

تعتبر ملوحة التربة من أهم المشاكل التي، حسب المنظمة العالمية للتغذية (FAO)، تسببت في إتلاف 400 مليون هكتار من الأراضي الزراعية مع مطلع 2009 من ضمن 1.5 مليار هكتار من الأراضي الزراعية التي تشملها الكرة الأرضية. سهل شلف الأسفل، الواقع بالشمال الغربي للجزائر، يحتوي في محيطه المسقي على أراضي معرضة بقوة لظاهرة الملوحة. فعلاً، فالري بمياه تحتوي ولو نسبياً على أملاح، يسبب تراكمها في التربة وهذا قد يؤدي ليس فقط إلى تدهورها ولكن أيضاً إلى إبطاء النمو عند النباتات وبالتالي انخفاض مردودها.

هذا العمل هو عبارة عن مساهمة لدراسة آثار ملوحة (salinité) و صودية (sodicité) تربة من سهل شلف الأسفل تقع في المحطة التجريبية للحمادنة (El Hmadena) على السلوك البيئي و الفيزيولوجي (écophysiological) لمحصول الكوسا (courgette) والتي تشكل المعيار البيولوجي لحالة تدهور التربة.

كلمات البحث: سهل شلف الأسفل، الأراضي المسقية، الملوحة والصودية، الكابوية.

Summary

Soils salinization is one of the most important constraints that, according to the FAO, already reached in 2009 at least 400 million ha in the 1,5 billion hectares grown on Earth. This phenomenon is particularly present in arid and semi-arid areas.

In the Bas Chélif plain in north-west Algeria, the soils of the irrigated perimeter are strongly subject to the phenomenon of salinization. Indeed, irrigation with loaded waters results in an accumulation of salts in soil profiles and affects not only soil stability but also crop growth and yields.

The present work is a contribution to the study of the effects of the soil salinity and sodicity of the Bas Cheliff plain located at the experimental station of El Hmadena on the ecophysiological behavior of a zucchini crop, like a biological indicator of the state of soil degradation.

The approach adopted made it possible to observe with pertinence the adequacy between the characteristics of the substrate during the application of the salt stress on the culture and the reaction of the latter through its ecophysiological behavior.

Keywords: Low Chellif; irrigated soils; salinity and sodicity; zucchini.

Résumé

La salinisation des sols est une l'une des contraintes les plus importantes qui, selon la FAO, touchait déjà en 2009 au moins 400 millions d'ha sur les 1,5 milliard d'ha cultivés sur la Terre. Ce phénomène est particulièrement présent dans les zones arides et semi arides.

Dans la plaine du Bas Chélif au nord-ouest Algérien, les sols du périmètre irrigué sont fortement soumis au phénomène de salinisation. En effet, l'irrigation avec des eaux chargées entraine une accumulation des sels dans les profils des sols et affectent non seulement la stabilité des sols mais également la croissance des cultures et leurs rendements.

Le présent travail est une contribution à l'étude des effets de la salinité et de la sodicité d'un sol de la plaine du Bas Chélif, situé à la station expérimentale d'El Hmadena, sur le comportement écophysologique d'une culture de courgette prise comme indicateur biologique de l'état de dégradation du sol.

L'approche adoptée a permis d'observer avec pertinence l'adéquation entre les caractéristiques du substrat lors de l'application du stress salin sur la culture et la réaction de cette dernière à travers son comportement écophysologique.

Mots clés : Bas Chélif ; sols irrigués ; salinité et sodicité ; courgette.

Remerciements

Remerciements

Je tiens à exprimer ma gratitude et mes remerciements à Allah qui par sa volonté et son aide a enrichit mes savoirs.

Je remercie sincèrement Monsieur Benkhelifa Mohammed, professeur au département d'Agronomie de l'Université de Mostaganem, pour m'avoir encadré afin de réaliser ce mémoire. Je porterai toujours dans mon cœur et mon esprit l'ensemble des enseignants qui ont contribué à ma formation.

Je remercie également Monsieur Gorine Mohamed, Directeur de la station de l'INRAA d'El Hmadena et Monsieur Lariche Azziz, responsable du Laboratoire d'analyse des sols, pour leur précieuse aide, leurs conseils et leurs orientations.

Je ne manque pas de remercier tous les techniciens des laboratoires de l'INRAA et de l'INSID qui m'ont accueilli et aidé durant la période de mon travail d'expérimentation et particulièrement Monsieur Tarmoule.

Je profite de cette occasion pour témoigner de mes sincères remerciements et ma grande reconnaissance à l'égard de mon père, ma mère, ma sœur et mon frère pour leurs encouragements et leurs soutiens qui m'ont été d'un élan de volonté et de persévérance dans mon travail.

Je tiens aussi à remercier Yacine et Fatima.

Enfin que tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à l'élaboration de ce mémoire, trouvent ici l'expression de mes sincères remerciements.

Dédicace

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

à tous ceux qui m'ont aidé, encouragé et donné la volonté pour continuer à terme le présent travail. Je les porterai tous et pour toujours dans mon cœur,

à mes très chers parents,

mon père, qui m'a soutenu et encouragé toute au long de ma vie, je lui dis merci papa,

ma mère, source de tendresse et d'amour, l'extrême exemple de ma vie, je lui dis merci maman,

à ma très chère sœur Zhor et mon très cher frère Raid,

à Monsieur Yacine, je lui souhaite le bonheur,

à toute la famille Boukortt et Slimani,

à mes chères amies Fatima, Saida et Sabrina et mes cousines Hanane et Chaymae,

à toute la promotion de Master « **G**estions **D**urable de l'**E**nvironnement ».

Sommaire

| | |
|--|----|
| الملخص..... | 1 |
| SUMMARY | 1 |
| RESUME..... | 1 |
| REMERCIEMENTS | 2 |
| DEDICACE..... | 3 |
| SOMMAIRE..... | 4 |
| LISTE DES FIGURES | 6 |
| LISTE DES TABLEAUX | 8 |
| LISTE DES PHOTOS | 9 |
| INTRODUCTION | 10 |
| Première partie – Synthèse bibliographique..... | 11 |
| Chapitre I – Généralités sur les sols salsodiques et la courgette | 12 |
| I.1. GENERALITES SUR LES SOLS SALSODIQUES..... | 13 |
| I.1.1. Sous classe des sols sodiques à structure non dégradée | 13 |
| I.1.2. Sous classe des sols sodiques à structure dégradée | 13 |
| I.2. ORIGINE DE LA SALINITE DES SOLS | 13 |
| I.2.1. Salinité primaire ou Naturelle..... | 13 |
| I.2.2. Salinité secondaire, d'origine anthropique..... | 14 |
| I.3. EFFETS DE LA SALINITE SUR LES PROPRIETES DES SOLS | 14 |
| I.3.1. Effet sur la structure du sol..... | 15 |
| I.3.2. Phénomène de floculation du complexe argilo-humique | 15 |
| I.3.3. Conductivité hydraulique saturée | 15 |
| I.3.4. Bilan ionique de la solution du sol | 16 |
| I.4. EFFETS DE LA SALINITE SUR LES PLANTES | 16 |
| I.4.1. Le stress osmotique | 16 |
| I.4.2. Stress ionique..... | 16 |
| I.4.3. Effet nutritionnel..... | 17 |
| I.4.4. Effet toxique | 18 |
| I.4.5. Effets phénologiques et morphologiques | 18 |
| I.4.5.1. Effet sur la germination et la levée | 18 |
| I.4.5.2. Effet sur l'anatomie de la feuille..... | 19 |
| I.4.5.3. Effet sur la tige..... | 19 |
| I.4.5.4. Effet sur les racines | 19 |
| I.4.6. Effet de la salinité sur la physiologie de la plante | 20 |
| I.4.6.1. Sur les échanges gazeux et la photosynthèse | 20 |
| I.4.6.2. Effet de la salinité sur la physiologie de la reproduction..... | 20 |
| I.4.7. Effet de la salinité sur le rendement | 20 |
| I.4.8. Tolérance des plantes au stress salin | 21 |
| I.5. MECANISMES DE LA TOLERANCE DES PLANTES A LA SALINITE | 22 |
| I.5.1. Exclusion des ions | 22 |
| I.5.2. Compartimentation | 23 |
| I.5.3. Ajustement osmotique | 23 |
| I.6. LA COURGETTE..... | 24 |

| | |
|---|----|
| I.6.1. Variétés de courgette utilisées en Algérie | 24 |
| I.6.3. Le cycle de vie de la courgette | 25 |
| I.6.4. Tolérance de la courgette à la salinité | 25 |
| Chapitre II – Présentation de la zone d'étude | 27 |
| II.1. PRESENTATION DE LA PLAINE DU BAS CHELIFF | 28 |
| II.2. SITUATION GEOGRAPHIQUE..... | 28 |
| II.3. CLIMAT | 29 |
| II.3.1. Précipitations | 29 |
| II.3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles | 29 |
| II.3.1.2. Précipitations moyennes annuelles | 29 |
| II.3.2. Température | 29 |
| II.3.3. L'humidité relative | 30 |
| II.3.4. Le vent..... | 30 |
| II.3.4. L'Evapotranspiration..... | 30 |
| II.4. PROPRIETES DES SOLS | 31 |
| II.4.1. Géologie et géomorphologie | 31 |
| II.4.2. Pédologie | 32 |
| II.4.3. Caractéristiques des sols d'El Hmadna | 32 |
| II.5. OCCUPATION DES SOLS | 33 |
| II.5.1. Evolution des superficies des zones étudiées | 33 |
| II.5.1.1. Les superficies agricoles..... | 33 |
| II.5.1.2. Les Superficies urbaines | 34 |
| II.6. QUALITE DES EAUX D'IRRIGATION | 34 |
| Deuxième partie – Etude expérimentale | 35 |
| Chapitre III – Matériels et méthodes..... | 36 |
| III.1. OBJECTIF DE L'ETUDE | 37 |
| III.2. MATERIEL..... | 37 |
| III.2.1. Substrat | 37 |
| III.2.2. Matériel végétal | 39 |
| III.2.2.1. Semence de courgette..... | 39 |
| III.2.3. Eau d'irrigation | 41 |
| III.2.4. Dispositif expérimental..... | 42 |
| III.3. METHODES | 42 |
| III.3.1. Solution saline..... | 42 |
| III.3.2. Méthodes d'analyses | 43 |
| III.3.2.1. Paramètres écophysiologicals de la plante | 43 |
| III.3.2.2. Paramètres du sol | 44 |
| Chapitre IV – Résultats et discussions | 46 |
| IV.1. CARACTERISTIQUES PHYSICO-CHIMIQUE ORIGINELES DU SITE D'ETUDE | 47 |
| IV.2. CARACTERISATION PHYSICO-CHIMIQUE DU SUBSTRAT DURANT L'EXPERIMENTATION | 47 |
| IV.2.1. Matière organique..... | 47 |
| IV.2.2. Calcaire total..... | 48 |
| IV.2.3. Calcaire actif..... | 48 |

| | |
|---|----|
| IV.2.4. pH | 49 |
| IV.2.5. Conductivité électrique | 49 |
| IV.2.6. Bilan cationique | 50 |
| IV.2.7. Bilan anionique | 50 |
| IV.2.8. SAR..... | 51 |
| IV.3. CARACTERISATION MORPHOLOGIQUE ET HYDRIQUE DE LA CULTURE DURANT L'EXPERIMENTATION | 52 |
| IV.3.1. Longueur de la tige | 52 |
| IV.3.2. Longueur des racines | 52 |
| IV.3.3. Taux de la matière sèche..... | 53 |
| IV.3.4. Teneur en eau relative (RWC)..... | 53 |
| IV.3.5. Surface foliaire..... | 54 |
| CONCLUSION | 55 |
| REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES | 56 |
| Annexes | 60 |

Liste des figures

| | |
|--|----|
| Fig. 1 - Schéma de cycle de vie de la courgette..... | 25 |
| Fig. 2 - Situation géographique de la plaine du Bas-Chélif..... | 28 |
| Fig. 3 – Localisation de la parcelle d’expérimentation | 37 |
| Fig. 4 - Schéma du mode opératoire pour les analyses des échantillons de sol | 44 |
| Fig. 5 – Taux de matière organique en fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et du stade de développement de la culture. | 48 |
| Fig. 6 – Taux de calcaire total en fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et du stade de développement de la culture. | 48 |
| Fig. 7 – Taux de calcaire actif en fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et du stade de développement de la culture. | 49 |
| Fig. 8 – pH du sol en fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et du stade de développement de la culture..... | 49 |
| Fig. 9 – Conductivité électrique de l’extrait de pâte saturée de du sol en fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et du stade de développement de la culture. | 50 |
| Fig. 10 – Evolution du bilan cationique en fonction de la salinité de l’eau d’irrigation pour le stade 4-5 feuilles (a) et le stade de floraison (b) | 50 |
| Fig. 11 – Evolution du bilan anionique en fonction de la salinité de l’eau d’irrigation pour le stade de 4-5 feuilles (a) et le stade de floraison (b) | 51 |
| Fig. 12 – SAR du sol en fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et du stade de développement de la culture. | 51 |
| Fig. 13 – Evolution de la longueur de la tige (cm) en fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et des stades de développement..... | 52 |
| Fig. 14 – Evolution de la longueur des racines (cm) en fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et des stades de développement..... | 53 |
| Fig. 15– Evolution de taux de la matière sèche en fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et des stades de développement..... | 53 |
| Fig. 16 – Evolution de en la teneur en eau relative fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et des stades de développement..... | 54 |
| Fig. 17– Evolution de la surface foliaire fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et des stades de développement..... | 54 |

Liste des tableaux

| | |
|---|----|
| Tableau 1 : Tolérance de courgette à la salinité du sol CEe (FAO, Bulletin n° 29) | 26 |
| Tableau 2- précipitations moyennes mensuelles. (INRAA, 2016) | 29 |
| Tableau 3- précipitations moyennes annuelles. | 29 |
| Tableau 4 : Température d'El Hmadna (INRAA 2015-2016) | 30 |
| Tableau 5 - L'humidité relative de Hmadna (INRAA2015-2016) | 30 |
| Tableau 6 - Le vent de Hmadna (INRAA2015-2016)..... | 30 |
| Tableau 7 - Evolution des superficies des zones étudiées en hectares..... | 34 |
| Tableau 8 - la salinité d'eau d'irrigation en fonction de mois..... | 34 |
| Tableau 9 – Répartition des traitements sur le dispositif expérimental | 42 |
| Tableau 10 – Préparation de la solution saline de NaCl + CaCl ₂ | 43 |
| Tableau 11 – Résultats physico-chimiques du sol | 47 |

Liste des photos

| | | |
|--|---|----|
| photo 1 : le sol initial..... | 38 | |
| photo 2 : le sol dans les pots..... | 38 | |
| photo 3 - sechage a l'air libre | photo 4 - tamisage a 2 mm..... | 39 |
| photo 5 - preparation de la pate saturee (sol-eau distillee) | photo 6 - mise en boites pendant 24h | 39 |
| photo 7 – emplacement sur les godets de la centrifugeuse | photo 8 - réglage de la centrifugeuse | 39 |
| photo 9 – recuperation de l'extrait de la pate saturee..... | 39 | |
| photo 10 : la semence | 40 | |
| photo 11 - germination de la semence dans du terreau | 40 | |
| photo 12 – vue sur les plantules avant leur repiquage dans les pots | 40 | |
| photo 13 – repiquage des plantules dans les pots..... | 41 | |
| photo 14 : stade 4-5 feuille avant stress salin..... | 41 | |
| photo15 : stade 4-5 feuille apres le stress salin | 41 | |
| photo 16 - stade floraison apres stress salin | 42 | |
| photo 17 : le sacrifice | 42 | |
| photo18 : poids frais de la plante | photo 19 : poids de la matiere seche de la plante | 43 |
| photo 23 - photos des feuilles pour le calcul de la surface foliaire | 44 | |

Introduction

La salinisation des sols est l'une des contraintes les plus importantes de l'agriculture irriguée en zones arides et semi-arides. Dans le monde, 10 hectares de terres cultivables sont perdus en moyenne chaque minute, dont 3 hectares à cause de la salinisation. Selon la FAO, la salinisation touchait déjà en 2009 au moins 400 millions d'ha sur les 1,5 milliard d'ha cultivés sur la terre (Legros, 2009).

En Afrique du nord, la salinisation affecte particulièrement les régions irriguées arides et semi-arides où les taux d'évaporation sont importants (Keren, 2000).

En Algérie, les facteurs qui contribuent à l'extension du phénomène de salinisation des sols sont liés à l'aridité du climat, à la qualité des eaux d'irrigation et aux systèmes de drainage souvent inexistantes ou infonctionnels (Daoud et Halitim, 1994 ; Djili et *al.*, 2003 ; Saidi, 2004).

La courgette est un fruit/légume (*Cucurbita pepo*) de famille des cucurbitacées. Elle se cultive dans toutes les régions d'Algérie et est exigeante en lumière et en eau.

Le diagnostic de l'état de dégradation des sols salés est une opération très importante en termes de gestion hydroagricole des agrosystèmes soumis aux phénomènes de salinisation et sodisation. En effet, la connaissance de l'évolution des propriétés physico-chimiques et hydriques d'un sol salsodique aux échelles spatiale et temporelle permet de surveiller son état en vue de le préserver par rapport à son usage contre la dégradation. Dans ce cas, se pose la question du choix des indicateurs de qualité du sol liés à son usage et le référentiel sur lequel il faut se baser pour évaluer sa santé. Cette approche peut être abordée de deux manières : soit en mesurant des paramètres de qualité du sol choisis en fonction du temps, soit simplement étudier l'évolution écophysologique d'un bioindicateur installé dans le substrat.

Dans cette étude, nous abordons l'évolution d'un sol salé du périmètre d'El Hmadena irrigué avec une solution saline en utilisant les deux manières d'analyse : celle des propriétés physico-chimiques du sol et celle du comportement écophysologique d'un bioindicateur qui concerne la culture de courgette. Dans ce cas, deux stades de développement de la culture sont considérés : 4-5 feuilles et floraison.

Le mémoire est structuré en 3 parties : la première partie est consacrée à une synthèse bibliographique qui concerne la salinité et la présentation de l'espèce végétale étudiée en l'occurrence la courgette. La deuxième partie est réservée à la présentation de la méthodologie de travail, le matériel utilisé ainsi que les méthodes d'analyse. Enfin, la troisième partie comporte les résultats obtenus et leurs interprétations. Le mémoire est achevé par des conclusions et les références bibliographiques.

Première partie – Synthèse bibliographique

Chapitre I – Généralités sur les sols salsodiques et la courgette

I.1. Généralités sur les sols salsodiques

En pédologie les sols salsodiques, aussi appelés les sols salés ou sols halomorphes caractérisés par leur teneur élevée en sels solubles dans l'ensemble ou dans une partie du profile ou par la dégradation de l'un des ions provenant de ces sels, en particule du sodium (Aubert ; 1976).

La tâche de classer les sols halomorphes fut très délicate a cause des nombreuses et différentes origines de salinisation. D'après la classification française ; les sols salés sont rangés dans la classe des sols salsodiques ; elle-même subdivisée en deux sous classes.

I.1.1. Sous classe des sols sodiques à structure non dégradée

Ce sont des sols salins (solontchaks) ; soumis à l'influence d'une nappe salée peu profond, riches en sels de sodium, caractérisés par une conductivité électrique supérieur à 4 mmhos/cm (Duchaufour, 1988) on peut distinguer 2 groupes :

- a-Sols salins à complexe calcique (solontchaks)
- b-Sols salins à complexe sodique (solontchaks sodique)

I.1.2. Sous classe des sols sodiques à structure dégradée

Ce sont des sols alcalins à structure dégradé (Duchaufour, 1972). On distingue 3 groupes selon les étapes d'évolution des profils (Duchaufour, 1988) :

- a-Sols alcalins non lessives (solontchaks-solonetz)
- b-Sols alcalins lessives de type ABC
- c-Sols alcalins dégradés (solods)

Généralement ces sols sont un pH de l'extrait de sol saturé de moins de 8.2 (8.7 dans d'autres ouvrages) et Une électro –conductivité (EC) de l'extrait de sol saturé de plus de 4dS.m⁻¹ à 25°C est en général la limite acceptée. Cependant le "Soil Science Society of America » établi une limite à 2 dS.m⁻¹.

I.2. Origine de la salinité des sols

I.2.1. Salinité primaire ou Naturelle

La salinité primaire s'explique par l'accumulation de sels dans le sol ou d'eaux souterraines sur une longue période de temps en deux processus naturels :

- L'altération des matériaux de base contenant des sels solubles : Les processus d'altération des roches se décomposent et la libération des sels solubles de divers types, principalement des chlorures de sodium, de calcium et de magnésium, et dans une moindre mesure, les sulfates et les carbonates.
- Le chlorure de sodium est le sel le plus soluble.

- Le dépôt de sels océaniques effectués dans le vent et la pluie : (les Sels cycliques) sont des sels de l'océan amenés par le vent et déposés par la pluie, et sont principalement le chlorure de sodium.
- L'eau de pluie contient de 6 à 50 mg / kg de sel, la concentration de sels diminue avec la distance de la côte. Si la concentration est de 10 mg / kg, il s'ajoute 10kg/ha de sel pour chaque 100 mm de précipitations par an. L'accumulation de chlorure de sodium dans le sol serait considérable au cours des millénaires. La quantité de sel stocké dans le sol varie en fonction du type de sol, étant faible pour les sols sableux et élevée pour les sols contiennent un pourcentage élevé de minéraux argileux. Il varie aussi inversement avec une pluviométrie annuelle moyenne.

I.2.2. Salinité secondaire, d'origine anthropique

La salinisation secondaire est le résultat des activités humaines qui modifient l'équilibre hydrologique du sol entre l'eau appliquée (irrigation ou de pluie) et de l'eau utilisée par les cultures (transpiration). Les causes les plus fréquentes sont :

- Le défrichement des terres et le remplacement de la végétation pérenne avec des cultures annuelles,
- L'utilisation des eaux d'irrigation riches en sel,
- Un drainage insuffisant et un système d'irrigation déséquilibré.

