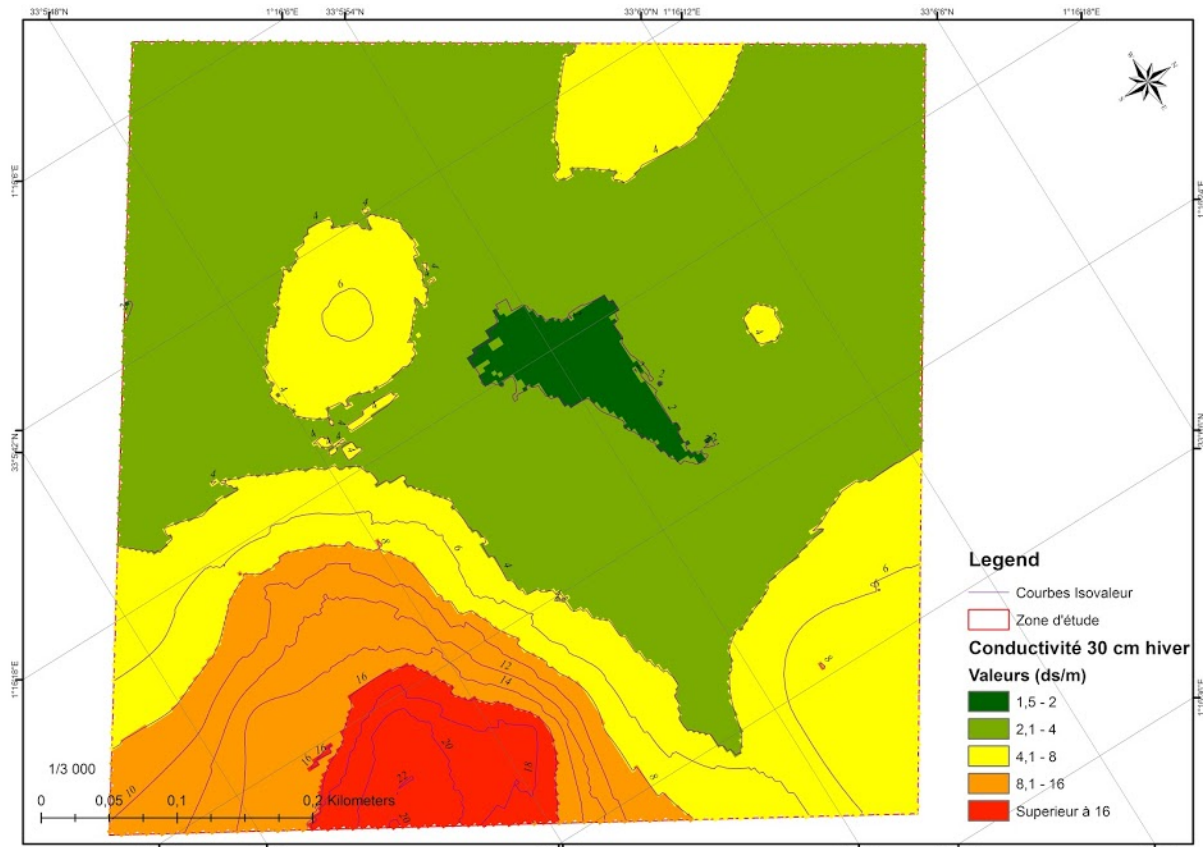


Figure 32. Carte de la salinité des sols de l'horizon 0-30 cm de la parcelle étudiée de la palmeraie de Brézina pendant la campagne Novembre 2013.

b-Horizon de 30 à 60 cm

Les résultats de l'occupation de la salinité des sols de la parcelle étudiée dans la campagne Novembre 2013 de l'horizon 30 à 60 cm sont mentionnés dans le tableau 30 et illustrés dans les figures 33 ,34.

Tableau 30. Répartition et occupation des sols salins en fonction de la conductivité électrique CE (ds/m) de l'horizon 30 à 60 cm de la campagne Novembre 2013.

Classes de salinité	S0	S1	S2	S3	S4
Moyenne de la conductivité électrique (dS/m)	0,98	2,62	4,71	9,5	28,77
Ecartype	0,33	0,58	0,85	1,77	10,87
Taux d'occupation (%)	13	49	20	8	9
Superficie (Ha)	2,60	9,80	4,00	1,60	1,80

Les valeurs de la CE varient de 0.98 ± 0.33 ds/m à 5.34 ± 10.87 ds/m. Durant la deuxième campagne, on constate que la salinité est faible dans la majorité du site d'étude soit un taux d'occupation de 13 et 49 % progressivement pour S0 et S1.

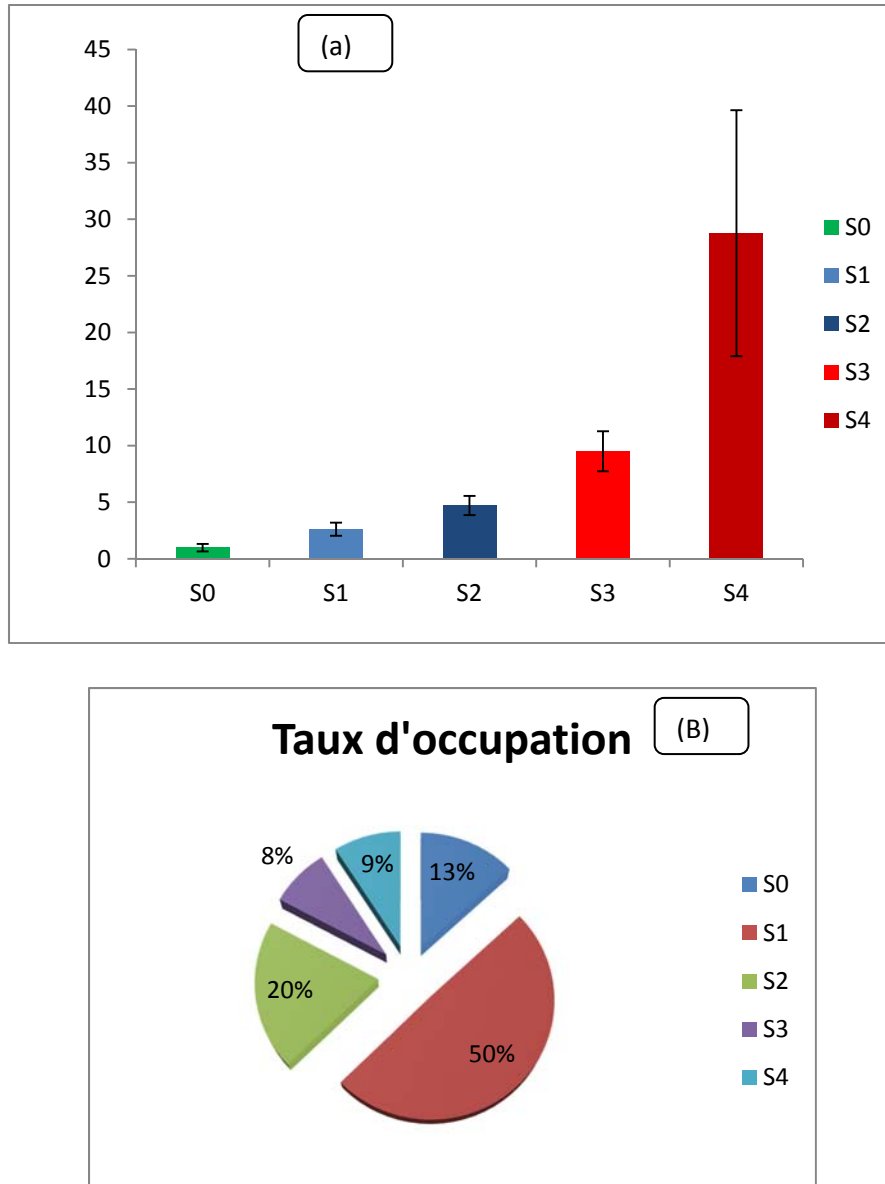


Figure 33. Répartition (a) et occupation (b) des sols salins en fonction de la conductivité électrique CE (ds/m) de l'horizon 30 à 60 cm de la campagne Novembre 2013.

Les sols sont salins et fortement salins qui représentent 8 et 9 % respectivement pour S3 et S4 situés au sud centre de la parcelle étudiée (figure 33 et 34). Cette augmentation de la salinité est due probablement au lessivage des sels de l'horizon de surface vers les profondeurs sous-jacentes et la nature argileuse du sol du sud de la parcelle.

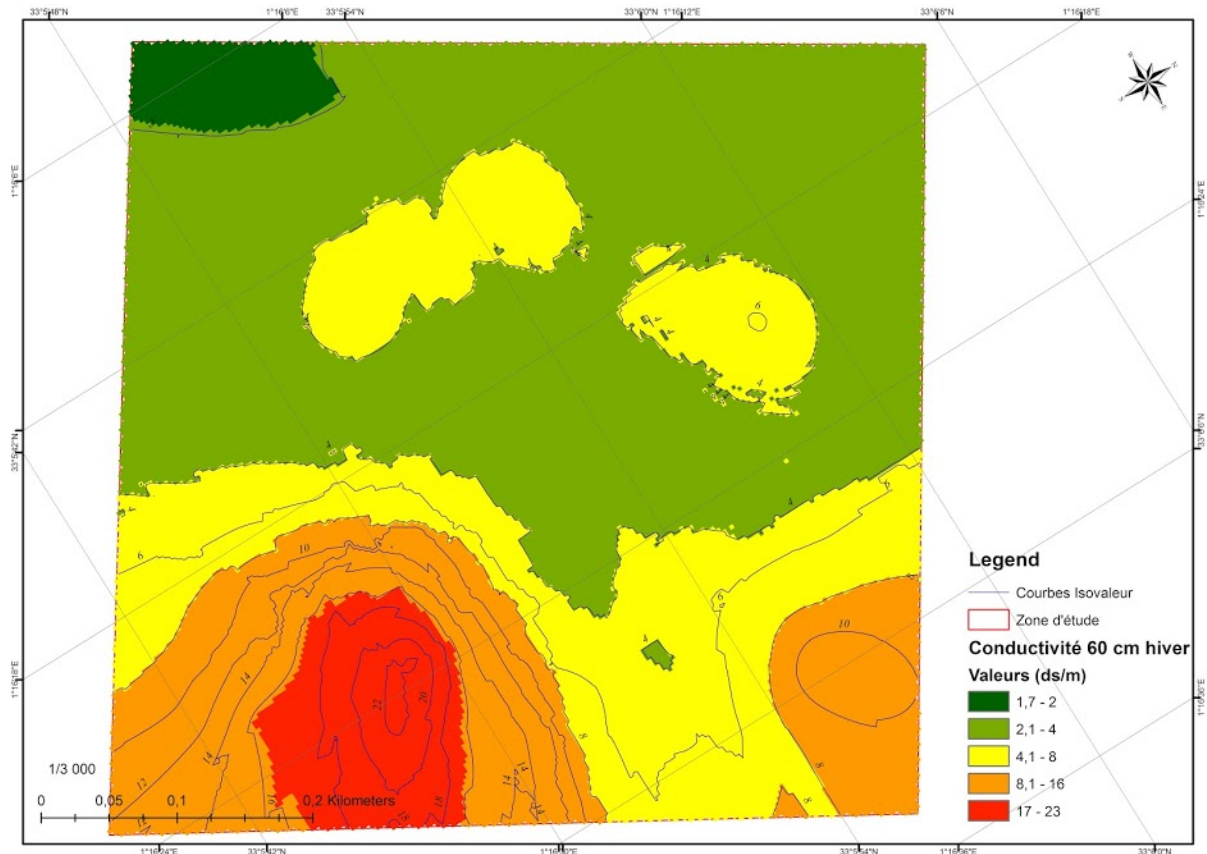


Figure 34. Carte de la salinité des sols de l'horizon 30-60 cm de la parcelle étudiée de la palmeraie de Brézina pendant la campagne Novembre 2013.



Figure 35. Classes des sols salés et submersion de la palmeraie de Brézina (Photo prise par Nouri le 20/11/ 2013).

Conclusion

Le suivi de l'évolution de la salinité des sols irrigués a été réalisé sur une parcelle située dans la palmeraie de Brézina et nous permet de relever les points essentiels suivants :

le système d'irrigation dominant par submersion ces eaux provenant du barrage de Larouia qui est caractérisé par un faciès chloruré calcique appartenant à la classe C3 avec une haute salinité et SAR indique que l'eau présente un danger appréciable d'accumulation du sodium à un niveau dommageable pour les sols ayant une texture fine et une capacité d'échange cationique (CEC) élevée.

L'étude physique et chimique des sols montre que la parcelle se répartie en deux unités, la première appartient au type des sols peu évolués avec un apport et une accumulation importante des sels à la surface et à la texture fines et la deuxième unité entre dans le type des alluvions sans accumulation des sels et de texture légère. La texture du sol riche en éléments fins est corrélée positivement avec la salinité.

L'étude géostatistique (Using ArcGISTTM Geostatistical Analyst) de la salinité des sols de la parcelle des palmiers par la méthode de mesure de la conductivité électrique de pâte saturée a fourni les résultats suivants :

Dans la campagne sèche et pluvieuse, nous recensons cinq classes de salinité (ds/m) des sols aux profondeurs 0-30 cm et 30-60cm qui ont été dégagées : Classe non saline (S0) , classe faible [S1], classe moyenne (S2) [4.1- 6 ds/m], classe des sols salés (S3) et classe élevée (S4) ≥ 16 ds/m] sont concentrés au sud de la parcelle. En guise de conclusion, le contrôle de la salinité du sol, par la connaissance de sa distribution spatiale et de son évolution dans le temps, devient nécessaire en vue d'aboutir à des stratégies de développement agricole durable.

Notre travail de recherche concerne une parcelle d'environ 20 hectares avec une méthode de mesure de la conductivité électrique de celle de laboratoire mais comme perspective de recherche dans l'avenir, il y aura lieu l'application de technique d'induction magnétique sur :

- Etude approfondie sur des parcelles de superficie plus grande et différents types de sols.
- Plusieurs compagnes durant les deux cycles saisonniers et divers types de culture.

Chapitre III :
Etude de comportement de la
fève *Vicia faba* L

III-1 Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill sur le comportement de la fève.

III-1. 1 Constat visuel des plantes

Il nous a paru intéressant d'élucider la croissance et le développement des plantes de la fève *Vicia faba* L cultivées dans des substrats soumis à différents niveaux de salinité (S0 (témoins), S1 (3ds/m), S2 (6 ds/m) et S3 (9sd/m)) et amendées ou non par le compost de pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill. Nous nous sommes intéressés aux paramètres biométriques tels que les longueurs des tiges et des racines, le poids sec de la plante ainsi que la surface foliaire et racinaire. Les photos ci-dessous montrent l'état des plants à la fin de l'expérimentation. Les variations observées sur ces paramètres biométriques sont illustrées dans les figures ci-dessous.

Les constats visuels, montrent l'action défavorable de la salinité sur la croissance de la fève. Ces plantes affectées, étaient plus petites en dimensions avec moins de feuilles dont la plupart sont chloroses. Bien qu'ils fussent affectés sévèrement, les plants poursuivent leur croissance. Alors que l'addition de 10 et 20 % de compost de pin d'Alep a amélioré les paramètres biométriques des plantes (longueur des tiges, le tallage et la surface foliaire et racinaire) qui se trouvent dans les conditions de la salinité du sol.



Figure 36. Comparaison des plants de fève selon les différents niveaux de salinité et pourcentage du compost de pin d'Alep (Photo prise par Nouri le 20/04/ 2017).

III-1-2 Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep sur la longueur des tiges et les racines de la fève.

a-Résultats

Les résultats obtenus de la variation de la longueur des tiges et des racines de la fève *Vicia faba* L sous l'effet de la salinité et du compost de pin d'Alep sont mentionnés dans le tableau 31.

Tableau 31. Moyenne de la longueur des tiges et des racines (cm) de la fève *Vicia faba* L stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).

Salinité (ds/m)	Pourcentage de compost du pin d'Alep (%)	Longueur des tiges (cm)	Longueur des racines (cm)
S0	0	41,12 ±4,87 ^A	20,75±2,21
	10	44,12±8,23 ^A	22,00±7,61
	20	35,62±9,05 ^{AB}	20,50±5,44
S1	0	41,87±3,47 ^A	13,30±2,92
	10	33,00±4,76 ^{AB}	15,5±0,57
	20	29,37±4,60 ^{AB}	15,75±4,78
S2	0	35,37±3,68 ^{AB}	18,50±3,34
	10	25,25±7,89 ^B	16,75±2,5
	20	32,25±8,09 ^{AB}	14,75±1,55
S3	0	31,55±1,86 ^{AB}	16,52±5,08
	10	30,37±11,49 ^{AB}	11,00±7,34
	20	39,25±7,32 ^{AB}	12,87±2,92

(S0 : témoins ; S1 : 3ds/m ; S2 :6 ds/m et S3 :9ds/m).

a-Longueur des tiges de la fève

L'analyse de la variance au seuil d'une erreur $\alpha = 0.05$ de l'effet de la salinité nous a permis de signaler des effets significatifs sur la longueur des tiges de la fève *Vicia faba* L ($P=0,01564$). Ainsi que l'addition du compost de pin d'Alep au substrat révèle des effets significatifs ($p = 0,03587$) (Annexe 1, tableau 1).

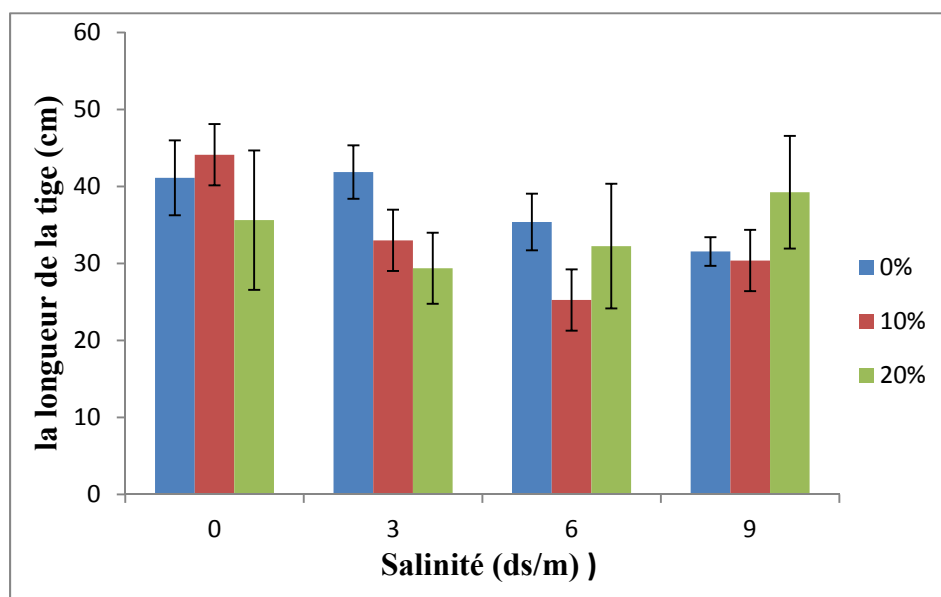


Figure 37. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep *Pinus halepensis* L sur la longueur des tiges de la fève *Vicia faba* L.

Selon la figure 37, la longueur des tiges est inversement proportionnelle au stress salin. En effet le test de New mean Keuls de la comparaison de moyennes de l'interaction salinité –compost de pin d'Alep au seuil d'une erreur $p=5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes. Un groupe dominant (A) représenté par les moyennes les plus élevées (S0 - 10% de compost, S0- 0% de compost et S1- 0% de compost) avec des valeurs de 41.12 ; 44.22 et 41.87 cm progressivement. La moyenne la plus faible (S2- 20% de compost) appartient au groupe B soit 25.25 cm d'allongement. Le groupe intermédiaire AB rassemble les autres moyennes de la longueur des tiges de la fève (annexe 3. tableau.1).

Il faut noter que la dose saline de 3 ds/m (S1) n'a provoqué aucun stress salin chez les plantes de la fève car la conductivité électrique n'a pas dépassé le seuil de 4 ms/cm.

b-Longueur des racines de la fève

L'analyse de la variance au seuil d'une erreur $\alpha=0.05$ montre que la salinité influe significativement sur la longueur des racines de l'espèce *Vicia faba* L ($p=0,001$). Néanmoins, l'effet de l'interaction bi factorielle compost de pin d'Alep - salinité sur la longueur des racines est non significatif ($p=0,55635$). (Annexe 1.tableau.2).

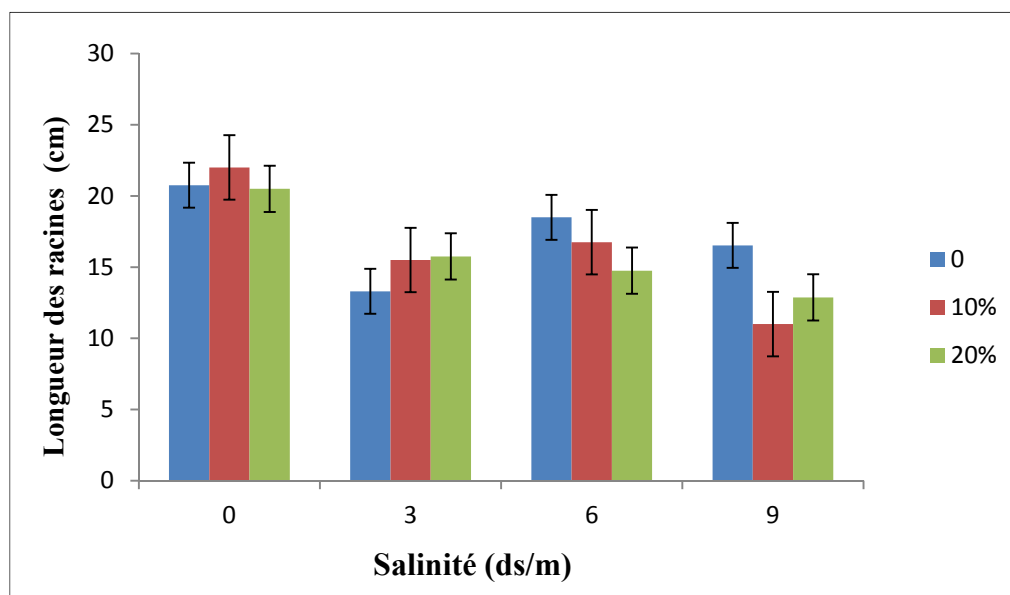


Figure 38. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill sur la longueur des racines de la fève.

A la lumière des résultats obtenus, la longueur des racines est évoluée négativement au stress salin, les plantes qui se trouvent dans le substrat amendé à 10% de compost de pin d'Alep et ne reçoivent aucun stress salin atteignant la valeur maximale soit $22.00 \pm 7,61$ cm. Cependant il faut noter que la longueur des racines est diminuée significativement chez les lots cultivés dans le substrat qui reçoit la forte dose saline de 9ds/m (S3) et amendé par 10% de compost soit $11.00 \pm 7,34$ cm de longueur avec un taux de réduction de croissance de 50% par rapport aux plantes témoins.

III-1-3 Poids de la biomasse végétale de la fève.

Résultats

Le poids de la biomasse est considéré comme un critère fondamental pour évaluer la croissance du végétal. L'effet de la salinité et du compost de pin d'Alep (%) sur la production de la biomasse végétale de la fève *vicia faba* L Var. *Sidi Aich* représenté dans le tableau 32 et la figure n 39 et 40.

Tableau 32. Moyenne du poids sec (g) des parties aérienne et souterraine de la fève *Vicia faba* L stressée la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).

Salinité	Taux de Compost (%)	Poids sec de la partie aérienne (g)	Poids sec des racines (g)
S0	0	4,15±1,21 ^B	4,05±0,12 ^A
	10	6,92±1,21 ^A	2,82±1,15 ^A
	20	6,05±0,88 ^A	3,07±0,33 ^A
S1	0	3,90±0,43 ^B	3,80±0,43 ^A
	10	3,95±1,03 ^B	3,87±0,84 ^A
	20	2,52±0,62 ^{BC}	3,20±0,14 ^A
S2	0	3,85±0,52 ^B	3,82±0,26 ^A
	10	3,55±0,54 ^{BC}	3,60±0,48 ^A
	20	3,67±0,75 ^B	3,60±0,41 ^A
S3	0	0,87±0,33 ^D	1,37±0,68 ^B
	10	2,87±0,40 ^{BC}	2,92±1,53 ^A
	20	2,12±0,45 ^C	3,05±0,12 ^A

(S0 : témoins ; S1 : 3ds/m ; S2 : 6 ds/m et S3 : 9ds/m).

a-Poids sec des parties aériennes

L'analyse de la variance au seuil d'une erreur $\alpha = 0.05$ de l'effet de la salinité sur le poids sec de la partie aérienne de la plante montre des effets hautement significatifs ($p < 0,001$). L'addition de compost de pin d'Alep au substrat signale des effets significatifs ($p = 0,00043$). (Annexe.1.tableau.3). L'effet de l'interaction bi factorielle « salinité – Compost du pin d'Alep » est significatif ($p > 0.005$).

Le poids sec de la partie aérienne est inversement proportionnel au stress salin. Le test de Newman et Keuls de la comparaison des moyennes au seuil d'une erreur $\alpha = 5\%$, fait ressortir cinq groupes homogènes (annexe 3. tableau 2). Le premier groupe (A) dominant figurant la moyenne la plus élevée se trouve dans le substrat S0 et amendé par 10% de compost du pin d'Alep soit la valeur 6,92±1,21g de poids sec, un deuxième groupe (B) représenté par les traitements (S1 et 10% de compost ; S1 et 0 % de compost ; S2 - 0% et 20% de compost).

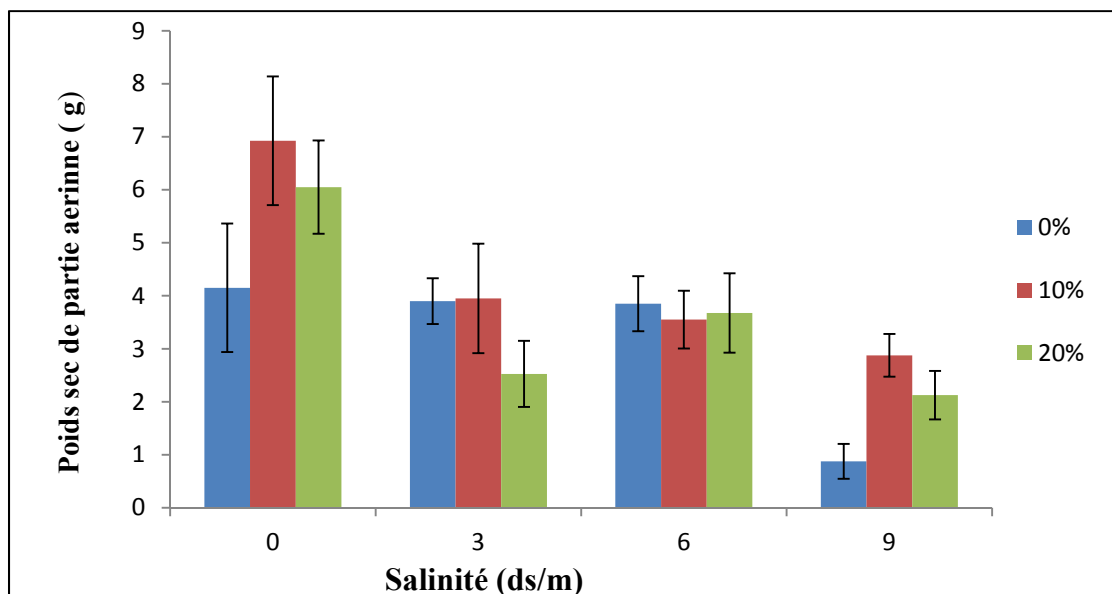


Figure 39. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep sur le poids sec de la partie aérienne de la fève *Vicia faba* L.

Le troisième groupe (C) représente les plantes cultivées dans les substrats du niveau de salinité de S3 et amendé 20% de compost du pin d'Alep. Le quatrième groupe (BC) représente les traitements (S2 -10% de compost et S3 -10% de compost et S1- 20% de compost). Le groupe (C) est défini par le traitement (S3- 20% de compost). Le groupe (D) représente les moyennes les plus faibles se trouvant dans le sol (S3 -0% de compost) avec $0.875 \pm 0,33$ g de poids sec de la partie aérienne avec un taux de réduction de poids 87 % par rapport aux plantes témoins. (Annexe 3.tableau 3).

b- Poids sec des parties racinaires

L'analyse de la variance au seuil d'une erreur $\alpha = 0.05$ montre des effets hautement significatifs ($P = 0,00032$), de la salinité sur le poids sec de la partie racinaire de la plante. L'addition de compost de pin d'Alep au substrat signale des effets significatifs ($p > 0.005$). (Annexe 01.tableau.16). L'effet de l'interaction bi factorielle « Salinité – Compost du pin d'Alep » est significative ($P = 0,00342$). (Annexe 1.tableau 4).

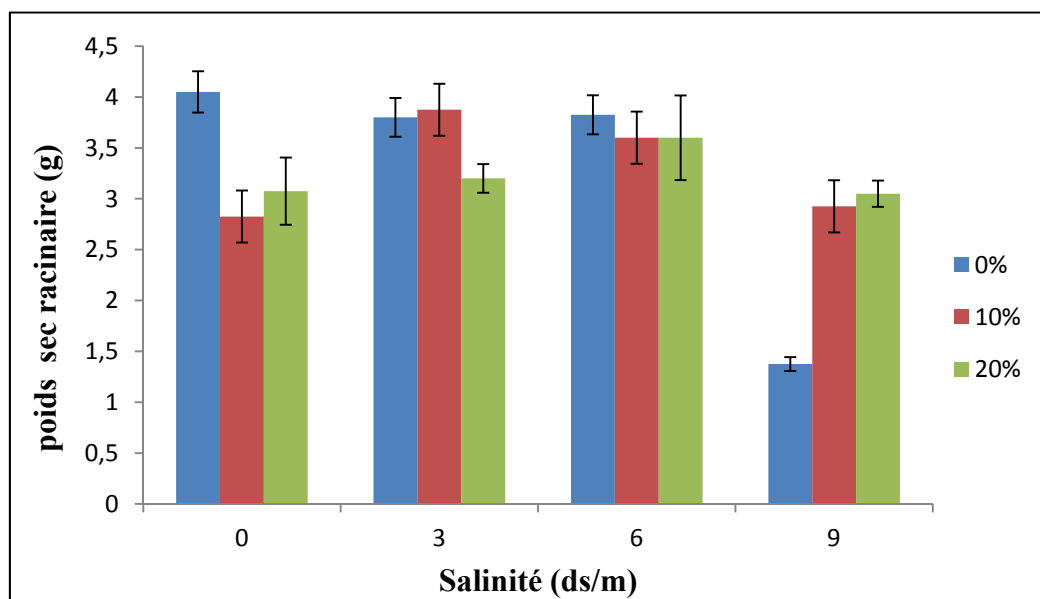


Figure 40. Effet de la salinité et de compost de pin d'Alep sur le poids de la partie racinaire de la fève.

