

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Mohamed Khider – Biskra
Faculté des Sciences et de la technologie
Département : Génie civil et hydraulique
Ref :



جامعة محمد خيضر بسكرة
كلية العلوم و التكنولوجيا
قسم : الهندسة المدنية والري
المرجع :

Thèse présentée en vue de l'obtention
Du diplôme de
Doctorat en sciences
Spécialité : Hydraulique

**Problèmes de la salinité liés à l'irrigation dans
la région Saharienne : Cas des Oasis des Ziban**

Présentée par :
Masmoudi Ali

Soutenue publiquement le 26/09/2012

Devant le jury composé de :

Dr. Débabeche Mahmoud	Professeur	Président	Université de Biskra
Dr. Halilat Mohamed Tahar	Professeur	Rapporteur	Université de Ghardaïa
Dr. Ben Khaled Abdelkader	Maitre de Conférences 'A'	Examineur	Université de Biskra
Dr. Cheloufi Hamid	Maitre de Conférences 'A'	Examineur	Université de Ouargla

Résumé

La gestion mal adaptée de l'irrigation avec les eaux salées peut dans beaucoup de situations provoquer la salinisation des sols et la chute des rendements des cultures surtout dans les régions arides. Les principales techniques d'irrigation non maîtrisées : gravitaire, aspersion et goutte à goutte peuvent entraîner l'accumulation progressive des sels dans les sols irrigués avec les eaux salées selon les résultats de notre étude.

D'autre part l'utilisation des eaux salées en agriculture devient de plus en plus une nécessité absolue face au manque ou à la rareté des ressources en eau douce. Dans ces conditions l'utilisation rationnelle de l'eau salée s'impose pour bien valoriser l'eau, atténuer l'effet de la salinité et mieux favoriser le développement des cultures.

Nos résultats expérimentaux sur le régime hydrique et la fertilisation en conditions salines montre des résultats favorables et encourageants. La fréquence élevée d'irrigation a un effet très important et positif sur la concentration des sels et les conditions d'absorption des racines des plantes même avec l'eau la plus salée. Par contre la faible fréquence donne des mauvais résultats surtout avec les salinités élevées des eaux d'irrigation.

La fertilisation a un effet aussi très important sur le milieu nutritionnel et l'équilibre ionique. L'apport du phosphore a contribué à l'amélioration des aptitudes de la culture en milieu salé. La dose élevée du phosphore a donné les bons résultats de croissance, rendement en grains, rendement en paille et le poids de 1000 grains. Les teneurs des grains en phosphore les plus élevées sont enregistrées dans les traitements les plus salés, ainsi que les traitements ayant reçus la dose élevée du phosphore présentent des teneurs en sodium des grains plus faibles que ceux ayant reçus la dose faible ce qui montre l'importance du phosphore dans ces conditions.

Mots clés : irrigation, salinité, submersion, aspersion, goutte à goutte, fréquence, fertilisation

Abstract

Inappropriate management of irrigation with saline water in many situations can cause soil salinization and declining crop yields especially in arid regions. The main uncontrolled irrigation techniques: gravity, sprinkler and drip can promote the progressive accumulation of salts in soils irrigated with saline water according to the results of our study. On the other hand the use of saline water in agriculture is becoming more and more an absolute necessity in front of the lack or scarcity of fresh water resources. Under these conditions the rational use of saline water is essential to enhance the value of water, reduce the effect of salinity and better promote the development of cultures.

Our experiments on water regime and fertilization in saline conditions showed favorable and encouraging results. The high frequency irrigation has a very important and positive effect on the concentration of salts and the conditions for absorption of plant roots even with the most salted water. On the contrary the low frequency gives poor results especially with the high salinities of irrigation water.

Fertilization has an effect also very important in the nutrient medium and ionic balance. The phosphorus contributed to the improvement of the aptitudes of the culture in salted medium. The high amount of phosphorus gave the goods results of growth, grain yield, straw yield and 1000 grains weight. The highest phosphorus contents of the grains are recorded in the most salted treatments as well as the treatments that received the high amount of phosphorus have sodium contents of grains smaller than those who received the low amount which shows the importance of phosphorus in these conditions.