Avant l'intervention des activités humaines, dans des climats arides ou semi-arides, l'eau utilisée par la végétation naturelle a été en équilibre avec la pluie. A la compensation de mode d'irrigation, nous avons distingué une modification des interrelations entre le système pédosphérique, le système hydro-sphérique et le système atmosphérique qui ont été en équilibre, entre autre les précipitations d'une part, et l'eau d'irrigation sur l'autre et la physico-chimie des sols d'autre part.

L'excès d'eau soulève la nappe souterraine et mobilise des sels précédemment stockés dans le sous-sol et les amène jusqu'à la zone des racines. Les plantes utilisent l'eau et laissent le sel jusqu'à ce que l'eau du sol devienne trop salée pour l'absorption d'eau par les racines des autres.

L'eau s'évapore en laissant des dépôts de sels à la surface et formant ainsi «brûlure du sel » dans des cas. Le sel peut également se mobiliser latéralement vers les cours d'eau pour augmenter leur degré de salinité.

I.3. Effets de la salinité sur les propriétés des sols

C'est l'accroissement du taux de sodium échangeable d'un sol dû à diverses modifications physico- chimiques, dont résultent une défloculation des argiles et une obturation des pores qui entravent la circulation de l'eau. Le sol devient de ce fait imperméable et donc infertile.

En revanche, le sol sodique est le sol dont la structure pédologique est conditionnée par la teneur en sodium. Les principaux types de sols sodiques sont les solonetz, les solontchaks et les soloths. (FRANÇOIS, 2008)

I.3.1. Effet sur la structure du sol

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

- 1- La quantité de cations Na^+ adsorbés (ESP) dont l'augmentation favorise la dispersion.
- 2- La concentration de la solution saline au contact de la phase solide, dont l'augmentation limite la dispersion (Calvet, 2003).

I.3.2. Phénomène de floculation du complexe argilo-humique

La floculation permet de s'attaquer au problème du faible diamètre des colloïdes. Le véritable souci est en fait la masse, qui ne permet pas une sédimentation naturelle et exploitable dans le cadre d'un traitement. La solution exploitée par la floculation est de provoquer, grâce à l'ajout de flocculant, une agglomération des particules colloïdales. Par la suite, cet agglomérat de colloïdes appelé floc dispose d'une masse suffisante pour pouvoir se décanter. Le flocculant ajouté est généralement un polymère, qu'il soit organique ou naturel, qui va jouer le rôle de colle entre les colloïdes.

I.3.3. Conductivité hydraulique saturée

La conductivité hydraulique est l'une des propriétés physiques indispensable en agriculture irriguée, cette propriété dépend des conditions chimiques de la solution du sol. La circulation de l'eau dans les sols salins dépend surtout en saison sèche essentiellement de leur texture et de leur structure, elle devient difficile dès que, le sol est saturé, elle se fait très lentement par diffusion.

La réduction de la perméabilité des sols salés est une conséquence directe de la dispersion des colloïdes par le sodium échangeable.

La diminution de la perméabilité est fonction de l'ion accompagnateur du sodium, elle diminue dans le sens suivant : $\text{CO}_3^{2-} > \text{HCO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$ (Servant, 1971)

Signalait que le sodium réduit la percolation alors que le K^+ l'augmente. Par contre les sols saturés par le Ca^{2+} ont une meilleure perméabilité que ceux saturés par le Na^+ et K^+ .

Selon RICHARDS (1954), deux facteurs jouent ou régissent la diminution de la perméabilité:

- Le gonflement des particules d'argiles, causant la diminution de la taille des pores larges dans le système ;
- La dispersion des argiles provoque ainsi l'obstruction des pores et des canaux dans le sol.

I.3.4. Bilan ionique de la solution du sol

Les sels proviennent de la combinaison des bases (cations) et des acides (anions).

Parmi ces sels, ce sont surtout Na Cl, Na₂SO₄, Na HCO₃, Ca SO₄, Ca Cl₂, Mg SO₄.

Mg Cl₂ que l'on rencontre dans les sols salifères.

Tous les ions peuvent participer à la salinisation ; en pratique certains sont susceptibles de s'accumuler et d'être à l'origine d'une salinité excessive des terres. En effet, ce sont le sodium (Na⁺), le calcium (Ca²⁺), le magnésium (Mg²⁺), ainsi que le chlorure (Cl⁻), sulfate (SO₄⁻), carbonate (CO₃⁻) et les bicarbonates (HCO₃⁻).

Selon DURANT (1958), la mobilité des sels est liée à leurs solubilités, les plus mobiles sont les plus solubles et leurs mouvements dépendent de l'eau imprégnant le sol et les mouvements qu'elle subit.

I.4. Effets de la salinité sur les plantes

La salinité constitue un facteur limitant non négligeable pour l'agriculture mondiale (Hillel, 2000). L'effet de la salinité se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de la croissance et le développement (Munns et al, 1983). Cet effet néfaste se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui affectent négativement la croissance et la productivité végétale (Ashraf et Harris, 2004).

I.4.1. Le stress osmotique

La première conséquence de la salinisation tient à la modification du potentiel osmotique de la solution du sol, lorsque la teneur en sels croît. Selon Song et al (2005), plus la solution du sol est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile pour les racines d'extraire l'eau de la réserve du sol. Il en résulte ainsi un ralentissement de leur croissance.

L'augmentation de la pression osmotique résultante de l'excès de sel entraîne une élévation d'énergie que la plante fournit au sol, ce qui conduit à une intensification de la respiration et réduction de la croissance des plantes (Sankaky, 1986). La variation de la concentration osmotique est influencée négativement par le climat chaud contrairement au climat froid (Khudairi 1981).

I.4.2. Stress ionique

L'absorption des hautes concentrations de NaCl engendre une compétition avec l'absorption d'autres ions, spécialement le K⁺, ce qui conduit à une déficience en K⁺. Le traitement accru de NaCl induit une augmentation dans le taux du Na⁺ et Cl⁻ et une diminution dans le taux du Ca²⁺, K⁺ et le Mg²⁺ chez de nombreuses plantes (Khan, 2001 in Haouala et al.,

2007). La salinité fait augmenter le contenu de Na^+ , Ca^{2+} et Cl^- chez (*Vicia faba*) et le rapport K^+/Na^+ diminue (Gadallah, 1999 in Haouala et al, 2007).

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

L'accumulation des ions Na^+ affecte l'absorption de K^+ et ceci en fonction de la concentration du premier élément, cependant, la présence de Na^+ en faible concentration peut augmenter l'absorption de K^+ , tandis qu'une concentration élevée en Na^+ diminue l'absorption de K^+ chez le riz (Levitt, 1980 in Haouala et al, 2007) et la canne à sucre (Nimbalkar, Joshi, 1975 in Haouala et al, 2007).

Cette absorption peut même s'arrêter complètement chez le haricot (Hamza, 1977 in Haouala et al, 2007) et le laurier rose (Hajji, 1980 in Haouala et al, 2007) cultivés en présence de chlorure de sodium (NaCl) à 12 g.l^{-1} .

D'une autre manière, liée à la composition en éléments du sol (carences ou toxicité en certains ions) : un déficit en (N, P, MO, Cu, Zn, Fe, B) peut avoir des conséquences importantes sur le développement des plantes.

Un excès de minéraux (AL, Na, Cl) peut avoir des effets toxiques (Monneveux et This, 1997). Par titre des concentrations excessives de (Cl^-) d'ions dans la solution du sol peuvent causer peuvent provoquer une brûlure des extrémités des feuilles et un jaunissement prématuré de celles-ci. Cependant ,les symptômes de toxicités typiques aux ions sodium Na^{2+} sont des brûlures de feuilles, le dessèchement et la mort des tissus sur les bords externes des feuilles, contrairement aux symptômes causés par des ions Cl^- qui apparaissent normalement à l'extrême pointe des feuilles (Maillard,2001).

Selon Chinnusamy et al.,(2004) l'accumulation des ions toxiques Na^+ et Cl^- au niveau du mésophile des feuilles, affecte la croissance et le métabolisme de la plante où le sel endommage les structures lipidiques et protéiques des membranes plasmiques .Ainsi la présence de ces ions perturbent l'activité enzymatique cellulaire principalement dans les tissus photosynthétiques (Hasegawa et al., 2000) . Chinnusamy et al., (2004) voient que la toxicités ionique peut être le résultat du remplacement de K^+ par Na^+ au niveau des sites actifs de protéines induisant aussi un changement des structure protéiques et enzymatiques.

I.4.3. Effet nutritionnel

Selon Snoussi et Halitim (1998), certains sels peuvent affecter la balance nutritionnelle chez les plantes s'ils sont présents en concentration excessive ou en proportion anormale .La présence excessive

d'ions sodique, chlorique et borique peut provoquer une augmentation du pH du sol, ce qui a un effet indirect sur l'impossibilité d'absorption des ions ferreux, phosphate, zinc et manganèse indispensable pour la croissance des plantes (Maillard, 2001). 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.*, 2007). D'après Haouala *et al.*, (2007) 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. Ainsi ; l'augmentation de la concentration en Na^+ s'accompagne d'une réduction de la concentration en Mg, K, N, P et Ca dans la plante. Ce déséquilibre nutritionnel est une cause possible des réductions de croissance en présence de sels lorsque des ions essentiels comme K^+ , Ca^{2+} ou NO_3^- deviennent limitant (Haouala *et al.*, 2007).

I.4.4. Effet toxique

La concentration de certains ions peut produire des toxicités directes provoquant la mort des cellules. D'après Hayward 1956 Na^+ Cl^- sont les principaux ions responsables de la toxicité, ceci nous conduit à dire que la résistance aux sels d'une espèce ou d'une variété spécifique est liée à sa possibilité de régulation, d'absorption des ions Na^+ ou Cl^- et sa capacité de supporter des concentrations élevées en chlorures dans les feuilles avant leur endommagement.

I.4.5. Effets phénologiques et morphologiques

I.4.5.1. Effet sur la germination et la levée

La germination est régulée par des caractéristiques génotypiques mais aussi par les conditions environnementales et, en particulier, par la disponibilité de l'eau dans le sol (Sharma, 1973, Gutterman, 1993) (in Ndour et Danthu, 2000), Selon Maillard (2001), et Abdelly (2006), la plupart des plantes sont plus sensibles à la salinité durant leurs phases de germination et de levée dont l'effet nocif est de nature osmotique ou bien toxique. Selon Karmous (2007), elle agit également sur la germination en ralentissant sa vitesse, ce qui expose plus les semences aux risques. Il a été démontré que la salinité inhibe la germination par son effet osmotique où elle affecte Hsiao *et al.*, 1976 tous les processus de germination suite à la baisse du potentiel hydrique autour des graines, ce qui rend l'eau inaccessible à cette dernière pour la réhydratation et la reprise de la vie active de l'embryon (Maas et Poss, 1989).

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

I.4.5.2. Effet sur l'anatomie de la feuille

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

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

Le stress salin cause :

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

I.4.5.3. Effet sur la tige

D'après Munns et Rawson (1999), Maas et Poss (1989), l'effet de la salinité se traduit généralement par une réduction de la croissance vde la tige (réduction de la hauteur) qui est en fonction de la division et l'élongation cellulaire. Elle retarde la croissance des pousses qui sont plus sensibles aux sels que les racines mais elle pousse prématurément la plante vers la maturité.

I.4.5.4. Effet sur les racines

La salinité affecte en particulier la croissance des racines des plantes (Läuchli et Epstein, 1990; Bayuelo et *al*, 2002) ont montré qu'elle augmente le rapport PR/PA. En effet, les plantes maintiennent une croissance racinaire relativement importante sous forte contrainte saline, l'augmentation du rapport PR/PA qui s'ensuit semble être associée à une augmentation de leur tolérance au sel. Kafkai (1991), suggère que sous contrainte saline, la plante dépense plus d'énergie photosynthétique pour maintenir un statut hydrique élevé et pour la production de racines en vue de la recherche d'eau et/ou la réduction de la perte d'eau.

Dans ces conditions, il semble que l'arrêt de la croissance foliaire soit déclenché par des signaux hormonaux (Munns, 2002) et qu'une part importante des photosynthétats soit alors réallouée à la croissance racinaire. C'est l'une des réponses anatomiques clefs aux stress osmotiques chez de nombreuses espèces, dont le caractère adaptatif apparait évident puisqu'une augmentation

I.4.6. Effet de la salinité sur la physiologie de la plante

L'effet de la salinité sur la physiologie de la plante se fait sur deux paramètres : sur les échanges gazeux et la photosynthèse et sur la reproduction.

I.4.6.1. Sur les échanges gazeux et la photosynthèse

D'après Alem *et al.*, (2002) la salinité affecte l'activité physiologique de la feuille, et plus particulièrement la photosynthèse, qui présente la cause principale de la réduction de la productivité végétale. Selon Munns (2008), la réduction de la photosynthèse est liée à la diminution du potentiel hydrique foliaire, qui est à l'origine de la fermeture des stomates (Price et Hendry, 1991 ; Allen, 1995), qui cause la réduction de la conductance stomatique (Orcutt et Nilsen, 2000).

La diffusion du CO₂ à l'intérieur des stomates devient alors limitée et sa fixation au niveau des chloroplastes diminue par conséquent la régénération du RuBP (Ribulose Biphosphate) devient limitée.

I.4.6.2. Effet de la salinité sur la physiologie de la reproduction

Selon Hu *et al.*, (2005) la salinité réduit le taux de croissance de la plante et ses organes reproducteurs.

Ils ont étudié l'effet de la salinité sur la physiologie de la reproduction, ils ont constaté que le nombre du pollen dans deux différents types de cultivars de l'orge a été réduit de 24 à 37%. Des études réalisées par Munns et Rawson (1999), sur l'effet de l'accumulation du sel dans le méristème de l'orge sur la reproduction et le développement, montrent que les courtes périodes de stress salin pendant l'organogenèse peuvent avoir des conséquences irréversibles sur la fertilité de l'épi, elle provoque l'avortement des ovaires.

I.4.7. Effet de la salinité sur le rendement

Les composantes du rendement tels que le nombre de talles par plante, les nombres d'épis, le nombre d'épillets par épi et le poids du grain, sont élaborés de façon séquentielle dans le temps. Munns et Rawson (1999) ont montré que tous les paramètres de rendement subissent une réduction sous l'action de la salinité et que, plus la salinité est élevée plus le rendement est réduit. Lorsque l'orge est soumis à un stress salin au cours de l'épiaison ou la différenciation de l'épi, le nombre d'épillets par épi est réduit ainsi que le nombre des grains. ainsi ils ont montré que la salinité a un effet néfaste sur la remobilisation des réserves au cours de la phase de remplissage des grains.

La salinité diminue le rendement plus souvent en réduisant le nombre de pointes portant les épillets, le poids de l'épi et le poids de 1000 graines (Munns et Rawson, 1999).

I.4.8. Tolérance des plantes au stress salin

La caractérisation physiologique de la tolérance des végétaux à la salinité résulte de processus qui permettent au végétal d'absorber l'eau et les sels minéraux à partir de substrats à faibles potentiels hydriques, mais aussi de vivre en acceptant la présence importante du sodium dans ses tissus; les halophytes, qui accumulent le plus de sodium (Elzam et Epstein 1969, Ruse et Epstein, 1981; et in Guerrier, 1984), se distinguent ainsi par une forte capacité d'élaboration de Composés organiques (Mercado, 1973, Briens et Larhe, 1982; in Guerrier, 1984), ces deux facteurs permettant le maintien d'une haute pression osmotique interne qui favorise les échanges d'eau entre les compartiments externe et cellulaire (Guerrier, 1984).

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

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

- Halophytes facultatives: présentent une légère augmentation de biomasse à des teneurs faibles en sels: *Plantagomaritima*, *Aster tripolium*.

-Non halophytes résistants: supportent de faibles concentrations en sels : *Hordeum* sp.

-Glycophytes ou halophobes: sensibles à la présence de sels: *Phaseolus vulgaris*....

Deux grandes stratégies de résistance au sel étaient connues chez les plantes : limiter l'entrée de sodium au niveau des racines ou séquestrer le sodium au niveau des feuilles.

Un nouveau mécanisme de tolérance au sel : la plante protège ses feuilles, donc sa capacité de photosynthèse, en réexportant le sodium des feuilles vers les racines par le flux de sève descendant, de façon à rendre possible une ré-excrétion dans le sol. Les chercheurs ont identifié le gène qui permet ce transport de sodium des feuilles vers les racines chez l'espèce modèle *Arabidopsis thaliana*.

La modification de ce gène affecte fortement la résistance de la plante au sel. Il est donc raisonnable de penser que l'on pourra renforcer cette résistance en augmentant l'expression de ce gène. (Berthomieu et al. 2003).

A l'échelle de la plante entière, les ions chlorure et sodium entrent par les racines, sont véhiculés par la sève xylémique jusqu'aux tiges et feuilles. Là, ils sont stockés (plantes inclusives), soit au contraire très peu retenus et mobilisés par la sève phloémique jusqu'aux racines (plantes exclusives) (Denden et al. 2005).

La tolérance de la salinité est l'habilité des plantes à croître et compléter leur cycle de vie sur un substrat contenant la forte concentration de sel soluble. Les plantes qui peuvent survivre sur

des concentrations élevées de sel dans la rhizosphère et croître normalement sont appelées halophytes.

Dépendant de leur capacité à tolérer le sel, les halophytes sont caractérisées par une faible diversité morphologique et taxonomique avec une vitesse relative de croissance qui augmente jusqu'à 50% de l'eau de mer, ou les facultatives sont trouvées dans des habitats de salinité moindre tout au long des frontières entre les montagnes salines et non salines et sont caractérisées par une plus grande diversité physiologique qui leur permet de faire face à des conditions salines et non salines.

Les plantes développent un nombre important de mécanismes biochimiques et cellulaires pour faire face au stress salin. Les stratégies biochimiques comprennent:

- (1)- l'accumulation sélective ou l'exclusion des ions,
- (2)- le contrôle de l'absorption racinaire des ions et leurs transports dans les feuilles,
- (3)- la compartimentation des ions au niveau cellulaire et au niveau de toute la plante,
- (4)- la synthèse de solutés compatibles,
- (5)- le changement dans le chemin de la photosynthèse,
- (6)- l'altération de la structure membranaire,
- (7)- l'induction des enzymes anti oxydatives et
- (8)- l'induction des hormones végétale.

Les mécanismes de tolérance au sel sont des mécanismes de faible et de haute complexité. Les mécanismes de faible complexité semblent impliquer des changements de beaucoup de voies biochimiques.

Les mécanismes de haute complexité impliquent des changements qui protègent les processus importants tels que la photosynthèse et la respiration, par exemple, l'efficacité d'utilisation de l'eau, et ceux qui préservent des dispositifs importants tels que le cytosquelette, la paroi cellulaire, ou les interactions entre la membrane plasmique et la paroi cellulaire (Bottela et autres, 1994 in Parida et Das, 2005) et les changements de la structure du chromosome et de la chromatine, c.-à-d., la méthylation d'ADN, polyploïdisation, amplification des séquences spécifiques, ou d'élimination d'ADN (Walbot et Cullis, 1985 in Parida et Das, 2005).

Il est cru que pour la protection des processus évolués, des mécanismes de faible complexité sont induits de façon coordonnée. (Bohnert et autres, 1995 in Parida et Das, 2005).

I.5. Mécanismes de la tolérance des plantes à la salinité

I.5.1. Exclusion des ions

Selon Sentenac et Berthomieu (2003), la plante empêche le sel de remonter jusqu'aux feuilles. Une première barrière existe au niveau de l'endoderme, couche interne de cellules de la

racine. Cependant, cette barrière peut être interrompue, en particulier lors de l'émergence des ramifications de la racine. D'autres mécanismes limitent le passage de sel des racines vers les feuilles mais les gènes qui les gouvernent sont encore largement inconnus.

IL est aussi indiqué que la capacité d'exclusion de (Na⁺) et / ou (Cl⁻) des tiges est bien corrélée au degré de tolérance au sel. Le maintien d'une faible concentration de (Na⁺) dans les feuilles peut être dû à un mécanisme d'exclusion qui provoque une accumulation de (Na⁺) dans les racines, évitant une translocation excessive aux tiges ; mais, il peut être aussi lié à une mobilité élevée de cet élément dans le phloème.

Cependant, certaines mesures physiologiques concordent pour suggérer l'existence d'une expulsion active du sodium cytoplasmique vers l'apoplasme ou vers la vacuole, protégeant ainsi les équipements enzymatiques du cytoplasme dans les organes aériens (Greenway et Munns, 1980).

I.5.2. Compartimentation

Un organisme peut difficilement exclure totalement le Na⁺ de ses tissus. Chez les plantes, une des stratégies de tolérance à la salinité les plus connues est la compartimentation des ions (Na⁺, Cl⁻) en excès dans les tissus. Cette redistribution contrôlée se fait essentiellement dans les vacuoles (Niu et al. 1995) et éventuellement à l'échelle de la plante entière, dans les organes les plus vieux ou les moins sensibles (Cheeman, 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 Nelen, 2000 ; Tyrman et al, Skerret, 1999). Une fois vacuolisé, le Na⁺ en excès contribue à l'ajustement osmotique sans altérer les processus métabolique (Levitt, 1980 ; Yeo, 1983, 1998).

I.5.3. Ajustement osmotique

Selon El Midaoui et al, (2007) l'un des principaux caractères physiologiques de tolérance aux contraintes du milieu est l'ajustement osmotique. Celui-ci est réalisé grâce à une accumulation de composés osmorégulateurs qui peuvent être des ions tels que les K⁺, Na⁺ et Cl⁻ ou des composés organiques tels les sucres solubles (fructose, glucose, tréhalose, raffinose, fructanes) et certains aminoacides (proline, glycine bêtaïne, β-alaninebêtaïne, prolinebêtaïne) conduisant à une réduction du potentiel osmotique permettant ainsi le maintien du potentiel de turgescence.

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

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

I.6. La courgette

La courgette appartient à la famille des cucurbitacées. C'est une plante potagère qui pousse au sol ; elle possède de grandes feuilles. Elle a des fleurs de couleur jaune, qui donnent le fruit appelé également courgette. Elle est une plante annuelle à croissance indéterminée. C'est une plante monoïque : les fleurs mâles et femelles coexistent sur une même plante, mais distinctement.