D'après les résultats obtenus, le poids sec des racines est évolué significativement et négativement à la salinité du sol.

Le test de Newman et Keuls de la comparaison des moyennes au seuil d'une erreur $\alpha = 5\%$, fait ressortir deux groupes homogènes de l'interaction de salinité- compost de pin d'Alep ; le premier groupe (A) qui reflète la moyenne la plus élevée (4.05 g) est représenté par les plantes témoins. Le deuxième groupe B est représenté par les moyennes les plus faibles chez les plantes cultivées dans le niveau de salinité S3 enregistrent $1,37 \pm 0,68$ g de poids sec des racines soit un taux de diminution de 66.17 % par rapport aux plantes témoins (Annexe. 3 tableau.3)

L'addition de 10 et 20% de compost de pin d'Alep a amélioré significativement le poids sec des plantes stressées à 9 ds/m (S3) soit $2,925 \pm 1,535$ et $3,05 \pm 0,129$ g de poids sec progressivement (figure.40).

III-1-4 Surface foliaire et racinaire de la fève

Les mesures de la surface foliaire et racinaire sont représentées dans le tableau 33, avec leur représentation graphique illustrée dans les figures (41 et 42).

Tableau 33. Moyenne de la surface foliaire et racinaire (cm²) de la fève *Vicia faba* L stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).

Salinité (ds/m)	Pourcentages de compost du pin d'Alep (%)	Surface	Surface
		Foliaire cm ²	Racinaire cm ²
S0	0	32,32±5,81 ^{AB}	119,78±40,58 ^A
	10	26,40±6,29 ^{AB}	57,95±27,14 ^C
	20	23,32±7,62 ^{AB}	34,05±12,72 ^C
S1	0	35,10±2,86 ^A	54,81±29,85 ^C
	10	23,75±0,49 ^{AB}	104,98±31,82 ^{AB}
	20	16,86±6,12 ^{AB}	21,12±8,82 ^C
S2	0	25,75±8,63 ^{AB}	105,27±24,30 ^{AB}
	10	21,65±13,54 ^{AB}	33,92±18,21 ^C
	20	24,87±3,53 ^{AB}	19,15±9,21 ^C
S3	0	14,98±6,64 ^B	22,85±7,28 ^C
	10	18,38±11,92 ^{AB}	63,65±41,24 ^{BC}
	20	29,67±8,43 ^{AB}	12,44±5,71 ^C

(S0 : témoins ; S1 : 3ds/m ; S2 : 6 ds/m et S3 : 9ds/m).

a. Surface foliaire de la fève

L'analyse de la variance au seuil d'une erreur $\alpha = 0.05$ de l'effet de la salinité sur la surface foliaire de la fève *Vicia faba* L est non significatif ($P=0,25049$). L'adjonction de compost de pin d'Alep au substrat signale des effets hautement significatifs ($P=0,01007$). L'effet de l'interaction bi factorielle « salinité – Compost du pin d'Alep » est significatif ($P\geq 0,001$).

La surface foliaire est inversement proportionnelle à la salinité. Le test de Newman Keuls de la comparaison de moyennes de l'interaction salinité –compost de pin d'Alep au seuil d'une erreur $\alpha= 5\%$ fait ressortir trois groupes homogènes. Un groupe dominant (A) représenté par les moyennes les plus élevées (3 ds/m-10%) soit 35,10±2,866 cm² (figure 41) et (Annexe 3 tableau 4).

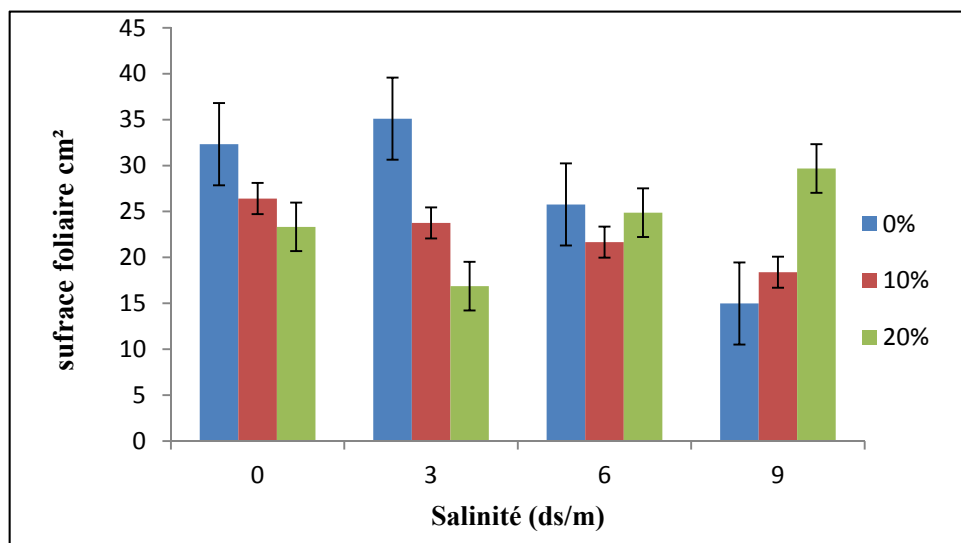


Figure 41. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill sur la surface foliaire de la fève *Vicia faba* L.

Alors que la moyenne la plus faible (9 ds/m- 0%) appartenant au groupe B se trouve chez les plantes cultivées dans le sol de niveau de salinité S3 (9 ds/m) soit $14,98 \pm 6,647 \text{ cm}^2$. Le groupe intermédiaire AB rassemble les autres moyennes de l'effet de la salinité et du compost de pin d'Alep sur la surface foliaire de la plante (Annexe 3.tableau.4).

b-surface racinaire de la fève

L'analyse de la variance au seuil d'une erreur $\alpha = 0.05$ de l'effet de la salinité et de compost de pin d'Alep sur la surface racinaire de la fève *vicia faba* L montre un effet hautement significatif ($P=0,00556$), L'effet de l'interaction bi factorielle « salinité – compost du pin d'Alep » est significatif ($P=0,00005$). (Annexe .1.tableau 6).

Selon les résultats obtenus, la surface racinaire est évoluée significativement et négativement au stress salin .Le test de New mean Keuls au seuil d'une erreur $\alpha= 5\%$ de la comparaison de moyennes de l'interaction salinité –compost, fait ressortir quatre groupes homogènes. Le premier groupe A qui reflète la moyenne la plus élevée (119.78 cm^2) représenté par les plantes témoins. Le deuxième groupe (AB) représente les traitements (S1 .0% de compost et S1-10% de compost). Alors que la moyenne la plus faible enregistrée dans le substrat (S3- 20% de compost) appartient au groupe (C) soit $12,44 \pm 5,71$ (Annexe 3.tableau.5).

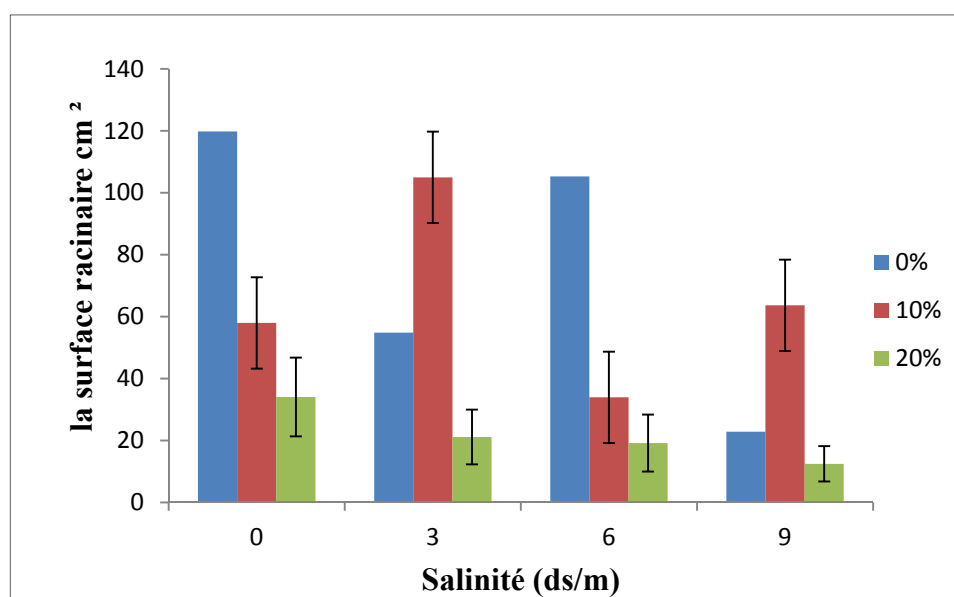


Figure 42. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill sur la surface racinaire de la fève *Vicia faba* L.

III. 1.5 Paramètres biochimiques et physiologiques de la fève

a. Teneur en chlorophylle

Le tableau 34 et les figures 43 représentent la teneur en chlorophylle totale sous l'effet de la salinité (ds/m) et de compost de pin d'Alep (%).

Tableau 34. Moyenne de la quantité de chlorophylle totale ($\mu\text{g/g}$ MF) de la fève *Vicia faba* L stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).

Salinité (ds/m)	Pourcentages de compost du pin d'Alep (%)	Teneur en Chlorophylles ($\mu\text{g/g}$ MF)
S0	0	21,88 $\pm$ 5,59
	10	27,41 $\pm$ 7,58
	20	30,15 $\pm$ 1,95
S1	0	22,73 $\pm$ 5,48
	10	27,73 $\pm$ 5,58
	20	23,55 $\pm$ 10,13
S2	0	24,63 $\pm$ 4,10
	10	24,09 $\pm$ 8,91
	20	31,42 $\pm$ 3,12
S3	0	19,40 $\pm$ 6,63
	10	15,89 $\pm$ 11,27
	20	21,69 $\pm$ 9,05

(S0 : témoins ; S1 : 3ds/m ; S2 : 6 ds/m et S3 : 9ds/m).

L'analyse de la variance au seuil d'une erreur $\alpha = 0.05$ de l'effet de la salinité sur la teneur de la Chlorophylle totale de la fève *vicia faba* L montre des effets significatifs ($P=0,04132$), L'effet de l'interaction bi factorielle « salinité – Compost du pin d'Alep » est non significatif ($P=0,61304$).

Selon le tableau 34 et la figure 43, la teneur en chlorophylle est inversement proportionnelle au stress salin. Le taux de chlorophylle est diminué chez le sol de niveau de salinité S3 (9 ds/m) et 10 % de compost du pin d'Alep avec un taux de réduction de 42 % par rapport aux lots qui ne reçoivent aucune dose saline. Les valeurs les plus élevées de ce pigment sont enregistrées chez les plantes cultivées dans les substrats affectés par une salinité de 6 ds/m (S2) et amendés à 20% de compost de pin d'Alep (Annexe 1 tableau 7).

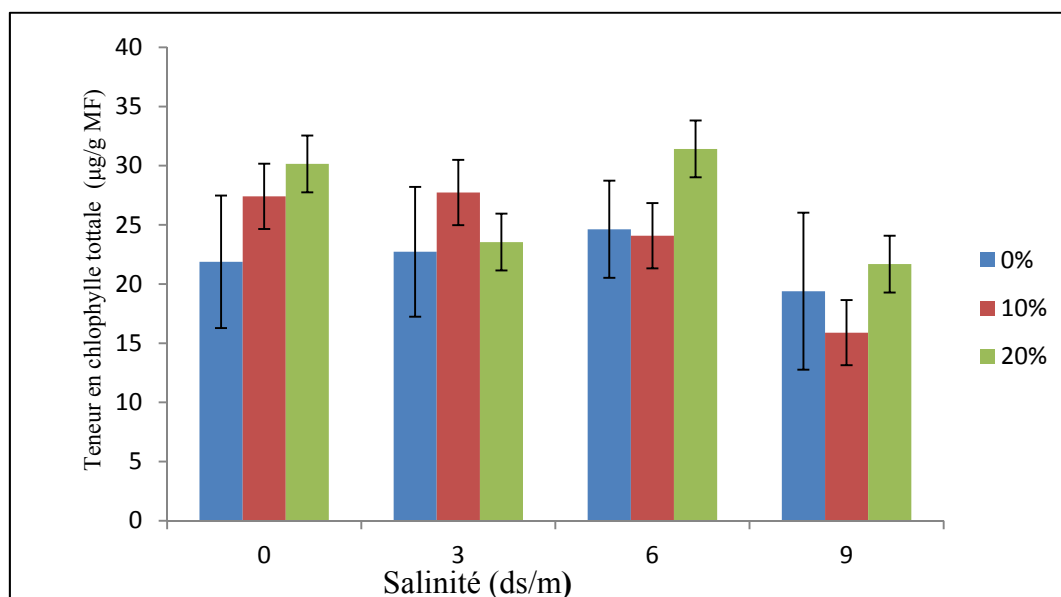


Figure 43. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep *Pinus halepensis mill* sur la teneur en chlorophylle totale de la fève.

b. Teneur en proline dans les feuilles de la fève

Le tableau 35 et la figure 44 représentent la teneur en proline sous l'effet de la salinité (ds/m) et de compost de pin d'Alep (%) sur la fève.

Tableau 35. Moyenne de la teneur en proline de la fève *Vicia faba* L stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).

Salinité (ds/m)	Taux de compost de pin d'Alep (%)	Teneur en proline $\mu\text{mol} / 100\text{mg MF}$
S0	0	0,32±0,03
	10	0,63±0,56
	20	0,68±0,42
S1	0	0,27±0,12
	10	0,74±0,25
	20	1,11±0,45
S2	0	0,68±0,48
	10	0,55±0,26
	20	1,02±0,01
S3	0	0,76±0,07
	10	0,36±0,02
	20	0,53±0,07

L'analyse de la variance au seuil d'une erreur $\alpha = 0.05\%$ de l'effet de la salinité sur la teneur de proline de la fève *vicia faba* L montre un effet significatif ($P = 0,0055631$)

L'effet de l'interaction bi factorielle « salinité – Compost du pin d'Alep » est non significatif ($P=0,28867$). (Annexe .1.tableau. 8).

D'après les résultats obtenus, il a été observé que la teneur en proline augmente d'autant que le niveau de salinité devient important jusqu'au niveau saline de 6 ds/m, il faut noter que la dose saline de 3 ds/m n'a pas d'effet significatif sur l'accumulation de cet acide aminé. Alors que le traitement du sol par le compost de pin d'Alep a provoqué l'augmentation de la teneur en proline par les doses salines de 0,3 et 6 ds/m, la valeur la plus élevée était enregistrée chez les lots cultivés dans un sol à 3 et 6 ds/m de salinité et amendé par 20% de compost de pin d'Alep. Au-delà de 9 ds/m de salinité, cet acide aminé a réduit sa valeur.

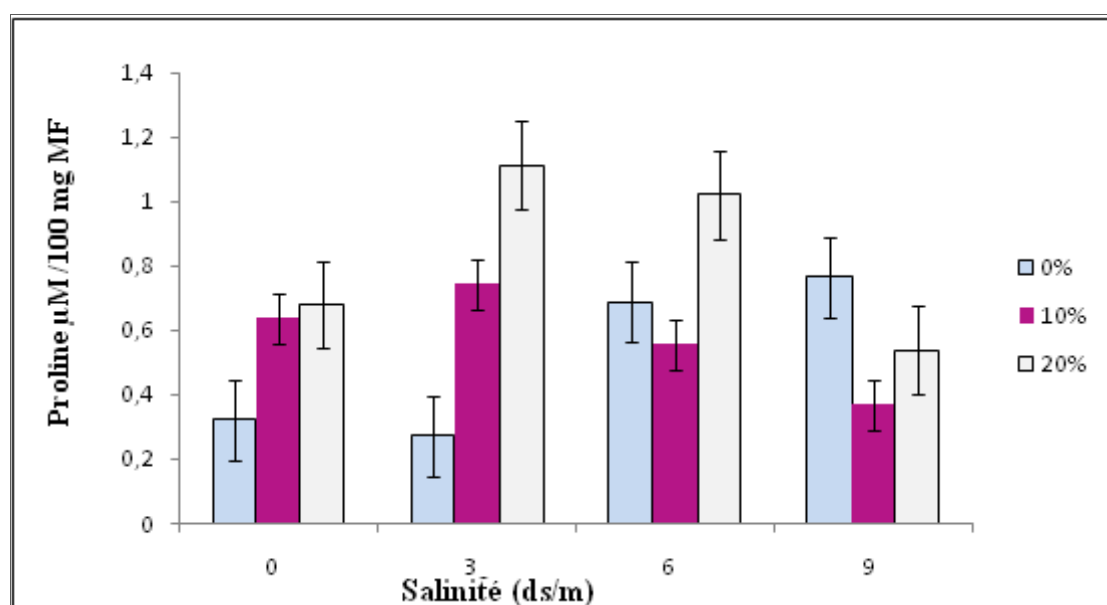


Figure 44. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill sur la teneur en proline de la fève.

c. Quantité de malondialdéhyde dans les feuilles de la fève

Le tableau 36 et les figures 45 représentent la quantité de **malondialdéhyde** sous l'effet de la salinité (ds/m) et du compost de pin d'Alep (%) sur la fève.

Tableau 36. Moyenne de la quantité de malondialdéhyde (MAD) de la fève *Vicia faba* L stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).

Salinité	Taux de compost (%)	Quantité de MAD ($\mu\text{mol/g.ms}$)
S0	0	17.00 ± 10^E
	10	$21,66 \pm 2,88^{CD}$
	20	27.00 ± 1.52^B
S1	0	$16,33 \pm 1.52^E$
	10	$23,33 \pm 3.51^{BC}$
	20	$24,66 \pm 1.00^{BC}$
S2	0	24.00 ± 1.00^{BC}
	10	19.00 ± 2.64^{DE}
	20	18.00 ± 1.00^E
S3	0	31.00 ± 1.00^A
	10	24.00 ± 1.00^{BC}
	20	$25,33 \pm 0.57^{BC}$

(S0 : témoins ; S1 : 3ds/m ; S2 : 6 ds/m et S3 : 9ds/m).

Les résultats d'analyses de la variance au seuil d'une probabilité $p=5\%$ (annexe 1 tableau 9) permettent de conclure que les effets des facteurs « salinité » et « compost du pin d'Alep » et les effets d'interaction bi factorielle salinité- compost du pin d'Alep influent de manière hautement significative ($p>0.005$) sur la quantité de malondialdéhyde dans la plante de la fève *Vicia faba* L.

Les résultats montrent une variabilité d'accumulations de MDA. La comparaison des moyennes (tab. Anne) d'interaction salinité- mono ammonium phosphaté, selon le test de NEWMAN KEULS à 5% fait ressortir six groupes homogènes (Annexe 3 tableau 6).

L'accumulation de MDA au niveau des plantes (Figure 45) de fève ($16.23 \pm 1.52 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$) au traitement (S1- 0% de compost) représente le groupe homogène E, moins importante que celle montrée par le traitement (S3- 0% de compost) soit ($31.00 \pm 1.00 \mu\text{mol g}^{-1} \text{MS}$) appartenant au groupe dominant « A ».

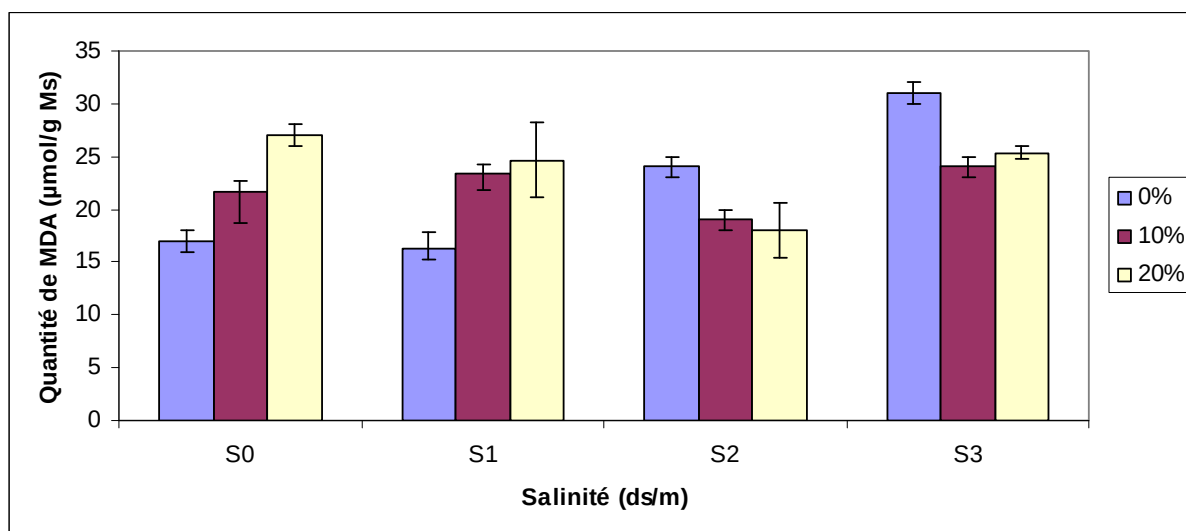


Figure 45. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill sur la quantité de malondialdéhyde.

III.1.6 Bilan minéral du sodium et du potassium dans la plante (feuilles et racines)

a. Teneur en sodium dans la fève

Tableau 37. Moyenne de la teneur en sodium dans les feuilles et les racines de la fève stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).

Salinité	Taux de Compost (%)	Teneur en sodium dans les feuilles (ppm)	Teneur en sodium dans les racines (ppm)
S0	0	39.00 ±1.00	41.00 ±4.85 ^E
	10	20,66 ±1.52	11,66 ±1.15 ^G
	20	18,33 ±3.00	15.00 ±3.51 ^G
S1	0	37,66 ±1.00	45.00 ±8.50 ^E
	10	19,66 ±1.00	32.00 ±1.52 ^F
	20	15,66 ±2.51	27,66 ±2.08 ^F
S2	0	65.00 ±2.08	68,33 ±1.73 ^C
	10	34.00 ±5.51	32,66 ±1.00 ^F
	20	39,33 ±4.50	24,66 ±8.08 ^F
S3	0	70.00 ±10.40	108,33 ±4.00 ^A
	10	49,66 ±6.11	86,66 ±5.50 ^B
	20	43.00 ±2.64	52.00 ±1.00 ^D

(S0 : témoins ; S1 : 3ds/m ; S2 : 6 ds/m et S3 : 9ds/m).

Les résultats d'analyses de la variance au seuil d'une probabilité $p=5\%$ (Annexe 1 tableau 10) permettent de conclure que les effets des facteurs « salinité » et « Compost » influent de manière hautement significative ($p>0.005$) sur la teneur en sodium dans les

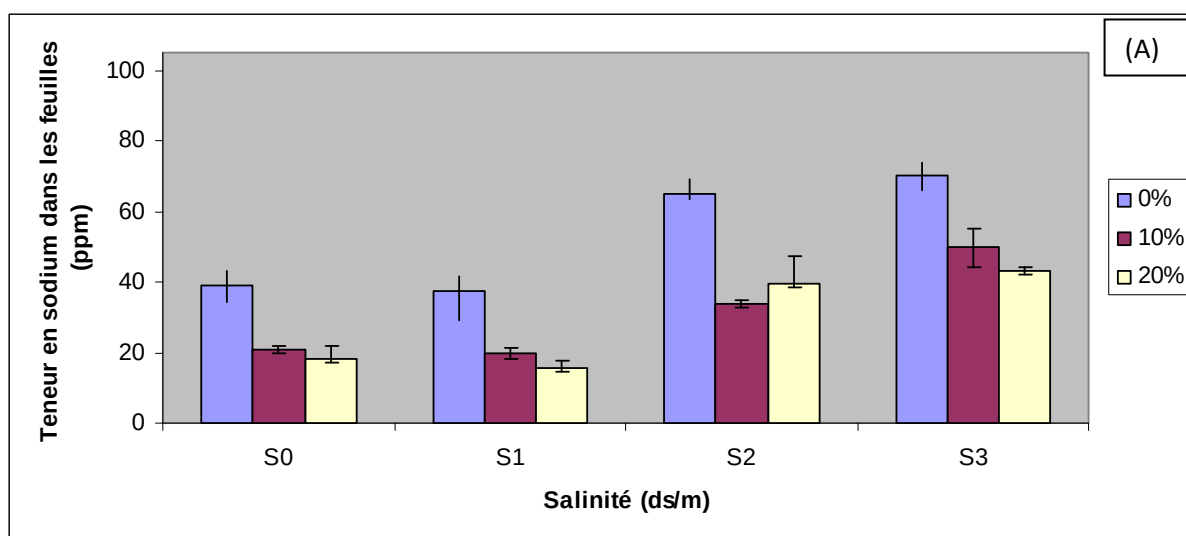
feuilles et les racines de la fève *Vicia faba* L. L'effet de l'interaction bi factorielle « salinité - Compost » est significatif dans les racines de fève. Alors qu'il est non significatif sur les feuilles de la plantes.

D'après le tableau 37 et la figure 46, la teneur en sodium dans les feuilles de la fève est proportionnelle à la salinité. La moyenne la plus élevée est enregistrée chez les plantes qui reçoivent le traitement (S3- 0% de Compost) soit 70.00 ± 10.40 ppm. La teneur en sodium devient plus faible chez le traitement (S1- 20 % compost) avec une moyenne de 15.66 ± 2.51 ppm.

Les racines accumulent significativement le sodium par rapport aux feuilles de la fève. La comparaison des moyennes d'interaction salinité- compost de pin d'Alep, selon le test de NEWMAN KEULS à 5% fait ressortir sept groupes homogènes (Annexe 3 tableau 8).

Un groupe A constitue les moyennes les plus élevées se trouvent chez le traitement (S3- 0% de compost) avec 108.33 ± 4.00 ppm cependant les valeurs les plus faibles de sodium dans les racines de la fève sont enregistrées chez les substrats traités à (S0- 20% de compost) avec une moyenne de 15.00 ± 3.51 ppm.

L'adjonction de 10 et 20 % de compost du pin d'Alep a diminué significativement le taux de sodium dans les feuilles et les racines (figure.46).



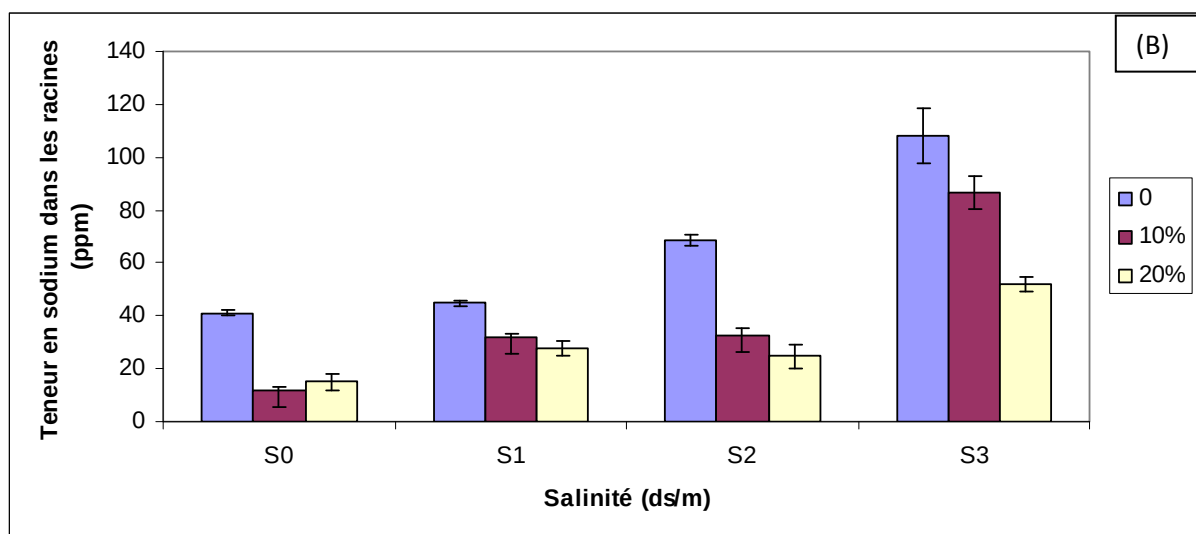


Figure 46. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill sur la teneur en sodium dans les feuilles (A) et les racines de la fève *Vicia faba* L (B).

b. Teneur en potassium

Tableau 38. Moyenne de la teneur en Potassium dans les feuilles et les racines de la fève stressée à la salinité (ds/m) et amendée par le compost de pin d'Alep (%).

Salinité	Taux de compost (%)	Teneur en Potassium dans les feuilles (ppm)	Teneur en potassium dans les racines (ppm)
S0	0	30,66 ±2.08 ^{BC}	24,33 ±4.04
	10	54.00 ±3.60 ^A	35.00 ±2.64
	20	56,33 ±1.52 ^A	39,66 ±1.52
S1	0	36,33 ±1.52 ^B	32.00 ±2.64
	10	60.00 ±7.21 ^A	39.00 ±4.58
	20	61,33 ±1.52 ^A	46.00 ±2.00
S2	0	26,33 ±1.52 ^{CD}	18,33 ±1.52
	10	35,66 ±4.52 ^B	25.00 ±5.00
	20	35.00 ±4.00 ^B	36.00 ±1.73
S3	0	17.00 ±1.73 ^E	11.00 ±3.60
	10	21,33 ±1.15 ^{DE}	16.00 ±1.73
	20	27.00 ±2.64 ^{CD}	19,66 ±2.08

(S0 : témoins ; S1 : 3ds/m ; S2 : 6 ds/m et S3 : 9ds/m).

Les résultats d'analyses de la variance au seuil d'une probabilité $p=5\%$ (Annexe 1 tableau 12) permettent de conclure que les effets des facteurs « salinité » et « Compost » influent de manière hautement significative ($p>0.005$) sur la teneur en potassium dans les feuilles et les racines de la fève *Vicia faba* L. L'effet de l'interaction bi factorielle « salinité - Compost » est significatif dans les feuilles racines de fève. Alors qu'il est non significatif sur les racines de la plante.

D'après le tableau 38 et la figure 47, la teneur en potassium dans les feuilles de la fève est inversement proportionnelle à la salinité. En effet la comparaison des moyennes (Annexe 3 tableau 9) d'interaction salinité- compost, selon le test de NEWMAN KEULS à 5%, fait ressortir cinq groupes homogènes.