Key words: irrigation, salinity, flood, sprinkler, drip, frequency, fertilization

ملخص

التسيير الغير ملائم للسقي بالمياه المالحة قد يؤدي في كثير من الحالات إلى تملح التربة و تدهور المحصول خاصة في المناطق الجافة. الطرق الأساسية للسقي الغير المتحكم فيها جيدا: السقي السطحي، الرش و التنقيط قد تؤدي إلى تراكم تدريجي للأملح في الترب المسقية بالمياه المالحة حسب نتائج دراستنا.

من جهة أخرى فإن استعمال المياه المالحة في الزراعة أصبح أكثر فأكثر حاجة ملحة في مواجهة إنعدام أو ندرة مصادر المياه العذبة. تحت هذه الظروف فإن الإستعمال العقلاني للماء المالح يفرض نفسه و ذلك من أجل تثمين هذا الماء، تخفيف أثر الملوحة و تحسين نمو المزروعات. نتائجنا التجريبية على النمط المائي و التخصيب في الظروف الملحية أظهرت نتائج حسنة و مشجعة. تردد السقي الكبير له أثر مهم جدا و إيجابي على تركيز الأملاح و ظروف إمتصاص الجذور حتى في حالة الماء الأكثر ملوحة. بالمقابل التردد الضعيف للسقي يعطي نتائج سيئة خاصة مع المياه عالية الملوحة.

التخصيب أيضا له فعل مهم جدا على الوسط المغذي و التوازن الأيوني. الفسفور ساهم في تحسين قدرات النبات في الوسط الملحي. المقدار العالي من الفسفور أعطى النتائج الحسنة لنمو النبات، محصول الحبوب، محصول التبغ ووزن 1000 حبة. تركيزات الحبوب من الفسفور العالية سجلت في المعاملات الأكثر ملوحة كذلك فإن المعاملات التي تلقت المقدار الأعلى من الفسفور أظهرت تركيز ضعيف للصدويوم في الحبوب مقارنة مع المعاملات التي تلقت المقدار الضعيف من الفسفور مما يبين أهمية الفسفور في هذه الظروف.

الكلمات المفتاحية: السقي، الملوحة، الغمر، الرش، التقطير، التردد، التخصيب

Introduction générale

Dans nos conditions de climat marqué par l'aridité, l'agriculture algérienne reste incapable de satisfaire les besoins de la population croissante en produits alimentaires.

Confronté à cette insuffisance alimentaire, l'Algérie a lancé un grand mouvement de colonisation des terres sahariennes pour développer une agriculture irriguée rénovée au Sahara. L'irrigation joue un rôle stratégique dans le développement de l'agriculture. Les sols irrigués représentent 17% des terres cultivées mais produisent 40% des aliments dans le monde (FAO, 2002) et leurs superficies augmentent d'environ 2 millions d'hectares par an (BOIVIN, 1999).

Si l'irrigation contribue à l'augmentation et la stabilité de la production agricole, son extension est accompagnée de sérieuses menaces sur la préservation de l'environnement et surtout la qualité des sols. Dans les régions arides en particulier, le passage à l'irrigation peut présenter un risque de salinisation des sols dont les manifestations ont pu être identifiées dans de nombreuses situations irriguées dans le monde. Les conséquences de cette salinisation est la baisse de la fertilité voire la perte de nombreux sols de l'agriculture dans ces régions. Sur les 280 millions d'hectares irrigués dans le monde, on estime que 50% sont menacés à long terme (CHEVERRY, 1995 ; MERMOUD, 2006), 10 à 15 % des terres irriguées souffrent à des degrés divers de problèmes de salinisation (MERMOUD, 2006), 25% sont touchées par la salinisation dans les régions arides et semi arides (FAO, 2002). Le PNUE estime que le taux de perte des terres irriguées en raison de l'engorgement et la salinité des sols est de 1,5 millions d'hectares par an soit pratiquement autant que l'accroissement annuel des superficies irriguées estimées à 2 millions d'hectares (BOIVIN, 1999). Cependant, les estimations de l'institut des ressources mondiales indiquent que plus de la moitié des terres irriguées du monde sont devenues salées, sodiques ou sujettes à l'engorgement en raison de l'utilisation de méthodes d'irrigation inadaptées, de mauvais systèmes de drainage et de l'utilisation des eaux salées (SNOUSSI et HALITIM, 1998 ; HAMDY, 2001a).