On la cultive en potager ou en serre, selon le mode de production. La courgette est constituée de 62 % d'eau et de 38 % de matières organiques. La courgette est un fruit de forme allongée ou ronde, et de couleur verte ou jaune. Le système racinaire explore 25 à 30 cm en sol sableux irrigué et 60 cm en sol aux textures plus fines. Quant à la physiologie de la floraison, il n'y a pas de fleurs à l'aisselle des 6-7 premières feuilles, les fleurs femelles apparaissent à peu près 40 jours après semis. 10 jours après, les fleurs mâles apparaissent puis enfin les fleurs mâles et femelles alternent : la pollinisation peut s'effectuer.

Elle a l'allure d'un grand concombre. Bien qu'il s'agisse d'un fruit au sens botanique du terme parce qu'elle contient les graines de la plante, elle est communément utilisée comme un légume.

La courgette est facile à cultiver dans un jardin potager familial. Le plus simple et le plus sûr consiste à repiquer au printemps de jeunes plants achetés à un professionnel. La plante adulte couvre un cercle d'environ un mètre de diamètre. Un pied produit des fleurs mâles stériles et femelles fructifères sur une période de plusieurs mois. Une fois formé, le fruit grossit vite et passe en quelques jours de courgette prête à consommer à courge moins tendre à croquer (car les nombreuses grosses graines apparaissent et la peau devient plus épaisse).

I.6.1. Variétés de courgette utilisées en Algérie

- **Verte d'Alger** : (*Cucurbita pepo*) Une variété semi-buissonnante de type "Courge à Moelle".

Les fruits sont de couleur vert clair ponctué de gris ; court et cylindrique évasé. Bonne résistance à la sécheresse. Cette variété traditionnelle plein champ, originaire d'Algérie, est également appelée "Grise d'Alger".

- **Diamant** : Nette amélioration de la variété Diamant. Variété très productive et très rustique, à la qualité des fruits à recommander.

-**Jedida** : elle est moyen, précoce, hybride, vigoureuse, cylindrique évasé, vert clair et plein champ.

-**Première F1** : est très précoce, port aéré, moyen bulbeux, vert clair et marbré plein champ ; et abris leur production abondante et prolongée.

- **Black Beauty** : (Cucurbita pepo) Courgette buissonnante de couleur vert foncé. Fruits meilleurs quand cueillis à 15 cm. Très bonne saveur et très bonne productivité. Croissance : 50-55 jours. Elle est buissonnante moyen cylindrique et vert foncé. Variété traditionnelle originaire d'Italie. Elle est également appelée "Black Beauty" et "Black Milan". Elle est mentionnée dès 1927.

Il y a aussi : Quarantaine et Peto Abandanza.

I.6.3. Le cycle de vie de la courgette

- Levée.
- Cotylédons étalés.
- 1ère vraie feuille.
- Développement des feuilles.
- Formation des pousses latérales.
- Début floraison.
- Début nouaison.
- Maturation des fruits.

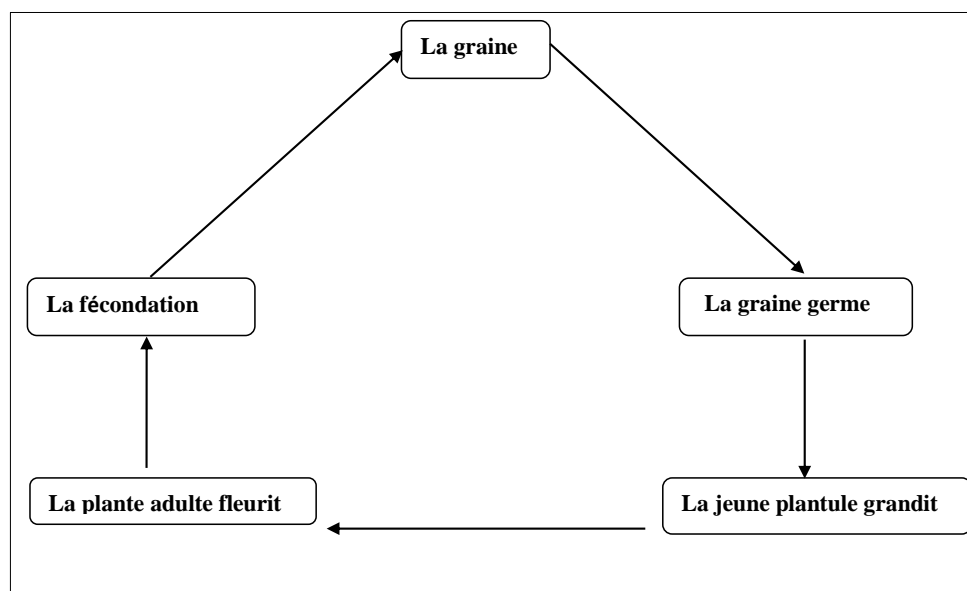


Fig. 1 - Schéma de cycle de vie de la courgette

I.6.4. Tolérance de la courgette à la salinité

La sensibilité des cultures au stress salin se traduit par une réduction du rendement. Le seuil de tolérance à la concentration de sel dans la zone racinaire est propre à chaque culture. Le

plus souvent le seuil de tolérance des cultures est exprimé par la CE de l'extrait de pâte saturée du sol (CEe).

Tableau 1 : Tolérance de courgette à la salinité du sol CEe (FAO, Bulletin n° 29)

| Niveau de production % | 100 | 90 | 75 | 50 | 0 |
|------------------------|--|-----|-----|----|----|
| Cultures | Salinité de l'extrait de la pâte saturée CEe (dS.m ⁻¹) | | | | |
| Courgette | 4,7 | 5,8 | 7,4 | 10 | 15 |

On remarque que la courgette est généralement sensible à la concentration de sel. Ce tableau montre aussi la relation entre la valeur de CEe et le niveau de production : en règle générale, un doublement de la valeur de la CEe entraînera une baisse de production de l'ordre de 50 %.

Chapitre II – Présentation de la zone d'étude

II.1. Présentation de la plaine du bas Cheliff

La plaine du bas Chélif est l'une des trois plaines composant la vallée du Chélif (Haut ; moyen et bas Chélif). Elle est située au nord-ouest de l'Algérie à 250 km d'Alger ; elle fait partie du bassin versant du Chélif et occupe sa partie ouest. Ce même bassin versant du Chélif est traversé par le plus grand oued d'Algérie sur une longueur de 750 km et fait partie du grand bassin versant (Chélif-Zahrer), qui couvre une superficie d'environ 56227 km² (soit plus de 22% de la superficie de l'Algérie du Nord). La plaine de Bas Chélif environ 50 km de longueur variant de 6 à l'est à plus de 20 km à l'ouest, avec une pratiquement plate, d'une altitude moyenne de 70 m. La plaine s'étend sur 65000 ha.

II.2. Situation géographique

Situé au nord-ouest de l'Algérie -a 250 km d'Alger et à vol de oiseau de la méditerranée 35 km- entre (0° 40' et 1 ° 6' 8'') de longitude Est de (34 ° 3' 12'' et 36° 5' 57'') de latitude Nord. Limité par la plaine du Moyen-Chélif à l'Est, la plaine de la Mina à l'Ouest, le massif du Dahra au Nord et le massif de l'Ouarsenis au Sud, traversée par la route nationale 4 et les chemins de fer de l'ouest et récemment par l'autoroute Est-ouest sur une portion d'environ 80 km. Elle fait environ 50 km de longueur sur une largeur variant de 6 à l'est à plus de 20 km à l'ouest, avec une surface pratiquement plate, d'une altitude moyenne de 70 m. On y trouve aussi les deux zones très connues, en l'occurrence, la zone de Benziane où se trouve le plateau et la sebkha de Benziane et la zone de Gaa qui forme une dépression très salée où les sols sont généralement cumulés (fig.3).

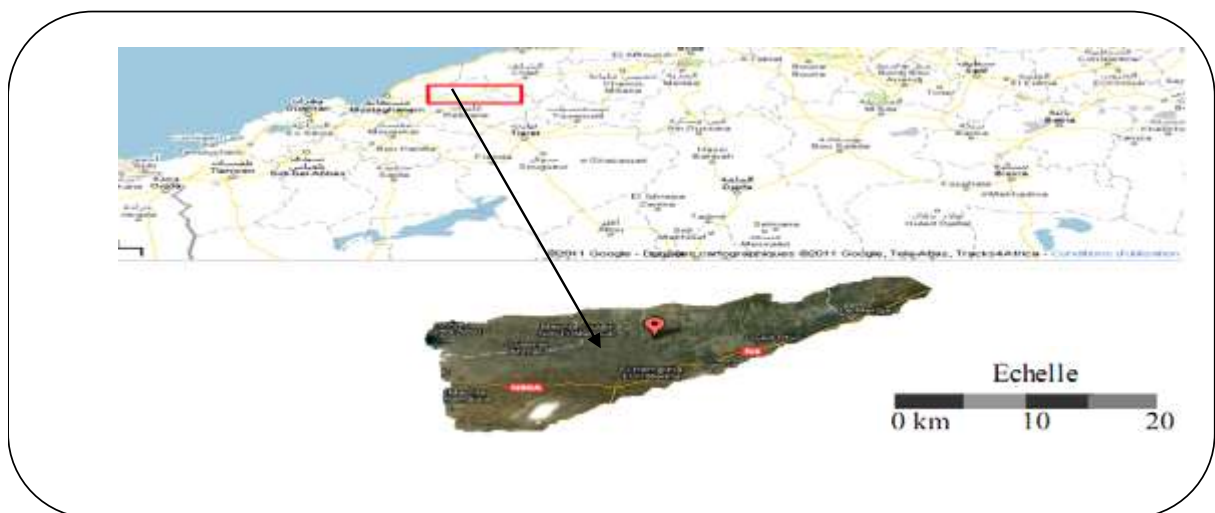


Fig. 2 - Situation géographique de la plaine du Bas-Chélif.

II.3. Climat

Le climat de la plaine a fait l'objet de diverses études approfondies allant du pionnier du domaine dans la région : Seltzer en 1946 dans son ouvrage 'Le climat de l'Algérie' à Yacono en 1954 dans son étude 'La colonisation des plaines du Chélif' jusqu'à nos jours. C'est un climat spécial, célèbre en Algérie par sa dureté au point d'être qualifié comme une curiosité météorologique (Seltzer, 1946). On parle du 'four du Tell' ou de 'portion de Sahara égarée dans le Tell' (Yacono, 1954). Il s'agit bien d'un climat très rude et très contrasté par des étés très chauds et des températures basses en hiver.

II.3.1. Précipitations

Les précipitations, montre une diminution de la hauteur des pluies, dans la vallée du Chélif d'Est en Ouest. La région d'étude a connu durant la dernière décennie des cycles de sécheresse, la plus marquée est celle qui s'étale de 1988 à 1994 (INSID, 1998).

II.3.1.1. Précipitations moyennes mensuelles

Dans le tableau ci-dessous sont mentionnées les précipitations moyennes mensuelles pour la région de Hmadna (2015-2016) :

Tableau 2- précipitations moyennes mensuelles. (INRAA, 2016)

| Mois | Juil. | Aout. | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. | Jan | Fév. | Mars | Avril. | Mai. | Juin. |
|---------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|--------|--------|-------|-------|
| Pp (mm) | 0 | 0 | 8,13 | 21,59 | 56,39 | 0 | 13,96 | 46,24 | 110,74 | 41,39 | 12,46 | 3,05 |

II.3.1.2. Précipitations moyennes annuelles

La variation des précipitations moyennes annuelles (mm) au niveau de la station de Relizane DEMRH (013505) est compilée dans le tableau suivant :

Tableau 3- précipitations moyennes annuelles.

| Année | Relizane DEMRH | 2002 | 259,7 |
|-------|----------------|------|-------|
| 1995 | 386,9 | 2003 | 294,1 |
| 1996 | 177,5 | 2004 | 255,5 |
| 1997 | 227,2 | 2005 | 319,4 |
| 1998 | 223,2 | 2006 | 321,9 |
| 1999 | 180,3 | 2007 | 236,2 |
| 2000 | 365,4 | 2008 | 350,6 |
| 2001 | 272,1 | 2008 | 350,6 |

II.3.2. Température

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. Les températures les plus élevées sont enregistrées durant les mois de juillet et août, alors que les plus basses se manifestent au mois de janvier (Tableau 4). A partir de ce tableau on constate que la température moyenne maximale atteinte est de 40,5°C, ce pic est

mesuré pendant le mois de Juillet, alors que la température moyenne minimale atteinte pendant le mois de Décembre est de 6 °C.

Tableau 4 : Température d'El Hmadna (INRAA 2015-2016)

| Moi | Juil. | Aout. | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. | Jan. | Fév. | Mars | Avi. | Mai. | Juin. |
|--------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| T Moy | 33,8 | 32,4 | 27,3 | 22,8 | 16,7 | 13,5 | 14,4 | 14,9 | 14,9 | 18,8 | 23,1 | 28,9 |
| T M | 40,5 | 37,5 | 32,5 | 28,5 | 22 | 20,1 | 19,4 | 19,5 | 19,4 | 24 | 28,9 | 34,9 |
| T m | 22,7 | 24,7 | 19,6 | 15,7 | 9,8 | 6 | 8,2 | 8,9 | 7,4 | 10,6 | 13,5 | 17,8 |

Avec : T Moy : température moyenne

T M : température maximale

Tm : température minimale

II.3.3. L'humidité relative

L'humidité relative de l'air est basse ou modérée tout au long de l'année. Elle est importante pendant la saison hivernale avec souvent un pourcentage supérieur à 68,8%, et plus faible pendant la saison sèche, mais demeure tout de même assez élevée et s'articule autour de 36,6%. Le mois le plus humide est le mois de décembre (68,8%), par contre le mois le plus sec est le mois de juin (36,6%). (INRAA 2015-2016).

Tableau 5 - L'humidité relative de Hmadna (INRAA2015-2016)

| Mois | Juil. | Aout. | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. | Jan. | Fév. | Mars. | Avril. | Mai. | Juin. |
|-----------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|------|-------|
| H% | 37,2 | 44,2 | 46,5 | 61,6 | 71,4 | 66,8 | 68,5 | 62 | 68,8 | 61,6 | 48,1 | 36,6 |

II.3.4. Le vent

La vallée du Bas Chélif est une région à atmosphère peu agitée, tout au moins pas plus agitée que celle du reste de l'Algérie. Il existe évidemment des jours de vent assez violent, au printemps surtout, mais demeurent exceptionnels.

Les vents fréquents ont une direction Ouest avec des vitesses qui varient entre 4,5 et 11 km.h⁻¹ en moyenne à la station d'El Hmadna.

Tableau 6 - Le vent de Hmadna (INRAA2015-2016)

| Moi | Juil. | Aout. | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. | Jan. | Fév. | Mars. | Avril. | Mai. | Juin. |
|----------------|-------|-------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|------|-------|
| V(Km/h) | 7,8 | 9,1 | 7,3 | 5,7 | 4,5 | 3,6 | 7,7 | 16 | 11,5 | 8,7 | 9,9 | 11 |

II.3.4. L'Evapotranspiration

Sur le plan temporel, il existe une nette coïncidence, typiquement méditerranéenne, entre le maximum thermique et le minimum pluviométrique, ce qui se traduit par une sécheresse marquée où l'évapotranspiration atteint sa valeur plafond. Les données d'évapotranspiration sont relevées de la carte éditée par les services de l'ANRH (2002).

Les cartes d'évapotranspiration, montrent que l'évapotranspiration se positionne en parfaite opposition à celle de la pluviométrie. Le total potentiel évapotranspirée annuel serait de 1200 à 1600 mm. En saison froide, l'ETP décroît progressivement jusqu'au moment où elle atteint des valeurs inférieures à celles des précipitations.

II.4. Propriétés des sols

II.4.1. Géologie et géomorphologie

Le bassin du Cheliff appartient aux bassins sédimentaires sublittoraux allongés et Est-Ouest et mis en place après la dernière phase alpine de tectonique tangentielle. Du point de vue structural ces bassins forment des sillons complexes plus ou moins continus s'allongeant suivant une direction générale WSW-ENE entre les massifs secondaires plissés qui peuvent être assimilés en première approximation à des aires anticlinales majeures.

Au Nord, cette dépression est séparée de la mer par le Tell septentrional représenté par une suite de reliefs parallèles formés essentiellement de terrains jurassico-crétacés que l'on retrouve aussi dans la plaine du Dahra et massifs épi-métamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Témoulga).

Au sud, le bassin du Cheliff est limité par le Tell méridional représenté par un ensemble de massif montagneux où le substratum y est principalement marno-calcaire et correspond à l'allochtone tellien avec ses différentes nappes.

Ces deux ensembles telliens ont été structurés au cours du Mésozoïque suite à plus phases tectoniques.

- Une phase infra – crétacé, compressive donne des plis NE-SW
- Une phase à composante tangentielle intervient après le Sénonien et le Paléocène et serait en partie responsable de l'épi métamorphisme
- Une phase datée Aquitano- Burdigalienne compressive et profonde génératrice d'un nouvel épi métamorphisme.

Pendant que les nappes telliennes achèvent de se mettre en place, un nouveau cycle sédimentaire s'amorce marqué par une transgression qui envahit le bassin et finit par déposer une épaisse sédimentation mio-plio-quadernaire. Parallèlement, le bassin du Cheliff est soumis pendant tout le Néogène à une importante tectonique principalement distensive pour certains auteurs (Y. Gourinard, A.Perrodon, B.Fenet) et polyphasée pour G.Thomas .Cette tectonique continue jusqu'à l'actuel comme en témoigne l'intense activité séismique de la région.

La plaine du Bas-Chéiff est un synclinal traversé par le lit de l'oued Chleff qui occupe a l'instar des autres plaines du Chéiff, le fond de bassins de sédimentation ou s'accumulent depuis au moins le Villafranchien (Boulaine ; 1957).

Elle est comblée d'alluvions du quaternaire et encadrée au nord et au sud par des piémonts du Dahra et de l'Ouarsenis de l'âge Miocène et Pliocène (tertiaire) ; qui lui fournissent le matériau par érosion. L'existence de la sebkha de Benziane située sur le plateau de Benziane au sud-ouest de la plaine lui confère un caractère particulier.

II.4.2. Pédologie

Les sols des bordures des plaines sont formés par des associations de sols plus ou moins érodés, qui peuvent évoluer sur du calcaire dur ou tendre, des grès ou des marnes. Lorsque la roche n'affleure pas à la surface, ce sont des sols généralement calcimagnésiques, le plus souvent rendziniformes avec parfois la présence d'une croute calcaire.

Les sols de la plaine proprement dite comporte cinq classes : les sols salés, les sols hydro morphes, les vertisols, les sols peu évolués alluviaux et colluviaux et les sols calcimagnésiques.

II.4.3. Caractéristiques des sols d'El Hmadna

Hmadna basses plains avec superficie de 155.350 ha constituées les périmètres irrigués dont les terres sont lourdes, hydro morphe et relativement salé. Les basses plaines comportant l'essentiel du verger et du maraichage.

Les sols d'El Hmadna sont argileux avec une texture plus grossière et naturellement drainé. La salinité affect principalement ces sols argileux.

L'origine de cette salinité est double : salinité primaire et salinité secondaire liée à :

- La géologie : l'interaction des phénomènes géomorphologiques et hydrogéologiques.
- Le climat : semi-aride ; chaud et sec a contribué, surtout ces dernières décennies à accentuer la concentration des sels.
- La ressources en eau se faisant rare, donc pas de lessivage et la qualité des eaux d'irrigation et à la profondeur de la nappe.
- Introduction de l'assolement (coton-riz) a appauvri considérablement le sol
- Déboisement du sol.

Cette salinisation est souvent accompagnée par une sodisation ($ESP > 10$) mais l'alcalinisation est absent ($pH < 8.5$). La stabilité structurale est moyenne pour la plus par des sols, la perméabilité est par contre le plus souvent faible. L'extension spatiale de la salinité est supérieure à 25 dS.m^{-1} .

Les sols de Hmadna se caractérisent par une salinité qui est le premier facteur de la dégradation des états de surface (Mokhtari, 2009). Cette dégradation qui agit en premier lieu sur la couverture végétale rend difficile la croissance des plantes dans les endroits fortement salins, comme pour la zone de la Gaa qui est une dépression naturelle fortement saline avec une CE qui dépasse les 8 dS.m^{-1} et une couverture verte quasi nulle (Douaoui et *al*, 2006). La carte de la

salinité établie par Douaoui et Lépinard (2010) a montré que la salinité forte dans le périmètre de Hmadna, la CE qui dépasse 4 dS/m inhibe le dynamisme végétal au sein de ce périmètre.

II.5. Occupation des sols

Les sols du Bas Chélif sont, soit occupés par l'agriculture, soit abandonnés pour être occupés par la végétation halophyte. L'agriculture concerne essentiellement :

- Les vergers d'agrumes et d'oliviers dont la date de plantation remontent le plus souvent au milieu du vingtième siècle ; ces vergers sont irrigués et se localisent le plus souvent dans les périmètres des Oued Rhiau, Djédiouia, et Ouarizane.

- Les cultures maraichères irriguées (melon, pastèque, artichaut, oignon...) sont cultivées dans les périmètres irrigués et se concentrent au bord des lits d'oueds

- Les cultures céréalières en sec principalement sur les sols calcimagnésiques du plateau de Benziane. On les retrouve également dans les périmètres irrigués.

Selon l'étude de (Mc Donald et Bneder ; 1990), ces types de cultures occupent respectivement : orge 20% ; blé 8.5% ; olivier 3.6% ; melon, pastèques, et artichaut 6.7% de la surface agricole utile. Les sols très salés abandonnés sont couverts par une végétation halophyte dans la densité de recouvrement est très variable dans l'espace et dans le temps. En été, certains types de sols, tels que ceux de la Gaa sont totalement dépourvus de végétation.

Aujourd'hui, la plupart des exploitations agricoles ont un statut juridique privé et ont un système de production maraichage (céréale, élevage ou arboriculture).

II.5.1. Evolution des superficies des zones étudiées

II.5.1.1. Les superficies agricoles

Le tableau n° 7 montre le taux de variation des superficies cultivées dans la période 1988-2005. Le périmètre Hmadna a diminué de 40% à cause de l'évolution importante de l'accumulation des sels de la surface (Douaoui et al, 2010) ce qui fragilise le potentiel agricole des sols dans le périmètre même avec le renforcement des aménagements hydraulique et les forges individuels adoptés.