Les moyennes les plus élevées appartiennent au groupe A représenté par les traitements (S0- 10% de compost) soit une teneur en potassium dans les feuilles des plantes de 54.00 ± 3.60 ppm, (S0 -20%) avec 56.33 ± 1.52 ppm ; (S1- 10%) soit 60.00 ± 7.21 ppm et (S1- 20%) avec une moyenne de 61.33 ± 1.52 ppm. La valeur la plus faible est enregistrée chez les plantes cultivées dans le substrat traité à (S3- 0 %) soit 21.33 ± 1.15 ppm.

La teneur en potassium dans les racines de la fève est inversement proportionnelle à la salinité (figure 47 (a) et (b)). La valeur la plus élevée est enregistrée chez les plantes cultivées dans le substrat S1- 20 % de compost soit 46.00 ± 2.00 ppm. La teneur en potassium devient faible chez les lots qui sont cultivés dans le sol S0- 0% de compost de pin d'Alep.

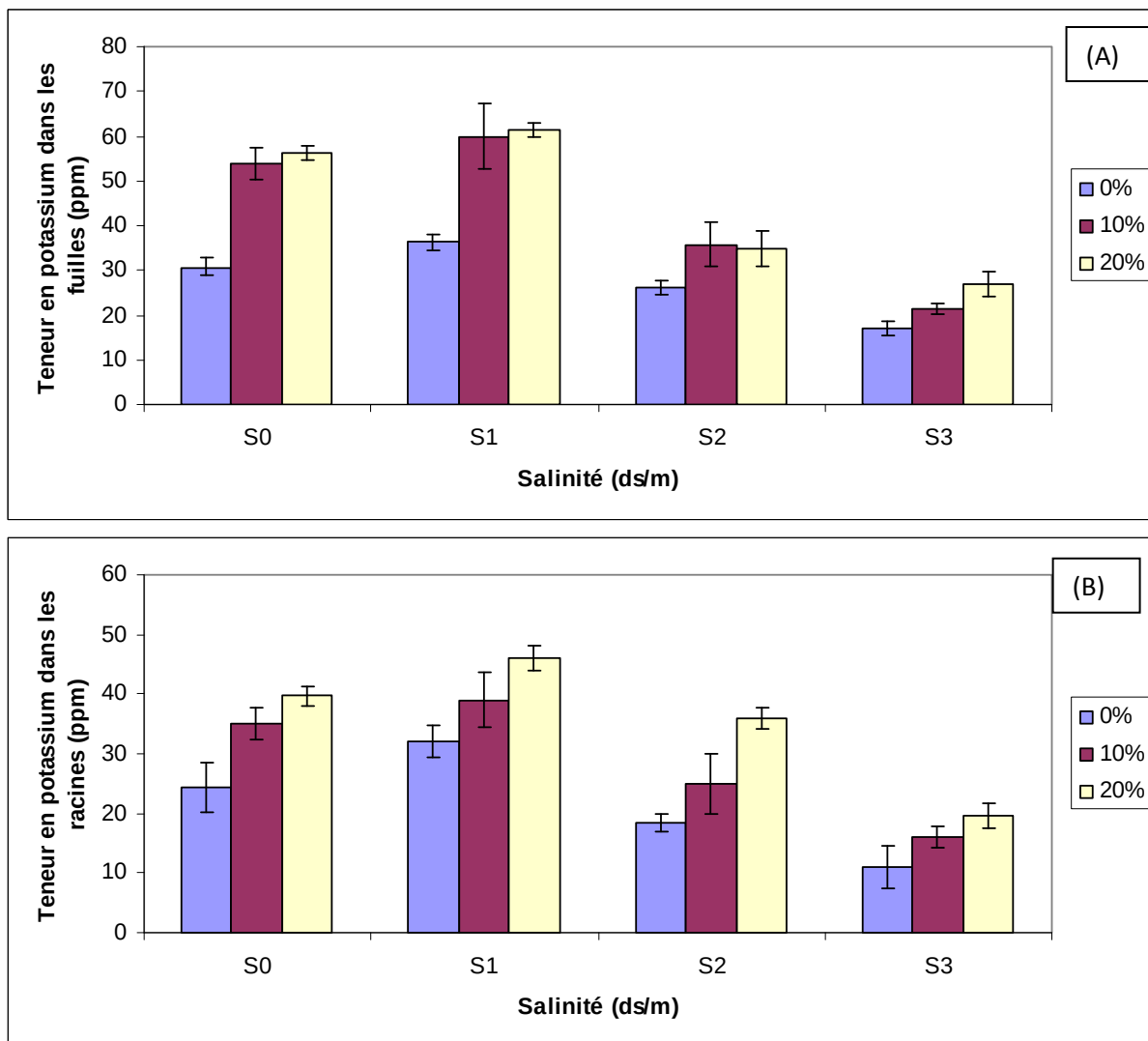


Figure 47. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep *Pinus halepensis* Mill sur la teneur en potassium dans les feuilles (A) et les racines de la fève *Vicia faba* L (B).

Discussion générale

Ce travail vise à étudier l'effet de la salinité et du compost de pin d'Alep comme bio ressource naturelle disponible sur la croissance et la physiologie de la fève. A travers cette étude on peut relever les points essentiels suivants :

La longueur des tiges de la fève *Vicia faba* L a diminué significativement au fort niveau de salinité S2 et S3 (6 et 9 ds/m) cependant l'addition de 20% de compost de pin d'Alep améliore significativement l'allongement des tiges par apport aux plantes stressées. Dans le même contexte, la longueur des racines des plantes a été diminuée significativement à la salinité, la forte dose saline S3 (9 ds/m) enregistre l'allongement le

plus faible. Ces résultats concordent parfaitement aux études de **Lmezri 2007** sur trois espèces du genre *Acacia*, *Eucalyptus* et *Shinu*.

Les stress abiotiques sont responsables d'une perte de rendement estimé à 50% pour les cultures les plus répandues (**Bray et al. 2000 in Vincent, 2006**). Ils constituent donc des facteurs limitateurs non négligeables. Ces stress se traduisent par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance de la plante et sa productivité (**Ben Naceur et al., 1998, 2001 ; Semmadi et Rahmoune, 1995; Wang et al., 2001**). D'une part que la croissance en longueur diminue avec l'augmentation de l'intensité du stress conformément à ce que plusieurs auteurs ont remarqué chez le petit pois (**Okçu Gles et al, 2005**), la fève (**Abdul Qados A.M.S et al 20011**)

L'amendement organique des substrats de la culture par 10% de compost du pin d'Alep provoque l'augmentation de la longueur des racines chez les plantes de fève témoins et celles qui reçoivent la dose saline 3 ds/m (S1). Selon (**Bertoldi M., Vallini G., Pera A, (1983) et Pommel B., Lasserre M. (1982)**), l'utilisation des composts comme amendements en agriculture peut corriger les carences en éléments nutritifs des plantes, assurer une nutrition adéquate, aider les plantes à tolérer des situations de stress, maintenir des conditions optimales de fertilité du sol et améliorer la qualité des cultures.

La salinité appliquée a créé des effets dépressifs sur le poids de la biomasse végétale (aérienne et souterraine) de cette légumineuse. Il convient de noter que le sel a eu un effet négatif sur le poids sec des tiges et des racines. Cette réduction est d'autant plus importante que la concentration du milieu de la salinité augmente. **Mayak et al. (2004)**, la réduction du poids sec des racines n'était observée qu'à des niveaux élevés de NaCl comparativement avec le contrôle (**Viégas et Silveira, 1999**).

Il faut remarquer que le niveau salin de (3 ds/m) n'a provoqué aucun stress chez la fève. Le même résultat a été remarqué par (**Reguieg et al, 2012 ; Kasmi et al, 20012 ; Choi et al 2011 ; Latigui et al 2011 et Latigui et Dellal 2009**).

En revanche l'ajout de 10% de compost augmente la biomasse aérienne et souterraine de la fève sous stress salin.

La mesure de la surface foliaire de la fève montre une diminution significative chez les sujets cultivés dans le sol à forte dose saline et non amendé par le compost.

Alors que l'adjonction de 20% de compost de pin d'Alep engendre l'augmentation de ce paramètre chez les plantes stressées à 6 et 9 ds/m (S2 et S3). Sous l'effet de la salinité, une variété dont la surface foliaire n'est pas affectée contribuerait mieux au transfert des assimilés des feuilles vers les épis et au remplissage des grains qu'une variété dont les feuilles sont réduites par effet de stress (**Benaceur et al, 2001**), d'où réduction de la photosynthèse suite à la diminution de la surface foliaire et fermeture des stomates (taux élevé Na^+ dans les feuilles).

La surface racinaire a été évoluée significativement vis-à-vis de la contrainte saline en particulier chez les plantes qui se trouvent dans les substrats aux niveaux salins S2 et S3 (6 et 9 ds/m).

Les sols soumis à de fortes doses salines (9 g /kg) ont enregistré la quantité la plus faible de la chlorophylle totale de feuille de la féverole. Néanmoins l'amendement du substrat à 20% de compost du pin d'Alep augmente la teneur de ce pigment. Selon Munns et **Termaat (1986)**, durant une exposition des plantes à long terme à la salinité, les symptômes visuels de la sénescence des feuilles en réponse à la salinité sont associés à la réduction du contenu de la chlorophylle (**Viégas et Siveira, 1999**). La salinité provoque une dégradation de la chlorophylle et une accumulation de la fraction soluble des composés azotés (**Viégas et Siveira, 1999**). 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, 1981**).

L'accumulation de la proline dans les feuilles des plantes était importante chez les plantes cultivées dans les sols à des niveaux salins S1 et S2 (3 et 6 ds/m), ces résultats considérés par plusieurs chercheurs chez certaines plantes, comme paramètre de tolérance au stress biotique (**FABRO et al, 2003**) et au stress abiotique y inclut le stress salin. Les résultats obtenus, confirment l'évolution de cet acide aminé différemment dans les organes, ainsi que, son accumulation dans les feuilles plus que dans les autres organes, et cela en fonction de la concentration du sel (**Belkhodja et al, 2000,2005**). Chez de nombreuses espèces, la proline serait synthétisée dans les feuilles et transportée vers les sites de la résistance à la contrainte (**Boutelier, 1986; Ait Sadi, 1990**).

D'après **Paquin (1977)**, **Vezina et Paquin (1982)**, la proline est synthétisée dans les feuilles et transportée vers les sites de résistance aux agressions (les collets et les racines). D'autres travaux signalent que la proline migre vers les feuilles et s'y localise sous contrainte saline (**Chen et Wang, 1991**).

Le niveau de MDA augmente chez la fève d'autant que le stress salin augmente (S2 et S3) en parallèle, l'amendement des sols salin par 10 et 20 % de compost de pin d'Alep élève significativement la quantité de cet antioxydant. Le malondialdéhyde (MDA) est considéré comme un bon indicateur de la tolérance des plantes à différentes contraintes abiotiques (**Hernández, 2000**). Le dosage du MDA renseigne sur l'état de dégradation des membranes cellulaires (**Mahi et al., 2015**). Le contenu en MDA augmente avec la concentration du cadmium, de la salinité et le degré du froid. Récemment, **Daud et al (2015)**, constate que le niveau de MDA augmente chez le coton (*Gossypium hirsutum* L.) stressé au cadmium. Le niveau du MDA invariable semble être une caractéristique des plantes tolérantes à la salinité et le degré des dégâts oxydatifs cellulaires des plantes exposées aux stress abiotiques est fonction de la capacité des plantes à se protéger contre les agents oxydatifs (**Shalata et al., 1998 ; Shalata et al., 2001**). Selon **Ashraf (2004)**, l'impact du stress salin est plus important chez des feuilles sénescentes que chez les feuilles mûres ou jeunes de deux variétés (*Arper et Aristo*) de maïs (*Zea mays* L.). Il relie la meilleure tolérance au sel des feuilles d'*Arper* à la capacité de ces dernières à accumuler des polyphénols, en particulier, les anthocyanines qui selon ces auteurs, participent efficacement à la restriction des dommages oxydatifs causés par la formation des molécules de peroxyde d'hydrogène (H₂O₂).

Les teneurs en Na⁺ et K⁺, ont été analysées au niveau de l'ensemble partie aérienne plus racines des plantes de la fève *Vicia faba* L différemment stressées par la salinité, avec et sans traitement au compost du pin d'Alep. Nos résultats montrent l'existence d'une similitude entre l'effet de la salinité et l'action de compost du pin d'Alep sur la nutrition minérale des plantes de fève. La salinité appliquée a provoqué une augmentation significative des teneurs en sodium dans les deux organes de la fève. Notons, également, que la plus grande partie de Na⁺ prélevée dans le milieu de culture se retrouve dans la partie racinaire. Les plantes cultivées dans les substrats non traités au compost et stressées à salinité accumulent des teneurs plus importantes que les plantes cultivées dans les substrats traités au compost et recevant les mêmes concentrations salines. **Tal et al., (1978)**

; **Arahou, (1986)** et **Ullah et al., (1994)** qui ont rapporté une augmentation des teneurs en Na^+ des feuilles de tomate en présence de sel. **Rush & Epstein, (1981)** et **Schachtman et Munns, (1992)**, ont attribué l'aptitude des plantes à transporter les ions Na^+ dans les feuilles avec la tolérance au sel. En outre, il a été montré que certaines plantes tolérantes accumulent l'ion Na^+ dans les feuilles alors que chez les plantes sensibles comme le haricot, le Na^+ n'est pas ou peu transporté vers les feuilles et s'accumulent dans les racines (**Slama, 1986**). Les cations sont liés aux feuillettes de bentonite par des forces de nature électrostatique et possèdent la propriété d'être échangeables. Cette facilité d'échange sera aussi un facteur influant sur la nutrition minérale des plantes. Le classement général admis et cité par **Wakim J, (2005)**. $\text{Li}^+ \text{Na}^+ \text{NH}_4^+ \text{K}^+ \text{Mg}^{2+} \text{Ca}^{2+} \text{Al}^{3+}$. D'après cette série, le sodium est le plus facile à remplacer alors que l'aluminium est le plus difficile. L'apport de la salinité croissante se traduit par une diminution du contenu en potassium chez les deux substrats de cultures avec des taux plus élevés en potassium sont enregistrés au substrat amendé par le compost du pin d'Alep. Aucune différence de la teneur en K^+ entre les deux parties n'a été enregistrée. Ainsi que le taux de cet élément baisse faiblement contrairement aux témoins. Cette fois, ici, nous avons observé également, que la plus grande partie de K^+ prélevée dans le milieu de culture se retrouve dans les parties aériennes. Dans ces conditions de salinité associées avec la présence de bentonite l'aptitude d'absorption de potassium par les racines devient un facteur important qui influe sur le niveau de sélectivité ionique (**Alem et Amri, 2005**).

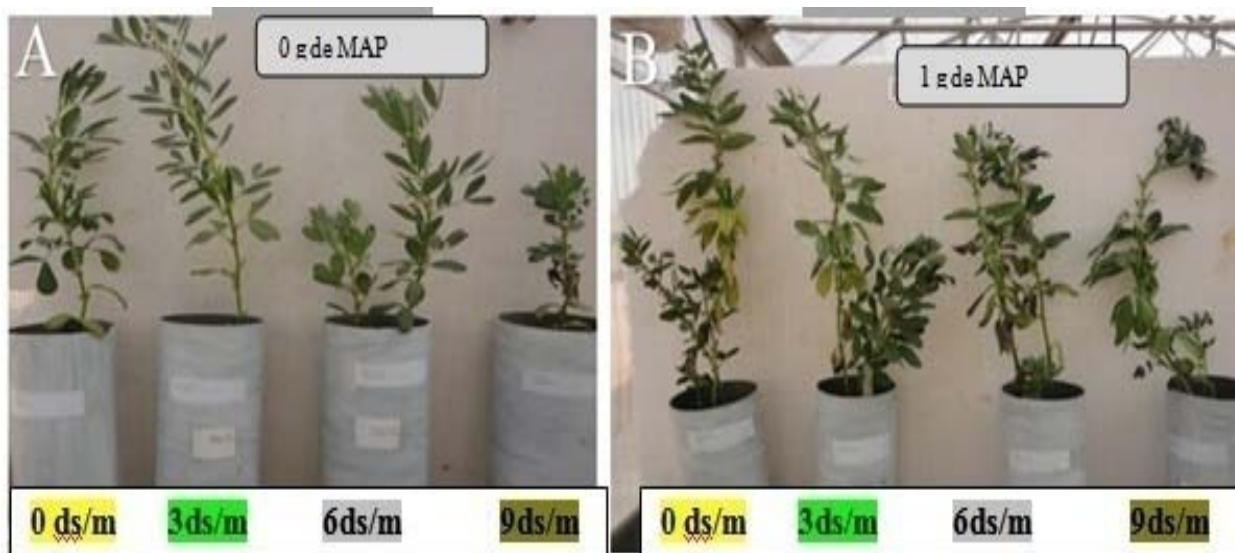
III.2 Effet de la salinité et de monoammonium phosphaté 12-61 sur le comportement de la fève *Vicia Faba* L minor

Cette étude nous permet d'élucider la croissance et le développement des plantes de la fève *Vicia faba* L minor. Cultivées dans un substrat soumis à différentes concentrations de salinité (S1, S2 et S3) traité ou non par monoammonium phosphaté 12-61 à travers les paramètres biométriques tels que la longueur des tiges et des racines, le poids sec des parties aériennes et des racines ainsi que la surface foliaire et racinaire.

III-2-1 Constat visuel

. Les figures ci-dessous montrent l'état des plantes à la fin de l'expérimentation. Les variations observées sur ces paramètres biométriques sont illustrées dans les figures ci-dessous.

Les constats visuels, montrent l'action défavorable de la salinité sur la croissance de la fève. Ces plantes affectées par les fortes doses salines S3 (9 ds/m), étaient plus petites en dimensions avec moins de feuilles dont la plupart sont chloroses. Bien qu'elles étaient modérément affectées (3 et 6 ds/m de salinité), les plantes poursuivent leur croissance. Alors que l'addition de 1 et 1.5 g de monoammonium phosphaté a amélioré nettement les paramètres biométriques des plantes (longueur des tiges, la surface, le tallage et le nombre de feuilles) qui se trouvent dans les conditions de la salinité du sol.



(S0 : témoins ; S1 : 3ds/m ; S2 : 6 ds/m et S3 : 9 ds/m).

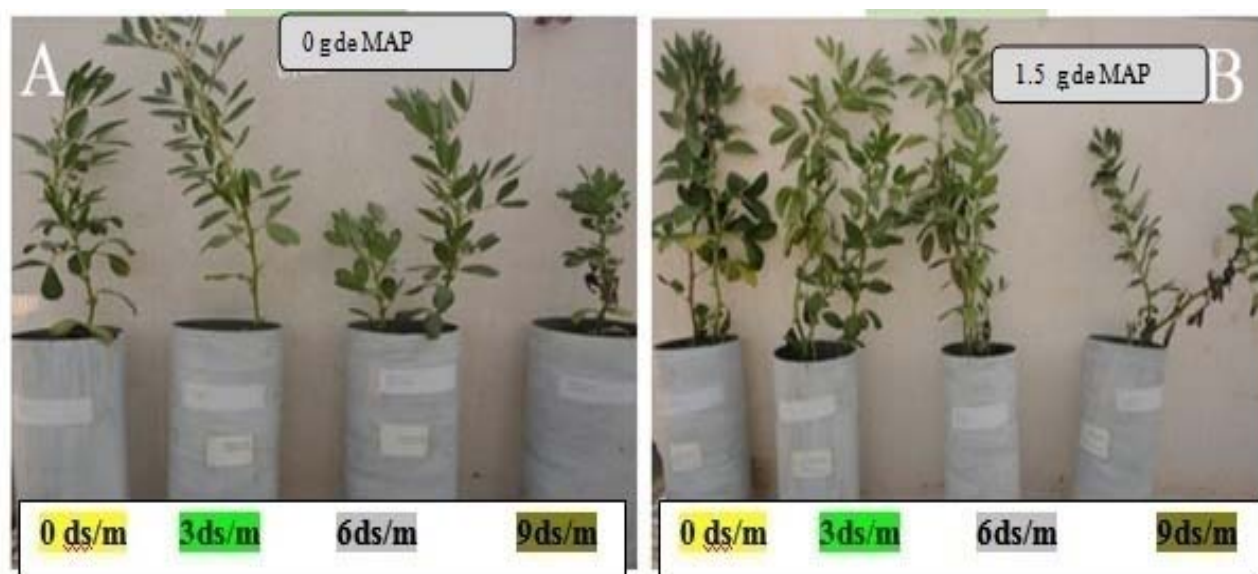


Figure 48. Comparaison de la croissance de la fève *Vicia faba* L stressée à la salinité et traitée par monoammonium phosphaté 12-61 (Photo prise par Nouri Le 20/04/ 2017).

III.2.2 Longueur des tiges et des racines de la fève

Le tableau 39 et les figures 49 et 50 représentent la variation de la longueur des tiges et des racines de la fève *Vicia faba* L. sous l'effet de la salinité (ds/m) et du monoammonium phosphaté 12-61 (g).

Tableau 39. Moyennes de la longueur des tiges (cm) et des racines (cm) de la fève *Vicia faba* L. sous l'effet de la salinité (ds/m) et du monoammonium phosphaté (g).

Salinité	Dose de monoammonium phosphaté (g)	Longueur des tiges (cm)	Longueur des racines (cm)
S0	0	39.62 ± 7.95	14.81±4.67 ^{ABCD}
	1	50.50± 6.60	17.53±0.82 ^{ABC}
	1.5	52 ± 5.47	16.903±1.34 ^{ABC}
S1	0	39.50± 3.69	20.08±4.15 ^A
	1	49.12± 6.63	11.66±2.23 ^{CD}
	1.5	49.5 ± 6.80	15.50±4,78 ^{ABC}
S2	0	29.00± 4.143	18,09±0.50 ^{AB}
	1	45.62± 5.02	14.71±2.19 ^{ABCD}
	1.5	45.00± 7.34	14.14±4.00 ^{ABCD}
S3	0	31.00± 8.28	12.76±1.56 ^{BCD}
	1	36.7 ± 6.70	9.52±2.68 ^D
	1.5	44.00± 13.78	14.49±2.03 ^{ABCD}

(S0 : témoins ; S1 : 3ds/m ; S2 :6 ds/m et S3 :9ds/m).

a) Longueur des tiges de la fève

L'analyse de la variance au seuil d'une erreur $\alpha = 0.05$ de l'effet de la salinité nous a permis de signaler des effets significatifs sur la longueur des tiges des plantes ($P = 0.004$). Ainsi que l'addition du monoammonium phosphaté au substrat révèle des effets significatifs ($P = 0.00004$). L'interaction bi factorielle salinité- monoammonium phosphaté n'a enregistré aucun effet significatif sur ce paramètre chez la fève *Vicia faba* L. (Annexe 2 , tableau 1).

Les résultats du tableau 39 et la figure 49 montrent que la longueur des tiges est inversement proportionnelle au stress salin. La valeur la plus importante a été enregistrée chez les plantes cultivées dans le substrat témoin (S0) et traité à 1.5g de monoammonium phosphaté avec une longueur de 52.00 ± 5.47 cm. On remarque que le déclin de ce paramètre a été mentionné chez les lots qui se trouvent dans le substrat à 6 ds/m (S2) de salinité et sans traitement de monoammonium phosphaté (0g) soit un taux de réduction de la longueur des tiges de 44.23% par rapport aux plantes témoins.

Chez tous les substrats affectés ou non par la salinité, le monoammonium phosphaté a amélioré nettement la croissance de la tige de la fève *Vicia faba* L.

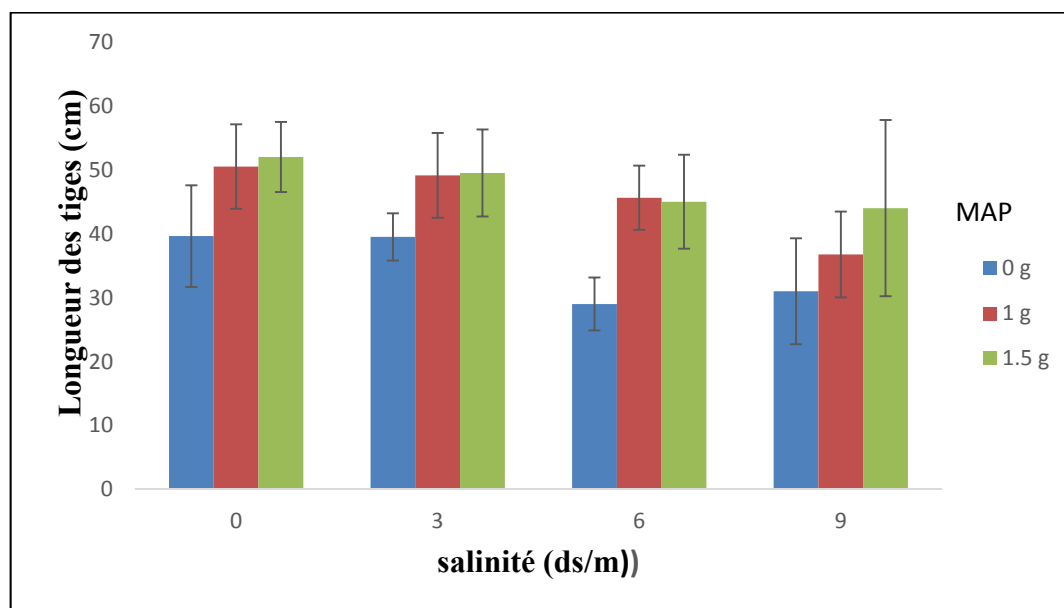


Figure 49. Effet combiné de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la longueur des tiges de la fève.

b) Longueur des racines de la fève

L'analyse de la variance au seuil d'une erreur $\alpha=0.05$ montre que l'effet de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la longueur des racines est significatif $P=0.001$ et $P=0.007$ progressivement. Il faut signaler que l'effet de l'interaction salinité-monoammonium phosphaté est significatif ($P=0.003$) sur ce paramètre étudié de la fève. (Annexe 2 tableau. 2).

La longueur des racines régresse au fur et à mesure que le stress salin augmente. En effet le test de New mean Keuls au seuil d'une erreur $\alpha=0.05$ de la comparaison des moyennes de la longueur des racines montre que l'interaction bi factorielle salinité - monoammonium phosphaté fait ressortir sept groupes homogènes.

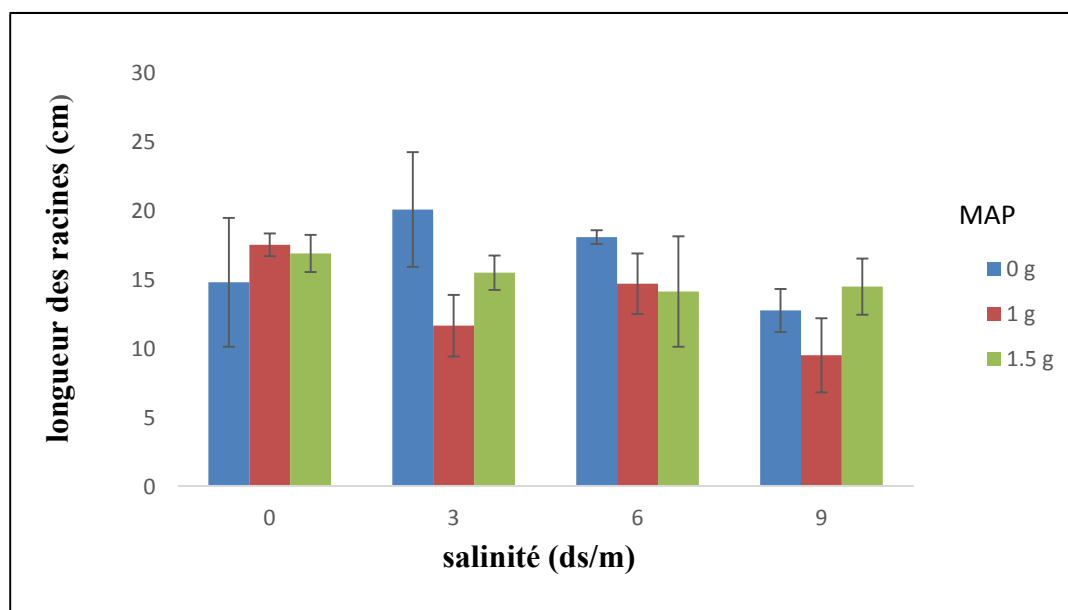


Figure 50. Effet combiné de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la longueur des racines de la fève.

Le groupe dominant (A) représenté par les moyennes les plus élevées (0g de monoammonium phosphaté avec 3ds/m de salinité (S1)) avec 20.08 ± 4.15 cm. Alors que la moyenne la plus faible (S3- 1g de monoammonium phosphaté) appartient au groupe D avec une valeur de 9.52 ± 2.68 cm soit un taux de diminution de 52.58% par rapport aux plantes témoins. Les autres moyennes de ce paramètre étudié appartiennent aux groupes homogènes (AB, ABC, ABCD, BCD et CD) (Annexe 4 tableau. 1).

Le test T de Student au seuil d'erreur $\alpha = 0.05$ de la comparaison de moyennes de la longueur des tiges et des racines montrent une différence significative ($p < 0.05$). Le monoammonium phosphaté 12-61 a réagi significativement et positivement dans la partie aérienne par rapport à celle souterraine.

III.2.3 Effet de la salinité et du monoammonium Phosphaté sur le poids sec de la fève

Le poids est considéré comme critère fondamental pour évaluer la croissance végétale. L'effet combiné de la salinité (ds/m) et du monoammonium phosphaté (g) sur la production de la biomasse végétale de la fève *Vicia faba* L. Var. *SIDI AICH* est illustré dans le tableau 40 et la figure 51.

Tableau 40. Moyenne du poids sec (g) de la fève *Vicia faba* L sous l'effet de la salinité (ds/m) et de monoammonium phosphaté (g).

Salinité	Dose de monoammonium phosphaté (g)	Poids sec (g)
S0	0	3.85±0.129 ^{CD}
	1	7.82±0.60 ^{BCD}
	1.5	8.25±0.85 ^{BC}
S1	0	3.975±0.62 ^{CD}
	1	12.15±0.92 ^{AB}
	1.5	15.75±4.34 ^A
S2	0	9.02±1.50 ^{BC}
	1	7.95±2.55 ^{BCD}
	1.5	5.40±0.82 ^{BCD}
S3	0	1.02±0.55 ^D
	1	2.675±0.65 ^{CD}
	1.5	5.45±9.04 ^{BCD}

(S0 : témoins ; S1 : 3ds/m ; S2 : 6 ds/m et S3 : 9ds/m).

L'analyse de la variance au seuil d'une erreur $\alpha = 0.05$ de l'effet de la salinité nous a permis à signaler des effets hautement significatifs sur le poids sec de plantes ($P = 0.00$). Ainsi que l'addition du monoammonium phosphate au substrat révèle des effets hautement significatifs ($P = 0.0000$). L'interaction bi factorielle salinité- monoammonium est hautement significative ($P = 0,00$). (. Annexe 2 tableau.3.).