En Algérie la superficie totale irriguée est 939507 hectares (ANONYME, 2011), cette superficie irriguée produit globalement 40% de la production nationale (CNAID, 1992). L'intensité de la salinisation et en rapport avec la qualité des eaux utilisées (DJILI et al 2003). Le climat du Sahara est caractérisé par la faiblesse des précipitations cependant le Sahara recèle de grande potentialité spécifique en eau constituée surtout par les deux grandes nappes, le complexe terminal (CT) et le continental intercalaire (CI). Malheureusement les eaux salées dans la région saharienne d'Algérie constituent la majorité des eaux d'irrigation disponibles ; leur effet sur le sol et les végétaux est d'autant plus nocif que leur utilisation est mal étudiée.

La salinité du sol et de l'eau constitue un problème majeur dans beaucoup de pays du monde (SZABOLOCS, 1979). La majorité des eaux d'irrigation dans la région saharienne en Algérie prennent leur origine des eaux souterraines. Les eaux des nappes phréatiques sont toujours très salées avec plus de 4 à 5 g/l de résidus sec et bien souvent trois fois plus (DUBOST et MOGDATT, 2002), (MASMOUDI, 2003). La minéralisation des deux grandes nappes : CT et CI varié de 2 à 8 g/l (DAOUD et HALITIM, 1994). La salinité des eaux d'irrigation varie d'un puit à l'autre. Elle est également susceptible de changer au cours du temps, elle augmente avec le temps de pompage.

Selon DUBOST (1994), au Sahara les eaux contenant moins de 0.5g de sels peuvent être considérées comme exceptionnelles et celles de moins de 1g parfaites pour la consommation humaines. Jusqu'à 2g ce sont des eaux d'irrigation de qualité excellente pour l'irrigation. Entre 2 et 5g, il s'agit d'eaux salées et au dessus de 5 g on peut dire qu'elles sont très salées.

Le seuil de la salinité des eaux d'irrigation est de 3 ds/m (AYERS et WESTCOT, 1985). Mais compte tenu de la forte évaporation, même cette concentration saline cause parfois de sévères problèmes aux plantes surtout dans les sols à texture fine ou irrigués par intermittence ou sur des sols enrichis en sels de manière cumulative après un nombre élevé d'irrigation effectué sans drainage suffisant et sans lessivage des sels (DAOUD et HALITIM 1994).

Parmi les cations, le sodium est nettement dominant dans les eaux du Sahara constituant en général 50% du total. Pour les anions, les chlorures et les sulfates sont les plus abondants.

Les sols salés sont caractérisés généralement par des propriétés physiques, chimiques, et biologiques défavorables à la croissance des végétaux. Ainsi, les sels provenant de l'eau d'irrigation s'accumulent dans le sol en provoquant l'augmentation de la pression osmotique et peuvent conduire à la stérilisation du sol. D'une façon générale la relation entre le rendement relatif des cultures et la salinité est à peu près linéaire (KATERJI, 1995).

D'autre part, la demande de l'eau douce est constamment en augmentation pour différentes utilisations compétitives (domestique, agriculture, industrie) ce qui créer un besoin crucial d'utilisation de l'eau salée en agriculture. Le recours à l'utilisation de l'eau salée devient de plus en plus une nécessité absolue vu l'absence ou la rareté des ressources d'eau douce dans certaines régions. Le manque d'eau de bonne qualité constitue désormais une contrainte majeure lorsque l'on veut créer de nouveaux périmètres irrigués (CHEVERRY, 1995). L'eau salée sera utilisée en plus à l'avenir à cause de développement de la demande de l'eau d'irrigation (VAN HOORN, 1991). L'irrigation avec l'eau salée est devenue donc une nécessité tant que la limitation de l'approvisionnement en eau de bonne qualité est en augmentation (CHOUKRALLAH et HAMDY, 2003). Les eaux salées peuvent être utilisées