Tandis que les périmètres de Ouarizane et Djédiouia ont augmenté respectivement de 7% et 6% seulement, cette augmentation est due aux exploitations agricoles privées suites aux forages illicites effectués dans la plaine.. Les bordures naturelles (relief) et artificielle (urbanisation) situées au nord du périmètre de Ouarizane et au sud du périmètre de Djédiouia ont empêché en partie l'extension de ces périmètres.

Tableau 7 - Evolution des superficies des zones étudiées en hectares

| Date | 1988 | 2005 | Différence (%) |
|----------------|------|------|----------------|
| Hmadna (ha) | 2012 | 1215 | 40 |
| Djediouia (ha) | 961 | 1140 | 6 |
| Ouarizane (ha) | 929 | 1120 | 7 |

II.5.1.2. Les Superficies urbaines

Quatre principales zones urbaines représentant les plus grands regroupements des populations de la zone d'étude ont été retenues : Ouarizane, Oued Rhiou, Djediouia et Hmadna (Amichi, 2007).

Les quatre centres urbains de la région d'étude ont connu une évolution progressive plus ou moins importante entre 1988 et 2005. Alors que cette progression dans l'urbanisation reste faible pour Ouarizane et Hmadna, elle est élevée pour Oued Rhiou et Djediouia entre 1988 et 2000 pour se stabiliser à partir de cette dernière date.

Cette augmentation rapide des superficies urbaines entre 1988 et 2000 est due essentiellement à l'exode rural qu'a connu la région suite au climat d'insécurité qui s'est installé dans la région et tout particulièrement après les massacres terroristes massifs survenus durant cette période dans la wilaya de Relizane.

II.6. Qualité des eaux d'irrigation

L'eau d'irrigation provient soit du Barrage de Gargar ; soit des écoulements non régularisé de Oued Chélif de qualité médiocre.

SOGREAH a calculé un bilan de sel pour l'année 2010 pour l'ensemble de la vallée ; voir le tableau (8) suivant :

Tableau 8 - la salinité d'eau d'irrigation en fonction de mois

| Moi | Jan | Fév. | Mar | Avril. | Mai. | Juin. | Juil. | Aot. | Sep. | Oct. | Nov. | Déc. |
|------|-----|------|-----|--------|------|-------|-------|------|------|------|------|------|
| g/l | 1,1 | 1,1 | 1,1 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,2 | 1,3 | 1,4 | 1,2 | 1,1 | 1,1 |
| DS/m | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,7 | 1,8 | 1,9 | 1,2 | 1,2 | 1,2 |

La salinité moyenne de l'eau est 1.2 à 3.2 dS.m⁻¹ selon l'étude de l'INSID 1998 (0,5 à 2 g.l⁻¹) ; salinité de l'eau dans oued Chélif et salinité moyenne de l'eau lâchée du Barrage Gargar est de (1,05 g.l⁻¹)

Deuxième partie - Etude expérimentale

Chapitre III – Matériels et méthodes

Le travail d'expérimentation a commencé en date du 30 Mars 2016. Nous avons commencé par prélever des échantillons de sol à l'état initial que nous avons laissé sécher à l'air libre pendant 24 heures.



Photo 1 : le sol initial

Par la suite, nous les avons mis sur des pots au nombre de 48 en date du 31 Mars 2016.



Photo 2 : le sol dans les pots

Au début des stades de 4-5 feuilles et de floraison, nous avons sacrifié des pots pour prélever les plants de courgettes destinés aux analyses morphologiques. De même, le sol de chaque pots est prélevé et mis dans des sachets en plastique de 1 à 2 kg, que nous avons fermé hermétiquement et étiqueté. Après une pesée à l'état humide, le sol est séché à l'air libre pendant 24 heures et tamisé à 2 mm.



Photo 3 - Séchage à l'air libre



Photo 4 - Tamisage à 2 mm

Nous avons préparé l'extrait de la pâte saturé selon les étapes suivantes :



Photo 5 - préparation de la pâte saturée (sol-eau distillée)



Photo 6 - mise en boites pendant 24h



Photo 7 – emplacement sur les godets de la centrifugeuse



Photo 8 - réglage de la centrifugeuse



Photo 9 – récupération de l'extrait de la pâte saturée



III.2.2. Matériel végétal

III.2.2.1. Semence de courgette

La semence est ramenée de l'université de Mostaganem, elle est placée dans des pots contenant du terreau le 24 Avril 2016 pour la germination. Les graines ont germées et sont devenu des plantules.



Photo 10 : la semence



Photo 11 - germination de la semence dans du terreau



Photo 12 – vue sur les plantules avant leur repiquage dans les pots

III.2.2.2. Repiquage

Nous avons planté les plantules préparés dans le terreau dans les pots de dimension de diamètre 23 cm et 25 cm de hauteur en date du 03 mai 2016 à 25°C.



III.2.3. Eau d'irrigation

La culture est irriguée au départ à l'eau distillée avant d'être stressé par une solution saline de $\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$ juste avant les stades de 4-5 feuilles et floraison. Nous avons déterminé la dose d'irrigation selon la définition de l'humidité à la capacité au champ comme suit : on remplit 5 petits pots avec le sol initial et on les sature complètement en eau. On pèse l'ensemble et on laisse l'eau s'infiltrer pendant 24 heures au bout de laquelle on effectue une seconde pesée. La différence entre les deux pesées constitue ce que le sol a retenu comme eau, c'est-à-dire sa réserve utile qui est de 150 ml. De cette façon la plante est irriguée avec cette dose et une fréquence de 24 heures pour éviter un éventuel stress hydrique, d'autant plus que nous sommes dans une serre automatique où les conditions sont contrôlées.



Photo 14 : stade 4-5 feuille avant stress salin

Au stade 4-5 feuilles, nous avons commencé l'irrigation à l'aide la solution saline qui a duré une semaine en utilisant la même fréquence de 24 heures. Dans ce cas, la plante est stressée avec trois concentrations de $\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$, 100, 200 et 300 meq.l^{-1} .



Photo15 : Stade 4-5 feuille après le stress salin

La même opération de stress salin est effectuée pour le stade de floraison.



Photo 16 - stade floraison après stress salin

Durant l'opération de sacrifice, nous avons minutieusement débarrassé les plants de la culture du substrat.



Photo 17 : le sacrifice

III.2.4. Dispositif expérimental

Les plantes sont soumises aux différents traitements de NaCl + CaCl₂. Le traitement témoin correspond à une irrigation à l'eau distillée de 0 meq.l⁻¹ ensuite les trois autres traitements correspondant respectivement à 100, 200 et 300 meq.l⁻¹. Chacun des 4 traitements est concerné par 12 pots, ce qui fait un total de 48 pots.

Tableau 9 – Répartition des traitements sur le dispositif expérimental

| T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 | T7 | T8 | T9 | T10 | T11 | T12 |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 100-13 | 100-14 | 100-15 | 100-16 | 100-17 | 100-18 | 100-19 | 100-20 | 100-21 | 100-22 | 100-23 | 100-24 |
| 200-25 | 200-26 | 200-27 | 200-28 | 200-29 | 200-30 | 200-31 | 200-32 | 200-33 | 200-34 | 200-35 | 200-36 |
| 300-37 | 300-38 | 300-39 | 300-40 | 300-41 | 300-42 | 300-43 | 300-44 | 300-45 | 300-46 | 300-47 | 300-48 |

III.3. Méthodes

III.3.1. Solution saline

On a préparé la solution saline par le mélange de CaCl₂ et de NaCl. Le calcul des masses des deux sels a mettre en jeu pour la préparation de la solution saline est présenté dans le tableau suivant :

Tableau 10 – Préparation de la solution saline de NaCl + CaCl₂

| | | Calcul pour préparer 1 litre de solution | | |
|-------------------|--------------------------------------|--|-------------------------|-------------------------|
| | | 100 meq.l ⁻¹ | 200 meq.l ⁻¹ | 300 meq.l ⁻¹ |
| | Masse molaire (g.mol ⁻¹) | Masse en g | | |
| CaCl ₂ | 147,01 | 1,838 | 3,675 | 5,513 |
| Na Cl | 58,44 | 2,922 | 5,844 | 8,766 |

Le stress salin est appliqué une semaine dans le stade 4-5 feuille et une semaine dans le stade floraison.

III.3.2. Méthodes d'analyses

III.3.2.1. Paramètres écophysologiques de la plante

a)- **Taux de matière sèche (MS%) de la courgette** : (Source : Jacquemin, 2012.)



Photo18 : poids frais de la plante



Photo 19 : poids de la matière sèche de la plante

Le détail de calcul du taux de matière sèche est celui de tous les autres paramètres est donné dans l'annexe avec les résultats de trois répétitions.

b)- **La teneur en eau relative (TRE%) de la courgette** : La méthode utilisée est celle de Clarke et CAIS (1982) :



Photo 20 - poids frais initial



Photo 21 - poids pleine turgescence



Photo22 - poids sec (g)

c)- **L'évolution de hauteur de plants (courgette) :**

Ce paramètre est mesuré avec (cm) .Hauteur des racines et de tiges et la longueur des feuille. Cette mesure est réalisée à partir du stade 4-5 feuille (avant et après l'irrigation saline) et au stade floraison après irrigation saline.

d)- **L'évolution de la surface foliaire (SF) :** Cette mesure est effectuée par le logiciel Mesurim et avec ces photos.



Photo 23 - photos des feuilles pour le calcul de la surface foliaire

III.3.2.2. Paramètres du sol

Quand les échantillons de sol séchés, broyés et passés sur des tamis à 2mm, nous avons procédé aux mesures de la granulométrie, du pH, de la CEeps, du calcaire total et actif, de la matière organique et carbone et de bilans ionique.

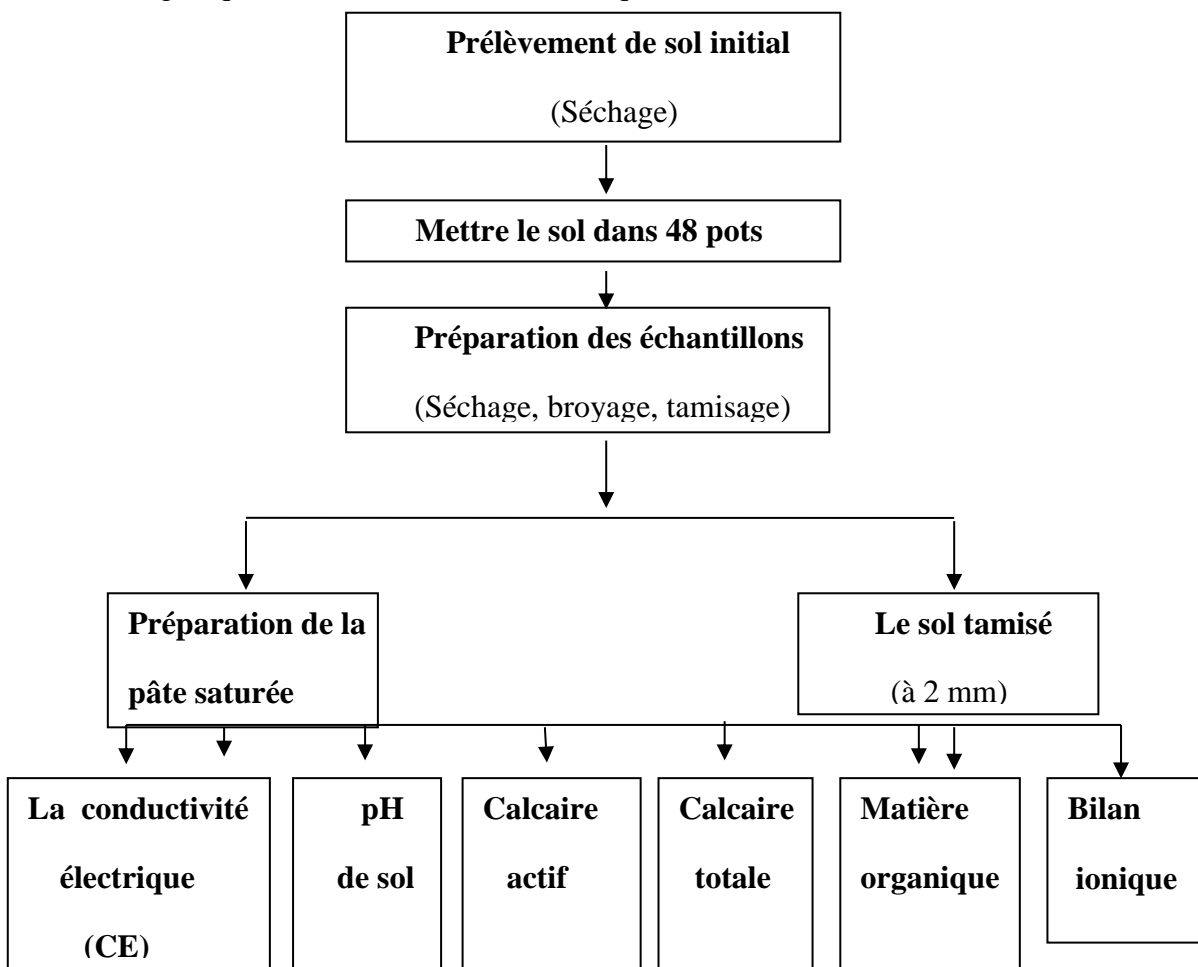


Fig. 4 - Schéma du mode opératoire pour les analyses des échantillons de sol

A)- **Granulométrie** : été réalisée par sédimentation (méthode de pipette de Robinson)

B)- pH : méthode potentiométrique par la patte saturé (Il est déterminé par le pH mètre avec un rapport sol/eau de 1/2,5.)

C)- Conductivité électrique (CE) : avec un rapport sol/eau de 1/5, mesuré par le conductimètre. La conductivité électrique correspond à la quantité totale des sels solubles. Elle peut être obtenue soit au laboratoire (pâte saturée), soit au niveau du terrain (extrait dilué). Pour la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée, il s'agit de saturer la quantité de sol avec de l'eau distillée jusqu'à obtention des caractéristiques visuelles permettant de juger la saturation de la pâte. Conventionnellement, selon la méthode USDA 1954 patte saturé (conductivimetre)

D)- Calcaire total : par calcimétrie de Bernard

E)- Calcaire actif : Druineau-Galet modifié

F)- Matière organique : Wikley et Black modifié

G)- Bilan ionique :

- **Les cations** :

- ✓ (Na⁺ ; K⁺) : dosés par spectrophotomètre à flamme.

- ✓ (Ca²⁺, Mg²⁺) : dosés par l'absorption atomique.

- **Les anions** :

A partir du rapport sol/eau; 1/5 et 1/10

- ✓ (HCO₃⁻, CO₃⁻) : dosé par titrimétrie au H₂SO₄

- ✓ (Cl⁻) : par titrimétrie au nitrate d'argent (méthode de MOHR)

- ✓ (SO₄²⁻) : par la méthode gravimétrique au BaCl₂. (par colorimétrie)

H)- SAR =
$$\frac{\text{Na}^+}{\sqrt{((\text{Ca}^{2+})+(\text{Mg}^{2+}))/2}}$$

Chapitre IV – Résultats et discussions

IV.1. Caractéristiques physico-chimiques originelles du site d'étude

Le tableau 10, montre que la teneur d'argile moyenne du sol étudié est élevée (67,20%), il est donc très argileux. La teneur en matière organiques est faible, (2,56%). Le taux de calcaire total est de (14,96%), c'est donc un sol moyennement calcaire. La fraction active est de (18,5 meq.100 g⁻¹ de sol). Le pH est situé dans la gamme neutre et compte (6,86). La valeur de la conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée (CEeps) est élevée au seuil de (11,09dS.m⁻¹) et montre que le sol est salé.

Tableau 11 – Résultats physico-chimiques du sol

| Constituants | Argile | Limon | Sable | MO | CaCO ₃ total | CaCO ₃ actif | pH | CEeps |
|--------------|--------|-------|-------|------|-------------------------|------------------------------|------|--------------------------|
| Teneur % | 67,21 | 29,61 | 3,18 | 2,56 | 14,96 | 18,5 meq.100 g ⁻¹ | 6,86 | 11,09 dS.m ⁻¹ |

IV.2. Caractérisation physico-chimique du substrat durant l'expérimentation

Pour étudier le comportement écophysologique de la plante soumise au stress salin, nous considérons les deux stades de développement les plus sensible : 4-5 feuilles et floraison. Dans ce cas, nous commençons en premier lieu par suivre les paramètres physico-chimiques du substrat juste après l'application du stress salin pour appréhender les conditions édaphiques dans lesquelles la culture se trouve dans l'optique de pouvoir comprendre sa réaction écophysologique vis-à-vis du stress salin. Autrement dit, expliquer éventuellement la réaction écophysologique de la plante par l'évolution physico-chimique du substrat aux deux stades de développement considérés.

IV.2.1. Matière organique

Les résultats de la matière organique (MO) (Fig. 5), semblent très peu affectés par la salinité pour le premier stade 4-5 feuilles. Néanmoins, ce paramètre est beaucoup plus important suite à l'irrigation par la solution saline pour le second stade de floraison.

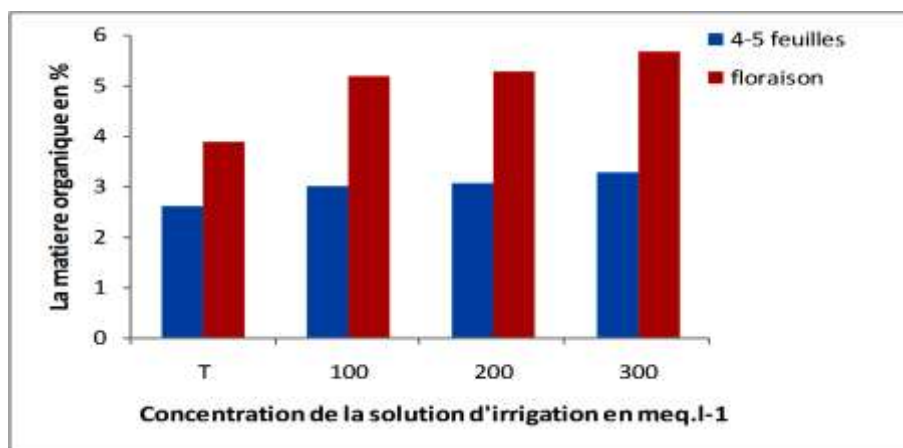


Fig. 5 – Taux de matière organique en fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et du stade de développement de la culture.

IV.2.2. Calcaire total

Les résultats de calcaire total (Fig.6), montrent une augmentation de ce paramètre pour les deux stades du développement suite à l’augmentation de la concentration saline de l’eau d’irrigation. Le taux de calcaire total est plus important au stade floraison qu’au stade 4-5 feuilles.

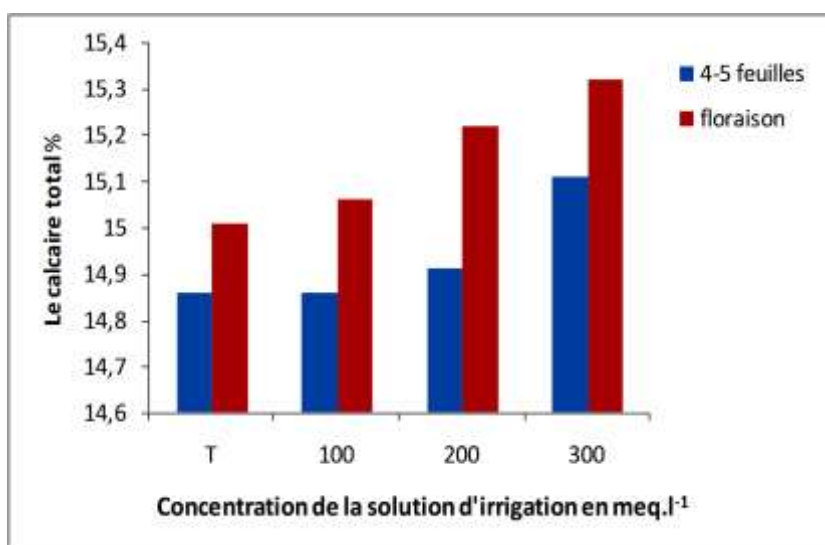


Fig. 6 – Taux de calcaire total en fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et du stade de développement de la culture.

IV.2.3. Calcaire actif

Les résultats de taux de calcaire actif (Fig.7), montrent une diminution de ce paramètre suite à l’augmentation de la solution saline de l’eau d’irrigation pour les deux stades de développement. Le taux de calcaire actif est plus important pour le premier stade de développements 4-5 feuilles dans les traitements témoins (20 meq.100g⁻¹). Pour les doses supérieures à 100 meq.l⁻¹, les plus grandes valeurs de calcaire actif sont enregistrées pour le second stade (floraison).

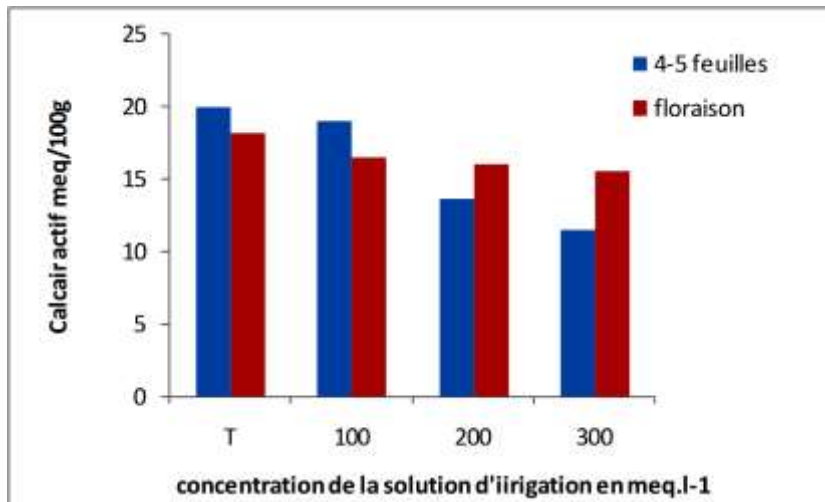


Fig. 7 – Taux de calcaire actif en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation et du stade de développement de la culture.