Le test de New mean Keuls au seuil d'une erreur $\alpha = 0.05$ de la comparaison des moyennes du poids sec des plantes sous l'effet de la salinité et monoammonium phosphaté fait ressortir neuf groupes homogènes. Un groupe dominant (A) représenté par les moyennes les plus élevées (1g de monoammonium phosphaté dans 3ds/m de salinité) soit 10 ± 0.37 g de poids sec. En revanche, la moyenne la plus faible (0 g de monoammonium phosphaté dans 0 ds/m de salinité) appartient au groupe homogène F. Les autres moyennes sont représentées par les groupes homogènes suivants (AB, ABC, ABCD, BCDE, CDE, DE et E) (tableau 2 -Annexe 4).

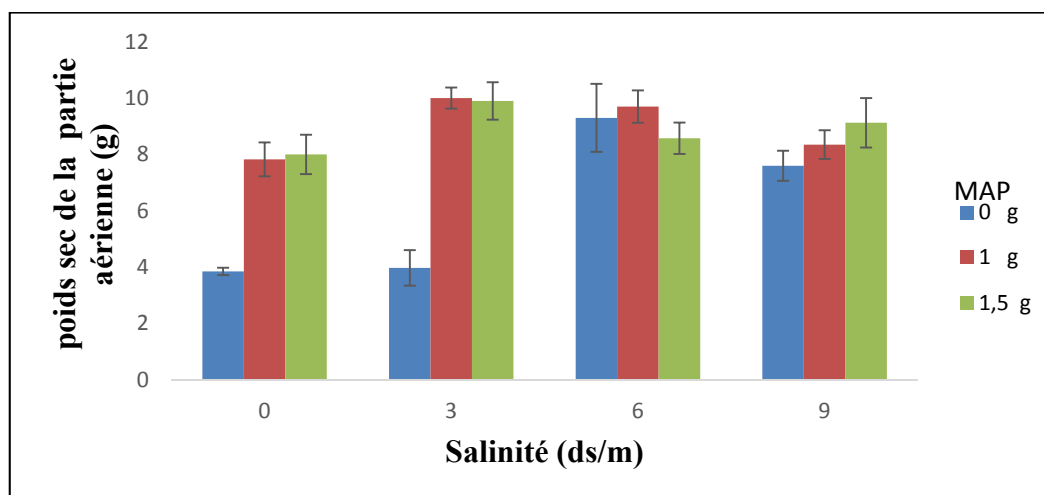


Figure 51. Effet de la salinité et du monoammonium phosphaté sur le poids sec de la fève.

III.2.4 Effet de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la surface foliaire et racinaire de la fève.

Les mesures de la surface foliaire et racinaire sont désignées dans le tableau 41, avec leur représentation graphique illustrée dans la figure (52 et 53).

Tableau 41. Moyenne de la surface foliaire et racinaire (cm^2) des parties aériennes et souterraines de la fève *Vicia faba* L. sous l'effet de la salinité (ds/m) et de monoammonium phosphaté (g).

Salinité (ds/m)	Dose de monoammonium phosphaté (g)	Surface foliaire (cm^2)	Surface racinaire (cm^2)
S0	0	44.72± 6.80 ^{ABC}	111.81±72.148 ^A
	1	44.89±3.30 ^{ABC}	49.84±13.78 ^B
	1.5	47.11±6.33 ^{AB}	49.10±16.84 ^B
S1	0	35.18±12.09 ^{BCD}	130.92±38.00 ^A
	1	67.03±16.54 ^A	41.08±8.22 ^B
	1.5	46.50±3.23 ^{AB}	41.51±12.68 ^B
S2	0	29.62±6.86 ^{BCD}	65.10±19.27 ^B
	1	44.41±9.18 ^{ABC}	30.08±12.54 ^B
	1.5	32.29±18.60 ^{ABC}	35.68±12.13 ^B
S3	0	18.31±8.60 ^D	14.78±1.73 ^B
	1	14.09±7.10 ^D	9.13±6.41 ^B
	1.5	20.89±17.21 ^{CD}	38.72±6.13 ^B

a. Surface foliaire de la fève

L'analyse de la variance au seuil d'erreur $\alpha=0.05$ de la salinité sur la surface foliaire l'effet est significatif ($P=0.00$). Le facteur monoammonium phosphaté montre un effet significatif ($P=0.03$). L'effet de l'interaction des facteurs salinité et monoammonium phosphaté sur la surface foliaire des plantes de la fève est significatif ($P=0.03$) (Annexe 2 tableau 4).

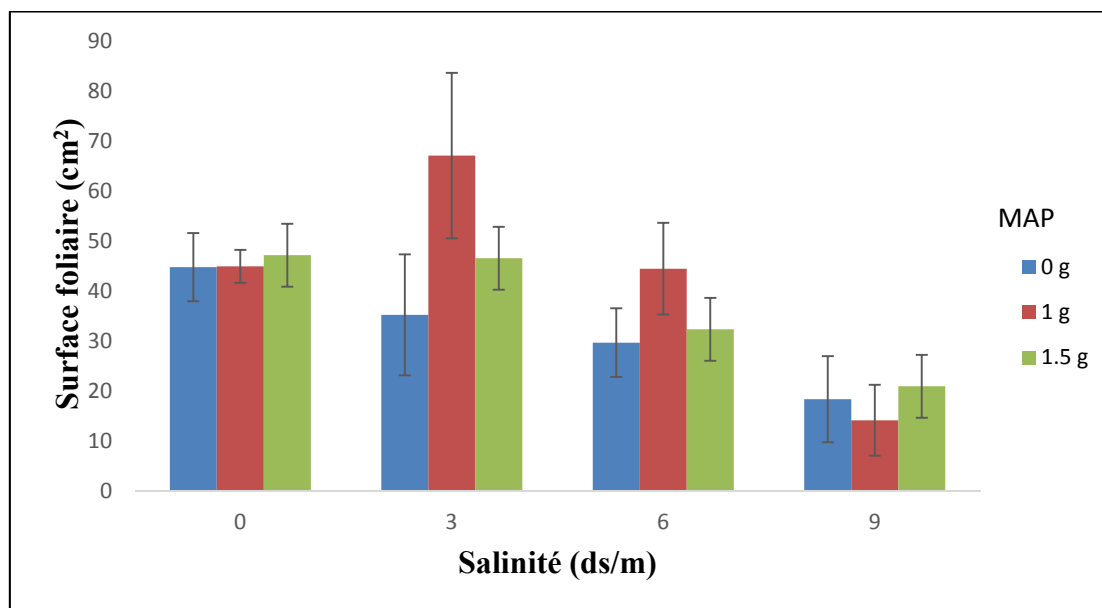


Figure 52. Effet combiné de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la surface foliaire de la fève.

Selon la figure 52, la surface foliaire des plantes est inversement proportionnelle au stress salin. Le test de New mean Keuls au seuil d'une erreur $\alpha=0.05$ de la comparaison des moyennes de l'effet de l'interaction salinité- monoammonium phosphaté sur la surface foliaire fait ressortir six groupes homogènes. Le groupe dominant (A) représenté par les moyennes les plus élevées des plantes stressé par 3 ds/m de salinité et traité par 1g de monoammonium phosphaté avec une moyenne de 67.03 ± 16.54 cm de longueur. Alors que les moyennes les plus faibles appartiennent au groupe D se trouvent chez les plantes cultivées dans des sols à 9 ds/m de salinité (S3) - 0g de monoammonium phosphaté et 9 ds/m de salinité (S3) -1g de monoammonium phosphaté. Les autres traitements (salinité – monoammonium phosphaté) sont représentés par les groupes suivant (AB, ABC, BCD, CD) (Annexe 4 tableau 3).

b. Surface racinaire de la fève

L'analyse de la variance au seuil d'une erreur $\alpha = 0.05$ de l'effet de la salinité sur la surface racinaire de la fève *Vicia faba* L montre des effets significatifs ($P=0,00006$). L'effet de monoammonium phosphaté sur ce paramètre signale des effets hautement significatifs ($P = 0.00$). L'effet de l'interaction des facteurs salinité et monoammonium phosphaté sur la surface racinaire des plantes de la fève est hautement significatif ($P=0.000$). (Annexe 2 tableau 5).

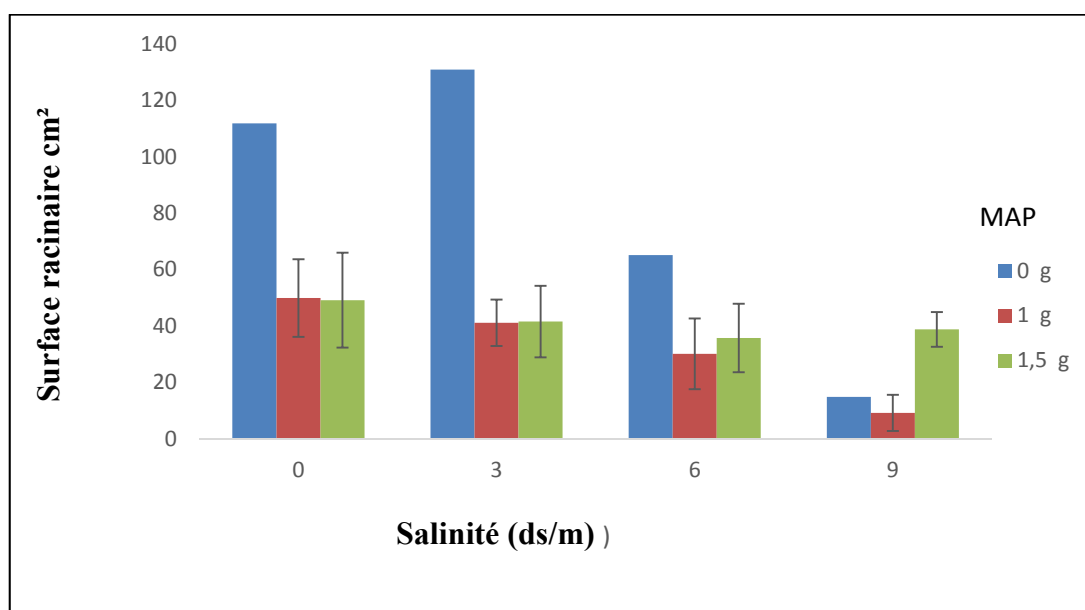


Figure 53. Effet combiné de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la surface racinaire de la fève.

D'après la figure 53, la surface foliaire de la fève *Vicia faba* L diminue au fur et à mesure que le stress salin augmente. Le test de New mean Keuls au seuil d'une erreur $\alpha = 0.05$ de la comparaison des moyennes de l'interaction salinité- monoammonium phosphaté, fait ressortir deux groupes homogènes. Le premier groupe dominant (A) représenté par les moyennes les plus élevées (3ds/m de salinité -1g de monoammonium phosphaté) avec une moyenne de $130.92 \pm 38.00 \text{ cm}^2$. Alors que la moyenne la plus faible (9 ds/m de salinité - 1g du monoammonium phosphaté) appartient au groupe B (Annexe 4 tableau 4). L'adjonction 1 et 1.5g de monoammonium phosphaté dans les doses salines de 6 et 9 ds/m a diminué significativement la surface racinaire des plantes.

III-2.5 Paramètres biochimiques et physiologiques

a. Teneur en chlorophylle totale

Le tableau 42 et la figure 54 représentent la variation de la teneur en chlorophylle totale sous l'effet de la salinité (ds/m) et du monoammonium phosphaté 12-61-0 (g).

Tableau 42. Moyenne de la teneur en chlorophylle totale ($\mu\text{g/g}$ MF) dans les feuilles de la fève sous l'effet de la salinité (ds/m) et du monoammonium phosphaté (g).

Salinité (ds/m)	Dose de monoammonium phosphaté (g)	Teneur en chlorophylle ($\mu\text{g/g}$ MF)
S0	0	13.20 $\pm$ 1.82
	1	11.79 $\pm$ 7.32
	1.5	14.52 $\pm$ 1.04
S1	0	15.21 $\pm$ 2.93
	1	16.01 $\pm$ 4.41
	1.5	19.36 $\pm$ 1.54
S2	0	16.76 $\pm$ 6.18
	1	16.53 $\pm$ 2.86
	1.5	20.94 $\pm$ 3.60
S3	0	14.11 $\pm$ 4.30
	1	13.99 $\pm$ 4.46
	1.5	16.02 $\pm$ 3.80

(S0 : témoins ; S1 : 3ds/m ; S2 :6 ds/m et S3 :9ds/m).

La salinité appliquée montre des effets significatifs sur le taux de chlorophylle totale dans les feuilles de la fève *Vicia faba* L ($P=0.02$). Par contre l'effet du monoammonium phosphate sur la quantité de ce pigment est non significatif ($P=0.06$). L'action conjuguée de la salinité et du monoammonium phosphate sur ce paramètre étudié n'a provoqué aucun effet significatif. (Annexe 2 tableau.6).

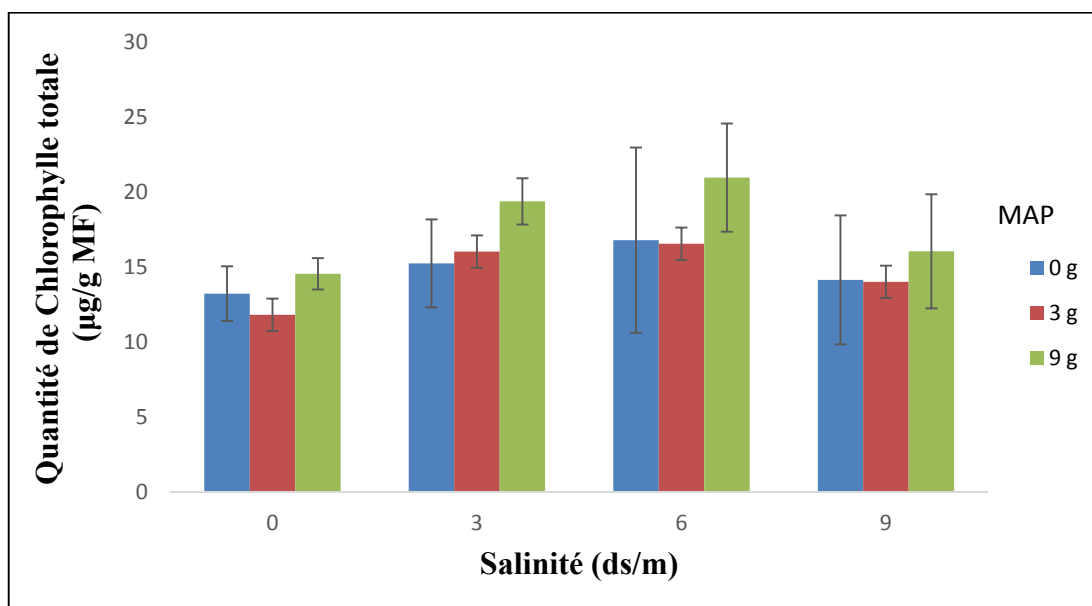


Figure 54. Effet combiné de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la teneur en chlorophylle totale de la fève.

La teneur en chlorophylle totale augmente chez les plantes stressées à 3 et 6 ds/m de sels et amendées par 1 et 1.5g de monoammonium phosphaté par rapport aux sujets témoins (Figure. 54). Par contre chez les lots qui reçoivent la forte dose saline (9ds/m), la quantité de chlorophylle était de 11.79 ± 7.32 ($\mu\text{g/g MF}$). Les valeurs les plus élevées ont été remarquées chez les plantes qui se trouvent dans les substrats traités à 1.5g de monoammonium phosphaté et stressées à 3 et 6 ds/m avec 19.36 ± 1.54 et 20.94 ± 3.60 ($\mu\text{g/g MF}$) progressivement.

b. Teneur en proline

La figure 55 et le tableau 43 représentent la variation de la teneur en proline $\mu\text{Mol}/100\text{mg MF}$ sous l'effet combiné de la salinité (ds/m) et du monoammonium phosphaté.

Tableau 43. Moyenne de la teneur en proline ($\mu\text{Mol}/100\text{mg}$) de la fève sous l'effet de la salinité (ds/m) et du monoammonium phosphaté (g).

Salinité (ds/m)	Dose de monoammonium phosphaté (g)	Proline ($\mu\text{Mol}/100\text{mg MF}$)
S0	0	12.20 $\pm$ 0.28 ^B
	1	16.40 $\pm$ 0.12 ^B
	1.5	13.80 $\pm$ 0.23 ^B
S1	0	14.00 $\pm$ 0.17 ^B
	1	13.40 $\pm$ 0.08 ^B
	1.5	23.00 $\pm$ 0.35 ^B
S2	0	14.20 $\pm$ 0.42 ^B
	1	37.40 $\pm$ 0.01 ^A
	1.5	13.40 $\pm$ 0.04 ^B
S3	0	19.50 $\pm$ 0.69 ^B
	1	14.80 $\pm$ 0.44 ^B
	1.5	12.00 $\pm$ 0.23 ^B

L'analyse de la variance au seuil d'une erreur $\alpha = 0.05$ de l'effet de la salinité et du monoammonium phosphaté montre des effets significatifs ($P=0.00825$) et ($P=0,0088$) progressivement sur la teneur en proline la fève *Vicia faba* L. L'interaction monoammonium phosphaté –salinité signale des effets hautement significatifs ($P=0.00017$) sur cet acide aminé. (Annexe2 tableau.7).

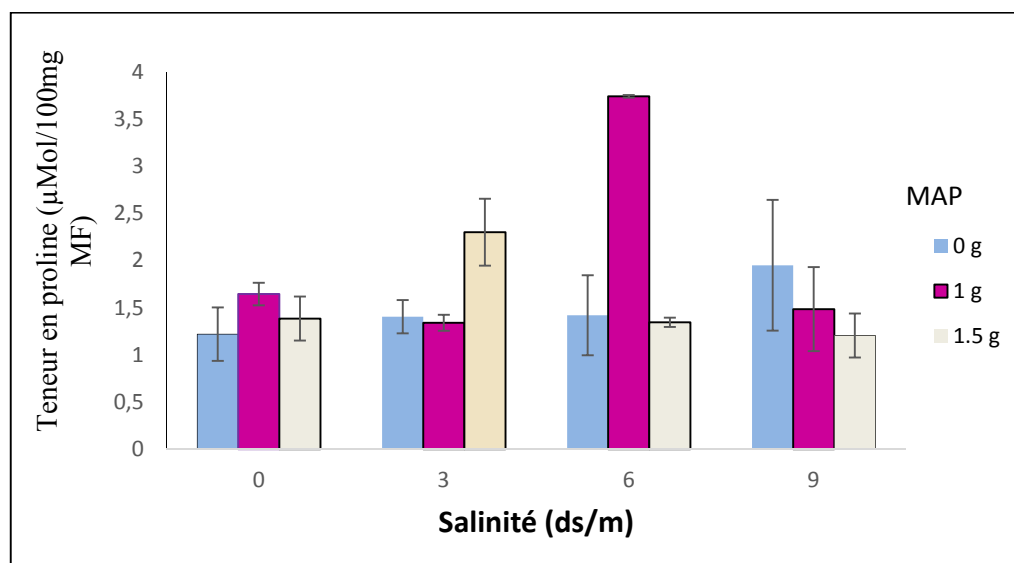


Figure 55. Effet de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la teneur de proline de la fève.

On remarque dans le sol amendé par 1g de monoammonium phosphaté et affecté par 6 ds/m de salinité que l'évolution de la teneur en proline dans la plante a été élevée par rapport aux plantes témoins.

En effet le test de New mean Keuls au seuil d'une erreur $\alpha=5\%$ de la comparaison des moyennes de salinité fait ressortir deux groupes homogènes. Un groupe dominant (A) représenté par les moyennes les plus élevées (6 ds/m de salinité et 1g du monoammonium phosphate 12-61) avec une moyenne $37.40 \pm 0.014 \mu\text{Mol}/100\text{mg MF}$ de proline. Alors que la moyenne la plus faible (9 ds/m de salinité et 1.5g de monoammonium phosphaté) appartenant au groupe B. (- Annexe 4 tableau. 5).

c. Quantité de malondialdéhyde (MAD)

La figure 56 et le tableau 44 représentent la variation de la quantité de malondialdéhyde ($\mu\text{mol}/\text{g.ms}$) sous l'effet combiné de la salinité (ds/m) et du monoammonium phosphaté 12-61.

Tableau 44. Moyenne de la quantité de malondialdéhyde (MAD) sous l'effet de la salinité et du monoammonium phosphaté 12-61

Salinité	Dose de MAP	Quantité de MAD ($\mu\text{mol/g.ms}$)
S0	0	13.00 ± 1.00 ^{DE}
	1	$19,66 \pm 2.08$ ^C
	1.5	$25,33 \pm 0.57$ ^A
S1	0	$14,66 \pm 0.57$ ^{DE}
	1	$19,33 \pm 2.51$ ^C
	1.5	21.00 ± 1.00 ^{BC}
S2	0	23.00 ± 2.64 ^{AB}
	1	15.00 ± 1.00 ^{DE}
	1.5	$11,66 \pm 1.52$ ^E
S3	0	$24,33 \pm 0.57$ ^{AB}
	1	$23,33 \pm 1.52$ ^{AB}
	1.5	$15,66 \pm 1.15$ ^D

S0 : témoins ; S1 : 3ds/m ; S2 : 6 ds/m et S3 : 9ds/m).

Les résultats d'analyses de la variance au seuil d'une probabilité $p=5\%$ (Annexe 2 tableau.8) permettent de conclure que les effets des facteurs « salinité » et « monoammonium phosphaté » et les effets d'interaction bi factorielle salinité- mono ammonium phosphaté influent de manière hautement significative ($p>0.005$) sur la quantité de malondialdéhyde dans la plante de la fève *Vicia faba* L.

Les résultats montrent une variabilité d'accumulations de MDA, produit final de la peroxydation lipidique, considéré comme indicateur de stress oxydatif résultant de stress salin. Cette variabilité s'observe aussi bien chez les plantes témoins que chez les plantes traitées.

La comparaison des moyennes (Annexe 4 tableau 6.) d'interaction salinité- mono ammonium phosphaté, selon le test de NEWMAN KEULS à 5% fait ressortir cinq groupes homogènes (tableau. Annexe). L'accumulation de MDA au niveau des plantes (figure 55) de fève ($11.66 \pm 1.52 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ms}$) au traitement (S2- 1.5 g de monoammonium phosphaté) représente le groupe homogène E, moins importante que celle montrée par le

traitement (S0- 1.5 g de monoammonium phosphaté) soit $(25.33 \pm 0.57 \mu\text{mol g}^{-1} \text{ ms})$ appartient au groupe dominant A.

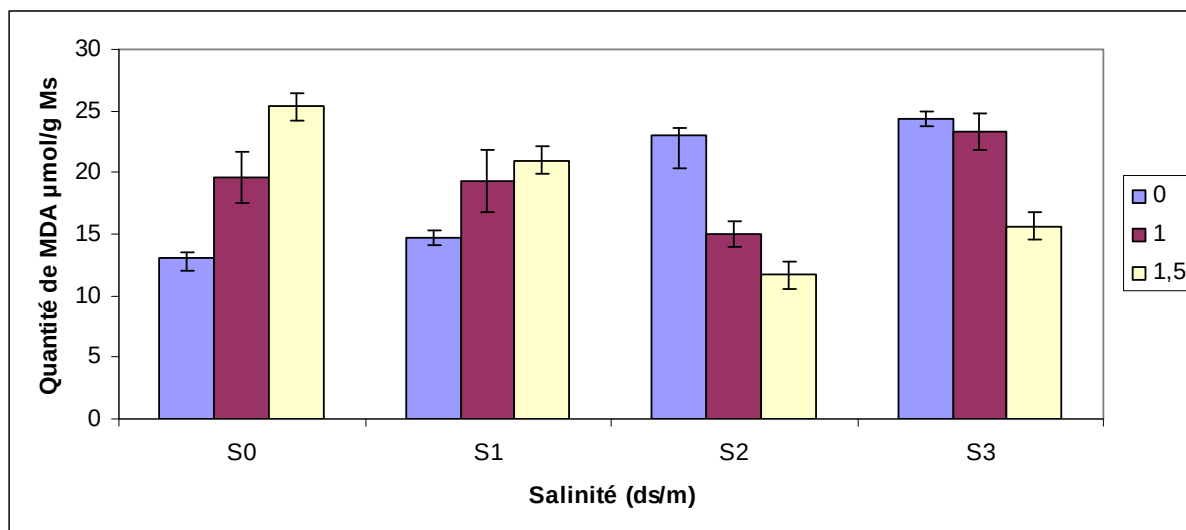


Figure 56. Effet de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la quantité de MAD ($\mu\text{mol/g}$ ms) de la fève *Vicia faba* L

III.2.6 Bilan minéral du sodium et du potassium dans la plante (feuilles et racines)

a .Teneur en sodium dans la fève

La figure 57 et le tableau 45 représentent la variation de la teneur en sodium (ppm) dans les parties aérienne et racinaire de la fève sous l'effet combiné de la salinité (ds/m) et du monoammonium phosphaté 12-61.

Tableau 45. Moyenne de la teneur en sodium dans les feuilles et les racines sous l'effet de la salinité et du monoammonium phosphaté 12-61

Salinité	Dose de MAP (g)	Teneur en sodium dans les feuilles (ppm)	Teneur en sodium dans les racines (ppm)
S0	0	27,66 ±4.58 ^{CD}	29.00 ±1.00 ^E
	1	15,33 ±1.15 ^F	12,66 ±1.52 ^F
	1.5	10,66 ±3.51 ^G	11,66 ±3.00 ^F
S1	0	25,66 ±8.50 ^D	29,33 ±1.00 ^E
	1	9,66 ±1.52 ^G	23.00 ±1.00 ^{EF}
	1.5	8.00 ±2.08 ^G	13,33 ±2.51 ^F
S2	0	35,33 ±1.73 ^B	56,66 ±2.08 ^C
	1	27,66 ±1.00 ^{CD}	32.00 ±2.51 ^E
	1.5	20.00 ±8.08 ^E	29.00 ±4.50 ^E
S3	0	52.00 ±4.00 ^A	111,66 ±10.40 ^A
	1	31,33 ±5.50 ^C	66,66 ±6.11 ^B
	1.5	25.00 ±1.00 ^D	43.00 ±2.64 ^D

MAP : monoammonium phosphaté 12-61.

Les résultats d'analyses de la variance au seuil d'une probabilité $p=5\%$ (Annexe 2 tableau 9 et 10) permettent de conclure que les effets des facteurs « salinité » et « monoammonium phosphaté » et les effets d'interaction bi factorielle salinité- mono ammonium phosphaté influent de manière hautement significative ($p>0.005$) sur la teneur en sodium dans les feuilles et les racines de la fève *Vicia faba* L.

D'après les résultats, la teneur en sodium dans les feuilles de plantes augmente au fur et à mesure que le niveau de salinité augmente. La comparaison des moyennes d'interaction salinité- monoammonium phosphaté, selon le test de NEWMAN KEULS à 5% fait ressortir six groupes homogènes (Annexe 4 tableau 7), le groupe A représenté par le traitement (S3-0 g de monoammonium phosphaté) avec les teneurs les plus élevées en sodium dans les feuilles de la fève soit une moyenne de 52.00 ± 4.00 ppm, le sixième groupe F (S0- 1 g de monoammonium phosphaté) représente les valeurs les plus faibles avec 15.33 ± 1.15 ppm. L'accumulation de sodium dans les racines était élevée par rapport aux feuilles de la fève. La comparaison des moyennes (Annexe 4 tableau 8) d'interaction salinité- monoammonium phosphaté, selon le test de NEWMAN KEULS à 5%, fait ressortir sept groupes homogènes. Un groupe dominant A constitué par le traitement (S3- 0 g de monoammonium phosphaté) avec une moyenne de 111.66 ± 10.40 ppm qui est plus

élevée que celle du septième groupe homogène F par les traitements (S0- 1g de monoammonium phosphaté) soit 12.66 ± 1.52 ppm ; (S0- 1.5 g de monoammonium phosphaté) avec 11.66 ± 3.00 ppm ; (S1 – 1.5 g de monoammonium phosphaté) avec une moyenne de 13.33 ± 2.51 ppm. L'addition de 1 et 1.5 g de mono ammonium phosphaté a diminué significativement le taux de sodium dans les feuilles et les racines de la fève *Vicia faba* L (figure.57 a et b).

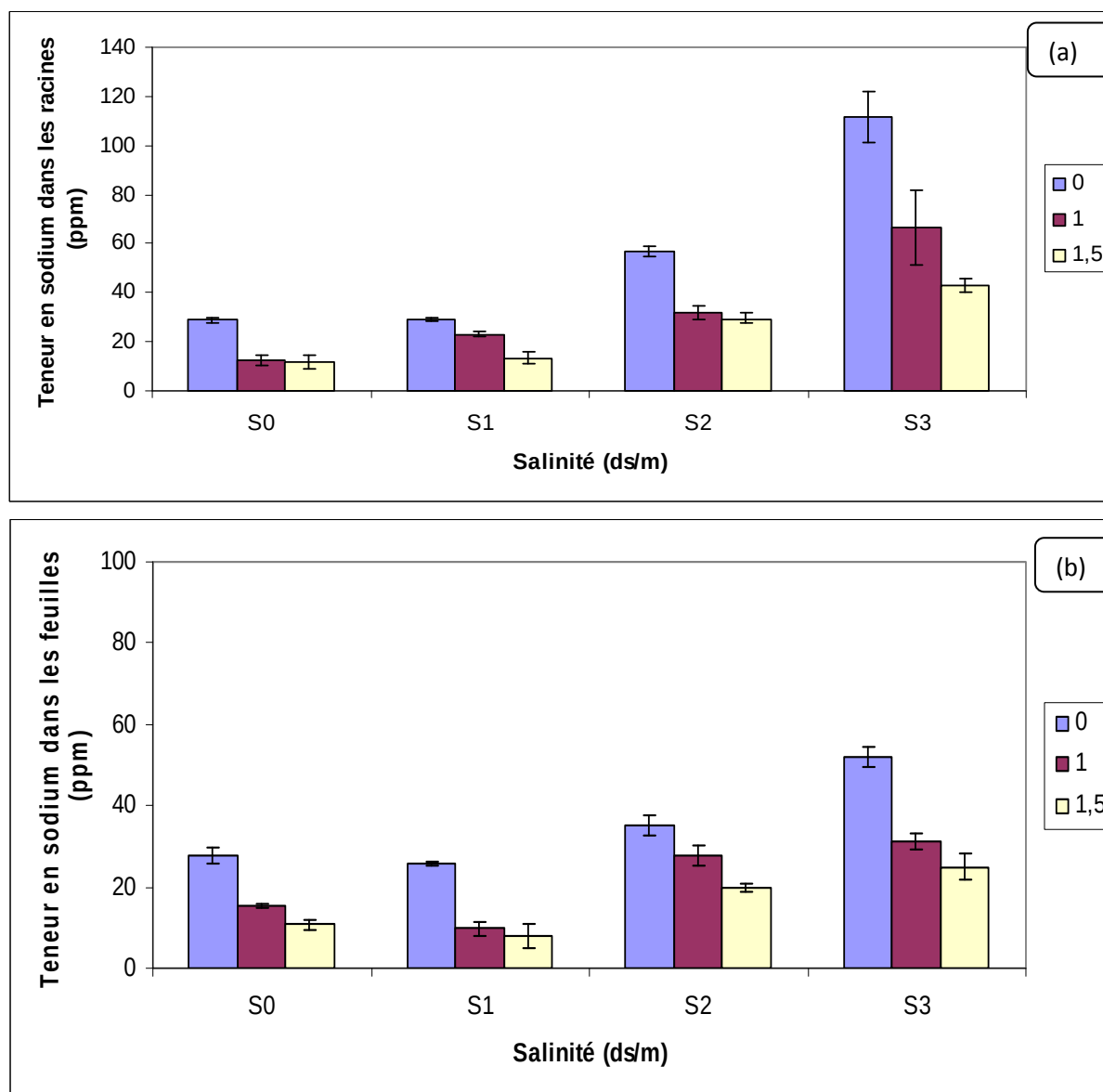


Figure 57. Effet de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la teneur en sodium dans les feuilles (b) et dans les racines (a) de la fève *Vicia faba* L.

b. Teneur en potassium dans la fève

La figure 58 et le tableau 46 représentent la variation de la teneur en potassium (ppm) dans les parties aérienne et racinaire de la fève sous l'effet combiné de la salinité (ds/m) et du monoammonium phosphaté 12-61.