en irrigation sur certains sols si des pratiques appropriées de gestion sont appliqués (HAMDY, 1991). En effet, plusieurs études en différentes régions irriguées ont montré que l'eau salée de drainage peut être utilisée sans effet nuisible sur le rendement (AMER et ALNAGAR, 1989 ; HAMDY, 1989 ; CHAUDHRY et QURESHI, 1991 ; AYARS et al, 1993 ; SHARMA et al, 1994 ; SHENNAN et al, 1995 ; ROMAN et al, 1996 ; BAUDER et BROCK, 2001 ; MACE et AMRHEIN, 2001, OSTER et SHAINBERG, 2001) in (HASSAN, 2005). Enfin, l'eau salée est fréquemment la seule eau disponible dans certaines régions, il devient nécessaire d'accepter ses limitations et de l'utiliser sagement (ISRAELSEN, 1965) ce qui fait de la valorisation des eaux salées est l'une des préoccupations importantes dans le monde aujourd'hui.

Dans ce cadre s'inscrit notre travail qui vise à étudier dans un premier temps la mise en évidence de la salinisation des sols dans la région liée aux différentes techniques d'irrigation : l'irrigation de surface (submersion), l'aspersion et l'irrigation goutte à goutte. En deuxième étape, notre objectif vise à la contribution à limiter ou atténuer l'effet de la salinité sur la plante à travers l'expérimentation sur l'effet du régime hydrique et la fertilisation.

L'expérimentation de l'effet du régime hydrique vise à étudier l'influence de la salinité des eaux et la fréquence d'irrigation sur le sol et la croissance d'une culture de tomate en pots de végétation sous serre. Cependant, la deuxième expérimentation étudie l'effet de fertilisation phosphopotassique sur le blé dur en conditions salines en pots de végétation dont l'objectif est la valorisation de l'eau salée à travers le régime hydrique et la fertilisation.

I. PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I : Aperçu sur la région Saharienne et les oasis

Introduction

La région saharienne est essentiellement caractérisée par des températures très élevées, pluviométrie inférieure à 150mm, forte évapotranspiration, l'intensité et la fréquence du vent de sable, et les sels. L'oasis est un agrosystème, mais un agrosystème dont les fondements ne sont pas agricoles (COTE, 2002) car les conditions existantes sont parmi les plus hostiles à une agriculture. Malgré ça l'agriculture d'oasis constitue généralement la base des implantations humaines dans le Sahara. Elle constitue donc non seulement la principale ressource des populations locales, mais aussi un moyen de les fixer dans un territoire vaste et austère (DJANANE, 1990). Dans la Sahara algérien les oasis sont essentiellement phoenicicole. Les palmeraies les plus importantes par leur superficie et la qualité de leur production sont localisées dans la vallée de Oued Righ et des Ziban (BENNADJI et BENNADJI, 1998). L'agriculture des oasis se caractérise par de petites exploitations familiales dans lesquelles la production agricole est organisée pour répondre à des besoins d'auto consommation et de commercialisation. La palmeraie est un écosystème très particuliers à trois strates : sous le palmier dattier se trouve des arbres fruitiers composés de figuier, olivier, vigne, grenadier et abricotier. La strate herbacée constituée par les cultures maraîchères, fourrageuses, céréalières et condimentaires (IDDER, 2002). Cependant cet écosystème est caractérisé par un équilibre fragile menacé surtout par des facteurs liés au milieu naturel.