IV.2.4. pH

La Figure 8 montre que les variations du pH pour les deux stades de développement et les quatre traitements fluctuent entre 7,1 et 7,4. En effet le pH ne semble pas affecter par la salinité.

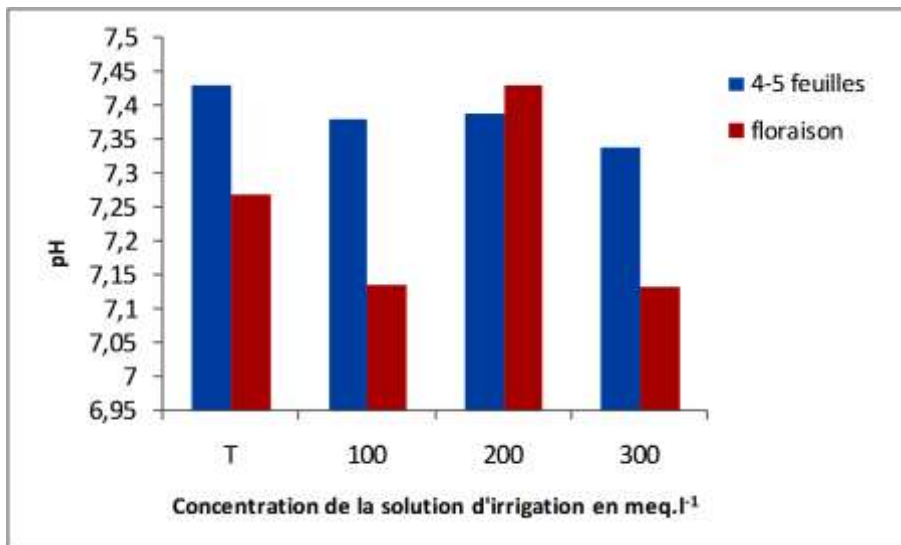


Fig. 8 – pH du sol en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation et du stade de développement de la culture.

IV.2.5. Conductivité électrique

Les résultats de la Figure 9 montrent que la CEeps du sol augmente avec l'augmentation de la concentration saline de l'eau d'irrigation et ceci pour les deux stades de développement. Une légère augmentation de la CEeps apparaît pour le second stade par rapport au premier.

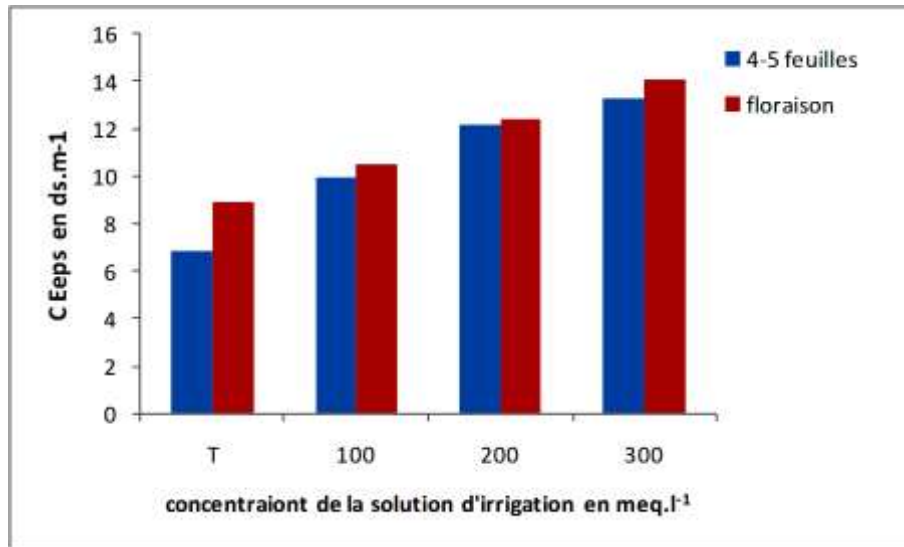


Fig. 9 – Conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée de du sol en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation et du stade de développement de la culture.

IV.2.6. Bilan cationique

Les résultats de la Figure 10 montrent qu'à l'état initial le sol est riche en Na^+ , Ca^{2+} et Mg^{2+} . Après l'irrigation avec l'eau distillée pendant près d'un mois les concentrations en Ca^{2+} et Mg^{2+} ont fortement régressées à l'inverse de celle en Na^+ qui a très peu diminué. L'application du stress salin à l'aide de la solution de $\text{NaCl} + \text{CaCl}_2$ a commencé respectivement aux débuts des stades de 4-5 feuilles et de floraison. Il s'ensuit dans les deux cas, une augmentation rapide des concentrations en Na^+ contrairement à celles en Ca^{2+} et Mg^{2+} qui croissent légèrement.

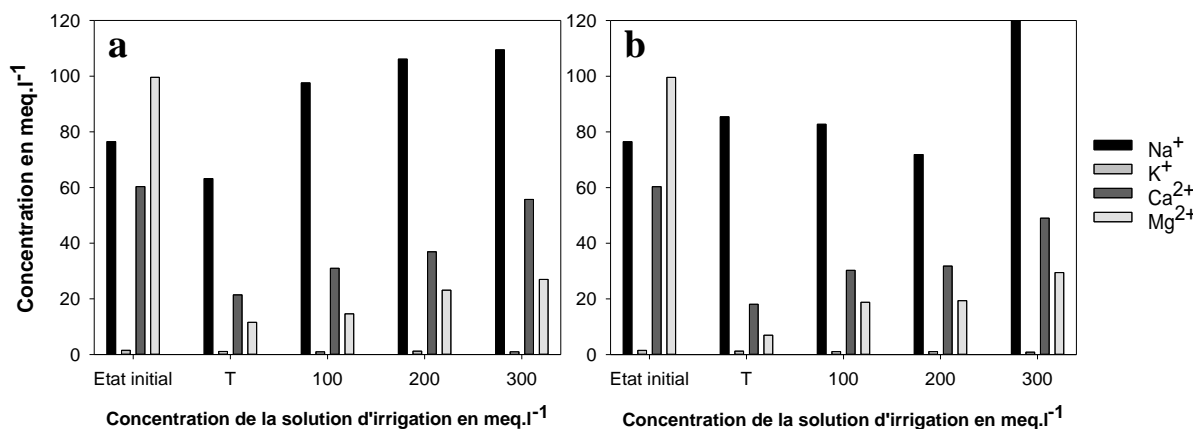


Fig. 10 – Evolution du bilan cationique en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation pour le stade 4-5 feuilles (a) et le stade de floraison (b)

IV.2.7. Bilan anionique

Les résultats de la Figure 11 montrent que l'évolution de la concentration des anions varie légèrement en fonction des traitements par rapport à l'état initial. Dans ce cas, il faut noter que la concentration en Cl^- est importante par rapport à celle des deux autres anions. Les concentrations en Cl^- dominent en termes de concentrations avec une légère augmentation par rapport au témoin

(Fig. 19 b). L'état initial enregistre une concentration plus importante que le témoin à cause du lessivage provoqué par la solution d'eau distillé apportée pendant près d'un mois.

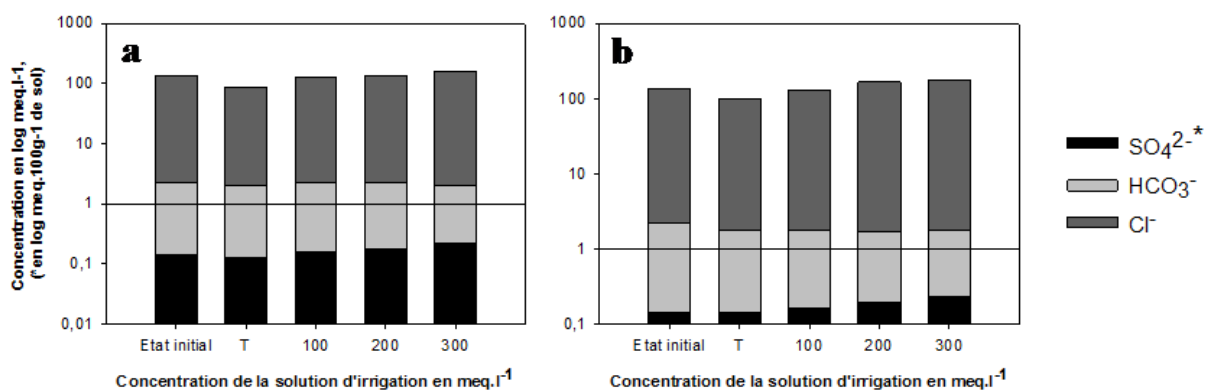


Fig. 11 – Evolution du bilan anionique en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation pour le stade de 4-5 feuilles (a) et le stade de floraison (b)

IV.2.8. SAR

Les résultats de la Figure 12 montrent que le SAR augmente suite à l'augmentation de la concentration de la solution saline de l'eau d'irrigation. Le SAR pour le traitement de 200 meq.100g⁻¹ semble faible, ceci est vraisemblablement lié à une erreur de manipulations.

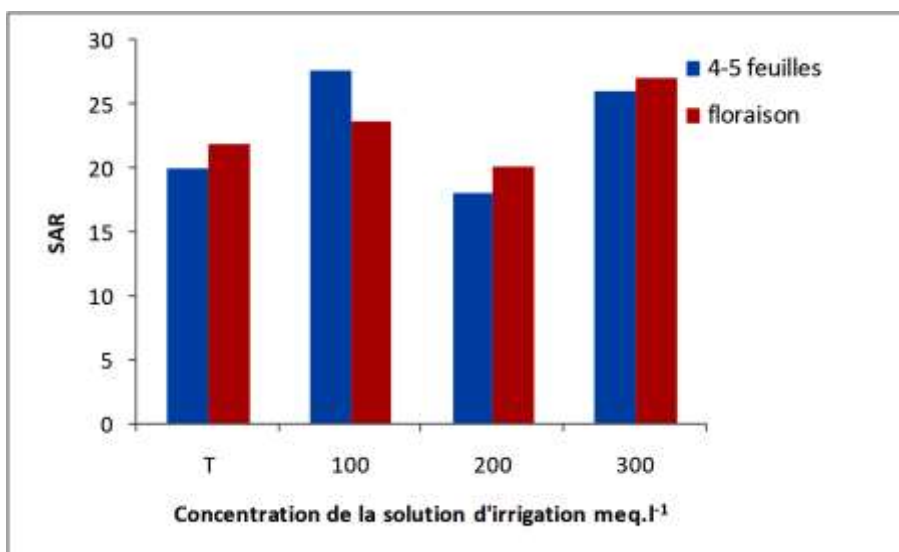


Fig. 12 – SAR du sol en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation et du stade de développement de la culture.

IV.3. Caractérisation morphologique et hydrique de la culture durant l'expérimentation

IV.3.1. Longueur de la tige

Les résultats de la longueur de la tige (Fig. 13), montrent que l'augmentation de la concentration saline de l'eau d'irrigation entraîne une diminution de ce paramètre pour les deux stades de développement.

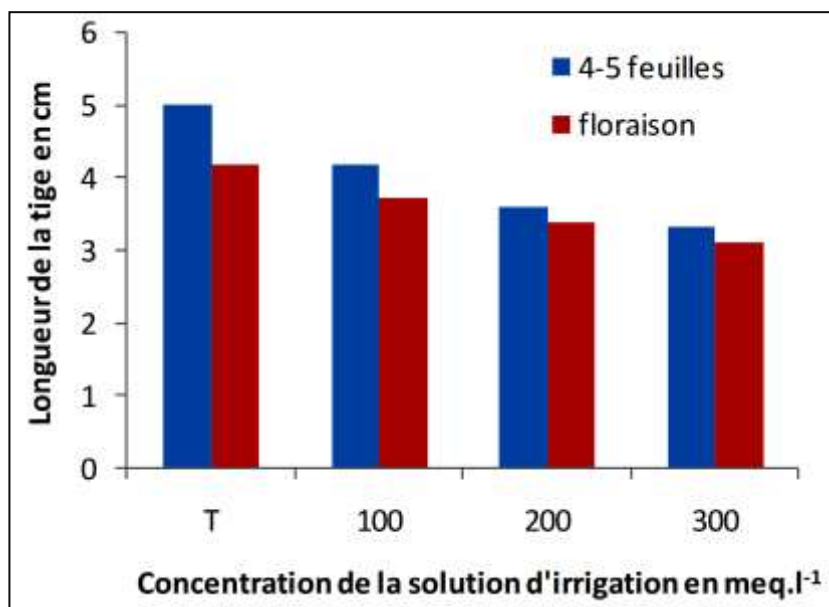


Fig. 13 – Evolution de la longueur de la tige (cm) en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation et des stades de développement

IV.3.2. Longueur des racines

Les résultats de la longueur des racines (Fig. 14) montrent que la croissance de la concentration saline de la solution d'irrigation entraîne une diminution de la longueur des racines pour les deux stades de développement étudiés

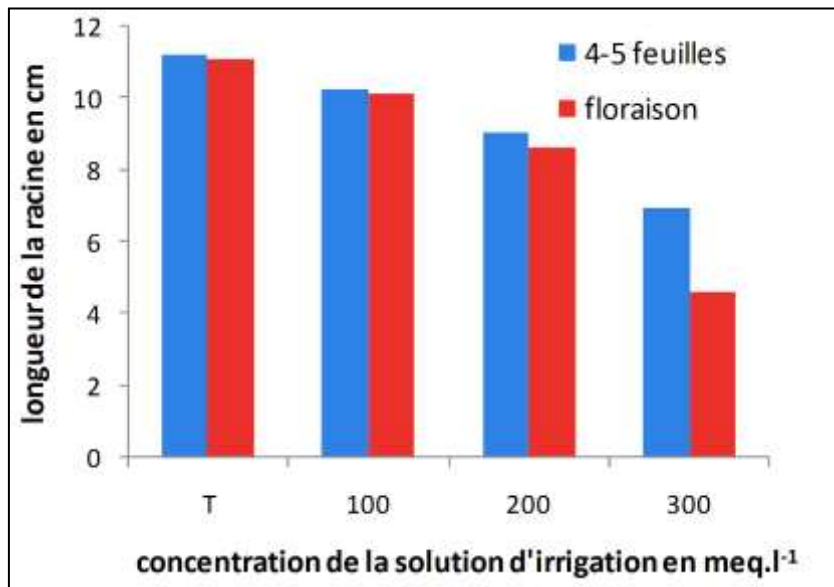


Fig. 14 – Evolution de la longueur des racines (cm) en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation et des stades de développement

IV.3.3. Taux de la matière sèche

Les résultats de la matière sèche (Fig. 15) montrent que l'augmentation de la concentration saline de l'eau d'irrigation entraîne une augmentation de ce paramètre plus apparente au stade de floraison que celui de 4-5 feuilles.

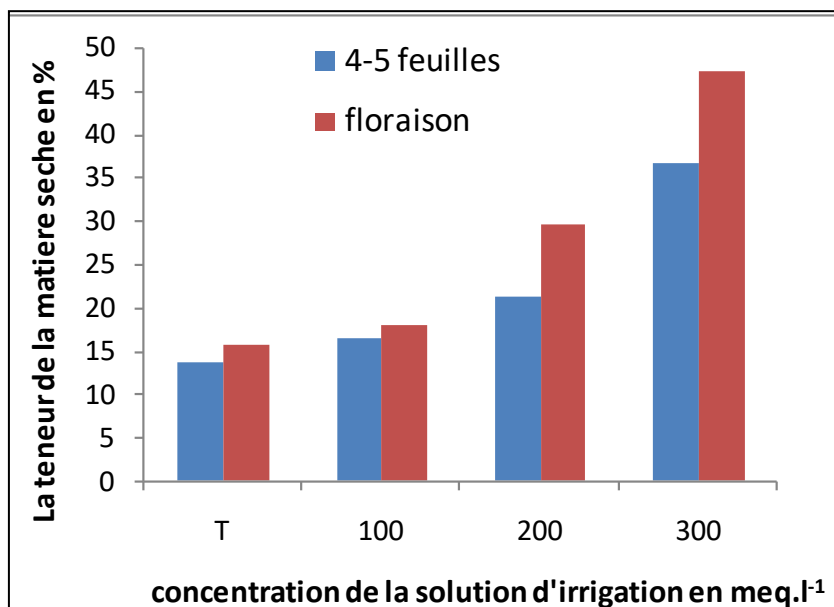


Fig. 15– Evolution de taux de la matière sèche en fonction de la salinité de l'eau d'irrigation et des stades de développement

IV.3.4. Teneur en eau relative (RWC)

Les résultats de la teneur en eau relative (Fig. 16) montrent que l'accroissement de la concentration de la solution saline de l'eau d'irrigation entraîne une diminution de ce

paramètre pour les deux stades de développement. Il y a le lieu de noter que la dose 300 meq.l⁻¹ diminue fortement le RWC de la plante au stade de la floraison.

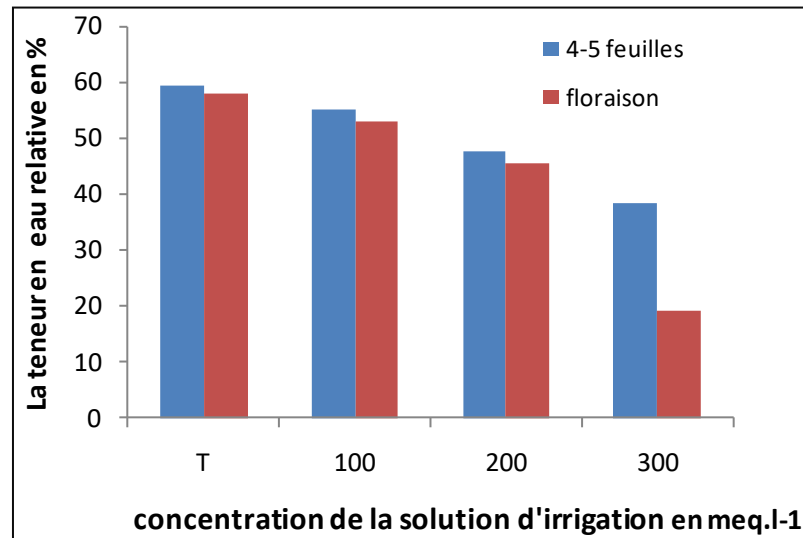


Fig. 16 – Evolution de en la teneur en eau relative fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et des stades de développement.

IV.3.5. Surface foliaire

Les résultats de la surface foliaire (Fig. 17) montrent que la croissance de la concentration de la solution saline de l’eau d’irrigation entraîne une diminution de ce paramètre pour les deux stades de développement. Il y a le lieu de noter que la dose 300 meq.l⁻¹ diminue fortement la surface foliaire de la plante au stade de la floraison.

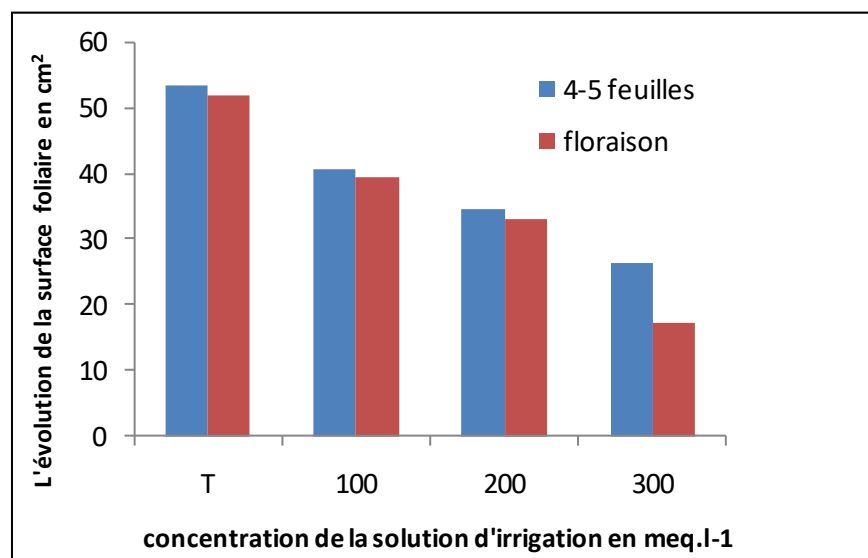


Fig. 17– Evolution de la surface foliaire fonction de la salinité de l’eau d’irrigation et des stades de développement

Conclusion

Au terme de ce travail, les résultats obtenus montrent que le sol étudié se caractérise par de forts seuils de salinité ($12,76 < CE < 14,09 \text{ dS.m}^{-1}$), de sodicité ($22,16\% < ESP < 24,47\%$) et par un faciès chimique chloruré-sodique. Par ailleurs, il se caractérise par une texture dominée par l'argile (67,20%).

Il est important de rappeler que le sol étudié est d'origine salé et qu'il est étudié à deux échelles d'observations de l'état de sa dégradation :

- la première par l'intermédiaire de ses propriétés physico-chimiques propres mesurées à initialement et durant l'application du stress salin sur la culture de courgette,
- la seconde à travers un bioindicateur (la courgette) cultivée en son sein et soumise à des doses croissantes de salinité.

Il apparaît que la concentration de 300 meq.l^{-1} de $\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$ affecte sévèrement la culture de courgette pour la majorité des paramètres écophysologiques observées sur cette dernière. Ce qui permet, par comparaison avec la salinité de la ressource hydrique disponible à la station de l'INRAA, de savoir si cette culture de cette espèce végétale est envisageable dans le site. Ceci peut être déterminé pour n'importe quelle autre culture quand elle est expérimentée selon le même protocole.

Cette approche a permis d'observer avec pertinence l'adéquation entre les caractéristiques du substrat lors de l'application du stress salin sur la culture et la réaction de cette dernière à travers son comportement écophysologique. Bien que l'expérimentation soit en conditions contrôlées, elle permet de comprendre dans quelles mesures un matériel végétal installé dans le sol objet de l'étude réagit au stress salin. Avec cette approche, il est possible d'expérimenter des espèces végétales avant de les extrapoler en plein champ dans le cadre de la mise en valeur des sols de la station de l'INRAA d'El Hmadena.