Tableau 46. Moyenne de la teneur en Potassium dans les feuilles et les racines de la fève *Vicia faba* L sous l'effet de la salinité et du monoammonium phosphaté 12-61

Salinité	Dose de monoammonium phosphaté (g)	Teneur en Potassium dans les feuilles (ppm)	Teneur en potassium dans les racines (ppm)
S0	0	49,33 ±2.08 ^C	82,66 ±2.51 ^B
	1	50,33 ±3.60 ^C	84.00 ±1.73 ^B
	1.5	57,66 ±1.52 ^B	70,66 ±1.15 ^C
S1	0	61,66 ±1.52 ^B	92.00 ± 2.00 ^A
	1	70,33 ±7.21 ^A	94,66 ± 0.57 ^A
	1.5	44,66 ±1.52 ^C	81,66 ±1.52 ^B
S2	0	27,66 ±1.52 ^E	56,33 ±1.52 ^F
	1	37,66 ±4.93 ^D	60,33 ±1.52 ^E
	1.5	26.00 ±4.00 ^{EF}	66,66 ±4.93 ^D
S3	0	21,33 ±1.73 ^F	22.00 ±1.00 ^H
	1	27.00 ±1.15 ^{EF}	27,33 ±2.08 ^G
	1.5	28,33 ±2.64 ^E	30,66 ±1.15 ^G

Les résultats d'analyses de la variance au seuil d'une probabilité $p=5\%$ (annexe 2 tableau 11 et 12) permettent de conclure que les effets des facteurs « salinité » et « monoammonium phosphaté » et les effets d'interaction bi factorielle salinité-mono ammonium phosphaté influent de manière hautement significative ($p>0.005$) sur la teneur en potassium dans les feuilles et les racines de la fève *Vicia faba* L.

D'après le tableau 46 et la figure 58, la teneur en potassium dans les feuilles de la fève est inversement proportionnelle à la salinité. En effet la comparaison des moyennes (annexe 4 tableau.9) d'interaction salinité- monoammonium phosphaté, selon le test de NEWMAN KEULS à 5%, fait ressortir sept groupes homogènes. La moyenne la plus élevée appartient au groupe A représenté par le traitement (S1- 1g de monoammonium phosphaté) soit une teneur en potassium dans les feuilles des plantes de 70.33 ± 7.21 ppm par rapport aux plantes témoins qui enregistrent 49.33 ± 2.08 ppm appartenant au groupe C. La valeur la plus faible est enregistrée chez les plantes cultivées dans le substrat traité à (S3- 0 g de monoammonium phosphaté) soit 21.33 ± 1.73 ppm. Les racines accumulent plus

significativement le potassium que les feuilles de la fève mais l'évolution de cette teneur par rapport à la salinité reste inversement proportionnelle (figure. 58 (a) et (b)). La comparaison des moyennes (Annexe4 tableau 10) d'interaction salinité- monoammonium phosphaté, selon le test de NEWMAN KEULS à 5% fait ressortir huit groupes homogènes (tableau. Annexe), le groupe A représenté par le traitement (S1-0 g de monoammonium phosphaté) avec les teneurs les plus élevées en potassium dans les racines de la fève soit une moyenne de 94.66 ± 0.57 ppm, le huitième groupe H (S3- 0 g de monoammonium phosphaté) représente les valeurs les plus faibles avec 22.00 ± 1.0015 ppm par rapport aux lots témoins qui affichent 82.66 ± 2.51 manifestants dans le groupe B.

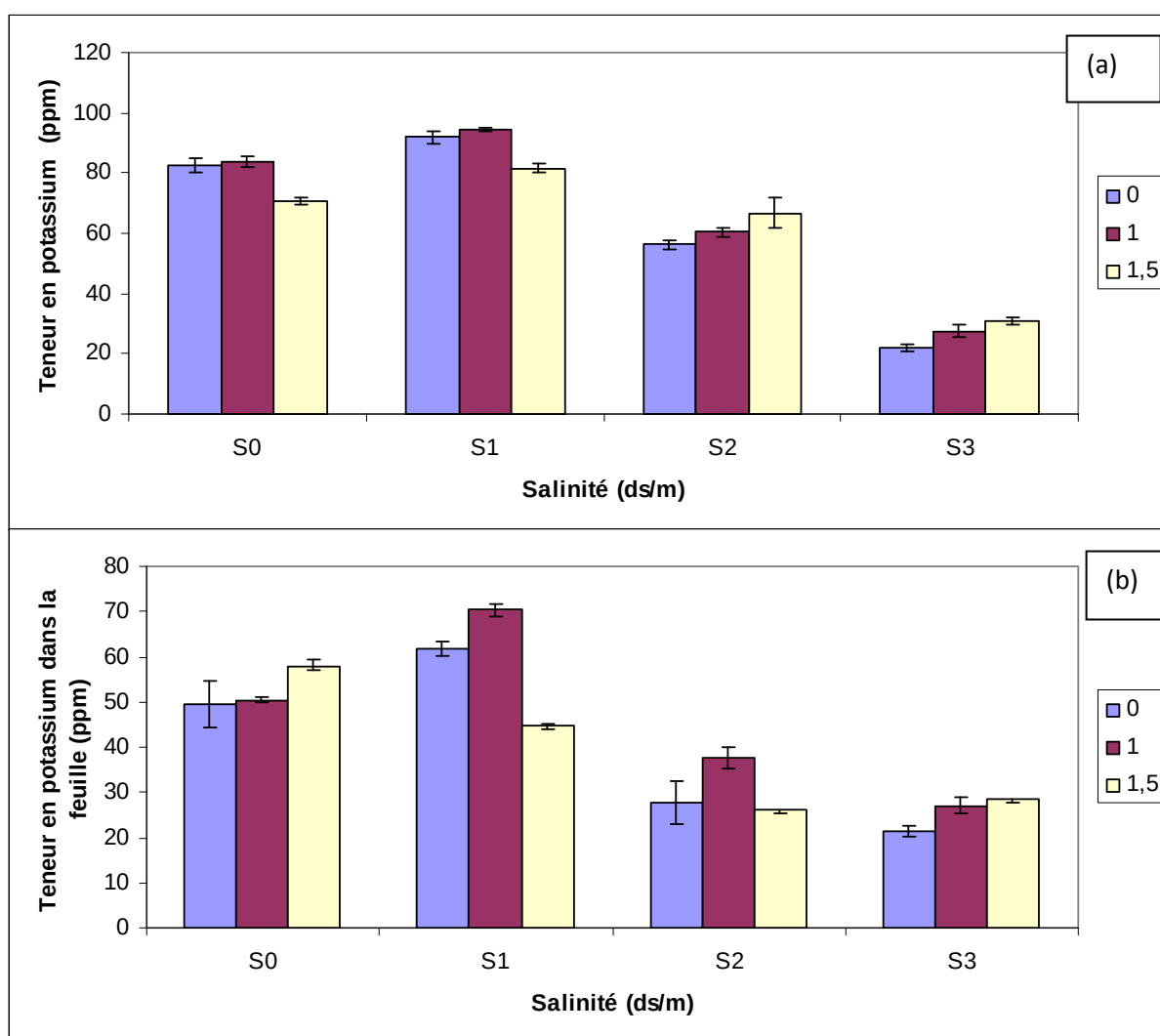


Figure 58. Effet de la salinité et du monoammonium phosphaté sur la teneur en potassium (ppm) dans les feuilles (a) et dans les racines (b) de la fève *Vicia faba* L .

Discussion

Les résultats obtenus mettent en évidence la réponse de la fève *Vicia faba* L minor au stress salin cultivée dans des substrats traités ou non par des doses croissantes de monoammonium phosphaté 12-61, cette étude a permis de relever les points essentiels suivants :

L'étude de l'effet de la salinité et du monoammonium phosphaté 12-61 sur la longueur des tiges et des racines de la fève *Vicia faba* L. montre que ces deux paramètres ont été évolués d'une manière significative et négative d'autant que la salinité augmente dans le sol. Alors que l'addition de 1 g de monoammonium phosphaté 12-61 au substrat de culture a réagi significativement et d'avantage sur la longueur des racines malgré les fortes salinités du sol (6 et 9 ds/m) par rapport aux substrats non traités par cet engrais.

Benidire et al.,(2014) rapportent que la salinité exerce un effet inhibiteur sur la croissance des plantules de *Vicia faba* L qui se traduit par une diminution de la longueur des tiges en fonction de l'augmentation de la salinité dans le milieu. D'une façon générale, la croissance en longueur diminue avec l'augmentation de l'intensité du stress conformément à ce que plusieurs auteurs ont remarqué chez le petit pois (**Okçu et al ,2005**), les céréales (**Atak et al., 2006**), la fève (**Abdul et al., 2011**).

Les résultats indiquent que la salinité a entraîné une chute significative de la production de matière sèche des plantes stressées par rapport à celles témoins, tandis qu'une augmentation de ce paramètre a été noté chez les plantes qui se trouvent dans les substrats traités à 1 et 1.5g du monoammonium phosphaté 12-61 et stressés à 3ds/m de salinité qui n'a provoqué aucun stress salin chez les plantes, car la conductivité électrique ne dépasse pas le seuil de 4 ms/cm (**Reguieg et al., 2012, Kasmi et al, 2012, , Latigui et al 2011**).

La production de matière sèche aérienne a scindé les 4 variétés étudiées de fève en deux groupes : un groupe à croissance très affectée, constitué des variétés *Maya* et *Castel* et un autre groupe à croissance moins affectée, formé par *SIDI AICH* et *ESPRESSO*. Ce classement est appuyé et affiné par l'indice de sensibilité relative au sel. (**Chaker-haddadj,., 2015**).

Selon **Chaker-haddadjles (2015)**, la variété *SIDI AICH* est capable de tolérer des concentrations d'environ 75 mM de NaCl avec une préservation de biomasse égale à 50% par

rapport aux plantes témoins. Cette concentration pourrait constituer une limite de tolérance et un critère de sélection pour la fève.

La surface foliaire est inversement proportionnelle au stress salin. Le niveau salin (S3) 9 (ds/m) a provoqué une diminution significative de ce paramètre dans tous les substrats de culture.

L'adjonction 1g de monoammonium phosphaté 12-61 dans les substrats affectés aux doses salines de 3 et 6 (ds/m) augmente significativement la surface foliaire des plantes. Par contre la surface foliaire de la fève était moins importante chez les plantes stressées à la forte concentration saline de 9 ds/m. La réponse immédiate du stress salin est la réduction de la vitesse de l'expansion de la surface foliaire et cette expansion s'arrête si la concentration du sel augmente (**Wang et al., 2000**). Des résultats similaires ont été rapportés chez le blé par **Hu et al. (2005)**. En effet, la diminution de l'expansion foliaire est soumise à un double contrôle, comprenant les équilibres hydriques et les signaux hormonaux provenant des racines qui sont responsables des perturbations de la vitesse d'élongation (**Munns et al., 2000**). Des travaux antérieurs de **Munns (1993)** montrent que le sel affecte l'assimilation du carbone par réduction de la surface des feuilles plus que par la réduction de taux de la photosynthèse.

L'étude de la surface racinaire de la fève révèle une chute significative contre l'augmentation de la salinité des sols. Notons que l'adjonction du monoammonium phosphaté 12-61 au substrat n'a provoqué aucun changement de ce paramètre par rapport aux plantes témoins. La première réponse des glycophytes exposées à la salinité est un ralentissement de leur développement avec une croissance racinaire souvent moins affectée que la croissance foliaire (**Guerrier, 1996**). Des résultats comparables ont été rapportés chez le riz (**Dubey et Singh, 1999**) et chez le trèfle (**Ben Khaled et al., 2003**).

Il est également établi que la teneur en chlorophylle est diminuée au fur et à mesure que le niveau de salinité augmente. Au-delà la forte dose saline (9 ds/m), la chlorophylle totale atteint la quantité minimale. D'une manière générale, le sel induit 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 production d'anthocyanes ou la destruction des chlorophylles. (**Mint El Moukhta, 2010**).

Les résultats rapportés par **Shaheena et al., (2005)** ont noté une diminution des concentrations des chlorophylles au niveau des feuilles de féverole et de moutarde cultivée sous condition de stress salin. Dans le même ordre d'idées, **El Housseine et al., (1998)** ont

obtenu une diminution de pigments chlorophylliens suite à un stress salin chez trois variétés de blé et que cette diminution est levée à quelques heures après de la levée du stress imposé.

L'évolution de la teneur en proline chez les plantes qui se trouvent dans les sols affectés à 3 et 6 ds/m de salinité et traités 1 et 1.5g de monoammonium phosphaté augmente par rapport aux plantes témoins. La teneur en proline augmente avec la salinité des sols. Les variétés SIDI AICH et ESPRESSO accumulent les plus fortes teneurs, ce qui semble confirmer la tolérance de ces variétés à la salinité. L'accumulation de proline serait impliquée dans les mécanismes de l'ajustement osmotique. (**Chaker-haddadj, 2015**).

Les résultats concordent avec ceux de **Reguieg et al. (2012)**. La confirmation de l'ajustement osmotique était un des traits physiologiques majeurs de la tolérance aux stress environnementaux. Elle a été obtenue grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs conduisant à une réduction du potentiel osmotique, permettant le maintien du potentiel de turgescence (**Sen, 2010, Ingweye et al., 2010**).

Khadi, (2006) et Nouri (2012), en travaillant sur la fève dans des conditions de stress salin, avaient expliqué la résistance de la fève au stress salin par une accumulation de la proline au niveau des différents organes de la plante.

L'accumulation de malondialdéhyde est graduelle et régulière avec la salinité des sols. Cependant, cette augmentation est plus importante chez les plantes qui se trouvent dans les substrats S2et S3. Le MDA, et l'un des produits finaux de la peroxydation des lipides membranaires (**Ohkawa et al. 1979 ; Guichardant et al. 1994**). Cette peroxydation est le symptôme le plus attribué aux dommages oxydatifs. Le malondialdéhyde est souvent employé comme indicateur du stress oxydatif (**Zhang et Kirkham 1994**). Le dosage de la MDA est un moyen efficace pour évaluer les dommages du stress oxydatif sur la membrane (**Katsuhara et al. 2005**).

La nutrition minérale se trouve fortement affectée par la contrainte saline. Les forts niveaux salins (S2et S3) chargent clairement les organes de la fève en sodium (Na^+) et les teneurs en ce cation augmentent significativement. **Dubey (1997) et Yeo (1998)** signalent que la salinité provoque un stress osmotique et ionique combiné sur les plantes. Les effets osmotiques des sels sur les plantes résultent de l'abaissement du potentiel hydrique du sol suite à l'augmentation des concentrations des solutés dans le profil racinaire des plantes (**Sohan et al., 1999**).

Les racines accumulent d'avantage le sodium que les feuilles de la fève sous l'effet de la salinité. Les feuilles et les racines des plantes cultivées dans les substrats à 1 et 1.5 g de monoammonium phosphaté 12-61 accumulent des teneurs plus faibles que les plantes cultivées dans les substrats non traités par cet engrais. Ce qui traduit l'effet bénéfique sur la nutrition minérale de la plante de fève sous stress. Les plantes développent plusieurs stratégies pour limiter le stress salin. Jusqu'à ce jour, on en connaissait essentiellement deux, qu'on peut qualifier d' "exclusion" et d'inclusion"; les ions chlorure et sodium entrent dans les plantes par les racines, et sont véhiculés par le xylème jusqu'aux tiges ainsi qu'aux feuilles, là ils sont soit stockés (plantes de type includers), soit retenus et revéhiculés par le phloème jusqu'aux racines (plantes de type excluders) (**Haouala et al., 2007**). Les espèces incapables de transporter facilement Na^+ dans leurs feuilles sont nettement plus sensibles que les autres, car leur inaptitude à exporter Na^+ est probablement moins un caractère protecteur que le reflet d'une déficience des systèmes de compartimentation cellulaire (**Le poivre, 2003**).

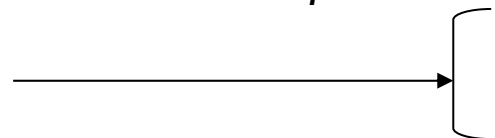
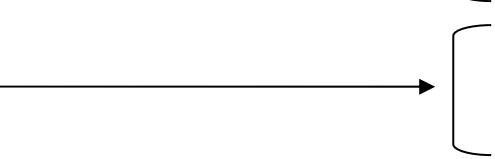
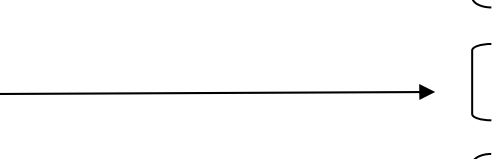
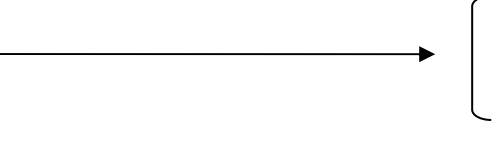
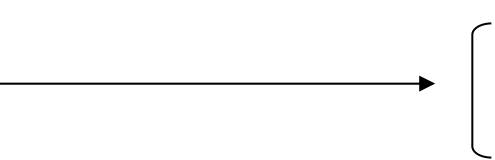
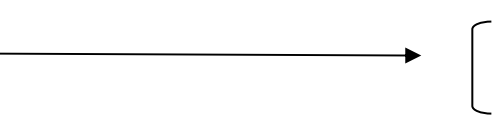
L'apport de la salinité croissante se traduit par une diminution du contenu en potassium avec des taux plus élevés sont enregistrés aux substrats amendés par monoammonium phosphaté 12-61 et aucune différence de la teneur en K^+ entre les deux parties n'a été enregistrée. Cette fois, ici, nous avons observé également, que la plus grande partie de K^+ prélevée dans le milieu de culture se retrouve dans les parties aériennes. Nos résultats ont été confirmés par plusieurs recherches. **Bachir Bouiadjra (2008)** chez la fève, **Bouaaza (2012)** chez le pois chiche.

La présence de NaCl dans le milieu de culture limite l'alimentation de la plante en cations majeurs, tels que le potassium et le calcium (**Flowers & Yeo, 1986 ; Zid & Grignon, 1991 ; Zhu et al 1998**).

Tableau 47. Récapitulatif des données les plus marquantes obtenues au cours de cette thèse.

Paramètres étudiés	Récap des résultats trouvés
1. Qualité des eaux d'irrigation du barrage de Brézina	- Eaux à haute salinité (C3) à un niveau d'accumulation de sodium dommageable avec SAR appartient à la classe (S2) - Le faciès géochimique : chloruré-calcique
2. Etude physico-chimique de la parcelle de la palmeraie de Brézina	- Deux unités pédologiques distinctes : -Sol peu évolué d'apport alluviaux avec efflorescence saline à texture argilo-limoneuse - Sol peu évolué d'apport alluviaux sans trace des sels à texture limono sableuse et limoneuse.
3. Carte de salinité du sol de la parcelle de la palmeraie de Brézina	- Cinq classes de salinité distinctes (S0, S1, S2, S3 et S4) - Dans la campagne sèche : les classes de la Salinité (S3 et S4) sont concentrées dans le sud de la parcelle (horizontalement) et la conductivité électrique était importante dans l'horizon superficiel (0-30 cm) par rapport à l'horizon sous-jacent, le profil est du type ascendant. - Dans la campagne pluvieuse : une diminution de la superficie à haute salinité dans l'horizon superficiel (0-30 cm) par rapport à la campagne sèche alors qu'une augmentation de cette salinité dans l'horizon 30-60cm - La salinité des sols a une forte corrélation avec la salinité des eaux d'irrigation du barrage de Brézina et la texture du sol.

4. Effet de la salinité et du monoammonium phosphaté 12-61 sur le comportement de la fève *Vicia faba* L :

- Longueur des tiges - Longueur des racines		Elles sont inversement proportionnelles à la salinité (-), un traitement de 1g de monoammonium phosphaté améliore la longueur des tiges de la fève.
- Poids sec		Il est inversement proportionnel (-) à la salinité, une augmentation de la quantité de la matière sèche (+) lorsqu'on amende les substrats de culture par 1 et 1.5 g de monoammonium phosphaté.
- Surface foliaire		Elle est inversement proportionnelle (-) à la salinité, 1g de monoammonium phosphaté augmente la surface foliaire jusqu'au 6 ds/m.
- Surface racinaire - Chlorophylle totale		Elle est inversement proportionnelle (-) à la salinité des sols. Aucun effet positif du monoammonium phosphaté sur ce paramètre.
- Proline - Malon dialdéhyde		Ils sont proportionnels (+) à la salinité des sols, 1et 1.5 g de monoammonium phosphaté augmente significativement (+) ces paramètres étudiés.
- Le sodium		Il est proportionnel (+) à la salinité des sols, le traitement des sols salins par monoammonium phosphaté diminue la teneur en sodium (-) dans la plante de fève
- Potassium		Il est inversement proportionnel (-) à la salinité, une augmentation de la teneur en potassium (+) lorsqu'on amende les substrats de culture par 1 et 1.5 g de monoammonium phosphaté

5. Effet de la salinité et du compost de pin d'Alep sur le comportement de la fève <i>Vicia faba</i> L :	
- la longueur des tiges - longueur des racines	Elles sont inversement proportionnelles à la salinité (-), un amendement par le compost de pin d'Alep améliore la longueur des tiges et racines de la fève.
- Poids sec	Il est inversement proportionnel (-) à la salinité, une augmentation de la quantité de la matière sèche (+) lorsqu'on amende les substrats de culture par 10% de compost de pin d'Alep.
- Surface foliaire	Elle est inversement proportionnelle (-) à la salinité, 10% et 20% de compost de pin d'Alep augmente la surface foliaire (+).
- Surface racinaire - Chlorophylle totale	Elles sont inversement proportionnelles (-) à la salinité des sols.
- Proline - Malondialdéhyde	Ils sont proportionnels (+) à la salinité des sols, 10% de compost de pin d'Alep augmente significativement (+) ces paramètres étudiés.
- La teneur en sodium	Elle est proportionnelle (+) à la salinité des sols, le traitement des sols salins par 10% et 20% de compost de pin d'Alep diminue la teneur en sodium (-) dans la plante de fève
- La teneur en Potassium	Elle est inversement proportionnelle (-) à la salinité, une augmentation de la teneur en potassium (+) lorsqu'on amende les substrats de culture par 10% de compost de pin d'Alep.

Conclusion générale et perspectives

Les zones sahariennes ont connu une extension des superficies irriguées, sont confrontées à un régime hydrique et climatique hyper aride, les mauvaises gestions des eaux d'irrigation induisant, en plus, à la salinisation des sols. Ce travail avait pour objectif d'étudier le problème de la salinité dans la palmeraie de Brézina par des tests de corrélation entre la qualité des eaux d'irrigation du barrage de Larouia d'une part, et la variabilité spatio-temporelle de la salinité des sols par une cartographie à partir du système d'information géographique d'autre part. L'étude de comportement de la fève a constitué la deuxième étape de cette étude.

La zone d'étude située dans la palmeraie de Brézina wilaya d'El Bayadh, Algérie, constitue un ensemble de parcelles privées irriguées. Elle couvre une superficie de 20 ha. Elle est située au voisinage du lit de l'oued « Saguer » et occupée par la phoéniculture au premier lieu et la culture maraichères intercalaire à la deuxième strate. Elle appartient à l'étage bioclimatique saharien doux et présente une longue période sèche.

La caractérisation physique et chimique des eaux d'irrigation du barrage de Larouia durant les périodes sèches et pluvieuses, montre qu'elles appartiennent à la classe des eaux à salinité élevée (C3), avec ratio du sodium appartenant à la classe (S2) qui représente les eaux à danger appréciable d'accumuler du sodium à un niveau dommageable pour les sols ayant une texture fine et une capacité d'échange cationique (CEC) élevée, le faciès géochimique de cette eau est chlorurée calcique.

Le suivi de l'évolution de la salinité des sols irrigués, réalisé sur une parcelle située dans la palmeraie de Brézina, nous permet de relever les points essentiels suivant :

L'étude des propriétés physiques et chimiques des sols montre que la zone d'étude se répartie en deux unités, la première appartenant aux types des sols peu évolués avec un apport et une accumulation importants des sels à la surface et à la texture fine, la deuxième unité entrant dans le type des alluviaux sans accumulation des sels et de texture légère. La texture du sol riche en éléments fins est corrélée positivement avec la salinité.

L'étude géostatistique de la salinité des sols de la parcelle des palmiers par la méthode de mesure de la conductivité électrique de pâte saturée a fourni les résultats suivants :

Dans la campagne sèche et celle pluvieuse, nous recensons cinq classes de salinité (ds/m) des sols où des profondeurs de 0-30 cm et de 30-60 cm ont été dégagées : Classe non saline (S0) , classe faible [S1], classe moyenne (S2) [4.1- 6 ds/m], classe des sols salés (S3) et classe à salinité élevée (S4) [≥ 16 ds/m] sont concentrées au sud de la parcelle. L'irrigation avec une eau à haute salinité (C3) provoque une augmentation de la salinité et de l'alcalinité des sols de l'unité 01. La succession des périodes sèches où les irrigations sont réalisées et des périodes pluvieuses provoque une alternance du type de redistribution des sels.

L'étude de comportement de la fève *Vicia faba* L face à différents niveaux de salinité des sols amendés ou non par le compost de pin d'Alep nous a permis de relever les points essentiels suivants :

En se basant sur les paramètres visuels, l'addition du compost de pin d'Alep à 10 et 20 % dans les substrats de cultures et en présence de salinité, se manifeste par la diminution de l'aggravation des symptômes foliaires.

La longueur des tiges de la fève *Vicia faba* L a diminué significativement au fort niveau de salinité S2 et S3. Cependant l'addition de 10 et 20% de compost de pin d'Alep améliore significativement l'allongement des tiges par apport aux plantes stressées. Dans le même contexte, la longueur des racines des plantes a été diminuée significativement à la salinité, la forte dose saline S3 enregistre le plus faible allongement de cet organe.

La salinité appliquée a créé des effets dépressifs sur le poids de la biomasse végétale (aérienne et souterraine) de cette légumineuse. Cette réduction est d'autant plus importante que la concentration du milieu de la salinité augmente. En revanche l'ajout de 10 % de compost du pin d'Alep augmente la biomasse aérienne et souterraine de la fève sous stress salin.

La mesure de la surface foliaire de la fève montre une diminution significative chez les sujets cultivés dans le sol à forte dose saline et non amendé par le compost. Alors que l'adjonction de 20% de compost de pin d'Alep engendre l'augmentation de ce paramètre chez les plantes cultivées dans le substrat salin S2 et S3.

La surface racinaire a été évoluée négativement et significativement face aux contraintes salines en particulier chez les plantes qui se trouvent dans les substrats aux niveaux salins S2 et S3.

Les sols soumis à de fortes doses salines (S3) ont enregistré la quantité la plus faible de la chlorophylle totale de la feuille de la fève. Néanmoins l'amendement du substrat par 20% de compost du pin d'Alep augmente la teneur de ce pigment. L'accumulation de la proline dans les feuilles des plantes était importante chez les plantes cultivées dans les sols à des niveaux salins S1 et S2.

Le niveau de malondialdéhyde augmente chez la fève d'autant plus que le stress salin augmente (S2 et S3) en parallèle, l'amendement des sols salins par 10 et 20 % de compost de pin d'Alep ayant élevé significativement la quantité de cet antioxydant.

La salinité appliquée a provoqué une augmentation significative des teneurs en sodium dans les parties aériennes et souterraines de la fève. Notons, également, que la plus grande partie de sodium prélevée dans le milieu de culture se retrouve dans la partie racinaire. Les plantes cultivées dans les substrats non traités au compost du pin d'Alep et stressées à salinité accumulent des teneurs plus importantes que les plantes cultivées dans les substrats traités au compost et recevant les mêmes concentrations salines.

L'apport de la salinité croissante se traduit par une diminution du contenu en potassium chez les deux substrats de cultures avec des taux plus élevés en potassium qui sont enregistrés au substrat amendé par le compost du pin d'Alep avec aucune différence de la teneur en potassium entre les deux organes de la fève.

L'étude de l'effet de la salinité et du monoammonium phosphaté 12-61 sur les comportements morpho physiologiques et biochimiques de la fève *Vicia faba* L, nous a permis de conclure les points suivants :

L'étude de l'effet de la salinité et du monoammonium phosphaté 12-61 sur la longueur des tiges et des racines de la fève *Vicia faba* L montre que ces deux paramètres ont été évolués d'une manière significative et négative d'autant que la salinité augmente dans le sol. Alors que l'addition de 1 g de monoammonium phosphaté 12-61 au substrat de culture a réagi significativement et d'avantage sur la longueur des racines des plantes dans les fortes salinités du sol.

Les résultats indiquent que la salinité a entraîné une chute significative de la production de matière sèche des plantes stressées par rapport à celles témoins, tandis qu'une augmentation de ce paramètre a été noté chez les plantes qui se trouvent dans les substrats traités à 1 et 1.5g du monoammonium phosphaté 12-61 et stressées à 3 ds/m de salinité.