1- Le climat

Le climat des zones sahariennes est continental désertique, le fait désertique est expliqué par des valeurs extrêmes des paramètres climatiques qui constituent les facteurs essentiels de la distribution de la végétation et de l'évolution des sols. Ce climat est caractérisé essentiellement par des températures estivales élevées et de faibles températures hivernales, l'amplitude des températures est importante. Les valeurs moyennes maxima sont enregistrées en juillet et celles des minima en janvier. Les températures minima atteignent -8°c et les maxima absolus enregistrés sont de 51°c . La pluviométrie varie de 0 à 150mm durant la période hivernale, les précipitations sont souvent irrégulières, violentes et localisées dans la partie Nord du Sahara. Les vents sont violents desséchants et chargés en sable. Ils sont fréquents du mois de février au mois de juin, le siroco prédomine du mois de juin au mois de septembre. L'insolation est très forte et l'humidité de l'air est faible. L'évaporation est très

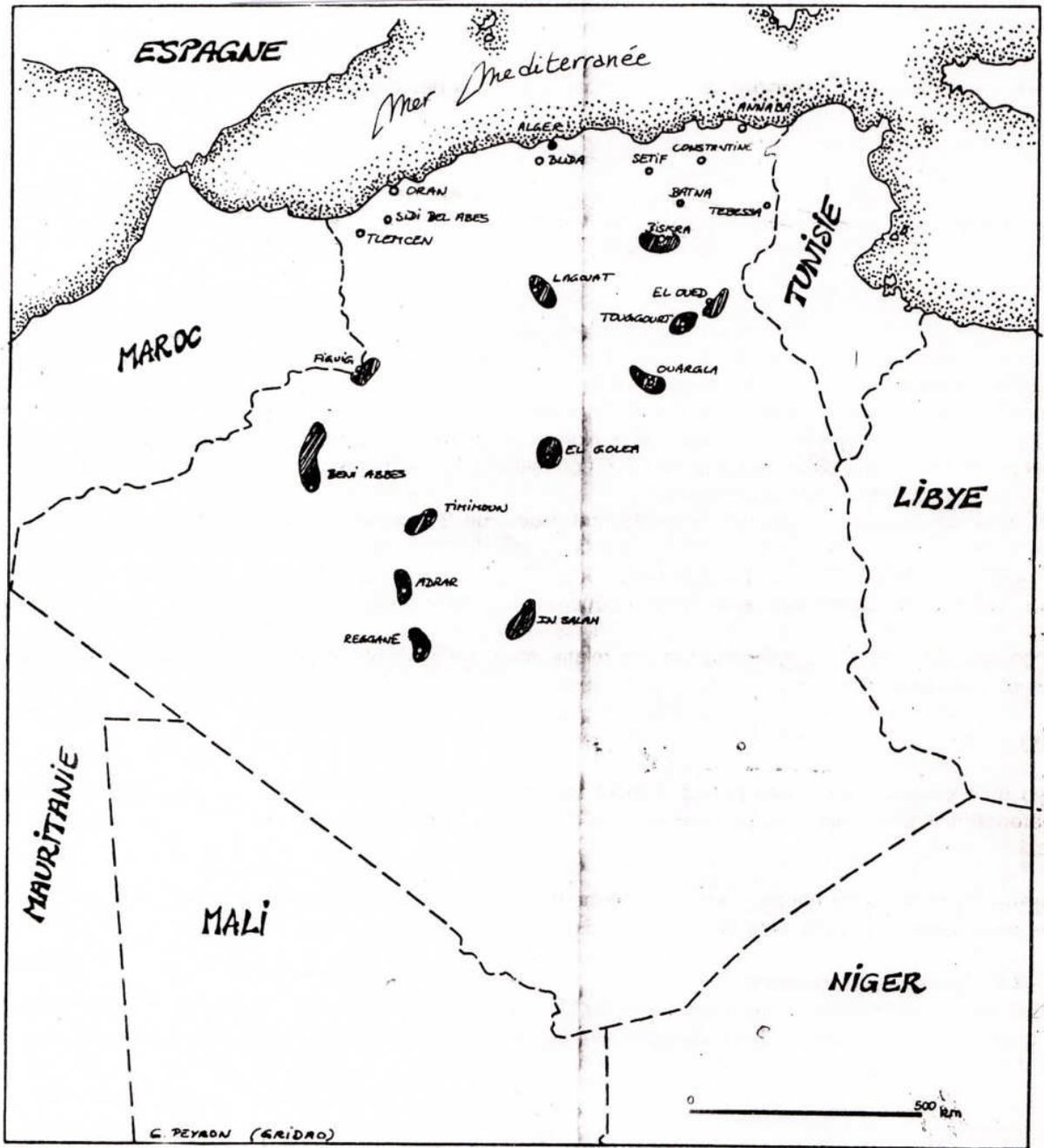


Fig. 1 : Les principales oasis algériennes. D'après DJENNAN (1990)