Cette approche constitue un précieux outil pour expérimenter à petite échelle, en conditions contrôlées, des méthodes de mise en valeur des sols du site étudié avant de les généraliser à grande échelle pour éviter des investissements importants susceptibles de non aboutissement tel que le réseau de drainage souterrain réalisé dans le site.

Cette approche est appelée à être consolidée dans les prochains essais par une démarche plus poussée en prenant en compte la fonctionnalité du drainage et sous l'application de doses de lessivage en vue de l'optimisation de l'opération de mise en valeur des sols étudiés en passant par plusieurs échelles d'observation et d'application.

Références bibliographiques

- Aubert ; 1976** : les sols salsodiques en Afrique du Nord. Ann. INA, Alger. Vol .Iv. PP: 182-193.
- Alem et al, 2002** : Adaptations hydrique et photosynthétique du blé dur et du blé tendre au stress salin. C. R. Biologies, Vol. 325:pp1097-1109.
- Ashraf et Harris, 2004**: Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants. Plant Sci., 166: 3-6.
- Bellague et al, 2011** : Séminaire Eau et Environnement dynamique spatio-temporelle de la salinité des sols du Bas Chélif : Cas de la station INRAA Hmadna (Relizane).
- Berthomieu et al., 2003**: Functional analysis of AtHKT1 in *Arabidopsis* Shows that Na+ recirculation by the phloem is crucial for salt tolerance. Embo Journal 22, 2004-2014 Biotechnology 16, 123–132.
- Bottela et autres 1994, 2005**: Walbot et Cullis, 1985 in Parida et Das, 2005) in - Salt tolerance and salinity effects in plants: a review ecotoxicology and environment safety.
- Boulaine, 1956** Title : Carte des Sols D'Algérie. Plains du Chélif. Carte no. 1. Plaine d'Affre ville. Author: Boulaine, J. Year: 1956. Publisher: Gouvernement Générale de l'Algérie.
- Boulaine ; 1957** : Étude des sols des plaines du Chélif.
- Calvet, 2003** : Le sol, propriété et fonction, phénomènes physiques et chimiques. Tome 2. Ed. France. Agricole, 511 p.
- Cheeman, 1988 Munns, 1993**: Physiological processes limiting plant growth in saline soils: some dogmas and hypotheses. Plant, Cell and Environment pp15-24.
- Chinnusamy et al., 2004**: Molecular genetics perspectives on cross-talk and specificity in a biotic stress signaling in plants. J of Experimental Botany.pp225-236.
- Daoud et Halitim, 1994** : Sécheresse ; Révue n°3, v : 05 Septembre 94, P151
- Delphine et al, 1998 in Parida et Das, 2005** : *B. parviflora* (Parida et Das, 2005). in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolérance and salinity effect on plants: review. Ecotoxicology and Environmental Safety. Vol. 60, 349 p.
- Denden et al. 2005** : Effet de la salinité sur la fluorescence chlorophyllienne, la teneur en proline et la production florale de trois espèces ornementales, disponible sur : www.tropicultura.org/text/v23n4/220.pdf
- Djili et al 2003 ; Saidi, 2004** : La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquence sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. Sécheresse. 4,14 : 241-246
- Douaoui et al., 2006**: Detecting salinity hazards within a semiarid context by means of combining soil and remote-sensing data. GEODERMA, 134(2006) 217– 230.
- Douaoui, 2006** : Deuxième atelier régional scientifique et technique sur les systèmes irrigués dans les pays maghrébins. IAV Hassan II et l'ENA de Meknès. Marrakech, Maroc, SIRMA 29-31 mai 2006.
- Duchaufour, 1972** : Processus de formation des sols. Centre Régional de Documentation Pédagogique, Nancy. 184 p.
- Duchaufour, 1988** : Abreges de pédologie. 2 emm édition.é Masson. Paris. Milan. BerceLon. Mexico, 224p
- Durant 1958** : Les sols irrigables. Etude pédologique. Alger. 190 pages El Midaoui et al, (2007) Response of sunflower (*Helianthus annuuusL.*) to nitrogen and potassium deficiency. Helia. Vol. 22, n°30, pp. 139-148.

- FAO, 2000:** state of food and agriculture of united nations Rome
- François, 2008:** Typology of Lexical Semantic Associations, Benjamin's, pp.163-215, 2008, Studies in Language. Companion Series. Alexandre FRANÇOIS
- Gadallah, 1999 in Haouala et al, 2007 :** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. Vol. 11, n°3, pp. 235-244.
- Greenway et Munns, 1980:** Mechanism of salt tolerance in non-halophytes. Annual Review of Plant Physiology. Vol. 3, pp. 149-190
- Guerrier, 1984 :** Relations entre la tolérance ou la sensibilité à la salinité lors de la germination des semences et les composantes de la nutrition en sodium. Biologia Plantarum (PRAHA) Vol. 26, n°1, pp. 22-28.
- Gorine M ; 2011 :** Intitulé analyse de la salinité et détermination de la sensibilité à la dégradation des terres agricoles (Cas du périmètre irrigué de la Mina, Relizane)
- Hajji, 1980 in Haouala et al, 2007 :** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais du chiendent. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 11(3).235-244.
- Hamza m 1980 :** réponse des végétaux a la salinité physiologie végétal
- Hasegawa et al, 2000:** Plant cellular and molecular responses to high salinity. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 51, pp463-499.
- Hass Seltzer en 1946 Ani et al, 2008:** Le climat de l'Algérie, typo-litho. Alger.
- Hillel, 2000:** Salinity Management for Sustainable Irrigation. The World Bank, Washington, D.C.
- Hu et al., 2005:** Salinity and the growth of non-halophytic grass leaves: the role of mineral nutrient distribution. Plant Biol. pp973- 985.
- INSID, 1997 ; 1998 :** Projet pilote sur la caractérisation de l'état actuel de la salinité du Bas Chélif Alger 70p
- Kafkai 1991:** Root growth under stress. Plant roots: the hidden half. New York, USA: Marcel Dekker, pp375-391.
- Keren, 2000:** Salinity in summer. Hand book of soil science. P3-25
- Khan, 2001 in Haouala et al, 2007 :** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent, p. 235-244. Disponible sur : <http://www.pressesagro.be/base/text/v11n3/235.pdf>
- Läuchli et Epstein, 1990; Bayuelo et al, 2002 :** Les plantes face au stress salin
- 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.
- Levitt, 1980 :** 1980:Responses of Plants to Environmental Stresses: Water, Radiation, Salt ,and other stresses, Academic Press, New York, pp. 365-488.
- Levitt, 1980 in Haouala et al, 2007 :** Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent, p. 235-244. Disponible sur : <http://www.pressesagro.be/base/text/v11n3/235.pdf>
- Maillard, 2001 :** Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34 p.
- Mc Donald et Bneder ; 1990 :** Etude de l'avant projet détaillé des extentions de Guerouaou et de Sepkhat Benziane et du réaménagement du Bs Chélif . Bureau National d'Etude pour le Développement Rural.
- Mermoud, 2006 :** Maitrise de la salinité des sols. P 15

Mercado, 1973, Briens et Larhe, 1982; in Guerrier, 1984 : Relations entre la tolérance ou la sensibilité à la salinité lors de la germination des semences et les composantes de la nutrition en sodium. *Biologia Plantarum (PRAHA)* Vol. 26, n°1, pp. 22-28.

Mokhtari, 2009 : Apport de la télédétection dans l'évaluation de la dégradation des états de surface en milieu salin (Le Bas-Chélif). Thèse de Magister, 122p, L'U.S.T.H.B d'Alger, Janvier, 2009.

Munns et al, 1983 : Halotolérante ukaryotes. In *Physiological Plant Ecology. III. Responses to the Chemical and Biological Environment. Encycl. Plant Physiol.*, pp. 59-135 New Series, Vol. 12C. Springer, Berlin

Munns et Rawson 1999: Effect of salinity on salt accumulation and reproductive development in the apical meristem of wheat and barley. *Aust. J. Plant Physiol.* Pp 459-464.

Munns et Rawson (1999), Maas et Poss (1989), 1986 in Parida A.K., Das A.B., (2005): Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxycology and Environmental Safety*. Vol.60, 349 p.

Munns, 2002: Salt tolerance and Comparative physiology of salt and water stress; *Plant, Cell and Environment* pp239-250.

Munns 2008: Sodium excluding genes from durum wheat and sea barley grass improves sodium exclusion of bread wheat. 2nd International Salinity Forum Salinity, water and society-global issues, local action.

Nimbalkar, Joshi, 1975 in Haouala et al, 2007 : Effet de la salinité sur la répartition des cations (Na⁺, K⁺ et Ca²⁺) et du chlore (Cl⁻) dans les parties aériennes et les racines du ray-grass anglais et du chiendent, p. 235-244. Disponible sur :

<http://www.pressesagro.be/base/text/v11n3/235.pdf>

Niu et al .1995 : Ion homéostasies in NaCl stress environments. *Plant physiology* pp735-742.

Orcutt et Nilsen, 2000: *Physiology of plants under stress*. John Wiley & Sons Inc., New York, NY, USA.

Parida et Das, 2005: Salt tolerance and salinity effect on plants: review. *Ecotoxycology and Environmental Safety*. Vol.60, pp. 324-349.

Price et Hendry, 1991; Allen, 1995: Dissection of oxidative stress tolerance using transgenic plants. *Plant Physiol.* pp 1049-1054.

RICHARDS 1954: *Diagnosis and improvement of saline and alkali soils*. USDA Agri. And book- 60.

Servant;1971 : Le profil salin des sols, méthodes d'études et signification. Application aux sols halomorphes du midi de la France. *Ann. Agro.* 24,3, 392 p.

Sankaky, 1986 : Loi sur les agences de travail intérimaire (*Rôdôsha hakengyô hô*) (Assouplissement des interdictions concernant cette forme d'emploi)

Sentenac et Berthomieu 2003 : Découverte d'un nouveau mécanisme de tolérance des plantes au sel. UMR Biochimie et physiologie moléculaire des plantes (Unité mixte Ecole nationale supérieure agronomique de Montpellier, Service Presse INRA, 34 p.

Snoussi et Halitim 1998 : Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. *Etude et gestion des sols*, pp289- 298.

Song et al 2005: Strategies for Adaptation of Suaedaphysophora, Haloxylynammodendron and Haloxylylonpersicum to a Saline Environment during Seed-Germination Stage. *Annals of Botany*.pp399-405.

Tyrman et al, Skerret, 1999: Root ion channels and salinity. *Sci. Hort.* Pp 175- 235.

Yacono en 1954 : Colonisation des plaines du Chélif (de Lavigerie au confluent de la Mina), Tome 1, Imprimerie Imbert, Alger

Yeo, 1983: Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. Journal of Experimental Botany pp915- 929.

Yeo., 1998: Molecular biology of salt tolerance in the context of whole-plant physiology. Journal of Experimental Botany.pp915-929.

Zid et Grignon, 1991 : Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. L'amélioration des plantes pour l'adaptation aux milieux arides. Ed. Aupelf-Uref . John Libbey. Eurotext, Paris, pp. 91-108.

Annexes

Les paramètres végétaux :

a)- Taux de matière sèche (MS%) de la courgette : (Source : Jacquemin, 2012.) c'était :

- 3 plants arrachés avec leurs racines ; puis pesée (**PF**).
- après un passage de ces échantillons (plant entier : partie aérienne + racine) dans une étuve à une température de 80°C pendant 24 heures, dès leurs sortis ils seront pesés (**PS**).
- Le taux de matière sèche c'est le rapport du poids frais (**PF**) sur le poids sec (**PS**).

$$MS (\%) = \frac{(PS)}{(PF)} \times 100 \text{ (Source : Jacquemin, 2012.)}$$

b)- La teneur en eau relative (TRE%) de la courgette :

La méthode utilisée est celle de « Clarke et CAIS (1982) » ; selon la formule suivante :

$$TRE(\%) = \left[\frac{(Pfi - Ps)}{(Ppt - Ps)} \right] \times 100$$

- **Pfi** : poids frais initial (g) déterminé immédiatement après prélèvement des feuilles.
- **Ppt** : poids de pleine turgescence (g) obtenu après 24h de trempage des feuilles dans l'eau à l'obscurité
- **Ps** : poids sec (g) déterminé après séchage des feuilles à l'étuve a 80° c. (24h).

c)- L'évolution de longueur de plants (courgette) :

Ce paramètre est mesuré avec (cm) .Hauteur des racines et de tiges et la longueur des feuille. Cette mesure est réalisée a partir du stade 4-5 feuille et au stade floraison après irrigation saline.

d)- L'évolution de la surface foliaire (SF) :

Cette mesure est réalisée a partir du stade 4-5 et au stade floraison après irrigation saline avec logiciel Mesurim.

Les analyses de sol :

a)- Granulométrie :

On entend par granulométrie, la détermination des grains et de leurs distributions dans les matériaux. Pour notre cas, elle nous permettra surtout de connaitre la proportion de la fraction argileuse dans un échantillon de terre.

Les méthodes pratiques d'analyses granulométriques sont, nombreuses, on peut citer :

- La sidimentométrie
- La densimétrie
- Les méthodes d'observation microscopique

➤ Les méthodes électroniques

L'analyse granulométrique a été réalisée par sédimentation (méthode de pipette de Robinson) selon la norme Française. Cette méthode a recours aux différentes vitesses des particules de matières différentes par nature, dimension ou par ces deux facteurs ensemble.

Mode opératoire :

- ❖ Mis des particules d'un échantillon de sol (tamisé à 2 mm), préalablement séché et stabilisation de cette suspension ; en particulier destruction de la matière organique et des constituants carbonatés par traitement au peroxyde d'hydrogène 30% et à l'acide chlorhydrique. Enfin, pour obtenir une dispersion des particules, on fait subir à l'échantillon une alcalinisation au moyen d'un dispersant, une solution d'hexametaphosphate de sodium à 150 g/l.
- ❖ Séparation des différentes classes de particules par sédimentation par gravité pour les fractions supérieures.
- ❖ Les particules retenues sur tamis sont lavées à l'eau distillée jusqu'à ce que le liquide soit limpide. Ensuite elle sont récupérées, séchées à 105° C et pesées.
- ❖ Etalonnage de la pipette : On introduit dans l'allonge 10 ml de dispersant, on complète à 1000 ml avec l'eau distillée.

La solution est agitée puis on recueille un prélèvement de 20 ml dans une capsule, préalablement tarée. Après séchage à 105° C jusqu'à masse constante, on détermine la masse du dispersant.

- ❖ Prélèvement des fractions fines : après avoir mis en suspension 5 g de l'échantillon à étudier dans suspension, on prélève dans le plan de mesure, à des temps échelonnés, un volume de 20 ml de la suspension. Pour chaque prélèvement ; on pèse le résidu solide après séchage à 105° C jusqu'à masse constante.
- ❖ La calcul des différents temps en fonction des profondeurs de prélèvement et diamètres correspondant aux prélèvements prévus, à la température de la suspension est établi par la loi de Stokes, applicable en régime laminaire et pour des particules de taille supérieure 0.5.

b)- La patte saturée :

- ❖ Dans une capsule de porcelaine on pèse 200g de sol. Ensuite, à l'aide d'une éprouvette graduée remplie d'eau distillée, on humecte le sol et on le mélange à l'aide d'une spatule, on ajoutant avec précaution de l'eau jusqu'à l'obtention d'une pâte satisfaisant les conditions suivantes :
- ❖ Elle doit couler lentement, lorsqu'on incline la capsule ;
- ❖ Sa surface doit être brillante ;
- ❖ Elle doit se détacher librement de la spatule ;

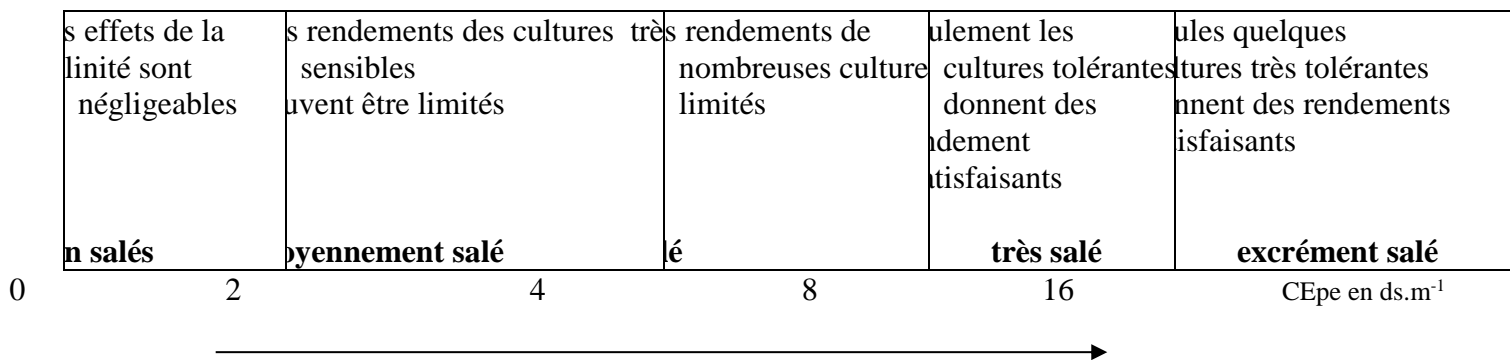
- ❖ - On note le volume d'eau versé ;
- ❖ - On laisse reposer pendant 24 heures en couvrant d'un papier filtre humide ou d'un film plastique fin pour éviter l'évaporation.
- ❖ - On procède ensuite à la centrifugation de la pâte saturée, pendant 25 minutes, à 3000 tours/minute, dans des supports de 4 godets.
- ❖ - Après séparation par centrifugation, on récupère l'extrait de la patte saturée
- ❖ - Cette solution est destinée aux analyses du bilan ionique (cations et anions solubles).
- ❖ -ph et ce.



La centrifugeuse

c)- La conductivité électrique :

- ❖ La C_e du sol est un indice des teneurs en sels solubles dans ce sol, elle exprime approximativement la concentration des solutés ionisables présent dans l'échantillon c'est-à-dire son degré de salinité. Elle a été déterminée sur l'extrait d'une pate saturée par conductivimetre.



Echelle de la conductivité électrique de l'extrait de la pate saturée (ds.m-1 a 25°C°)



La conductivimetre

d)- Mesure du pH :

Le pH est mesuré par la méthode potentiométrique.

Matériel :

-PH mètre avec électrode.

-Verrerie.

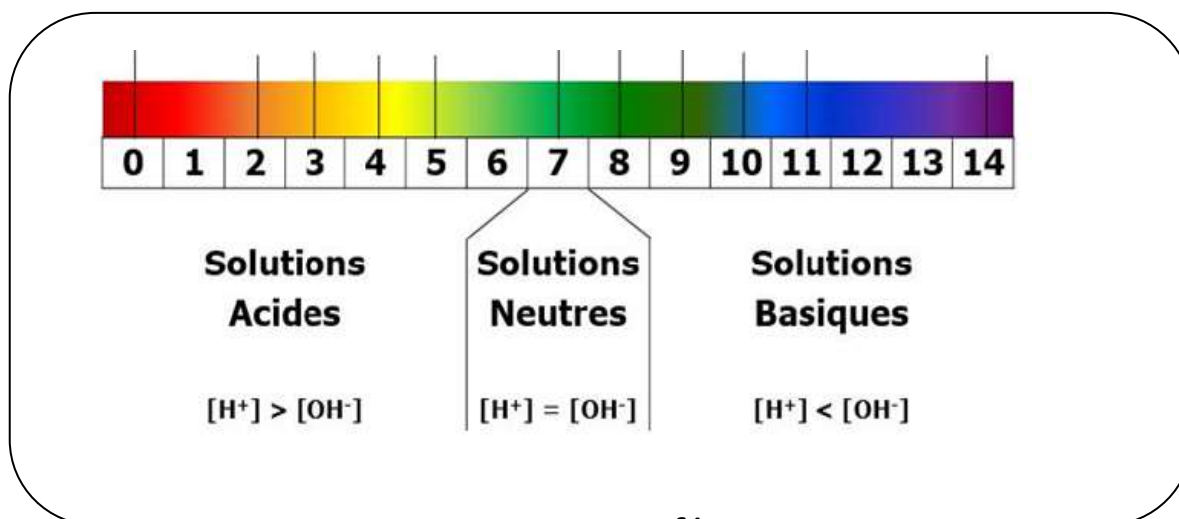
Produits :

- Solutions tampons à pH 9 et à pH 7. si les solutions sont disponibles, les utiliser selon les instructions du fabricant.
- Sinon, préparer les solutions tampons de la manière suivante :
 - * Solution neutre : dans une fiole de 1000 ml, dissoudre 3,40 g d'ortho-phosphate mono-potassique (KH_2PO_4), et 4,45g d'ortho-phosphate disodique dihydraté ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), compléter au volume à l'eau distillé, on obtient une solution tampon à pH 7.
 - * Solution alcaline : dans une fiole de 1000 ml, dissoudre 3,81 g de borate de sodium ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) dans de l'eau distillé dégazée. Compléter au volume avec cette eau distillée dégazée. On obtient une solution tampon à pH 9.

Ces deux solutions ne se conservent pas longtemps à cause de la modification de leur pH par le CO_2 .

Mode opératoire :

- Etalonner le pH-mètre : mesurer la température des solutions et afficher cette valeur sur le cadran de l'appareil de mesure. Procéder au réglage de l'appareil, de façon alternative, avec les deux solutions tampons.
- Mesure du pH de l'échantillon : mesurer la température de la suspension ou de la solution et afficher sur l'appareil. Rincer l'électrode avec la solution de l'échantillon (ne jamais toucher le bout de l'électrode ni l'essuyer), mesurer le PH , prendre la lecture quand l'appareil s'est stabilisé, ce qui nécessite environ 30 à 60 secondes.



L'échelle mondiale de pH



Le PH-mètre

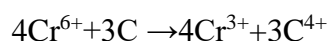
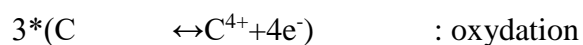
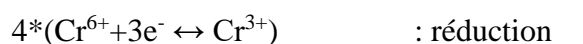
e)- La matière organique :

Méthode Wkley et Black modifiée :

Principe du dosage :

Le dosage de la matière organique est réalisé à partir du dosage de l'un de ses constituants : le carbone organique. Comme on vient de le rappeler, le carbone organique (C.O.) est estimé à 58 % de la matière organique (M.O.) d'où $\% \text{C.O.} * 1,724 = \% \text{M.O.}$

La méthode de détermination du carbone organique est basée sur l'oxydation de ce dernier par le bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) en milieu acide sulfurique (source de chaleur).