La surface foliaire est inversement proportionnelle au stress salin. Le niveau salin (S3) a provoqué une diminution significative de ce paramètre dans tous les substrats de culture

sans traitement par monoammonium phosphate. L'adjonction 1g de mono-ammonium phosphate 12-61 dans les substrats affectés aux différents niveaux de salinité S1 et S2 a augmenté significativement la surface foliaire des plantes.

L'étude de la surface racinaire de la fève révèle une chute significative contre l'augmentation de la salinité des sols. Notons que l'adjonction du monoammonium phosphaté 12-61 au substrat n'a provoqué aucun changement de ce paramètre par rapport aux plantes témoins.

Il est également établi que la teneur en chlorophylle est diminuée au fur et à mesure que le niveau de salinité augmente. L'évolution de la teneur en proline chez les plantes qui se trouvent dans les sols affectés à 3 et 6 ds/m de salinité et traités 1 et 1.5g de monoammonium phosphaté augmente par rapport aux plantes témoins.

L'accumulation de malondialdéhyde était graduelle et régulière avec la salinité des sols. Cependant, cette augmentation est plus importante chez les plantes cultivées dans les substrats S2et S3.

La nutrition minérale se trouve fortement affectée par la contrainte saline. Les forts niveaux salins (S2et S3) chargent clairement les organes de la plante étudiée en sodium et les teneurs en ce cation augmentent significativement. Les racines accumulent davantage le sodium que les feuilles de la fève sous l'effet de la salinité. Les feuilles et les racines des plantes cultivées dans les substrats à 1 et 1.5 g de monoammonium phosphaté 12-61 accumulent des teneurs plus faibles que les plantes cultivées dans les substrats non traités par cet engrais.

L'apport de la salinité croissante se traduit par une diminution du contenu en potassium avec des taux plus élevés enregistrés aux substrats amendés par monoammonium phosphaté 12-61 et aucune différence de la teneur en potassium dans les racines et les feuilles de la plante.

Les résultats de ce travail contribueront, certainement à une meilleure connaissance des conséquences de la salinité sur l'agriculture et l'environnement dans la palmeraie de Brézina. Aussi, ce travail ouvre des perspectives et pose des problématiques sur les interactions entre le sol et la qualité des eaux d'irrigation du barrage de Larouia.

Cette recherche concerne une parcelle de 20 hectares avec une méthode de mesure de la conductivité électrique de celle de laboratoire, mais comme perspective de recherche dans l'avenir, il y aura lieu l'application de technique d'induction magnétique sur :

- Etude approfondie sur des parcelles de superficie plus grande et différents types de sol.
- Plusieurs campagnes durant les deux cycles saisonniers et divers types de cultures.
- . -Gestion quantitative et qualitative des eaux souterraines.

Il serait plus intéressant de mettre au point une étude approfondie sur cette bio ressource naturelle gratuite par la réalisation des analyses biochimiques et microbiologiques complètes (pour déterminer les souches bactériennes existantes dans le compost de pin d'Alep et vivant en symbiose avec les légumineuses.

Sur le plan végétal, une étude enzymatique et génétique serait nécessaire afin de maîtriser le rôle du compost de pin d'Alep sur le rendement agricole sous la contrainte de la salinité des sols dans les zones arides et semi-arides.

Une autre recherche serait souhaitable de l'impact de monoammonium phosphaté sur l'environnement par le dosage du Nitrate (NO_3^-) résiduel dans le sol afin d'éviter la contamination des nappes phréatiques.

Enfin, il conviendra de mettre en place d'autres recherches de l'effet des fertilisants acidifiants sur la microbiologie du sol en vue de définir le seuil de tolérance des bactéries qui vivent en symbiose avec les légumineuses contre l'acidité de cet engrais.

Références bibliographiques

- Abbruzzese, G.; Beritognolo, I.; Muleo, R.; Piazzai, M.; Sabatti, M.; Mugnozza, G. S.; Kuzminsky, E., 2009.** Leaf morphological plasticity and stomatal conductance in three populus alba L genotype subjected to salt stress .*Environ.Exp.Bot*,66;381.388.
- Abdel Latéf A., 2010.** Changes of antioxidative enzymes in salinity tolerance among different wheat cultivars. *Cereal Res. Commun.* 38 43–55. 10.1556/CRC.38.2010.1.5).
- Abdelguerfi A., Abdelguerfi-Laouar M., 2002.** Les espèces fourragères et pastorales : leurs utilisations au Maghreb : Algérie, Maroc, Tunisie : 87-89.
- Abdul Qados. AMS., 2011.** Effect of salt stress on plant growth and metabolism of bean plant *Vicia faba* L. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* **10**, 7-15.<https://doi.org/10.1016/j.jssas.2010.06.002>.
- Afroz S., Firoz M., Hayat S., Siddiqui MH., 2005.** Exogenous application of gibberellic acid counteracts the ill effect of sodium chloride in mustard. *Turkish journal of biology* **29**, 233-236.
- Ait Sadi, M., 1990.** Comportement biochimique de quelques lignées de fève (*Vicia faba* L.) soumises à la salinité: étude particulière de la proline. *Mémoire DES, Univ. Sénia*, 65p.
- Alem C., AMRI A., 2005.** Importance de la stabilité des membranes cellulaires dans la tolérance à la salinité chez l'orge. *Reviews in Biology and Biotechnology*, Vol. 4, No. 1: 20-31.
- Anne-sophie., 2010.** Effets génotoxiques et systèmes de détoxification chez *Vicia faba* (Fabaceae) dans le cadre de l'évaluation des sols pollués. Thèse de doctorat. Université Paul Verlaine – Metz.166P. *Annual Review of Plant Physiology* 3: 149-190.
- Apel, K. and Hirt, H., 2004.** Reactive oxygen species: metabolism, oxidative stress, and signal transduction. *Annual Review of Plant Biology* Vol. 55, pp. 373-399.
- Arahou, M., 1986.** Biogéographie du peuplement de Psocoptères frondicoles du Thuya (*Tetraclinis articulata* Vahl, Benth) dans le Plateau Central marocain. *Bull. Inst. Sci. Rabat*, 10, 121-132.
- Ashraf et Ahmed., 2000** .Influence of salt sodium chloride on ion accumulation yield components and fibre characteristics in salt –tolerant and salt-sensitive lines of cotton (*Gossypium hirsutum* L).*Field Crops Res*, 66:115-127.
- Ashraf et Akhtar., 2004.** .Influence of salt stress on growth.ion accumulation and seed oil content in sweet fennel .*Biol.Plant*, 48:461-464.
- Ashraf M., 2004.** Some important physiological selection criteria for salt tolerance in plants. *Flora*, 199: 361–376.
- Asloun H., 1990** .Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicum esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia-Antipolis: 24-32.

- Atak, M., Kaya, M. D., Kaya, G., Çikili, Y., & ÇİFTÇİ, C. Y. , 2006.** Effects of NaCl on the germination, seedling growth and water uptake of triticale. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 30(1), 39-47.
- Aubert., 1982.** Sélection pour le rendement en fonction du climat sur le blé. *Annales de l'INA*, 8 (2).Pp.4-15.
- Aubert., 1988.** Le greening une maladie infectieuse des agrumes, d'origine bactérienne, transmise par des Homoptères psyllides. Stratégie de lutte développée 11 l'île de la Réunion. Circonstances épidémiologiques en Afrique/Asie et modalités d'intervention. Doc. CIRADIIRFA. 185 pp.
- Ayers. R.S., Ktanj., 1981.** An application from AYERS and WESCOTS for irrigation. FAO irrigation and drainage paper NO.29 Rev.1. originally published as an Ask 1981 water from conference proceeding.
- Azevedo Neto A.D., Prico J.T., Eneas-Filho J., Braga de Abreu C.E., Gomes-Filho E., 2006.** Effect of salt stress on antioxidative enzymes and lipid peroxidation in leaves and roots of salt-tolerant and salt-sensitive maize genotypes. *Environ. Exp. Bot.*, 56: 235–241.
- Azevedo RB, Lohaus R, Srinivasan S, Dang KK, Burch CL, 2006.** Sexual reproduction selects for robustness and negative epistasis in artificial gene networks, *Nature*. 2;440(7080):87-90.
- Baatour O, M'rah S, Ben Brahim N, Boulesnem F, Lachaal M., 2004.** Physiological response of the gestation (*Lythyrus sativus*) to the salinity of the environment. *Review of the arid regions* 1, 346-358.
- Baba- Sidi- K., 2010.** Effet du stress salin sur quelques paramètres phonologiques (biométrie, anatomie) et nutritionnels de l'Atriplex en vue d'une valorisation agronomique. Mémoire de magistère. Faculté des sciences de la nature et de la vie et sciences de la terre et de l'univers. Université Kasdi Merbah – Ouargla, 75p.
- Badraoui A., 2005.** Elaboration d'un Programme de lutte contre la désertification dans le bassin de Sousse par analyse d'images satellitaires. Phase II de l'étude contractée entre le Ministère de l'Aménagement du Territoire, de l'Eau et de l'Environnement et la Société ADI, Rabat. Elaboration de la base de données et dérivation de la carte de la sensibilité à la désertification, 72p.
- Baker NR., 2002.** A possible role for photosystem II in environmental perturbations of photosynthesis, *Physiol. Plant* 81 (1991) 563–570. 46.
- Baker RE., 1989.** Purification of the yeast centromere binding protein CP1 and a mutational analysis of its binding site. *J Biol Chem* 264(18):10843-50
- Belhassen E, This D and Monneveux., 1995.** L'adaptation génétique face aux contraintes de sécheresse. *Cahier de l'Agriculture* 4 :251-261.
- Belkhodja M et Bidai Y., 2004.** Réponse des grains d'*Atriplex halimus* L. à la salinité au stade de la germination. *Sécheresse*, 15, (4), p . 331-335.

- Belkhodja M., 2000.** Proline response of broad bean. (*Vicia faba L*) under salt stress. Egypt. J. Agric. Res. 78, 185-195.
- Ben Khaled H, Bougatef A, Balti R, Triki-Ellouz Y, Souissi N, Nasri M., 2008.** Isolation and characterization of trypsin from sardinelle (*Sardinella aurita*) viscera. J Sci Food Agric.;88:2654–2662. doi: 10.1002/jsfa.3386
- Ben Naceur M., Rahmoune C., Sdiri H., Meddahi M., ET Selmi M., 2001.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. Sécheresse, 12. 3: 167-174.
- Benbrahim KF, Ismaili M, Benbrahim SF, Tribak A., 2004.** Problèmes de dégradation de l'environnement par la désertification et la déforestation: impact du phénomène au Maroc. Science et changements planétaires/Sécheresse 15(4), 307-320.
- Ben-Hayyim G., Vaadia Y., William B., 1989.** Proteins associated with salt adaptation in citrus and tomato cells: Involvement of 26 KD polypeptides. Plant Physiology, 7: 332-340.
- Benidire L, Daoui K, Fatemi ZA, Achouak W, Bouarab L, Oufdou K., 2015.** Effect of salt stress on germination and seedling of *Vicia faba L*. Journal of Materials and Environmental Science 6(3), 840-851.
- Benidire.L.,Daoui.K. , Fatemi.Z.A. , Achouak.W. , Bouarab.L , Oufdou.K. ,2014.** Effet du stress salin sur la germination et le développement des plantules de *Vicia faba L*. , INRA, Morocco.
- Benmahioul B, Daguin F, Kaid-Harche M ,2009.**Effect of salt stress on germination and growth in vitro of the pistachio (*pistacia vera L.*).C.R.Biol.332:752-758.
- Bentama. N., Boursas. S., 2016.** Etude de la variation chromosomique chez l'espèce *Vicia faba L.* Université des Frères MentouriConstantine, Algérie.
- Bergman I, Loxley R., 1970.** New spectrometric method for the determination of proline in tissues hydrolysates. *Analytical Chemistry* 42, 702-706.
- Bernstein, B., Kearsley, E. A., & Zapas, L. J., 1963.** A study of stress relaxation with finite strain. *Transactions of the Society of Rheology*, 7(1), 391-410.
- Bertoldi M., Vallini G., Pera A, 1983.** The biology of composting: a review, Waste Management & Research, 1, 157-176.
- Binet P. ,1982 .** Production primaire et accumulation des bioéléments au niveau de la population pure d'*ArtiplexhastataL* des rives de l'estuaire de la Sève .Oecol.Plant.Biology Vol. 59, pp. 651-681
- BNIDR., 2009 .**Etude de faisabilité technico-financière du projet de mise en cultures du périmètre de Dayet EL Bagra commune BrézinaW.ElBayadh .SPA .Bouchaoui-Chérage – Alger 22 p.
- Bond, D.A. and Poulsen, M.H., 1983.** Pollinisation. In: The Faba Bean (*Vicia faba L.*). Hebblethwaite P.D. (Eds.), Butterworth, London: 77-101.

- Boualla Nabila., Benziane Ahmed., ET Derrich Zoubir., 2012** . Origine de la salinisation des sols de la plaine de M'leta, Oran Algérie Journal of Applied Biosciences 53: 3787 – 3796 ISSN 1997–5902.
- Bouaziz E., 1980.** Tolérance à la salure de la pomme de terre, *Physiol. Vég.* 18, 1.
- Boukachabia E., 1993.** Contribution à l'étude de quelques mécanismes morphologiques et biochimiques de tolérance à la salinité chez cinq géotypes de blé dur (*Triticum durum* Desf.). Mémoire de Magister en production et physio vég. Annaba, 108 p.
- Boutelier E, 1986.** Effet du NaCl sur la physiologie du cotonnier (*Gossypium hirsutum* L.). Son rôle dans l'acquisition de la résistance à la sécheresse. Thèse de Doc.Univ. Paris 6, 142 p.
- Boyardieu J, 1991.** Produire des grains oléagineux et protéagineux. Lavoisier. Tec et Doc. Paris. 234 p.
- Bradford, M.M., 1976.** A rapid and sensitive method for the quantitation of microgramme quantities of protein utilising the principle of protein–dye binding. *Anal. Biochem.* 72: 248–254. Brun, 1991
- Bray, E.A., Bailey-Serres, J. and Weretilnyk, E., 2000** .Responses to abiotic stresses. In *Biochemistry and Molecular Biology of Plants*, Buchanan BB, Gruissem W, and Jones RL, eds (Rockville, MD: American Society of Plant Biologists), pp. 1158–1203.
- Brink, G et Belay, 2006.** Céréales et légumes secs. Ressources végétales de l'Afrique tropicale 1. Fondation PROTA/ Backhuys Publishers/CTA. Pays-Bas ; 327 P.
- Cabañero, F.J., Martínez, V. and Carvajal, M., 2004.** Does calcium determine water uptake under saline conditions in pepper plants, or is it water flux which determines calcium uptake. *Plant Sci.* 166: 443–450.
- Calvet R., 2003.** Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole : 511 P.
- Carrouée B., K. Crépon, C. Peyronnet .2003.** Les protéagineux : intérêt dans les systèmes de production fourragers français et européens. *Fourrages* (2003) 174, 163-182.
- Chaker-Haddadj A., 2015,** Evaluation de la tolérance à la contrainte saline chez quelques variétés de fève (*Vicia faba* L. *minor*) cultivées en Algérie : Aspects morpho-physiologiques, biochimiques, symbiotiques, El Harrach – Alger.
- Chamayou.H., Legros., JP., 1989.** Les bases chimiques, physiques et minéralogiques de la science du sol, Ed presse universitaires ; Paris, pp 223- 225.
- Chareyon H., 2003.** Comparaison protéagineuse de printemps en agriculture biologique en France- Comté : 56p.
- CHARTZOULAKIS. K., KLAPAKI.G., 2000.** Response of two greenhouse pepper hybrids to NaCl salinity during different growth stages. *Sci Hort* 86, 247-260. Doi:10.1016/S0304-4238(00)00151-5.);

- Chaux J et foury.M. 1994.** Cultures légumières et maraîchères. Tome III. Légumineuses potagères, légumes et fruits. Tec et Doc Lavoisier, Paris. 563p.
- Chaves. M., Pereira. J. S., 2003.** Understanding plant responses to drought-from genes to the whole. *Funct. Plant. Biol*, 30: 239 - 264.
- Cheeseman J., 1988.** Mechanisms of salinity tolerance in plants. *Plant Physiol.* 87: 547-550.
- Chen T et Wang, 1991.** Identification of a soluble salicylic acid-binding protein that may function in the signal transduction in the plant disease resistance response. P 88
- Chen T.H.H. & Murata N. ,2002.** Enhancement of tolerance to abiotic stress by metabolic engineering of betaines and other compatible solutes. *Current Opinion in Plant Biology* 5, 250–257;
- Chernyad'ev, I. I., 2005.** Effect of water stress on the photosynthetic apparatus of plants and the protective role of cytokinins: A review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 41(2), 115-128.
- Cheverry, 1995.** Plant behaviour in saline environnement. Action eau N°4, Séance spécialisée du 22 mars 1995; Ed. Acad. agro, Paris, France, 49 pages.
- Choi .K., 2011.**Growth and nutrient uptake responses of Seolhyang strawberry to various ratios of ammonium to nitrate nitrogen n nutrient solution culture usng inter media.*Afr.J.Biotechnol.*10:12567-12547.
- Cramer.G.R., 2002.** Sodium-calcium interaction under salinity stress.In : « salinity. Environment-Plants-Molecules ». Eds. A. LAUCHLI and U .Luttge Kluwer AcademicPublishers, Dordrecht, pp.205-227.
- Cronk Q., Ojeda I. and Pennington R.T., 2006.** Legume comparative genomics: progress in phylonenetics and phylogenomics. *Current Opinion in plant biology* 9: 99-103.
- Cubero, J.I., 1974.** *On the evolution of Vicia faba.* Theoret. *Appl. Genetics* 45: 47-51.
- Dajoz., 2000.** Elements d'ecologie. Ed. Bordas. Paris, 5eme edition. 631pp.
- Das & Keener, 1997.** Numerical model for the dynamic simulation of a large scale composting system. *Transactions of the Asae*, 40(4), 1179-1189.
- Daud M. K., Sun Y., Dawood M., Hayat Y., Variath M. T., Wu Y. X., et al. , 2015.** Cadmium-induced functional and ultrastructural alterations in roots of two transgenic cotton cultivars. *JBNIDR*, 2009.
- De Bertoldi et al M. Bertoldi de, G. Vallini, A., 1983** The biology of composting: A review". *Waste Management & Research*1, 157-176
- De Marco K., 1995.****Influence** of soil characteristics on the clastogenic activity of maleic hydrazide in root tips of *Vicia faba*. *Mutat. Res.- Genet. Toxicol. Environ. Mutag.* 344(1-2):5-12.
- Demarquilly J., 9988.** Les fourrages. In : Alimentation des troupeaux bovins, ovins et caprins, Ed, INRA. 479 p.

- Desikan, R. Mackerness, S., Hancock, J.T. and Neill, S.J., 2001.** “Regulation of the Arabidopsis transcriptome by oxidative stress”. *Plant Physiology* 127, pp. 159-172.
- Di Martino C., Delfine S., Pizzuto R., Loreto F. and Fuggi A., 2003.** Free amino acids and glycine betaine in leaf osmoregulation of spinach responding to increasing salt stress. *New Phytologist*. 158: 455-463.
- Dix P. J., Pearce P. S., 1981** .Proline accumulation in NaCl resistant and Sensitive cell lines of *Nicotina glauca*. *Z Pflanzen physiol Bd.* 102: 243-248.
- Djanaguiraman S., 2006** .Rice can acclimate to lethal level of salinity by pretreatment with sublethal level of salinity through osmotic adjustment. *Plant and Soil* 284, 363–373.
- Djerroudi-Z., 2010.**Effect of salt stress on the proline accumulation in young plant of *Atriplex halimus* L. and *Atriplex canescens* (Pursh) Nutt. *Eur. J. Sci. Res.* 41 :249-260
- Djili .K., Daoud. Y., 2003.** La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l’agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Sécheresse*; 4 : 241-6.
- Djili. K., Daoud. Y., 2000.** Influence des hauteurs des précipitations sur la répartition du calcaire et du pourcentage de sodium échangeable dans les sols du Nord de l’Algérie. *Sécheresse* vol. 11, (1), p.37-43.
- Doucet R. 2008.** Les plantes agricoles et leurs maladies. Éditions Berger A.C. inc., Québec, 455 p.
- DSA., 2017.** Direction des services agricoles de la wilaya d’El Bayadh, campagne agricole de la commune de Brézina 2016-2017.
- Dubey R. S. and Singh A. K., 1999.** Salinity induces accumulation of soluble sugars and alters the activity of sugar metabolising enzymes in rice plants, *Biol. Plant*, pp.42-233,
- Duc G., 1997.** Faba bean (*Vicia faba* L.). *Field Crops Res.* 53 .99-109p.
- Durand J.H., 1983.** Les sols irrigables, techniques vivantes. Pessé, Univ. France., 339 P.
- Eagleshan et Ayanaba.L., 1984.** Tropical stress ecology of rhizobia. root nodulation and legume nitrogen fixation ». In Subba Rao N. S., ed. : *Current Developments in Biological Nitrogen Fixation*. New Delhi, Oxford and IBH : 1-35.
- EATON F. M. ,1950.** Significance of carbonates in irrigation waters, *Soil Sci.*, 69, 123-133.
- Eklind & Kirchmann., 2000.** Composting and storage of organic household waste with different litter amendments”. I. Carbon turnover. *Bioresour. Technol.* 74, 115–124.
- El Houcine.M., 2000.** National program for the transfer of technology in agriculture, Bultin. Institut of agricultural and veterinary. University of Hassan II. Rabat.
- El Houssine TAHRI, A. B., SADKI, K., 1998.** Effet d’un stress osmotique sur l’accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). *Bulletin de l’Institut Scientifique, Rabat*, 1997(21), 81-87.

- El Madidi, S., & Zivy, M. (1993).** Variabilité génétique des protéines de choc thermique et thermo-tolérance chez le blé. *Le progress génétique passe*, 51, 173-181.
- El midaoui M, Benbella M, Aït houssa A, Ibriz M, Talouizte A. 2007.** Contribution to the study of some mechanisms of adaptation to salinity in cultivated sunflower (*Helianthus annuus* L.). Review Hommes Terre et Eaux **136**, 29-34.
- El-Mekkaoui M., 1990.** Etude des mécanismes de tolérance à la salinité chez le blé dur (I. durum des f) et l'orge (H. vulgare): Recherches de tests précoces de sélection. Thèse de Doctorat en Sciences Agronomiques, Montpellier. 191p.
- Elzebrock A.T.G., Wind Koop., 2008.** Strach crops.V : Guide to cultivated plants.Wallingford, CAB International : 328-335.
- Epstein E., 1985.** Salt tolerant crops: origins, development and prospects of the concept. Plant Soil (89) 187-198.
- Evans LT., 1959.** Environmental Control of Flowering in *Vicia faba* L. Ann. Bot. 23(4):521-
- F.A.O. ,2013.**Cadre Programmation par Pays Algérie (2013 – 2016). République Algérienne Pour l'Alimentation et l'Agriculture Démocratique et Populaire, FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture).
- Fabro.L., 2003.** Proline accumulation and AtP5CS2 gene activation are induced by plant-pathogen incompatible interactions in Arabidopsis. Mol. PlantMicrobe Interact. 17:343-350.
- Fachmann et Kraut., 2006.** L'intérêt de la fève. Ed. Bourde. Paris. 74p.
- FAO (Food and Agricultural Organisation), 2001.** La foresterie urbaine et péri-urbaine.
- FAO, 2002,** Biofertilizer production plant, Myanmar (FAO/UNDP Project), by H. Hiraoka. Back to Office Report. Bangkok, FAO–RAP.
- FAO, 2006.** International Seminar on Energy and Forest Products Industry. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome (Available at <http://www.fao.org/docrep/009/j9425e/j9425e00.htm>
- FAO. 2005.** Global Forest Resources Assessment 2005 – progress towards sustainable forest management. FAO Forestry Paper No. 147.
- FAO., 2005.**Utilisation des engrais par culture en Algérie. FAO Rome,61 p.
- Ferchichi, OH., 2006.** Effect of minéral concentration of culture media without growth substances on the callogenesis of Atriplex halimus.Afric journ of biotechnology.4 (9) : 960-962.
- Flowers T. &Yeo A. ,1995.** Breeding for salinity resistance in crop plants:where next? Aust. J. Plant Physiol. 22,875–884;
- Flowers, T., Troke, P. F., and Yeo, A. R., 1977.** The mechanism of salt tolerance in halophytes. Ann. Rev. Plant Physiol. 28:89–121.

- Flowers.T., et Yeo.A.R., 1995.** Breeding for salinity resistance in crop plants: where next? Aust. J. Plant Physiol. 22:875–884.
- Franchis L. et Ibanez F., 2003.** Les menaces sur les sols dans les pays méditerranéens ; Rapport Pan Bleu ISBN. Plan d'action pour la Méditerranée PNVE. 69p.
- Gallais A. et Bannerot H., 1992.** Amélioration des espèces végétales cultivées. Ed. INRA. Paris. 768p.
- GAUCHER F., BURDIN S., 1974.** Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés. Paris : PUF ; 234 p.
- Gepts.P., William .D., Beavis, E. Charles Brummer, Randy C. Shoemaker, H. Thomas Stalker, Norman F. Weeden, Nevin. D., 2005.** Legumes as a model plant family. Genomics for food and feed report of the Cross-Legume Advances Through Genomics Conference. Plant Physiol 137 1228–1235
- Ghassemi. F., Jake Man A.J and Nix. H.A., 1995.** Stalinization of land and water resources. Human causes, extent, management and case studies Australia – Center for resources and Environmental studies. 520p.
- Gill K.S., 1979.** Effects of soil salinity on grain filling and grain development in barley. Biologia Plantarum, 24, 4: 266-269.
- Girard, M.-C., Walter, C., Rémy, J.-C., Berthelin, J. et Morel, J.-L. 2005.** Sols et environnement. Paris, Ed. DUNOD, 816 p
- Greenway H. et Munns R., 1980.** Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. Annual Review of Plant Physiology. Vol. 3, pp. 149-190.
- GREGORY.B., 2005.** Écophysiologie de semis de conifères ectomycorhizés en milieu salin et sodique .Thèse de mémoire .Université Laval Canada .Chapitre 1. Greub et al. 1985. salt tolerance of grasses legumes for roads use Agronomy. Journal. 77 :76-80.
- Greub, I.J, Drolsom, P.N, Rohweder, D.A ., 1985.** Agronomic journal. 77, 76-80.
- Guen .S., 1989.** A note on amino acid digestibility measured in pigs with pre-or post-valve ileo-rectal anastomoses, fed soya-bean, pea and meat meals. Anim. Prod., 47: 317-30.
- Guerrier., 1996.** Fluxes of Na⁺, K⁺ and Cl⁻, and osmotic adjustment in *Lycopersicon pimpinellifolium* and *L. esculentum* during short- and long-term exposures to NaCl. Physiologia Plantarum 97, 583–591
- Guichardant, M., Valette-Talbi, L., Cavadini, C., Crozier, G., Berger, M., 1994.** Malondialdehyde measurement in urine. J Chromatogr B Biomed Appl 655, 112-6.
- Guignard J.L., Dupont F., 2005.** Botanique. 13ème Edition Masson. Spirent : 164-179.
- Halfaoui, J ., 1988 .** La fertilisation en Algérie, en particulier la fertilisation en phosphaté par le phosphate naturel de Chélif 20-22 mars .
- Halitim, A., 1988.** Sols des régions arides d'Algérie. Office de Publications Universitaires, Alger: 39- 40.

- Hamdy, A., 1999.** Saline irrigation and management for a sustainable use. In: advanced short course on saline irrigation proceeding, Agadir: 152-227.
- Hamza. M., 1977.** Action de différents régimes d'apport de chlorure de sodium sur la physiologie de deux légumineuses : *Phaseolus vulgaris* (sensible) et *Hedysarum carnosum* (tolérante) Relations hydriques et relations ioniques, Thèse de Doctorat d'Etat, p.252.
- Hanafy, M., Pickardt, T., Kiesecker, H. et Jacobsen, H., 2005.** Agrobacterium-mediated transformation of faba bean (*Vicia faba* L.) using embryo axes. *Euphytica* 142:227-236.
- Hanelt, U., 1972.** Die infraspezifische Variabilität von *Vicia faba* L. in der Gliederung. Kulturpflanze p: 75-128.
- Haouala, F., Ferjani H., Ben El Hadj S., 2007.** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na^+ , K^+ et Ca^{2+}) et du chlore (Cl^-) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. *Biotechnol. Agron. Soc. Environ.* 11 (3) ,235 -244.
- Hartung .L., 2002.** Intron gain and loss in the evolution of the conserved eukaryotic recombination machinery. *Nucleic Acids Res* 30(23):5175-81.
- Hasegawa .E., 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual Review of Plant Biology and Molecular Biology* 51: 463-499.
- Hayashi H., Murata N., 1998.** Genetically engineered enhancement of salt tolerance in higher plants. In: Sato Murata N, (Ed.), *Stress Response of Photosynthetic Organisms: Molecular Mechanisms and Molecular Regulation*. Elsevier, Amsterdam: 133-148.
- Henri-Noël Le Houérou., 1993.** Changements climatiques et désertisation. *Science et changements planétaires / Sécheresse*. 4(2):95-111.
- Hernández JA, Talavera JM, Martínez-Gómez P, Dicenta F, Sevilla F., 2001.** Response of antioxidant enzymes to plum pox virus in two apricot cultivars. *Physiol Plant*. 111:313–321
- Hopkins W. G., 2003.** *Physiologie végétale*. 2ème édition. De Boeck, Bruxelles: 61- 476.
- Horie T, Schroeder JL., 2004.** Sodium transporters in plants. Diverse genes and physiological functions. *Plant Physiol*. 136(1): 2457-2462
- Hu B, Liao C, Millson SH, Mollapour M, Prodromou C, Pearl LH, Piper PW, Panaretou B, 2003.** A component of the essential Smc5/6 DNA repair complex. *Mol Microbiol* 55(6):1735-50
- Huseyin B, John K. Hemphill and C. Wayne Smith, 2006.** Shoot and root characteristics of converted race stocks accessions of upland cotton (*Gossypium hirsutum* L.) grown under salt stress conditions *Am.J.Plant physiol*.1:99-106.
- Iglesias.J et Perez.G., 1989.** Evaluations of city refuse compost maturity: A review. *Biol. Wastes*, 27:115-142.