forte, l'ETP PENMAN se situe entre 1300 et 2800mm (TOUTAIN, 1977). Ces conditions climatiques en particulier L'ETP expliquant l'intensité de l'évaporation et les besoins en eau élevés des cultures qui sont selon DUBOST (1992) compris entre 1700 et 2000mm /an dans le Nord du Sahara et dépassent 2500mm/an dans le sud et le sud ouest. Ceci entraîne des risques de salinisation par concentration des solutions saline et la remontée des sels en surface.

1.1- Climat de la région de BISKRA

Le climat de Biskra est un climat saharien à hiver doux et un été très chaud et sec. La pluviométrie est faible, la moyenne annuelle est de l'ordre de 150 mm. Elle est distribuée essentiellement entre l'automne et le printemps. La température moyenne annuelle est 22.67 c°, le mois le plus froid est janvier avec une moyenne de minima annuelle de 6.45 c° et le mois le plus chaud est juillet avec une moyenne de maxima de 41.34 c°. L'évaporation est très importante surtout quand elle se trouve renforcée par le vent, la moyenne est de 2570 mm/an. L'ETP PENMAN se situe autour de 1800 mm/an.

Tableau 1 : Données climatiques de la station de Biskra (1999 – 2009)

Mois Données	J	F	M	A	M	J	Jt	A	S	O	N	D
T moyenne c°	11,25	13,12	17,61	21,25	26,9	31,93	34,89	34,22	28,78	23,94	16,02	12,2
T min moy c°	6,45	7,7	11,57	15,15	20,46	25	28,06	27,84	23,04	18,52	11,72	7,91
T max moy c°	16,87	18,97	23,75	27,23	32,06	38,14	41,34	39,9	33,88	29,58	21,95	17,4
Pluie mm	26,41	6,018	12,2	11,85	11,45	1,391	0,845	2,47	15,9	12	15,07	15,9
Vent m/s	4,181	4,4	5,055	5,882	5,609	4,37	4	3,764	4,073	3,655	4,145	4,2
Insolation h	236,5	249,2	280,6	290,5	321,3	346	356,2	330,6	266,1	254,9	226,9	210
Humidité %	59	48,64	41,45	37,45	32,73	27,27	25,82	28,36	41,18	47,45	54,27	62
Evaporation mm	94	114,4	180	218,2	283,5	334,6	379	353,5	247,6	165,3	115,5	83,4

Source : Station météo de Biskra

2- Aperçu géologique

La région saharienne a connu au cours de son histoire géologique de longues phases de sédimentation alternativement marines et continentales. Les dépôts qui en sont résultés ont été d'autant plus importants qu'un immense bassin s'est formé très tôt en cette partie du Sahara et qu'il a été presque constamment affecté ensuite par des mouvements de subsidence (ALLAIRE, 1963 in HALILAT, 1998). Le bas Sahara forme donc un vaste bassin sédimentaire entre les Tassilis et l'Atlas saharien, sa plus grande partie est recouverte de sables qui surmontent d'épaisses formations sédimentaires essentiellement détritiques, carbonatées ou évaporitiques (CHEBBAH, 1998).