La quantité de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ utilisé excède la quantité nécessaire pour l'oxydation du C.O. l'excès de $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ qui n'a pas réagi est ensuite dosé en retour par une solution titrée d'un réducteur qui est le sulfate ferreux (sel de Mohr) en présence de ferroïne (indicateur redox).

Ce dosage en retour permet donc de calculer la quantité de bichromate qui a été neutralisée par le carbone organique.

**Matériel :**

- Balance de précision à 0,01g.
- Fioles coniques de 300 ml à large ouverture, 1 par échantillon ;
- Etuve ventilée et réglée à 105 °C ;
- Bêchers de 250 ml, 1 par échantillon ;
- Dessiccateur ;
- Fioles jaugées de 100 ml, 1000 ml et 2000 ml ;
- Eprouvettes de 250 ml ;
- Pipette automatique de 20 ml ;
- Bouteille de 5000 ml (pour eau déminéralisée) ;
- Pissette souple de 500 ml ;
- Burette automatique de 50 ml avec flacon polyéthylène de 1 L (pour solution de bichromate) ;

- Burette automatique de 50 ml avec flacon de 2 L peint en noir (pour la solution de sel de Mohr) ;
- Flacon compte. gouttes de 100 ml (pour ferroïne) ;
- Agitateur magnétique et barreaux aimantés ;
- Gants de protection ;
- Papier de pesée, glassine 100*100 mm

Réactifs :

1. Eau déminéralisée exempte de matières réductrices et ayant une conductivité inférieure à 0,5 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$
2. Acide sulfurique, (H_2SO_4) (95%, $d=1,84$)
3. Bichromate de potassium p.a ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)
4. Sulfate d'ammonium- fer (II) hexahdraté ($(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) «Sel de Mohr»
5. Phénanthrène 1-10 ($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)
6. Solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) 0,25 mol.L⁻¹
 - ✓ Dans une fiole jaugée de 2000 ml contenant environ 900 ml d'eau déminéralisée (1), ajouter lentement 28 ml d'acide sulfurique (2). Ajuster au volume. Homogénéiser.
7. Solution de bichromate de potassium ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), 0,1666 mol.L⁻¹

- ✓ Dans une fiole jaugée de 1000 ml contenant environ 700 ml d'eau déminéralisée (1), dissoudre 49,00 g de bichromate de potassium (3). Ajuster au volume. Homogénéiser.
- 8. Solution de sulfate d'ammonium-fer (II) hexahydraté ((NH₄)₂Fe(SO₄)₂.6H₂O) «sel de Mohr » 0,5 mol.L⁻¹**
- ✓ Dans une fiole jaugée de 2000 ml contenant environ 1000 ml de solution d'acide sulfurique (6), dissoudre 392,160 g de sel de Mohr (4). ajuster au volume avec la solution d'acide sulfurique. Homogénéiser. Se conserve au maximum 2 semaines.
- 9. Feroine (indicateur redox)**
- ✓ Dans une fiole jaugée de 100 ml contenant environ 90 ml d'eau déminéraliser (1). dissoudre 0,974 g de «sel de Mohr » (4) et 1,485 g de phénantroline 1-10 (5). ajuster au volume. Homogénéiser.

Mode opératoire

Pesée

- Echantillonner et peser un poids P de terre broyée. Séchée et tamisée à 2 mm et verser dans une fiole conique. La détermination du poids P varie avec la teneur en matière organique de l'échantillon. Plus la terre est riche en matière organique, plus la prise d'essai sera faible.
- A la réaction de l'excès de bichromate avec le sel de Mohr, il faut que la chute de ce dernier dans la burette soit comprise entre 8 et 14 ml. Tout échantillon dont le premier dosage aurait donné une chute de burette inférieure à 8 ml ou supérieure à 14 ml de solution de sel de Mohr (8) sera recommence
- Pour la première pesée on se base sur la couleur de la terre ; une terre sombre est généralement riche en matière organique, une terre plus claire est moins riche en matière organique.
- Avec plus de 14 ml, on risque de se placer dans de mauvaises conditions de titrage. Avec moins de 8 ml on aurait consommé dans la réaction une grande partie du bichromate de potassium et une partie du carbone pourrait ne pas être entrée en réaction. pour cela il faudrait déterminer une pesée de sols P dosable dans une chute de burette limite allant de 8 à 14 ml de la solution de sel de Mohr (8) de la façon suivante ; dans les conditions optimales de précision et d'oxydation, il faut que le virage se situe à la moyenne des chutes limites, soit environ $(14+8)/2=11$ ml. Donc que l'équivalent en sel de Mohr de bichromate

de potassium qui a réagi tend vers 11. étant donné, que pour chaque échantillon la différence entre le témoin (20 ml normalement) et la chute de burette est proportionnelle à la prise d'essai on peut écrire la formule :

$$P/x_g = (20-n)/11$$

D'où l'on tire : $x_g = 11P / (20-n)$

Ou P : prise d'essai (en g),

n : quantité de sel de Mohr nécessaire pour doser P (en ml).

➤ Témoin

Traiter un (deux ou trois de préférence) échantillon témoin sans terre en même temps et dans les mêmes conditions ou mieux sur le même type de sol passé au four à 500 °C pendant une demi-heure soit T le volume trouvé = moyenne des essais.

Soit T : nombre de (ml) de la solution de sel de Mohr versés pour le témoin.

T' = 10 ml : (quantité oxydante + excès) le volume de bichromate de potassium (7)

t : concentration de la solution de sel de Mohr.

t' : concentration de la solution de bichromate de potassium.

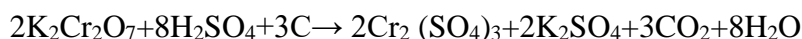
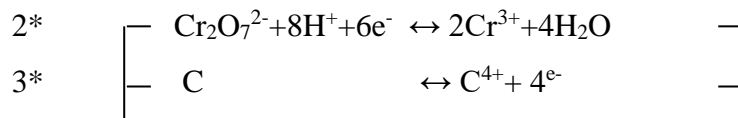
De la relation : $T * t = T' * t'$,

On déduit t : $T * t = 10 * 1$

D'où : $10/T = t$.

Calculs :

La réaction :



Fait apparaître que pour son équilibrage, il faut trois carbones pour deux bichromates de potassium. 588 g de $\text{K}_2\text{C}_5\text{r}_2\text{O}_7$ correspondant à 36 g de carbone.

La solution de bichromate de potassium (3.3.7) renferme 49 g/L de produit et correspond à $(36 * 49) / 588 = 3$ g de carbone.

- 1 ml de solution de bichromate de potassium (3.3.7) oxyde $3/1000=0,003$ ou 3 milligrammes de carbone.

Expérimentalement il a été constaté que l'oxydation du carbone par cette méthode ne se fait qu'à 77 % de sa totalité : il faut corriger le résultat par facteur $100/77=1,2987$. Ce qui nous amène à dire que :

- ❖ 1 ml de solution de bichromate de potassium (3.3.7) correspond à $(3 \text{ mg} * 1,2987)=3,8961$ ou 3,9 mg de carbone par excès.

➤ carbone en g pour 100 g de terre.

P : poids de la prise de terre en g.

T'=10 : le volume de la solution de bichromate de potassium (3.3.7) (quantité oxydante+excès).

V : ml versés de solution de sel de Mohr (3.3.8)

t : la concentration de la solution de sel de Mohr ($t=10/T$).

T : ml versés de solution de sel de Mohr (3.3.8) pour le témoin.

t'=1 : la concentration de la solution de bichromate de potassium (3.3.7).

$(3,9 * \text{ml de bichromate oxydé}) * (100/p) * (1/1000) = \text{pg carbone}/100 \text{ g de terre}$

Ou $3,9(10-Vt) \cdot (100/p) \cdot (1/1000) = \text{pg de carbone}/100 \text{ g de terre}$, en simplifiant, on obtient :

$(3,9(10-Vt))/10p = (0,39(10-Vt))/p = \text{pg C}/100 \text{ g de terre}$

Matière organique :

Comme la matière organique ne renferme que 58 % de carbone. Il faut multiplier le % de C par le facteur $100/58=1,724$ pour avoir le % de M.O.

f)- Les sulfates

L'idée de base :

L'interaction des ions avec du sulfate de baryum pour être précis dépôt de baryum permet d'économiser la solution de sulfate de commentateur Tween 80

La concentration de la solution sur la concentration en ions sulfates dans lesquels la masse volumique est également dépendante de la faible valeur de pH

A cela on ajoute la quantité de sulfate d'acide chlorhydrique pour contrôler la solubilité du sulfate de baryum

Il est prévu que l'interférence si la quantité de magnésium dans l'extrait est supérieure à 500 ppm,

Matériel utilisés :

Dispositif d'analyse de chromatographie est réglé sur la longueur d'onde de 420 nm.

Une épaisseur de cellule de 2 mm

Matériaux utilisés :

Une solution standard de concentration de sulfate de 500 ppm :

Dissoudre 0,9070 g de sulfate de potassium (K₂SO₄) avec d'eau dans un bécher standard de 1 litre, puis compléter la marque avec de l'eau.

1. Sulfate de détecteur (chlorure de baryum + Tween 80) :

Dissoudre 40,0 g de BaCl₂ de chlorure de baryum, 2H₂O dans 450 ml d'eau et laissez-le pendant 24 heures.

Ajouter la solution lentement ml de solution de Tween 80 pendant une volatilité extrême.

La solution reste valable pendant deux semaines.

2. Concentration de la solution de sulfate de 50 ppm de la concentration en acide chlorhydrique de 2,1 Mueller :

Prendre 136 ml d'acide chlorhydrique à 25% à 200 ml d'eau dans un bécher capacité standard de 500 ml et ajouter 50 ml de la concentration de la solution de sulfate de 500 ppm.

Puis compléter la marque avec de l'eau.

3. Série standard des concentrations de sulfate (0,0-10-20-30-40) ppm :

Faites glisser un standard de 50 ml en flacons volumes suivants de capacité que la concentration standard de sulfate de solution de 500 ppm .0,0 -1-2-3-4 ml

Puis compléter la marque avec de l'eau.

Mode opératoire :

- ❖ Faites glisser dans le tube à essai de 5 ml de l'échantillon et des échantillons standards et de la chaîne standard et Alblanc.
- ❖ Ajouter 1 ml de la concentration de la solution de sulfate de 50 ppm.
- ❖ Ajouter 1 ml de sulfates de réactifs et distributeur et bien agiter 10 fois.
- ❖ Désignation sur la Chromatographie d'une demi-heure après l'addition des échantillons et des lectures de la série standard et Alblanc utilisant de l'eau à la place du dispositif de pression de série zéro à zéro lue lorsque la longueur d'onde de 420 nm à une épaisseur de cellule de 20 mm, Vous devez secouer les échantillons au moins deux fois avant de mesurer directement comme il se doit dans la mesure à l'intérieur d'une heure de l'addition.
- ❖ La lecture de la concentration dans la chaîne de (40 ppm) d'environ 1,5 sur l'appareil (Il est nécessaire de suivre les étapes d'action comme décrit pour le rendre plus facile d'obtenir une suspension homogène de sulfate de baryum).

Calculs :

Établir un lien graphique entre les lectures de l'appareil série standard de sulfate sur l'axe des ordonnées et la concentration de cette série sur l'axe des abscisses.

En comparant les lectures de l'appareil d'échantillons et les concentrations de la série standard peut estimer la quantité de sulfates dans la partie de l'unité d'échantillonnage par million, et la compensation dans la loi suivante peut sulfater concentration dans le compte des échantillons.

Dans le cas de l'analyse de l'extrait (Sol / eau) 1 / 5 :

Milli équivalent / 100 g de sol

$$\begin{aligned} \text{me SO}_4 / 100 \text{ g Soil} &= \frac{(a-b) \times 5 \times M}{48.0} \\ &= (a-b) \times 0.0104 \times M \end{aligned}$$

Dans le cas des échantillons d'eau analysés :

Milli équivalent / Litre

$$\begin{aligned} \text{me SO}_4 / \text{Litre} &= \frac{a}{\text{eq. wt of SO}_4} \\ &= a \times 0.0208 \end{aligned}$$

Considérant que :

a = La concentration de sulfate dans des échantillons partie par million

b = La concentration de sulfate dans Ablanc partie par million

5= taux d'extraction

10= Facteur de conversion de ms EQ \ kg ms équivalent à \ 100 g de sol

48.0= Le poids équivalent de sulfate

M= humidité de travail

Remarques

- Barium est utilisé pour préparer la solution de chlorure de sulfates réactifs doivent être laissés pendant 24 heures pour achever le processus de décongélation.
- Parce que Ajouter (Tween 80) directement, il provoque des erreurs dans la mesure de la solution, car l'utilisateur sera asymétriquement.
- Les interactions des ions phosphate se produit si la concentration en acide chlorhydrique inférieure à 0,2 Mueller et une augmentation de fusion du sulfate de baryum produit si la concentration en acide chlorhydrique est passée de 0,5 Mueller.

Non réalisée cette expérience à des températures inférieures à 20 m et de différences de température, mais il apparaîtra dans les lectures en raison de l'hétérogénéité de la solution.



La colorimétrie

g)- Le Na⁺ et K⁺ :

Le spectrophotomètre à flamme :

Consiste à vaporiser dans une flamme de gaz butane une dilution aqueuse du plasma à analyser. Le changement de coloration de la flamme est analysé grâce à une cellule photoélectrique. L'intensité de la coloration est en rapport avec la concentration en ions Na et en ions K.

Protocol :

préparation de la gamme :

Na⁺ :

La solution mère :

5.85 de NaCl sèche a 105° pendant 2h puis on ajout 1 litre de l'eau distillé

La solution fille :

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8,9 et 10.

Ex pour 1 :

On prélève 1 ml de solution standard (mère) et on complète par l'eau distillé (même méthode avec différente doses)

K⁺ :

Solution mère à 1 g/l de Calcium :

Gamme d'étalonnage : 2, 4, 6, 8, 10 mg/l de Calcium.

Ex pour 1 :

On prélève 2 ml de solution standard (mère) et on complète par l'eau distillé (même méthode avec différente doses).

Préparation des échantillons :

On prend 1 ml de solution de l'extrait de pate saturé

On ajoute 10 ml de l'eau déminéralisée (on cas il y a des échantillons hors gamme, on a diluée la solution).

- La lecture de Na^+ / K^+ par le spectrophotomètre a flamme
 - Mettre en place une ligne graphique Pour une flamme Lire le filtrat Dispositif de flamme Après mise à zéro pour le témoin
 - Sur le tableau préalablement préparée lire les concentrations d'extrait pour les lectures correspondantes.



Le spectrophotomètre à flamme

H)- Ca^{2+} et mg :

Spectromètre d'absorption atomique

Principe :

L'absorption atomique de flamme est une méthode qui permet de doser essentiellement les métaux en solution. Cette méthode d'analyse élémentaire impose que la mesure soit faite à partir d'une analyse (élément à doser) transformé à l'état d'atomes libres. L'échantillon est porté à une température de 2000 à 3000 degrés pour que les combinaisons chimiques dans lesquelles les éléments sont engagés soient détruites. La spectrométrie d'absorption atomique est basée sur la théorie de la quantification de l'énergie de l'atome.

Celui-ci voit son énergie varier au cours d'un passage d'un de ses électrons d'une orbite électronique à une autre : $E=h\nu$ où h est la constante de Planck et ν est la fréquence du photon absorbé.

Généralement seuls les électrons externes de l'atome sont concernés. Les photons absorbés étant caractéristiques des éléments absorbants, et leur quantité étant proportionnelle au nombre d'atomes d'élément absorbant selon la loi de distribution de Boltzmann, l'absorption permet de mesurer les concentrations des éléments à doser. L'analyse par absorption atomique utilise la loi de Beer- Lambert. S'il y a plusieurs éléments à doser, on réalise cette manipulation pour chaque élément de l'échantillon en se plaçant à une longueur d'onde fixée. Il faut donc à

chaque manipulation choisir une source adaptée pour éclairer l'élément que l'on cherche à exciter.

Préparation des échantillons :

On prend 1 ml de l'extraie de la pate saturé et on ajoute 50ml d'eau distillé

La lecture par l'appareil.

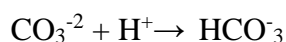


Spectromètre d'absorption atomique

i)- Dosage des carbonates et bicarbonates :

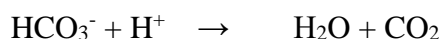
Principe :

Lorsque le pH de la pate saturée est supérieur à 8,4. En est en présence probable d'ions carbonates. En dosant l'échantillon avec une solution acide Jusqu'à ph=8,4 en convient l'ion carbonate en bicarbonate :



La quantité d'acide nécessaire au dosage (sachant que CO_3^{-2} se comporte comme une dibase faible) correspond à la quantité de carbonates totaux présents au départ.

Si on poursuit le dosage. HCO_3^- réagit à son tour avec l'acide pour Conner :



Les carbonates et les bicarbonates sont dosés sur la même aliquote ainsi à partir de la solution dans laquelle on a dosé les carbonates et qui se trouve à ph= 8,4 on neutralise par une solution acide jusqu'à ph=4.0 contrôlé au ph mère. Ou tous les bicarbonates sont neutralisés.

Dans les extraits de saturation des sols sals.les quantité de carbonates et de bicarbonates présents ne nécessitent pas en général une dilution. On procède donc sur une aliquote sans dilution.

Matériel :

- Pipettes de 10 ml...1 par échantillon ;
- Fioles coniques de 100 ml, 1 par échantillon ;
- Burette de 25 ou 50 ml, graduée à 0,05 ml ;
- Flacons compte-gouttes de 100 ml ;
- Agitateur magnétique en barreaux aimés ;
- Fiole jaugée de 1000 ml ;
- Fioles jaugées de 100 ml ;
- Balance de précision à 0,001 g ;
- PH-MÈTRE + électrode.

Réactifs :

1. Eau déminéralisée ayant une conductivité inférieure à $0,1 \text{ ds.m}^{-1}$
2. Solution d'acide sulfurique (H_2SO_4) $0,005 \text{ mol.l}^{-1}$

Dans une fiole jaugée de 1000 ml contenant environ 500 ml d'eau déminéralisée (1). Ajouter lentement 0,281 ml d'acide sulfurique (95 %, $D=1,84$). ajuster au volume homogène.

3. Éthanol 95-96 % ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$)
4. Phénolphtaléine 1%

Dissoudre 1g de Phénolphtaléine dans 100 ml d'éthanol (3). Transférer dans un flacon compte-gouttes.

5. méthyle orange à 0,01 %

Dissoudre 0,01 g de phéthyle orange dans 100 ml d'eau déminéralisée.

Mode opératoire :

Transférer une aliquote (généralement $V=10 \text{ ml}$) de l'extrait de pâte saturée dans une fiole conique de 100 ml selon la conductivité de la CE. Par Wels et al, (1992) préconisent différentes valeurs de V :

CE : $0,1 < \dots < 1 < \dots < 5 < \dots < 10 < \dots < 15 < \dots$ (ms.cm^{-1})

V : 20 10 5 2 1 (ml)

Si $V < 5 \text{ ml}$ compléter avec 5 ml d'eau déminéralisée (1) exempte de CO_2 .

- Ajouter 3 gouttes de phénolphtaléine (4).
- Placer sur agitateur magnétique.
- Si l'extrait reste incolore, il y a absence de carbonate.

- Si la couleur rose apparaît, cela indique la présence de carbonate de ph est alors supérieur à 8,3.
- Doser avec la solution d'acide sulfurique (2) jusqu'à ce que la couleur rose disparaisse.
- On peut vérifier également que le pH est bien descendu à 8,3 : il peut s'avérer nécessaire d'ajouter davantage d'acide et d'agiter à nouveau.
- Noter le volume V_1 d'acide utilisé.
- Ne pas remettre la burette à zéro
- Ajouter 6 gouttes de méthyle orange (5).
- Doser avec la solution d'acide sulfurique (2) jusqu'à ce que la couleur jaune orangé commence à virer au rouge. Ne pas titrer jusqu'à virage complet jaune orangé/rouge.
- On peut vérifier également que le pH est bien descendu à 4,5 : il peut s'avérer nécessaire d'ajouter davantage d'acide et d'agiter de nouveau.
- Noter le volume V_2 d'acide utilisé.

Calculs :

Etant donné que le carbonate est seulement transformé en bicarbonate, il n'est effectivement neutralisé qu'à moitié et la neutralisation totale nécessiterait $2 V_1$ ml de l'acide utilisé.

➤ $Ph > 8,3$: teneur en carbonates :

$$\text{Carbonates mé.L}^{-1} = \frac{2V_1 * 2N * 1000}{A} = 2V_1 \text{ ou mmol}^+.\text{L}^{-1}$$

➤ $PH <$ teneur en bicarbonates :

$$\text{Bicarbonates mé.L}^{-1} = \frac{V_2 - 2V_1}{A} * 2N * 1000 = V_2 - 2V_1 \text{ ou mmol}^+.\text{L}^{-1}$$

$Ph < 8,3$: teneur en bicarbonates :

$$\text{Bicarbonates mé.L}^{-1} = \frac{V_2 * 2N * 1000}{A} = V_2 \text{ ou mmol}^+.\text{L}^{-1}$$

Ou : V_1 : solution d'acide sulfurique (2.3.2) utilisée pour le dosage des carbonates (premier point équivalent) (ml.).

V_2 : solution d'acide sulfurique (2.3.2) utilisée pour le dosage des bicarbonates (second point équivalent) (ml)

2N : concentration de l'acide sulfurique, (dans ce cas , $0,005 * 2 = 0,01$),

A : aliquote en mL (10 mL).