- Ingweye JN, Kalio GA, Ubua JA, Umoren EP.** 2010. Nutritional Evaluation of Wild Sicklepod (*Senna obtusifolia*) Seeds from Obanliku, South-Eastern Nigeria. American Journal of Food Technology **5**, 1-12 <http://scialert.net/abstract/?doi=ajft.2010.1.12>.
- INSID ., 2008** . Les sols salins en Algérie. Ministre de L'agriculture et du développement rurale. 3 P.
- Iptrib., 2006.** Conférence électronique sur la salinisation. Extension de la salinisation et stratégie de prévention et réhabilitation. P2, 11.
- IRD., 2008.** Les dossiers thématiques de l'Institut de recherche pour le développement. Les sols sont fragiles : 1er partie Salinisation et sodisation des sols. 2ème partie La dégradation des sols par salinisation ou alcalisation.
- Isabelle F ., 2004.** Analysis of physico-chemical parameters of water quality in and around Salt pans of Prakasam (Dt.) A.P, Journal of Ecobiotechnology 3, (10),01.
- Jendoubi S., 1997.** Contribution à la caractérisation physiologique et biochimique de parois racinaires chez 2 espèces de blé : Triticum durum (Ben Béchir) et Triticum aestivum(Tanit) cultivées en milieu salin.Tunis : DEA de la Faculté des Sciences de Tunis, 86 p
- JOB. J. O., 2005.** Some problems in analysis of soil classif work shop. Acsad. Soil science division, pp: 219 - 236.
- Jouve P, Corbier-Bartuaux C, Cornet A.** 2002. Combating Desertification in Development Projects. A Scientific Perspective on the SFM Experience in Sub-Saharan Africa and the Maghreb Mimosa (Eds). French Development Agency (AFD) and French Scientific Committee on Desertification CSFD 162 p.
- Judd W.S., Campbell C.S., Jules Bouharmont., Kellogg E.A. et Stevens P.** 2001. Botanique systématique : une perspective phylogénétique. Edition de boeck.
- Kaiser, 1981.** L Analyse de la microbiologie du compost ». 1ère partie. Compost information, 12: 9-13.
- Kasmi A, Latigui A, Mettai K, Sahli B, Dilem A.** 2012. Use of Sewage sludge and Fiber palm Co-compost as Components of Substrates *Lycopersicum esculentum* and *Cucumismelo* cultivated in Soil less crop. American journal of plant Physiology **7(2)**, 97-103.<https://doi.org/10.3923/ajpp.2012.97.103>.
- Katsuhara, M, Koshio, K, Shibasaka, M and Kasamo, K., 2005.** Expression of an aquaporin at night in relation to growth and root water permeability in barley seedlings. *Soil Sci. Plant Nutr*, 49: 883–888.
- Kaymakanova, 2009.**Effect of salinity on germination and seed physiology in bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Biotechnol. Biotechnol. Equipment*, 23: 326-329.

- Kaysi et Melcion, 1992.** Traitements technologiques des protéagineux pour le monogastrique : exemples d'application à la graine de féverole *INRA Productions animales*, 1992, 5 (1), pp.3-17
- Keren.R., 2000.** Salinity in summer M.E .Ed. Hamdbook of soil .Science .CRC Press , NY . USA .PPG 3.G25.
- Khadraoui A., 2005.** Eaux et sols en Algérie: gestion et impact sur l'environnement. Recueil de communications, Ouargla, 391p.
- Khales.L et Baaziz.M., 2006.** Etude des peroxydases d'écotypes d'opuntia ficus indica L. en relation avec le développement dans des conditions de stress salin Deuxième Congrès International de Biochimie. Agadir(Maroc), 9, 10, 11, et 12 Mai 2006.
- Khan M.A., Hamid A., Salahuddin A. B.M., Quasem A., Karim M.A., 1997.** Effect of sodium chloride on growth, photosynthesis and mineral ions accumulation of different types of rice (*Ovsya sativa*). J. Agronomy and Science, 149- 161.
- Kirchmann & Widen, 1994.** Separately collected organic household wastes”. Swedish J. Agric. Res. 24: 3-12.
- Kolev, 1976.** Cultures maraîchères en Algérie. (I) FAO, p. 178-186.
- Lasram. M., 1995.** "Salinity problems in the mediterranean's area", Ed. Academiède Paris, N°2, séance spécialisée du 22 Mars 1995;
- Latigui, A., J.M. Choi and C.W. Lee, 2011.** Growth and nutrient uptakeresponses of Seolhyangstrawberry to various ratios of ammonium to nitrate nitrogen in nutrient solution culture usinginert media. Afr. J. Biotechnol., 10: 12567-12574.
- Latigui.A et Dellal.A., 2011.**The effect of agricultural byproduct of olive tree on horticultural substrate of strawberry (*Fragaria ananassa*) grown in soilless crop system. Am. J. Plant Physiol., 6: 83-90.
- Latigui.A., et Dellal.A., 2009.** Effect of different variation of NH_4^+ compared to N ($\text{NH}_4^+ + \text{NO}_3^-$) fertilization of tomato (*Lycopersicum esculentum*) cultivated in inert media on the fecundity of the aphids *Macrosiphum euphorbiae* (Homptera-Aphididae). Am. J. Plant Physiol., 4: 80-88.
- Le Borgne. T., 2010.** Caractérisation et quantification des éléments perturbateurs de prise lors du traitement des sols. Thèse de doctorat. Institut National Polytechnique de Lorraine.
- Le Guen et Duc, 1996.** La Fève. In : Amélioration des Espèces Végétales Cultivées : Objectifs et Critères de Sélection. A. Gallais et H. Bannerot (Eds.), 189-203.
- LE Houerou H. N., 1986.** Salt tolerant plants of economic value in the Mediterranean basin. Reclamation and revegetationres. (5) 319-341.
- Le Houerou H.N., 1993.** Salt - tolerant plants for the arid region of the Mediterranean isoclimatique zone In: H. Leith et A Al Massoom (edits): towards the rational use of high salinity tolerant plants. Vol 1. Kluveracadem, pp : 403- 422.
- Leclerc J.C., 1999.** Ecophysiologie végétale , publications univ. Saint Etienne p 188-235

- Leclerc, 2001.** Guide des matières organiques ». Deuxième édition, Tome I. ITAB – Paris
- Legros J.P., 2009.** La salinisation des terres dans le monde, Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, conférence n°4069, Bull. n°40, pp. 257-269.
- Lepoivre.PH., 2003.** Phytopathologie bases moléculaires des stratégies de lutte .1èreédition, de Boeck et Larcier, Bruscelles : 28-29.
- Levigneron.A, Lopez.F, Berthomieu.P, Casse-Delbart. F., 1995.** Les plantes face au stress salin. *Cahiers Agriculture* ; 4:263-273. France.
- Levitt J., 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Water radiation, salt and others stresses. AcademicPress, New York, 2: 365- 406.
- Lmezri .M., 2007.** Réponse écophysiological de trois espèces de forestières du genre de l'Acacia, Eucalyptus et Shinus soumises à un stress salin, Thèse Magistère d'Université Mentouri Constantine.180P
- Lopez., 1996.** Identification et étude de l'expression de deux gènes en réponse au stress.
- Lu, C., Qiu, N., Wang, B., Zhang, J., 2003.** Salinity treatment shows no effects on photosystem II photochemistry, but increases the resistance of photosystem II to heat stress in halophyte Suaeda salsa. *Journal of Experimental Botany*, 54(383), 851-860.
- Luttge U., Kluge M., Bauer G., 2002.** Botanique. 3ème édition, Tec et Doc-Lavoisier, Paris: 439- 450.
- Maatougui M.E.H., 1996.** Situation de la culture des fèves en Algérie et perspectives de relance, in réhabilitation of fababeau. Ed. Actes, Rabat (Maroc) 202 p.
- Maillard J., 2001.** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne : Risques et Recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34p.
- Manchanda G, Garg N. ,2008.** Salinity and its effects on the functional biology of legumes. *Acta Physiologica Plant* **30**, 595-618.<https://doi.org/10.1007/s11738-008-0173-3>.
- Marlet, S., & Job, J. O. ,2006.** Processus et gestion de la salinité des sols.
- Marouf A. et Reynaud J., 2007.** La botanique de A à Z .1662 définition. Ed Dunod : P.286.
- Marrlet S., 2005.** Gestion de l'eau et salinisation des sols dans les systèmes irrigués ; Synthèse de l'atelier du PCSI sur : Vers une maîtrise des impacts environnementaux de l'irrigation. CIRAD/AMIS, Montpellier, France, n°40, pp. 12-23.
- Martinez. JP, Silva.H, and Pinto. M., 2007.** Effect of drought stress on the osmotic adjustment, cell wall elasticity and cell volume of six cultivars of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *European journal of agronomy*. Jan., Vol. 26,1,p. 30-38.
- Mashali et al. 2005.** Integrated management for sustainable use of salt- affected soils. Rome: FAO Soils Bulletin, now printing. Mathon (1985).
- Maxted, N., Bennett, S. J. (Eds.). (2001).** *Plant genetic resources of legumes in the Mediterranean* (Vol. 39). Springer Science & Business Media.

- Mayak et al. 2004.** Plant growth-promoting bacteria confer resistance in tomato plants to salt stress. *Plant Physiology and Biochemistry* 42: 565-572
- Mazliak, P., 1995.** Physiologie des stress. *Hermann*.
- Mehdi.A., 2008.** Cours du stress salin, 25P.
- Mekhaldi A., 2007.** Comportement physiologique et biochimique chez mung bean (*Vigna radiata* L) stressé à la salinité .Thèse doctorat .Université d'oran.
- Mermoud A., 2006.** Cours de physique de sol : Maîtrise de la salinité des sols. Ecole polytechnique fédérale de Lausanne ,23 p.
- Mesquida et al, 1990.** Modalités de la pollination chez 2 lignées de fève de printemps (*Vicia faba* L var *equina* Steudel). Effets sur les coulures, la productivité et les taux de croisements. *Apidologie* 21, 511-525.
- Mezali, 2003.** Troisième session forum des Nations Unies sur les forêts. Genève, pp 4-5.
- Mezni, M., Bizid, E., & Hamza, H., 1999.** Effets de la salinité des eaux d'irrigation sur la survie et la croissance de trois cultivars de luzerne pérenne. *Fourrages*, 158, 169-178.
- Michel. CG., 2005.** Sols et environnement Dunod, Paris, pp: 609; 612; 620.
- Middleton. 1997.** Nick (ed.) / THOMAS, David (ed.)-UNEP-World Atlas of Desertification- 2nd ed.-London-Arnold- 1997-182 p.
- Mint El Moukhtar Soukeina, 2010,** étude de réponses physiologiques et métaboliques de dix variétés de riz (*Oriza sativa* L.) aux premiers stades de développement vis-à-vis de stress salin, SENEGAL, Dakar.
- Misra N, Ansari MS, Gupta AK. 2006.** Differential response of scavenging of reactive oxygen species in green gram genotype grown under salinity stress. *American journal of plant physiology* 1, 41-53 <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2005.02.013>.
- Monneveux P. et This D., 1997.** La génétique face au problème de tolérance des plantes à la sécheresse : espoirs et difficultés. *Sécheresse* n° 1 vol. 8 pp. 29 – 37.
- Monneveux.P et Nemmar (1986),** Contribution à l'étude de la résistance à la sécheresse chez le blé tendre (*Triticum aestivum* L.) et chez le blé dur (*Triticum durum* Desf.): Etude de l'accumulation de la proline au cours du cycle de développement. *Agronomie* 6: 583-590
- Moons et al. 1995.** Molecular and physiological responses to abscisic acid and salts in roots of salt-sensitive and salt-tolerant Indica rice varieties. *Plant Physiol.* 107, 177-186.
- Motel ,1972.** Die archaologischste reste der Ackerbohne *Vicia faba* L. and die gansse der Art Kulturpfl. 19: 321-358.Suso, M.J., M.T Moreno, F. Mondragao-Rodrigues, J.I
- Munns et Termaat 1986.** Whole- plant responses to salinity. *Australian Journal of Plant*
- Munns, 1993** .physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses *Plant Cell Environ.*, 16 (1993), pp. 15–24

- Munns, 2002.** Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment*, 25: 239-250. ,
- Munns, R. and Tester, M., 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant*
- Munns. R., James. R. A., Lauchli. R., 2006:** Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. *Journal of Experimental Botany*; 57 (5): 1025-1043.
- Murillo-Amador B, Yamada S, Yamaguch T, Puente ER, Serrano NA, Hernandez LG, Aguilar RL, Dieguez ET, Garibay AN. 2007.** Salinity toxicity influence of calcium silicate on growth physiological parameters and mineral nutrition in two legume species under salt stress, *Journal of Agronomy and Crop Science* **193(6)**, 413-421.[https://doi.org/ 10.1111/j.1439-037X.2007.00273.x](https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2007.00273.x).
- Naidoo, G., & Naidoo, Y., 2001.** Effects of salinity and nitrogen on growth, ion relations and proline accumulation in *Triglochin bulbosa*. *Wetlands Ecology and Management*, 9(6), 491-497.
- Navarro, J. M., Garrido, C., Martínez, V., & Carvajal, M., 2003.** Water relations and xylem transport of nutrients in pepper plants grown under two different salts stress regimes. *Plant Growth Regulation*, 41(3), 237-245.
- Navarro, J.M., Martínez, V. and Carvajal, M. 2000.** Ammonium, bicarbonate and calcium effects on tomato plants grown under saline conditions. *Plant Sci.*157: 89–96.
- Nemat Alla, M.M. and N.M. Hassan., 1994.** Efficacy of exogenous GA₃ and herbicide safeners in protection of *Zea mays* from metolachlor toxicity. *Plant Physiol. Biochem.*, 36: 809-815.
- Netting A. 2002.** pH, abscissic acide and the integration of metabolism in plants under stressed and non –stressed conditions –II-Modifiacton in mode of metabolism induced by variation in the tension of the water column and stress. *Journal of Experimental Botany* **53(356)**, 151-173.
- Nezzar. ,1991** Contribution à l'étude du gemmage de pin d'Alep dans le massif de Bouhmama (Khanchela). Thèse d'ingénieur agronome (I.N.A).
- Niu X., Bressan R. A., Hasegawa P. M., and. Pardo. J. M, 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant Physiology*. 109 (3): 735- 742.
- Niu, G., & Cabrera, R. I. 2010.** Growth and physiological responses of landscape plants to saline water irrigation: A review. *HortScience*, 45(11), 1605-1609.
- Niu, X., Bressan, R. A., Hasegawa, P. M., & Pardo, J. M., 1995.** Ion homeostasis in NaCl stress environments. *Plant physiology*, 109(3), 735.
- Nouri T., 2012.** Response of the bean vicia faba L to saline stress, case of asandysoilmodified by bentonite. Magister thesis, university of Mostaganem Algeria.
- Nuessly, G. S., Hentz, M. G., Beiriger, R., & Scully, B. T., 2004.** Insects associated with faba bean, *Vicia faba* (Fabales: Fabaceae), in southern Florida. *Florida Entomologist*, 204-211.

- Ohkawa, H., Ohishi, N., & Yagi, K., 1979.** Assay for lipid peroxides in animal tissues by thiobarbituric acid reaction. *Analytical biochemistry*, 95(2), 351-358.
- Okçu G., Kaya M.D., Atak M., 2005.** Effect of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turk j Agric For* 29: 237- 242.
- Okçu, G., Kaya, M. D., & Atak, M., 2005.** Effects of salt and drought stresses on germination and seedling growth of pea (*Pisum sativum* L.). *Turkish journal of agriculture and forestry*, 29(4), 237-242.
- Oomah, B. D., Luc, G., Leprelle, C., Drover, J. C., Harrison, J. E., & Olson, M., 2011.** Phenolics, phytic acid, and phytase in Canadian-grown low-tannin faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(8), 3763-3771.
- Orcutt, D. M., & Nilsen, E. T., 2000.** *Physiology of plant under stress: soil and biotic factors*. Wiley.
- Ozturk. N., Valentina. T., Michael.D., Christine B., 2002.** Monitoring large-scale changes in transcript abundance in drought and salt-stressed barley. *Plant Mol. Biol.*, 48: 551-573.
- Paquin, R., 1977.** Effet des basses températures sur la résistance au gel de la Luzerne (*Medicago media* Pers.) et son contenu en proline libre. *Physiol veg*, 15, 657-665.
- Parent C., Capelli N. and Dat J., 2008.** Formes réactives de l'oxygène, stress et mort cellulaire chez les plantes. *C. R. Biologies* 331 (2008) 255-261.
- Parida, A. K., & Das, A. B., 2005.** Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and environmental safety*, 60(3), 324-349.
- Peel, M. D., Waldron, B. L., Jensen, K. B., Chatterton, N. J., Horton, H., & Dudley, L. M., 2004.** Screening for salinity tolerance in alfalfa. *Crop science*, 44(6), 2049-2053.
- Pessarakli. M., 2002.** Physiological responses of cotton (*Gossypium hirsutum* L.) to salt stress. In : Handbook of plant and crop physiology . Pessarakli M. 2nd. Edn. Marcel Dekke. In New York USA. pp.68-69
- Peterson, H.G. 1999.,** Water quality and Micro-irrigation for Horticulture. Agriculture et Agroalimentaire Canada, 4 p. http://www.agr.gc.ca/pfra/water/microirr_e.htm
- Phelippe. D., 2001.** Introduction à la science du sol. Dunod, Paris, Pp: 263; 264; 265.
- Pierzynski GM., 1991.** The chemistry and mineralogy of phosphorus in excessively fertilized soils. Critical reviews in *environmental science and technology* 21, 265-295.
- Pommel, B., & Lasserre, M., 1982.** Aptitude de plusieurs déchets urbains à fournir du phosphore aux cultures. *Agronomie*, 2(9), 851-857.
- Poor mohammad Kiani.S., 2007.** Analyse génétique des réponses physiologiques du tournesol (*Helianthus annuus* L.). Soumis à la sécheresse. Thèse de doctorat en Génétique et Amélioration des plantes. Ecole National Supérieure Agronomique (ENSAT). Toulouse: 720-721

- Quadir M, Coster JD.** 2004. Crop and irrigation management strategies for saline-sodic soils and waters aimed at environmentally sustainable agriculture. *Science of the Total Environment* **323**, 1-19. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2003.10.012>.
- Radhouane, L., 2008.** Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains chez quelques écotypes de mil (*Pennisetum glaucum* (L.) R. Br.) autochtones de Tunisie. *Comptes Rendus Biologies*, 331(4), 278-286.
- Rahman, M. S., Miyake, H., Takeoka, Y., 2002.** Effects of exogenous glycinebetaine on growth and ultrastructure of salt-stressed rice seedlings (*Oryza sativa* L.). *Plant Production Science*, 5(1), 33-44.
- Rahnama H., Ebrahimzadeh H., 2005.** The effect of NaCl on antioxidant enzyme activities in potato seedling. *Biol Plant* 49(1):93-97.
- Raju K.P. ; Desai J.N. ; Chandrasekhar T. ; Ashok N.M., 1993.** Precursors, arginine, Ornithine, or methionine in ameliorating the inhibitory effect of NaCl on wheat plant. *Egyptian J. Biotechnol.* 9 :328-340.
- Rao, 1981.** Pigment composition and chlorenchlorophyllase activity in pigeon pea (*Cajanus indicus* spreng) and yingelly (*Sesamum indicum* L.) under NaCl salinity. *Exp. biol.* 19: 768-770.
- Rao, G. G., Basha, S. K. M., & Rao, G. R., 1981.** Effect of NaCl salinity on amount & composition of epicuticular wax & cuticular transpiration rate in peanut *Arachis hypogaea* L. *Indian journal of experimental biology*.
- Rathina sadapathi, 2000.** Metabolic engineering for stress tolerance: installing osmoprotectant synthesis pathways. *Ann. Bot.* 86: 709–716.
- Reddy, A. R., Chaitanya, K. V., & Vivekanandan, M., 2004.** Drought-induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of plant physiology*, 161(11), 1189-1202.
- Reguieg Yssaad, H. R., Latigui, A., Nouri, T., & Bessafi, L., 2012.** Effect of Salt Stress and Bentonite on the Germination and Proline Content of *Vicia faba* L. Plant var. 'Semilla violeta' and 'Reine mora'. *American Journal of Plant Physiology*, 7, 212-219.
- Rejili M., Vadel M A., Neffat P. M., 2006.** Comportements germinatifs de deux populations de *Lotus creticus* (L.) en présence du NaCl. *Revue des Régions Arides*, 17.1 : 65- 78.
- Rengasamy P.** 2010. Soil processes affecting crop production in salt affected soils. *Functional Plant Biology* **37(7)**, 613-620. <https://doi.org/10.1071 /FP09249>.
- Richards, L. A., 1954.** Diagnosis and Improvement of Saline and Alkaline Soils , Agricultural Handbook No. 60 Washington, D.C. United States Department of Agriculture.
- Robert, M., 1996.** Le sol : interface dans l'environnement, ressource pour le développement. Masson, Paris, p.241.

- Rontein, D., Basset, G., & Hanson, A. D., 2002.** Metabolic engineering of osmoprotectant accumulation in plants. *Metabolic engineering*, 4(1), 49-56.
- Rozema, J., & Flowers, T. (2008).** Crops for a salinized world. *Science*, 1478-1480.
- Rush, D. W., & Epstein, E., 1981.** Comparative studies on the sodium, potassium, and chloride relations of a wild halophytic and a domestic salt-sensitive tomato species. *Plant physiology*, 68(6), 1308-1313.
- Salama, S., Trivedi, S., Busheva, M., Arafa, A. A., Garab, G., & Erdei, L., 1994.** Effects of NaCl salinity on growth, cation accumulation, chloroplast structure and function in wheat cultivars differing in salt tolerance. *Journal of Plant Physiology*, 144(2), 241-247.
- Sang, R. J. et Li, M., 2004.** Genotoxicity of municipal landfill leachate on root tips of *Vicia faba*. *Mutat. Res.-Genet. Toxicol. Environ. Mutag.* 560(2):159-165
- Schachtman, D. P., & Munns, R., 1992.** Sodium accumulation in leaves of *Triticum* species that differ in salt tolerance. *Functional Plant Biology*, 19(3), 331-340.
- Schulze, E. D., & Beck, E., 2005.** Plant ecology. Edition Springer Berlin- Heidelberg. P 692.
- Schwartz, (2007). Salinisation des sols : processus, causes, effets et gestions des sols salés. Diapositif. Sécheresse vol. 11, (1), p. 37-43.
- Seeman JR, Criteheey C., 1985.** Effect of salt stress on the growth, ion content, *Phaseolus vulgaris* L. *Planta* **164**, 151-162. <https://doi.org/10.1007/BF00396077>
- Seigue, 1985.** La forêt circumméditerranéenne et ses problèmes. Ed. Maisonneuve et Larose, Paris. p502.
- Semmadi, A., & Rahmoune, C., 1995.** Influence de la pollution atmosphérique sur les rendements agricoles. *Rev. Sci. Technol*, 6, 31-41.
- Sen Jan., Tseng, Y. H., & Dietrich, D. E., 2010.** Sources of water in the Taiwan Strait. *Journal of oceanography*, 66(2), 211-221.
- Sen S. 2010.** S-nitrosylation process acts as a regulatory switch for seed germination in wheat. *American Journal of Plant Physiology* **5**, 122-132. <https://doi.org/10.3923/ajpp.2010.122.132>.
- Servant-Vildary, S., 1983.** Les diatomées des sédiments superficiels de quelques lacs salés de Bolivie. *Sciences Géologiques, bulletins et mémoires*, 36(4), 249-253.
- Shaheena Afroz, S., Mohammad, F., Hayat, S., & Siddiqui, M. H., 2006.** Exogenous application of gibberellic acid counteracts the ill effect of sodium chloride in mustard. *Turkish Journal of Biology*, 29(4), 233-236.
- Shalata, A., & Tal, M., 1998.** The effect of salt stress on lipid peroxidation and antioxidants in the leaf of the cultivated tomato and its wild salt-tolerant relative *Lycopersicon pennellii*. *Physiologia Plantarum*, 104(2), 169-174.

- Shinozaki et Yamaguchi, 1999.** Molecular responses to drought stress. In *Molecular Responses to Cold, Drought, Heat and Salt Stress in Higher Plants* (Shinozaki, K. and Yamaguchi-Shinozaki, K., eds). Austin, TX: RG Landes, pp. 11±28
- Shinozaki, K., Yamaguchi-Shinozaki, K. and Seki, M., 2003.** Regulatory network of gene expression in the drought and cold stress responses. *Curr. Opin. Plant. Biol.* 6, 410-417.
- Silveira Joaquim R. A., Silva A.G., 2004.** Assimilatory reduction in cashew plants grown in saiinized medium .Revue: Bras. Eng. Agric. Ambient. V 8,n° 2-3.
- Singh, K. B., Foley, R. C., Oñate-Sánchez, L., 2002.** Transcription factors in plant defense and stress responses. *Current opinion in plant biology*, 5(5), 430-436.
- Slama, F., 1986.** Intervention des racines dans la sensibilité ou la tolérance à NaCl de plantes cultivées. *Agronomie*, 6(7), 651-658.
- Smirnoff N., 1998.** Plant resistance to environmental stress. *Current Opinion in Biotechnology* 9(2), 214-215.
- Smirnoff, N., 1993.** The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New phytologist*, 125(1), 27-58.
- Smirnoff.N., 1993.** The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation. *New Phytologist*. 125: 27–58.
- Sohan, D., Jasoni, R., & Zajicek, J., 1999.** Plant–water relations of NaCl and calcium-treated sunflower plants. *Environmental and Experimental Botany*, 42(2), 105-111.
- Speer M., Kaiser W.M., 1991.** Ion relations of symplastic and apoplastic space in leaves from *Spinaciaoleracea* L. and *Pisumsativum* L. under salinity. *Plant physiology*, 97: 990-997.
- Speer, M., & Kaiser, W. M., 1991.** Ion relations of symplastic and apoplastic space in leaves from *Spinacia oleracea* L. and *Pisum sativum* L. under salinity. *Plant Physiology*, 97(3), 990-997.
- Sprent J.I., 1995.** Legume trees and shrubs in the tropics: N₂ fixation in perspective. *Soil Biol. Biochem* 27: 401-407.
- Stoddard, F. L., & Bond, D. A., 1987.** The pollination requirements of the faba bean. *Bee World*, 68(3), 144-152.
- Sultana N, Ikeda T, Itoh R. 1999.** Effect of NaCl salinity on photosynthesis and dry matter accumulation in developing rice grains. *Environmental and Expérimental Botany journal* 42, 211-220.
- Taffouo VD, Wamba OF, Yombi E, Nono GV, Akoe A. 2010.** Growth, yield, water status and ionic distribution response of three bambara groundnut (*Vigna subterranean* (L.) verdc.) landraces grown under saline conditions, *International Journal of Botany* 6(1), 53-58.<http://dx.doi.org/10.3923/ijb.2010.53.58>.

- Tahri E.H., Belabed A., Sadki K., 1998.** Effet d'un stress osmotique sur l'accumulation de proline, de chlorophylle et des ARNm codant pour la glutamine synthétase chez trois variétés de blé dur (*Triticum durum*). Bulletin de l'Institut Scientifique., Rabat, 21: 81-87.
- Tal, M., Heikin, H., Dehan, K., 1978.** Salt tolerance in the wild relatives of the cultivated tomato: responses of callus tissue of *Lycopersicon esculentum*, *L. peruvianum* and *Solanum pennellii* to high salinity. *Zeitschrift für Pflanzen physiologie*, 86(3), 231-240.
- Tanji, K. K., & Hanson, B. R., 1990.** Drainage and return flows in relation to irrigation management. *Agronomy*, (30), 1057-1087.
- Tanji.B., 1990** .Agricultural salinity assessment and management. ASCE manuals and reports on engineering practice No. 71. Am. Soc. Civil Eng., New York
- Termaat, A., Munns, R., 1986.** Use of concentrated macronutrient solutions to separate osmotic from NaCl-specific effects on plant growth. *Functional Plant Biology*, 13(4), 509-522.
- Thomas F., 2008.** La fève confirme son intérêt. Techniques culturales simplifiées n°48. 4ème édition. 102p.
- Tisdale, S.L., Nelson, W.L. and Beaton, J.D., 1985.** Soil Fertility and Fertilizers. 4th Edition, Macmillan Publishing Company, New York.
- Tort NB, Turkeyilmaz A. 2004.** Physiological investigation on the mechanisms of salinity tolerance in some barley culture forms. Journal Faculty Science Ege University 27, 1-16.
- Turan M., et Sezen S., 2007.** Effect of salt stress on plant nutrition uptake. University of Ataturk, Faculty of Agriculture, Turkey.
- Tyagi, N. K., 1996.** Salinity management in irrigated agriculture. In *Sustainability of irrigated agriculture* (pp. 345-358). Springer, Dordrecht.
- Tyerman et Skerrett, 1999.** Root ion channels and salinity. *Sci Hortic (Amst)* 78: 175–235 Université de Paris VII, 252 p.
- Ullah, S. M., Gerzabek, M. H., & Soja, G., 1994.** Effect of seawater and soil salinity on ion uptake, yield and quality of tomato (fruit). *BODENKULTUR-WIEN AND MUNCHEN*, 45, 227-227.
- USSL., 1954.** Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. US Department of Agriculture, Handbook n°60, U.S. Gov. Print. Office, Washington D.C, 160 p.
- VAN, Aufsess ., 1976.** Enquête sur la possibilité de distillation de gemme de pin d'Alep dans le massif des Aurès, Ministre de l'agriculture P49.
- Vandenabeele, S., Van Der Kelen, K., Dat, J., Gadjev, I., Boonefaes, T., Morsa, S. et Inzé, D., 2003.** A comprehensive analysis of hydrogen peroxide-induced gene

- expression in tobacco. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 100(26), 16113-16118.
- Vezina, L., & Paquin, R., 1982.** Effet des basses temperatures sur la distribution de la proline libre dans les plantes de Luzerne (*Medicago media* Pers.). *Physiologie vegetale*. 20, 101-109.
- Viégas, R. A., & Silveira, J. D., 1999.** Ammonia assimilation and proline accumulation in young cashew plants during long term exposure to NaCl-salinity. *Revista brasileira de fisiologia vegetal*, 11(3), 153-159.
- Vincent R., 2006.** Recherche et étude de marqueurs moléculaires de la réponse au stress chez l'algue brune *Laminaria digitata* .Thèse de Doctorat .Biologie. Université de Rennes 1.237p.
- Vincent, D., Ergül, A., Bohlman, M. C., Tattersall, E. A., Tillett, R. L., Wheatley, M. D., et Schooley, D. A., 2007.** Proteomic analysis reveals differences between *Vitis vinifera* L. cv. Chardonnay and cv. Cabernet Sauvignon and their responses to water deficit and salinity. *Journal of experimental botany*, 58(7), 1873-1892.
- Wang Y., Nil N., 2000.** Changes in chlorophyll, ribulose biphosphate carboxylase oxygenase, glycine betaine content, photosynthesis and transpiration in *Amaranthus tricolor* leaves during salt stress. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 75, 623 – 627.
- Wang Y., Nil N., 2012.** The uptake of Cs and Sr from soil to radish (*Raphanus sativus* L.)- Potential for phyto extraction and remediation of contaminated soils. *Journal of Environmental Radioactivity* 110 : 78-83.
- Wang, Y., Mopper, S., & Hasenstein, K. H., 2001.** Effects of salinity on endogenous ABA, IAA, JA, and SA in *Iris hexagona*. *Journal of chemical ecology*, 27(2), 327-342.
- Wanjogu, S. N., Muya, E. M., Gicheru, P. T., & Waruru, B. K., 2001.** Soil degradation: Management and rehabilitation in Kenya. In *Proceedings of the FAO/ISCW expert consultation on Management of Degraded Soil in Southern and Eastern Africa (MADS-SEA) 2nd Networking meeting, Pretoria, South Africa*, PR102-113.
- Winicov I.I., Bastola D.R., 1999.** Transgenic over expression of the transcription factor *alfin1* enhances expression of the endogenous *MsPRP2* gene in alfalfa and improves salinity tolerance of the plants. *Plant Physiol*, 120: 473-80.
- Winicov, I., 1998.** New molecular approaches to improving salt tolerance in crop plants. *Annals of Botany*, 82(6), 703-710.
- Wu, C.A., Yang, G.D., Meng, Q.W., and Zheng, C.C., 1998.** The cotton *GhNHX1* gene encoding a novel putative tonoplast Na^+/H^+ antiporter plays an important role in salt stress. *Plant Cell Physiol*.45(5) : 600–607. doi:10.1093/pcp/pch071. PMID:15169942.
- Wyn Jones G. et Gouston H., 1991.** Complement a ryor conflicting approaches to salinity DDU.Bulletin N°23 : 7-9.

- Yazici, I., Türkan, I., Sekmen, A. H., & Demiral, T., 2007.** Salinity tolerance of purslane (*Portulaca oleracea* L.) is achieved by enhanced antioxidative system, lower level of lipid peroxidation and proline accumulation. *Environmental and Experimental Botany*, 61(1), 49-57.
- Yeo, A. R., 1983.** Salinity resistance: physiologies and prices. *Physiologia plantarum*, 58(2), 214-222.
- Yeo, A., 1998.** Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. *Journal of Experimental Botany*, 49(323), 915-929.
- Yeo, A., 1983.** Salinity Resistance: physiologies and prices. *Physiologia plantarum*.58: 214-222.
- Zaghoane O., 1991.** The situation of faba bean (*Vicia faba* L.) In Algeria. Option méditerranéenne. Present statute and future perspectives of faba bean production. I.c.a.r.d. aserie a, n°10.pp123-125.
- Zago, E., Morsa, S., Dat, J. F., Alard, P., Ferrarini, A., Inzé, D. & Van Breusegem, F., 2006.** Nitric oxide-and hydrogen peroxide-responsive gene regulation during cell death induction in tobacco. *Plant Physiology*, 141(2), 404-411.
- Zhu J.K., 2002.** Salt and drought stress signal transduction in plants. *Annu. Rev. Plant Biol*, 53: 247-273.
- Zhu, J. K., 2001.** Plant salt tolerance. *Trends in plant science*, 6(2), 66-71.
- Zhu, S., Deltour, J., & Wang, S. , 1998.** Modeling the thermal characteristics of greenhouse pond systems. *Aquacultural Engineering*, 18(3), 201-217. Zhu, S., & Ma, K. K. (2000). A new diamond search algorithm for fast block-matching motion estimation. *IEEE transactions on Image Processing*, 9(2), 287-290.
- Zid, E., Grignon, C., 1991.** Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides, AUPELF-UREF. Jon Libbey Eurotext, Paris, 91-108.

Annexes

Annexe 01

Analyse de la variance à deux facteurs contrôlés (Stat Box 6.40) de l'effet de la salinité et du compost de pin d'Alep sur les paramètres morpho-physiologique et biochimique de la fève.

Tableau 1. Analyse de variance de l'Effet combiné de la salinité et du compost de pin d'Alep sur la Longueur tige de la fève.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	3112,563	47	66,225			
VAR.FACTEUR 1	552,072	3	184,024	3,943	0,01564	**
VAR.FACTEUR 2	163,091	2	81,546	1,747	0,18692	NS
VAR.INTER F1*2	717,407	6	119,568	2,562	0,03587	*
VAR.RESIDUELLE 1	1679,993	36	46,666			6,831

**** :** hautement significatif

*** :** Significatif

NS : non Significatif

Tableau 2. Analyse de variance de l'Effet combiné de la salinité et du compost de pin d'Alep sur la longueur de racine de la fève.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	1204,646	47	25,631			
VAR.FACTEUR 1	395,486	3	131,829	6,798	0,00102	***
VAR.FACTEUR 2	14,52	2	7,26	0,374	0,69529	NS
VAR.INTER F1*2	96,505	6	16,084	0,829	0,55635	NS
VAR.RESIDUELLE 1	698,135	36	19,393			4,404

NS : Non significatif ; ***** :** très hautement significatif.

Liste des annexes

Tableau 3. Analyse de variance de l'Effet combiné de la salinité et du compost de pin d'Alep sur le poids de biomasse végétale (partie aérienne) de la fève.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	136,119	47	2,896			
VAR.FACTEUR 1	85,502	3	28,501	49,01	0	***
VAR.FACTEUR 2	10,53	2	5,265	9,054	0,00073	***
VAR.INTER F1*2	19,151	6	3,192	5,489	0,00043	***
VAR.RESIDUELLE 1	20,935	36	0,582			0,763

*** : très hautement significatif.

Tableau 4. Analyse de variance de l'Effet combiné de la salinité et du compost de pin d'Alep sur le poids de biomasse végétale (partie souterraine) de la fève.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	40,167	47	0,855			
VAR.FACTEUR 1	11,575	3	3,858	8,149	0,00032	***
VAR.FACTEUR 2	0,045	2	0,023	0,048	0,95306	NS
VAR.INTER F1*2	11,501	6	1,917	4,049	0,00342	***
VAR.RESIDUELLE 1	17,045	36	0,473			0,688

NS : Non significatif

*** : très hautement significatif.

Tableau 5. Analyse de variance de l'Effet combiné de la salinité et du compost de pin d'Alep sur la surface foliaire de la fève.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	3725,482	47	79,266			
VAR.FACTEUR 1	251,537	3	83,846	1,426	0,25049	NS
VAR.FACTEUR 2	174,51	2	87,255	1,483	0,2393	NS
VAR.INTER F1*2	1182,026	6	197,004	3,349	0,01007	**
VAR.RESIDUELLE 1	2117,41	36	58,817			7,669

Liste des annexes

Tableau 6. Analyse de variance de l'Effet combiné de la salinité et du compost de pin d'Alep sur la surface racinaire de la fève.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	83799,97	47	1782,978			
VAR.FACTEUR 1	9099,641	3	3033,214	4,971	0,00556	***
VAR.FACTEUR 2	26202,59	2	13101,29	21,473	0	***
VAR.INTER F1*2	26533,05	6	4422,176	7,248	0,00005	***
VAR.RESIDUELLE 1	21964,69	36	610,13			24,701

Tableau 7. Analyse de variance de l'Effet combiné de la salinité et du compost de pin d'Alep sur la chlorophylle totale de la fève.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	2714,719	47	57,76			
VAR.FACTEUR 1	466,191	3	155,397	3,028	0,04132	*
VAR.FACTEUR 2	169,476	2	84,738	1,651	0,20442	NS
VAR.INTER F1*2	231,716	6	38,619	0,753	0,61304	NS
VAR.RESIDUELLE 1	1847,336	36	51,315			7,163

Tableau 8. Analyse de variance de l'Effet combiné de la salinité et du compost de pin d'Alep sur le dosage de la proline de la fève.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	2,553	23	0,111			
VAR.FACTEUR 1	0,201	3	0,067	0,73	0,5563	NS
VAR.FACTEUR 2	0,478	2	0,239	2,608	0,11345	NS
VAR.INTER F1*2	0,774	6	0,129	1,407	0,28867	NS
VAR.RESIDUELLE 1	1,1	12	0,092			0,303

NS : Non significatif.

Liste des annexes

Tableau 9. Analyse de variance de l'Effet combiné de la salinité et du compost de pin d'Alep sur la quantité de malondialdéhyde de la fève

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	712,556	35	20,359			
VAR.FACTEUR 1	219,889	3	73,296	22,747	0	
VAR.FACTEUR 2	23,389	2	11,694	3,629	0,04114	
VAR.INTER F1*2	391,945	6	65,324	20,273	0	
VAR.RESIDUELLE 1	77,333	24	3,222			1,795

Tableau 10. Analyse de variance de l'Effet combiné de la salinité et du compost de pin d'Alep sur la quantité de sodium dans la feuille de la fève.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	10822	35	309,2			
VAR.FACTEUR 1	5933,557	3	1977,852	103,043	0	
VAR.FACTEUR 2	4208,167	2	2104,084	109,619	0	
VAR.INTER F1*2	219,61	6	36,602	1,907	0,1204	
VAR.RESIDUELLE 1	460,667	24	19,194			4,381

Tableau 11. Analyse de variance de l'Effet combiné de la salinité et du compost de pin d'Alep sur la quantité de sodium dans les racines de la fève.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	28610,75	35	817,45			
VAR.FACTEUR 1	18078,75	3	6026,249	353,908	0	
VAR.FACTEUR 2	8096,164	2	4048,082	237,734	0	
VAR.INTER F1*2	2027,17	6	337,862	19,842	0	
VAR.RESIDUELLE 1	408,666	24	17,028			4,126

Tableau 12. Analyse de variance de l'Effet combiné de la salinité et du compost de pin d'Alep sur la quantité de potassium dans la feuille de la fève.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	8256,749	35	235,907			
VAR.FACTEUR 1	5286,971	3	1762,324	162,26	0	
VAR.FACTEUR 2	2140,666	2	1070,333	98,547	0	
VAR.INTER F1*2	568,446	6	94,741	8,723	0,00005	
VAR.RESIDUELLE 1	260,667	24	10,861			3,296

Tableau 13. Analyse de variance de l'Effet combiné de la salinité et du compost de pin d'Alep sur la quantité de potassium dans la feuille de la fève.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.
VAR.TOTALE	4193	35	119,8			
VAR.FACTEUR 1	2720,555	3	906,852	100,451	0	
VAR.FACTEUR 2	1163,166	2	581,583	64,421	0	
VAR.INTER F1*2	92,612	6	15,435	1,71	0,16137	
VAR.RESIDUELLE 1	216,667	24	9,028			3,005

Annexe 02

Analyse de la variance à deux facteurs contrôlés (Stat Box 6.40) de l'effet de la salinité et de monamonium phosphaté (MAP) sur les paramètres morpho-physiologique et biochimique de la fève

Tableau 1. Analyse de variance de l'effet combiné de la salinité et de MAP sur la longueur des tiges de la fève *Vicia faba* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	4442.87	47	94.529				
VAR.FACTEUR 1	848.266	3	282.755	5.294	0.00407	***	
VAR.FACTEUR 2	1516.636	2	758.318	14.198	0.00004	***	
VAR.INTER F1*2	155.156	6	25.859	0.484	0.81686	NS	
VAR.RESIDUELLE 1	1922.813	36	53.411			7.308	17.01%

NS : Non significatif, *** : Très hautement significatif

Tableau 2. Analyse de variance de l'effet combiné de la salinité et de MAP sur la longueur des racines de la fève *Vicia faba* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	620.95	47	13.212				
VAR.FACTEUR 1	125.804	3	41.935	6.058	0.00199	***	
VAR.FACTEUR 2	77.359	2	38.68	5.587	0.00775	***	
VAR.INTER F1*2	168.568	6	28.095	4.058	0.00337	***	
VAR.RESIDUELLE 1	249.218	36	6.923			2.631	17.52%

*** : Très hautement significatif

Tableau 3. Analyse de variance de l'effet combiné de la salinité et du MAP sur le poids aériens de la fève *Vicia faba* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	205,807	47	4,379				
VAR.FACTEUR 1	43,53	3	14,51	33,208	0	***	
VAR.FACTEUR 2	80,888	2	40,444	92,561	0	***	
VAR.INTER F1*2	65,659	6	10,943	25,045	0	***	
VAR.RESIDUELLE 1	15,73	36	0,437			0,661	8,25%

*** : Très hautement significatif

Tableau 4. Analyse de variance de l'effet combiné de la salinité et de MAP sur la surface foliaire de la fève *Vicia faba* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	14217.7	47	302.504				
VAR.FACTEUR 1	7248.428	3	2416.143	20.33	0	***	
VAR.FACTEUR 2	910.656	2	455.328	3.831	0.03038	**	
VAR.INTER F1*2	1780.209	6	296.702	2.497	0.03996	**	
VAR.RESIDUELLE 1	4278.404	36	118.845			10.902	29.39%

Liste des annexes

*** : Très hautement significatif , ** : hautement significatif

Tableau.5. Analyse de variance de l'effet combiné de la salinité et du MAP sur la surface racinaire de la fève *Vicia faba* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	81781,62	47	1740,034				
VAR.FACTEUR 1	20863,27	3	6954,424	10,29	0,00006	***	
VAR.FACTEUR 2	21033,32	2	10516,66	15,561	0,00002	***	
VAR.INTER F1*2	15555,32	6	2592,553	3,836	0,00472	***	
VAR.RESIDUELLE 1	24329,7	36	675,825			25,997	50,50%

*** : Très hautement significatif

Tableau.6 Analyse de variance de l'effet combiné de la salinité et du MAP sur la teneur de chlorophylle de la fève *Vicia faba* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	888.187	47	18.898				
VAR.FACTEUR 1	172.365	3	57.455	3.433	0.02673	**	
VAR.FACTEUR 2	97.076	2	48.538	2.9	0.0665	NS	
VAR.INTER F1*2	16.181	6	2.697	0.161	0.98388	NS	
VAR.RESIDUELLE 1	602.564	36	16.738			4.091	26.05%

NS : Non significatif, ** : Significatif

Tableau.7. Analyse de variance de l'effet combiné de la salinité et du MAP sur le taux de proline dans la partie aérienne de la fève *Vicia faba* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	12.486	23	0.543				
VAR.FACTEUR 1	1.94	3	0.647	6.32	0.00825	***	
VAR.FACTEUR 2	1.477	2	0.739	7.218	0.0088	***	
VAR.INTER F1*2	7.84	6	1.307	12.768	0.00017	***	
VAR.RESIDUELLE 1	1.228	12	0.102			0.32	18.78%

*** : Très hautement significatif

Tableau.8. Analyse de variance de l'effet combiné de la salinité et du MAP sur le taux de malondialdéhyde de la fève *Vicia faba* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	785	35	22,429				
VAR.FACTEUR 1	97,889	3	32,63	14,153	0,00002		
VAR.FACTEUR 2	5,167	2	2,583	1,12	0,34359		
VAR.INTER F1*2	626,611	6	104,435	45,297	0		
VAR.RESIDUELLE 1	55,333	24	2,306			1,518	8,06%

Liste des annexes

Tableau 9. Analyse de variance de l'effet combiné de la salinité et du MAP sur le taux de sodium dans les feuilles de la fève *Vicia faba* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	5284,973	35	150,999				
VAR.FACTEUR 1	2598,973	3	866,324	201,211	0		
VAR.FACTEUR 2	2388,389	2	1194,195	277,361	0		
VAR.INTER F1*2	194,277	6	32,38	7,52	0,00014		
VAR.RESIDUELLE 1	103,334	24	4,306			2,075	8,64%

Tableau 10. Analyse de variance de l'effet combiné de la salinité et du MAP sur le taux de sodium dans les racines de la fève *Vicia faba* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	27951	35	798,6				
VAR.FACTEUR 1	17549,45	3	5849,815	184,569	0		
VAR.FACTEUR 2	6683,166	2	3341,583	105,431	0		
VAR.INTER F1*2	2957,723	6	492,954	15,553	0		
VAR.RESIDUELLE 1	760,666	24	31,694			5,63	14,75%

Tableau 11. Analyse de variance de l'effet combiné de la salinité et du MAP sur le taux de potassium dans les feuilles de la fève *Vicia faba* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	8841	35	252,6				
VAR.FACTEUR 1	7183,444	3	2394,481	304,598	0		
VAR.FACTEUR 2	368,666	2	184,333	23,449	0		
VAR.INTER F1*2	1100,223	6	183,37	23,326	0		
VAR.RESIDUELLE 1	188,667	24	7,861			2,804	6,70%

Tableau 12. Analyse de variance de l'effet combiné de la salinité et du MAP sur le taux de potassium dans les racines de la fève *Vicia faba* L.

	S.C.E	DDL	C.M.	TEST F	PROBA	E.T.	C.V.
VAR.TOTALE	21490,75	35	614,022				
VAR.FACTEUR 1	20500,75	3	6833,584	1547,227	0		
VAR.FACTEUR 2	116,666	2	58,333	13,207	0,00016		
VAR.INTER F1*2	767,334	6	127,889	28,956	0		
VAR.RESIDUELLE 1	106	24	4,417			2,102	3,28%

Annexes 03

Comparaison de moyenne de l'effet de la salinité et du compost de pin d'Alep sur le comportement de la fève selon le test de Newman-keuls - seuil = 5%.

Tableau 1 : Comparaison des moyennes de la salinité (F1) sur la longueur des racines de la fève.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0	F1n1	21,083	A	
3.0		16,667		B
2.0		14,85		B
4.0		13,467		B

Tableau 2. La comparaison des moyennes de l'interaction de salinité (F1)- compost du pin d'Alep(F2) sur le poids sec de la partie aérienne de la fève.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNE S	GROUPES HOMOGENES			
1.0 2.0	F1n1	6,925	A			
1.0 3.0	F1n1	6,05	A			
1.0 1.0	F1n1 F2n1	4,15		B		
2.0 2.0		3,95		B		
2.0 1.0	F2n1	3,9		B		
3.0 1.0	F2n1	3,85		B		
3.0 3.0		3,675		B		
3.0 2.0		3,55		B	C	
4.0 2.0		2,875		B	C	
2.0 3.0		2,525		B	C	
4.0 3.0		2,125			C	
4.0 1.0	F2n1	0,875				D

Tableau 3. La comparaison des moyennes de l'interaction de salinité (F1)- compost de pin d'Alep(F2) sur le poids sec de la partie racinaire de la fève.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
1.0 1.0	F1n1 F2n1	4,05	A	
2.0 2.0		3,875	A	
3.0 1.0	F2n1	3,825	A	
2.0 1.0	F2n1	3,8	A	
3.0 2.0		3,6	A	
3.0 3.0		3,6	A	
2.0 3.0		3,2	A	
1.0 3.0	F1n1	3,075	A	
4.0 3.0		3,05	A	
4.0 2.0		2,925	A	
1.0 2.0	F1n1	2,825	A	
4.0 1.0	F2n1	1,375		B

Tableau 4. La comparaison des moyennes de l'interaction de salinité (F1)- compost de pin d'Alep(F2) sur la surface foliaire de la fève.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
2.0 1.0	F2n1	35,101	A	
1.0 1.0	F1n1 F2n1	32,327	A	B
4.0 3.0		29,679	A	B
1.0 2.0	F1n1	26,407	A	B
3.0 1.0	F2n1	25,759	A	B
3.0 3.0		24,87	A	B

Liste des annexes

2.0 2.0		23,75	A	B
1.0 3.0	F1n1	23,325	A	B
3.0 2.0		21,658	A	B
4.0 2.0		18,389	A	B
2.0 3.0		16,866	A	B
4.0 1.0	F2n1	14,981		B

Tableau 5. La comparaison des moyennes de l'interaction de salinité (F1)- compost de pin d'Alep(F2) sur la surface racinaire de la fève.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
1.0 1.0	F1n1 F2n1	119,786	A		
3.0 1.0	F2n1	105,277	A	B	
2.0 2.0		104,983	A	B	
4.0 2.0		63,652		B	C
1.0 2.0	F1n1	57,957			C
2.0 1.0	F2n1	54,817			C
1.0 3.0	F1n1	34,05			C
3.0 2.0		33,92			C
4.0 1.0	F2n1	22,853			C
2.0 3.0		21,124			C
3.0 3.0		19,152			C
4.0 3.0		12,447			C

Liste des annexes

Tableau 6. La comparaison des moyennes de la salinité (F1) sur la teneur de malondialdéhyde de la fève.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
2.0	F1n2	39	A			
1.0	F1n1	33		B		
3.0	F1n3	26,444			C	
4.0	F1n4	15,556				D

Tableau 7. La comparaison des moyennes de la salinité (F1) sur la teneur de sodium des feuilles de la fève

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES		
4.0	F1n4	54,222	A		
3.0	F1n3	46,111		B	
1.0	F1n1	26			C
2.0	F1n2	24,333			C

Tableau 8. La comparaison des moyennes de l'interaction de salinité (F1)- compost de pin d'Alep(F2) sur la teneur en sodium dans les racines de la fève.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES						
4.0 1.0	F1n4 F2n1	108,333	A						
4.0 2.0	F1n4 F2n2	86,667		B					
3.0 1.0	F1n3 F2n1	68,333			C				
4.0 3.0	F1n4 F2n3	52				D			
2.0 1.0	F1n2 F2n1	45					E		
1.0 1.0	F1n1 F2n1	41					E		
3.0 2.0	F1n3 F2n2	32,667						F	
2.0 2.0	F1n2 F2n2	32						F	
2.0 3.0	F1n2 F2n3	27,667						F	
3.0 3.0	F1n3 F2n3	24,667						F	
1.0 3.0	F1n1 F2n3	15							G
1.0 2.0	F1n1 F2n2	11,667							G

Liste des annexes

Tableau 9. La comparaison des moyennes de l'interaction de salinité (F1)- compost de pin d'Alep(F2) sur la teneur en potassium dans les feuilles de la fève.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
2.0 3.0	F1n2 F2n3	61,333	A				
2.0 2.0	F1n2 F2n2	60	A				
1.0 3.0	F1n1 F2n3	56,333	A				
1.0 2.0	F1n1 F2n2	54	A				
2.0 1.0	F1n2 F2n1	36,333		B			
3.0 2.0	F1n3 F2n2	35,667		B			
3.0 3.0	F1n3 F2n3	35		B			
1.0 1.0	F1n1 F2n1	30,667		B	C		
4.0 3.0	F1n4 F2n3	27			C	D	
3.0 1.0	F1n3 F2n1	26,333			C	D	
4.0 2.0	F1n4 F2n2	21,333				D	E
4.0 1.0	F1n4 F2n1	17					E

Tableau 10. La comparaison des moyennes de la salinité (F1) sur la teneur de potassium des racines de la fève.

F1	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
2.0	F1n2	39	A			
1.0	F1n1	33		B		
3.0	F1n3	26,444			C	
4.0	F1n4	15,556				D

Annexe 04

Comparaison de la moyenne de l'effet de la salinité et du compost de pin d'Alep sur le comportement de la fève selon le test de Newman-keuls - seuil = 5% à **deux facteurs contrôlés (Stat Box 6.40).**

Tableau 1. Le test de New mean Keuls de l'effet combiné de la salinité et de MAP sur la longueur racinaire de la féverole *Vicia faba* L.

SALINITÉ/MAP	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
3-0	F2n1	20.088	A			
6-0	F2n1	18.09	A	B		
0-1	F1n1	17.53	A	B	C	
0-1.5	F1n1	16.903	A	B	C	
3-1.5		15.505	A	B	C	
0-0	F1n1 F2n1	14.81	A	B	C	D
6-1		14.713	A	B	C	D
9-1.5		14.498	A	B	C	D
6-1.5		14.14	A	B	C	D

Liste des annexes

9-0	F2n1	12.767		B	C	D
3-1		11.668			C	D
9-1		9.52				D

Tableau 2. Le test de New meanKeuls l'effet combiné de la salinité et de MAP sur le poids de la partie aérienne de la féverole *Vicia faba*L.

Salinité/MA P	LIBELLES	MOYENNE S	GROUPES HOMOGENES					
3-1		10	A					
3-1,5		9,9	A	B				
6-1		9,7	A	B				
6-0	F2n1	9,3	A	B	C			
9-1,5		9,125	A	B	C	D		
6-1,5		8,575		B	C	D	E	
9-1		8,35			C	D	E	
0-1,5	F1n1	8			C	D	E	
0-1	F1n1	7,825				D	E	
9-0	F2n1	7,6					E	
3-0	F2n1	3,975						F
0-0	F1n1 F2n1	3,85						F

Tableau 3. Test de New mean Keuls de l'effet combiné de la salinité et de MAP sur la surface foliaire de la féverole *Vicia faba*L.

SALINITÉ/MAP	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES			
3-1		67.035	A			
0-1.5	F1n1	47.118	A	B		
3-1.5		46.507	A	B		
0-1	F1n1	44.895	A	B	C	
0-0	F1n1 F2n1	44.729	A	B	C	
6-1		44.416	A	B	C	
3-1	F2n1	35.186		B	C	D
6-1.5		32.292		B	C	D
6-0	F2n1	29.622		B	C	D
9-1.5		20.89			C	D
9-0	F2n1	18.316				D
9-1		14.098				D

Tableau.4. Le test de New mean Keuls de l'effet combiné de la salinité et de MAP sur la surface racinaire de la féverole *Vicia faba*L.

SALINITÉ/MAP	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
3-0	F2n1	130,921	A	
0-0	F1n1 F2n1	111,813	A	
6-0	F2n1	65,105		B
0-1	F1n1	49,849		B
0-1,5	F1n1	49,105		B
3-1,5		41,513		B
3—1		41,083		B
9-1,5		38,721		B
6-1,5		35,68		B
6—1		30,083		B
9-0	F2n1	14,78		B
9—1		9,131		B

Tableau.5 Le test de New mean Keuls de l'effet combiné de la salinité et de MAP sur la teneur en proline de la féverole *Vicia faba*L.

Salinité / MAP	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES	
6-1		3.74	A	
3-1.5		2.3		B
9-0	F2n1	1.95		B
0-1	F1n1	1.645		B
9-1		1.485		B
6-0	F2n1	1.42		B
3-0	F2n1	1.405		B
0-1.5	F1n1	1.385		B
6-1.5		1.345		B
3-1		1.34		B
0-0	F1n1 F2n1	1.22		B
9-1.5		1.205		B

Liste des annexes

Tableau 6. Test de New mean Keuls de l'effet combiné de la salinité et de MAP sur la la quantité de malondialdéhyde de la féverole *Vicia faba*L.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES				
1.0 3.0	F1n1 F2n3	25,333	A				
4.0 1.0	F1n4 F2n1	24,333	A	B			
4.0 2.0	F1n4 F2n2	23,333	A	B			
3.0 1.0	F1n3 F2n1	23	A	B			
2.0 3.0	F1n2 F2n3	21		B	C		
1.0 2.0	F1n1 F2n2	19,667			C		
2.0 2.0	F1n2 F2n2	19,333			C		
4.0 3.0	F1n4 F2n3	15,667				D	
3.0 2.0	F1n3 F2n2	15				D	E
2.0 1.0	F1n2 F2n1	14,667				D	E
1.0 1.0	F1n1 F2n1	13				D	E
3.0 3.0	F1n3 F2n3	11,667					E

Tableau 7. Test de New mean Keuls de l'effet combiné de la salinité et de MAP sur la la teneur en sodium dans les feuilles de la féverole *Vicia faba*L.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNE S	GROUPES HOMOGENES						
4.0 1.0	F1n4 F2n1	52	A						
3.0 1.0	F1n3 F2n1	35,333		B					
4.0 2.0	F1n4 F2n2	31,333			C				
1.0 1.0	F1n1 F2n1	27,667			C	D			
3.0 2.0	F1n3 F2n2	27,667			C	D			
2.0 1.0	F1n2 F2n1	25,667				D			
4.0 3.0	F1n4 F2n3	25				D			
3.0 3.0	F1n3 F2n3	20					E		
1.0 2.0	F1n1 F2n2	15,333						F	
1.0 3.0	F1n1 F2n3	10,667							G
2.0 2.0	F1n2 F2n2	9,667							G
2.0 3.0	F1n2 F2n3	8							G

Liste des annexes

Tableau 8. Test de New mean Keuls de l'effet combiné de la salinité et de MAP sur la teneur en sodium dans les racines de la féverole *Vicia faba*L.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES					
4.0 1.0	F1n4 F2n1	111,667	A					
4.0 2.0	F1n4 F2n2	66,667		B				
3.0 1.0	F1n3 F2n1	56,667			C			
4.0 3.0	F1n4 F2n3	43				D		
3.0 2.0	F1n3 F2n2	32					E	
2.0 1.0	F1n2 F2n1	29,333					E	
3.0 3.0	F1n3 F2n3	29					E	
1.0 1.0	F1n1 F2n1	29					E	
2.0 2.0	F1n2 F2n2	23					E	F
2.0 3.0	F1n2 F2n3	13,333						F
1.0 2.0	F1n1 F2n2	12,667						F
1.0 3.0	F1n1 F2n3	11,667						F

Tableau 9. Test de New mean Keuls de l'effet combiné de la salinité et de MAP sur la teneur en potassium dans les feuilles de la féverole *Vicia faba*L.

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES					
2.0 2.0	F1n2 F2n2	70,333	A					
2.0 1.0	F1n2 F2n1	61,667		B				
1.0 3.0	F1n1 F2n3	57,667		B				
1.0 2.0	F1n1 F2n2	50,333			C			
1.0 1.0	F1n1 F2n1	49,333			C			
2.0 3.0	F1n2 F2n3	44,667			C			
3.0 2.0	F1n3 F2n2	37,667				D		
4.0 3.0	F1n4 F2n3	28,333					E	
3.0 1.0	F1n3 F2n1	27,667					E	
4.0 2.0	F1n4 F2n2	27					E	F
3.0 3.0	F1n3 F2n3	26					E	F
4.0 1.0	F1n4 F2n1	21,333						F

Tableau 10. Test de New mean Keuls de l'effet combiné de la salinité et de MAP sur la teneur en potassium dans les racines de la féverole *Vicia faba*L

F1 F2	LIBELLES	MOYENNES	GROUPES HOMOGENES						
2.0 2.0	F1n2 F2n2	94,667	A						
2.0 1.0	F1n2 F2n1	92	A						
1.0 2.0	F1n1 F2n2	84		B					
1.0 1.0	F1n1 F2n1	82,667		B					
2.0 3.0	F1n2 F2n3	81,667		B					
1.0 3.0	F1n1 F2n3	70,667			C				
3.0 3.0	F1n3 F2n3	66,667				D			
3.0 2.0	F1n3 F2n2	60,333					E		
3.0 1.0	F1n3 F2n1	56,333						F	
4.0 3.0	F1n4 F2n3	30,667							G
4.0 2.0	F1n4 F2n2	27,333							G
4.0 1.0	F1n4 F2n1	22							