Si on veut exprimer les résultats par rapport au poids de sol sec, par exemple pour 100 g, les calculs deviennent :

$$\text{Carbonates mé.100 g}^{-1} \text{ sol sec} = \frac{(2V_2 - 2V_1)}{A * PE} = \frac{2V_1 * V * 0,1}{PE}$$

$$\text{Bicarbonates mé.100 g}^{-1} \text{ sol sec} = \frac{(2V_2 - 2V_1) * 2N * V * 100}{A * PE} = \frac{(V_2 - 2V_1) * V * 0,1}{PE}$$

Ou V : quantité d'eau au point de saturation en ml

PE : poids de la prise de terre en g

Note : Les résultats peuvent être exprimés en cmol sachant numériquement que $1 \text{ mé.100g}^{-1} = 1 \text{ cmol.kg}^{-1}$ ou $1 \text{ mé} = 10 \text{ cmol}$

g)-dosage des chlorures :

Matériel :

- Fioles jaugées 100 et 1000 ml.
- Fioles coniques de 100 ml, 1 par échantillon ;
- Pipettes de 100 ml ; 1 par échantillon ;
- Compte-gouttes ;
- Balance de précision à 0,1 g.

Mode opératoire :

• Transvaser 10 ml de l'extrait dilué (à 10 ou 100 fois selon la concentration estimée) dans une fiole conique de 100 ml.

- Ajouter 10 gouttes de solution de bichromate de potassium (3).

- Doser avec la solution de nitrate d'argent (3), en agitant continuellement la solution jusqu'à ce qu'une couleur rouge orange se développe.
- Noter le volume V de nitrate d'argent utilisé.

k)-Dosage du calcaire total :

Mode opératoire :

Etalonnage de l'appareil :

Essai témoin :

- Introduire 0.3g de CaCO_3 pur et sec au fond de l'erenmeyer et mouiller par quelques gouttes d'eau distillée pour faciliter le contact avec l'acide.
- Mettre 5 ml d'HCl (6N) dans le petit tube à essai et l'introduire dans l'erenmeyer.
- Boucher hermétiquement. L'erenmeyer en le raccordant à la colonne
- Ajuster la position de l'ampoule mobile jusqu'à ce que le niveau du liquide coloré soit au niveau zéro dans la colonne graduée.
- En inclinant l'erenmeyer répandre tout doucement l'acide sur le calcaire tout en agitant délicatement afin de favoriser la réaction le gaz carbonique qui se dégage comprime le liquide dans la colonne.
- Abaisser l'ampoule mobile pour suivre la dénivellation dans la colonne.
- la réaction est terminée quand cesse l'effervescence ; ajuster alors les niveaux du liquide dans l'ampoule et dans la colonne.
- Noter le volume V (en ml) de CO_2 dégagé.

l)-dosage du calcaire actif :

Mode opératoire :

- Extraction : placer 2,5 g de sol sèche à l'air et tamisé à 2 mm dans une bouteille d'agitation de 500 ml, ajouter 250 ml de d'oxalate d'ammonium $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (0,2N). Agiter pendant 2 heures à l'agitateur mécanique.
- Dosage de la solution échantillon :

Après agitation, filtrer la solution sur papier filtre moyennement rapide, éliminer les premiers ml de filtrat,

 - Prélever 20 ml de liquide clair et les verser dans un Becher de 100 ml, ajouter 20 ml d'eau distillée et 20 ml d' H_2SO_4 concentré à l'aide de poire pour pipette.

- Chauffer sur plaque chauffante à 60-70 °C.
 - Titrer immédiatement à chaud avec une solution de (0,02N), l'apparition d'une couleur rose persistante indique la fin de la titration.
 - Noter le volume n de KMnO_4 versé.
- c. Dosage de la solution d'oxalate d'ammonium : essai témoin.
- Prendre 20 ml de solution d'oxalate d'ammonium et les verser dans un bécher de 100 ml, procéder alors comme précédemment (chapitre 2.2-b)
 - Noter le volume N de KMnO_4 versé

Remarque :

Pour les sols très humifères, la solution d'oxalate d'ammonium solubilise une fraction de la matière organique et le dosage devient alors impossible du fait de la coloration brune de la solution. Pour remédier à cet. Inconvénient la matière organique est absorbée par des précipités gélatineux d'alumine (méthode DROUINE GALET modifiée par GEHU-FRANCK).

Les tableaux :

Matière organique :

| Sol \ Stade | 4-5 feuilles | floraison |
|---------------------------|---------------------|------------------|
| T | 2,62 | 3,87 |
| 100 | 3,01 | 5,19 |
| 200 | 3,05 | 5,26 |
| 300 | 3,28 | 5,66 |

Tab 11 : la matière organique en fonctions de concentrations

Calcaire total :

| Sol \ Stade | | 4-5 feuilles | floraison |
|---------------------------|------------|---------------------|------------------|
| | T | 14,86 | 15,01 |
| | 100 | 14,86 | 15,06 |
| | 200 | 14,91 | 15,22 |
| | 300 | 15,11 | 15,32 |

Tab12: le calcaire total en fonction de concentration

Calcaire actif :

| Sol \ Stade | | 4-5 feuilles | floraison |
|---------------------------|------------|---------------------|------------------|
| | T | 20 | 18,17 |
| | 100 | 19 | 16,5 |
| | 200 | 13,67 | 16 |
| | 300 | 11,5 | 15,5 |

Tab 13: le calcaire actif en fonction de concentration

pH :

| Sol \ Stade | | 4-5 feuilles | floraison |
|---------------------------|------------|---------------------|------------------|
| | T | 7,43 | 7,27 |
| | 100 | 7,38 | 7,14 |
| | 200 | 7,39 | 7,43 |
| | 300 | 7,34 | 7,13 |

Tab 14: le pH en fonctions de la concentration

Conductivité électrique :

| Sol \ stade | | 4-5 feuilles | floraison |
|---------------------------|----------|---------------------|------------------|
| | T | 6,87 | 8,91 |

| | | |
|------------|-------|-------|
| 100 | 9,99 | 10,47 |
| 200 | 12,18 | 12,44 |
| 300 | 13,31 | 14,09 |

Tab 15: CEeps en fonctions de la concentration

Bilan cationique :

| | 4-5 feuilles | | | | floraison | |
|-------------|---------------------|-----------|-------------|-------------|------------------|-----------|
| | Na+ | K+ | Ca2+ | Mg2+ | Na+ | K+ |
| Soli | 76,51 | 11,5 | 60,35 | 99,59 | 76,51 | 1,5 |
| T | 63,22 | 11,1 | 21,41 | 11,55 | 85,45 | 1,23 |
| 100 | 97,22 | 0,98 | 30,96 | 14,6 | 82,77 | 1,08 |
| 200 | 106,13 | 11,2 | 36,9 | 23,12 | 71,88 | 1,06 |
| 300 | 109,46 | 00,98 | 55,74 | 26,98 | 119,87 | 0,85 |

Tab 16: le bilan cationique en fonctions de la concentration

Bilan anionique :

| | 4-5 feuilles | | | floraison | | |
|-------------|----------------------|--------------------|-----------------|----------------------|--|-----------------|
| | So4 meq/100gr | HCO3- méq/l | CL méq/l | So4 meq/100gr | HCO₃⁻ méq/l | CL méq/l |
| Soli | 0,142 | 2,1 | 134 | 0,142 | 2,1 | 134 |
| T | 0,13 | 1,93 | 83 | 0,14 | 1,6 | 97 |
| 100 | 0,16 | 2,1 | 122,33 | 0,16 | 1,63 | 127 |
| 200 | 0,18 | 2,07 | 133,67 | 0,19 | 1,5 | 163,67 |
| 300 | 0,22 | 1,83 | 159 | 0,23 | 1,5 | 173,33 |

Tab 17: le bilan anionique en fonctions de la concentration

SAR :

| Sol \ stade | 4-5 feuilles | floraison |
|---------------------------|---------------------|------------------|
| T | 19,99 | 21,87 |
| 100 | 27,61 | 23,65 |
| 200 | 18,04 | 20,15 |
| 300 | 25,98 | 27,08 |

Tab 18: SAR en fonctions de la concentration

Longueur de la tige :

| Plante \ Stade | 4-5 feuilles | floraison |
|------------------------------|---------------------|------------------|
| T | 5,03 | 4,18 |
| 100 | 4,18 | 3,73 |
| 200 | 3,6 | 3,4 |
| 300 | 3,33 | 3,13 |

Tab19 : La longueur des tiges fonction de

concentrations

Longueur des racines :

| Plante \ Stade | 4-5 feuilles | floraison |
|------------------------------|---------------------|------------------|
| T | 11,23 | 11,09 |
| 100 | 10,28 | 10,15 |
| 200 | 9,08 | 8,63 |
| 300 | 6,98 | 4,63 |

Tab20 : La longueur des racines fonction de concentrations

Le taux de la matière sèche :

| Plante \ stade | 4-5 feuilles | Floraison |
|------------------------------|---------------------|------------------|
| T | 13,65 | 15,58 |
| 100 | 16,3 | 17,81 |
| 200 | 21,1 | 29,45 |
| 300 | 36,5 | 47,12 |

Tab 21 : le taux de la matière sèche en fonction de concentrations

La teneur en eau relative :

| Plante \ stade | 4-5 feuilles | Floraison |
|------------------------------|---------------------|------------------|
| T | 59,18 | 57,98 |
| 100 | 54,97 | 53,08 |
| 200 | 47,79 | 45,33 |
| 300 | 38,42 | 19,23 |

Tab22 : la teneur en eau relative en fonction de concentrations

La surface foliaire :

| Plante \ stade | 4-5 feuilles | floraison |
|------------------------------|---------------------|------------------|
| T | 53,63 | 52,02 |
| 100 | 40,75 | 39,66 |
| 200 | 34,73 | 33,06 |
| 300 | 26,37 | 17,24 |

Tab 23: la surface foliaire en fonction des concentrations

Matière organique :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-----------------|-------|---------|-----|-------|--------|---------|-------|--------|----|
| Salinité | 0,507 | 6,22% | 3 | 0,169 | 0,378 | 0,77269 | | | NS |
| Stade | 0,229 | 3% | 1 | 0,229 | 0,513 | 0,4903 | | | NS |
| interaction | 0,265 | 3% | 3 | 0,088 | 0,197 | 0,89671 | | | NS |
| Var. résiduelle | | | | | | | | | |
| 1 | 7,153 | 88% | 16 | 0,447 | | | 0,669 | 24,39% | |
| Var. totale | 8,154 | 100,00% | 23 | 0,355 | | | | | |

Calcaire total :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|-------|---------|-----|-------|--------|---------|-------|-------|----|
| Salinité | 0,101 | 7,30% | 3 | 0,034 | 0,568 | 0,64709 | | | NS |
| Stade | 0,249 | 18% | 1 | 0,249 | 4,197 | 0,05489 | | | MS |
| interaction | 0,085 | 6% | 3 | 0,028 | 0,481 | 0,70335 | | | NS |
| Var. résiduelle 1 | 0,948 | 69% | 16 | 0,059 | | | 0,243 | 1,62% | |
| Var. totale | 1,383 | 100,00% | 23 | 0,06 | | | | | |

Calcaire actif :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|---------|---------|-----|--------|--------|---------|-------|--------|----|
| Salinité | 29,865 | 7,07% | 3 | 9,955 | 0,411 | 0,74976 | | | NS |
| Stade | 0,01 | 0% | 1 | 0,01 | 0 | 0,98134 | | | NS |
| interaction | 5,615 | 1% | 3 | 1,872 | 0,077 | 0,97048 | | | NS |
| Var. résiduelle 1 | 387,167 | 92% | 16 | 24,198 | | | 4,919 | 29,93% | |
| Var. totale | 422,656 | 100,00% | 23 | 18,376 | | | | | |

pH :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|-------|---------|-----|-------|--------|---------|-------|-------|----|
| Salinité | 0,171 | 31,15% | 3 | 0,057 | 3,278 | 0,04791 | | | S |
| Stade | 0,027 | 5% | 1 | 0,027 | 1,532 | 0,23222 | | | NS |
| interaction | 0,072 | 13% | 3 | 0,024 | 1,376 | 0,28588 | | | NS |
| Var. résiduelle 1 | 0,279 | 51% | 16 | 0,017 | | | 0,132 | 1,81% | |
| Var. totale | 0,548 | 100,00% | 23 | 0,024 | | | | | |

Conductivité électrique :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|---------|---------|-----|--------|---------|---------|-------|-------|----|
| Salinité | 142,214 | 78,82% | 3 | 47,405 | 124,518 | 0 | | | HS |
| Stade | 23,523 | 13% | 1 | 23,523 | 61,787 | 0 | | | HS |
| interaction | 8,604 | 5% | 3 | 2,868 | 7,533 | 0,00239 | | | TS |
| Var. résiduelle 1 | 6,091 | 3% | 16 | 0,381 | | | 0,617 | 5,88% | |
| Var. totale | 180,431 | 100,00% | 23 | 7,845 | | | | | |

SAR :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|---------|---------|-----|---------|--------|---------|------|--------|----|
| Salinité | 14,172 | 1,43% | 3 | 4,724 | 0,195 | 0,89807 | | | NS |
| Stade | 14,801 | 1% | 1 | 14,801 | 0,612 | 0,45108 | | | NS |
| interaction | 576,103 | 58% | 3 | 192,034 | 7,934 | 0,0019 | | | TS |
| Var. résiduelle 1 | 387,245 | 39% | 16 | 24,203 | | | 4,92 | 19,28% | |

| | | | | | | | | | |
|-------------|---------|---------|----|--------|--|--|--|--|--|
| Var. totale | 992,321 | 100,00% | 23 | 43,144 | | | | | |
|-------------|---------|---------|----|--------|--|--|--|--|--|

Bilan cationique :

Na⁺ :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|----------|---------|-----|----------|--------|---------|--------|--------|----|
| Salinité | 5097,413 | 43,96% | 3 | 1699,138 | 7,852 | 0,00199 | | | TS |
| Stade | 93,388 | 1% | 1 | 93,388 | 0,432 | 0,52708 | | | NS |
| interaction | 2943,516 | 25% | 3 | 981,172 | 4,534 | 0,01747 | | | S |
| Var. résiduelle 1 | 3462,457 | 30% | 16 | 216,404 | | | 14,711 | 16,00% | |
| Var. totale | 11596,77 | 100,00% | 23 | 504,208 | | | | | |

K⁺ :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|-------|---------|-----|-------|--------|---------|-------|--------|----|
| Salinité | 0,399 | 15,10% | 3 | 0,133 | 0,981 | 0,42801 | | | NS |
| Stade | 0,02 | 1% | 1 | 0,02 | 0,146 | 0,70796 | | | NS |
| interaction | 0,054 | 2% | 3 | 0,018 | 0,132 | 0,93874 | | | NS |
| Var. résiduelle 1 | 2,17 | 82% | 16 | 0,136 | | | 0,368 | 33,99% | |
| Var. totale | 2,643 | 100,00% | 23 | 0,115 | | | | | |

Ca²⁺ :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|----------|---------|-----|---------|--------|---------|-------|--------|----|
| Salinité | 2402,574 | 60,63% | 3 | 800,858 | 11,815 | 0,00028 | | | TS |
| Stade | 268,23 | 7% | 1 | 268,23 | 3,957 | 0,06146 | | | MS |
| interaction | 207,227 | 5% | 3 | 69,076 | 1,019 | 0,41148 | | | NS |
| Var. résiduelle 1 | 1084,497 | 27% | 16 | 67,781 | | | 8,233 | 23,12% | |
| Var. totale | 3962,529 | 100,00% | 23 | 172,284 | | | | | |

Mg²⁺ :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|----------|---------|-----|---------|--------|---------|--------|--------|----|
| Salinité | 429,496 | 5,53% | 3 | 143,165 | 0,404 | 0,75451 | | | NS |
| Stade | 297,742 | 4% | 1 | 297,742 | 0,841 | 0,37592 | | | NS |
| interaction | 1372,515 | 18% | 3 | 457,505 | 1,292 | 0,3112 | | | NS |
| Var. résiduelle 1 | 5664,322 | 73% | 16 | 354,02 | | | 18,815 | 84,91% | |
| Var. totale | 7764,074 | 100,00% | 23 | 337,569 | | | | | |

Bilan anionique :

Cl⁻ :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|---------------|----------|---------|-----|----------|--------|--------|------|------|----|
| VAR.FACTEUR 1 | 12856,12 | 55,23% | 3 | 4285,375 | 10,509 | 0,0005 | | | TS |

| | | | | | | | | | |
|------------------|----------|---------|----|----------|-------|---------|--------|--------|----|
| VAR.FACTEUR 2 | 2301,041 | 10% | 1 | 2301,041 | 5,643 | 0,02905 | | | S |
| VAR.INTER F1*2 | 1594,126 | 7% | 3 | 531,375 | 1,303 | 0,30782 | | | NS |
| VAR.RESIDUELLE 1 | 6524,666 | 28% | 16 | 407,792 | | | 20,194 | 15,48% | |
| VAR.TOTALE | 23275,96 | 100,00% | 23 | 1011,998 | | | | | |

So4 :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|-------|---------|-----|-------|--------|---------|------|-------|----|
| Salinité | 0,022 | 84,62% | 3 | 0,007 | 77,881 | 0 | | | HS |
| Stade | 0,002 | 8% | 1 | 0,002 | 20,368 | 0,0004 | | | TS |
| interaction | 0 | 0% | 3 | 0 | 0,298 | 0,82757 | | | NS |
| Var. résiduelle 1 | 0,002 | 8% | 16 | 0 | | | 0,01 | 5,72% | |
| Var. totale | 0,026 | 100,00% | 23 | 0,001 | | | | | |

HCO₃⁻ :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|-------|---------|-----|-------|--------|---------|------|--------|----|
| Salinité | 0,315 | 9,37% | 3 | 0,105 | 0,624 | 0,61262 | | | NS |
| Stade | 0,304 | 9% | 1 | 0,304 | 1,809 | 0,19492 | | | PS |
| interaction | 0,055 | 2% | 3 | 0,018 | 0,108 | 0,95307 | | | NS |
| Var. résiduelle 1 | 2,687 | 80% | 16 | 0,168 | | | 0,41 | 24,90% | |
| Var. totale | 3,36 | 100,00% | 23 | 0,146 | | | | | |

Longueur de la tige :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|--------|---------|-----|-------|--------|---------|-------|--------|----|
| Salinité | 5,555 | 13,53% | 3 | 1,852 | 0,892 | 0,46841 | | | NS |
| Stade | 1,55 | 4% | 1 | 1,55 | 0,747 | 0,40436 | | | NS |
| interaction | 0,755 | 2% | 3 | 0,252 | 0,121 | 0,94541 | | | NS |
| Var. résiduelle 1 | 33,207 | 81% | 16 | 2,075 | | | 1,441 | 38,80% | |
| Var. totale | 41,066 | 100,00% | 23 | 1,785 | | | | | |

Longueur des racines :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|---------|---------|-----|--------|--------|---------|-------|--------|----|
| Salinité | 131,765 | 36,81% | 3 | 43,922 | 3,496 | 0,03987 | | | PS |
| Stade | 20,597 | 6% | 1 | 20,597 | 1,639 | 0,21674 | | | NS |
| interaction | 4,571 | 1% | 3 | 1,524 | 0,121 | 0,94537 | | | NS |
| Var. résiduelle 1 | 201,038 | 56% | 16 | 12,565 | | | 3,545 | 36,19% | |
| Var. totale | 357,971 | 100,00% | 23 | 15,564 | | | | | |

Le taux de la matière sèche :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | |
|------------------|----------|---------|-----|---------|--------|---------|--------|--------|----|
| VAR.FACTEUR 1 | 2019,197 | 53,92% | 3 | 673,066 | 3,714 | 0,06113 | | | PS |
| VAR.FACTEUR 2 | 226,992 | 6% | 1 | 226,992 | 1,252 | 0,29612 | | | NS |
| VAR.INTER F1*2 | 48,454 | 1% | 3 | 16,151 | 0,089 | 0,96328 | | | NS |
| VAR.RESIDUELLE 1 | 1449,95 | 39% | 8 | 181,244 | | | 13,463 | 56,75% | |
| VAR.TOTALE | 3744,594 | 100,00% | 15 | 249,64 | | | | | |

La teneur en eau relative :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|----------|---------|-----|---------|--------|---------|-------|--------|----|
| Salinité | 1950,91 | 62,96% | 3 | 650,303 | 9,528 | 0,00546 | | | TS |
| Stade | 326,942 | 11% | 1 | 326,942 | 4,79 | 0,05831 | | | MS |
| interaction | 274,642 | 9% | 3 | 91,547 | 1,341 | 0,32803 | | | NS |
| Var. résiduelle 1 | 546,031 | 18% | 8 | 68,254 | | | 8,262 | 17,06% | |
| Var. totale | 3098,524 | 100,00% | 15 | 206,568 | | | | | |

La surface foliaire :

| | S.C.E | S.C.E % | DDL | C.M. | TEST F | PROBA | E.T. | C.V. | F |
|-------------------|----------|---------|-----|----------|--------|---------|-------|--------|----|
| Salinité | 3671,442 | 75,07% | 3 | 1223,814 | 51,3 | 0 | | | HS |
| Stade | 742,006 | 15% | 1 | 742,006 | 31,104 | 0,00005 | | | HS |
| interaction | 95,749 | 2% | 3 | 31,916 | 1,338 | 0,29709 | | | NS |
| Var. résiduelle 1 | 381,693 | 8% | 16 | 23,856 | | | 4,884 | 11,90% | |
| Var. totale | 4890,89 | 100,00% | 23 | 212,647 | | | | | |



DEPARTEMENT D'AGRONOMIE

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES

Présenté par

M^{elle} BOUKORTT Yamna

Pour l'obtention du diplôme de

MASTER ENAGRONOMIE

Spécialité : *G*estion *D*urable de l'*E*nvironnement

THÈME

Effets de la salinité sur les caractéristiques physico-chimiques d'un sol du périmètre du Bas Cheliff et sur le comportement écophysiological de la courgette (*Cucurbitapepo*)

Soutenu publiquement le 14 Novembre 2016

DEVANT LE JURY

| | | | |
|-----------|---------------------|-----|--------------------------|
| Président | Larid Mohamed | Pr | Université de Mostaganem |
| Encadreur | Benkhelifa Mohammed | Pr | Université de Mostaganem |
| Examineur | Nemiche Saïd | MCA | Université de Mostaganem |
| Invité | Gorine Mohamed | CR | INRAA El Hmadena |