La région de BISKRA représente un pays de transition structurale et sédimentaire. Elle forme la zone de transition entre l'Atlas saharien et le bas sahara. Dans la région Nord c'est un pays

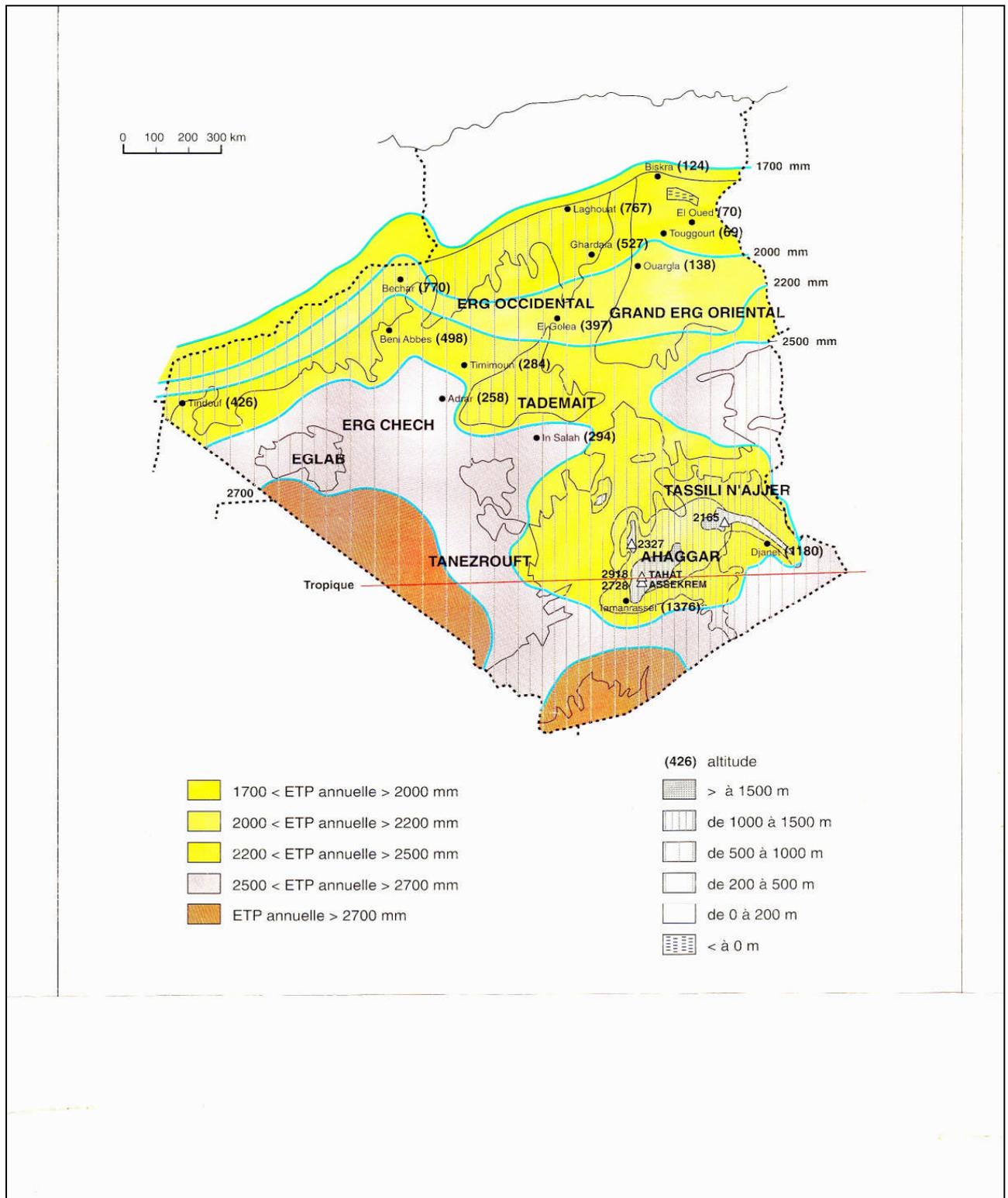


Fig. 2 : Carte de l'évapotranspiration potentielle. D'après DUBOST (1992)

montagneux tandis qu'au sud c'est un pays effondré qui fait partie du Sahara septentrional. Le passage entre ces deux domaines distincts se fait par l'intermédiaire d'un ensemble de flexure, de plis failles et de failles (flexure saharienne) (ANONYME, 1980).

La stratigraphie selon GOUSKOV (1964) in (ANONYME, 1980) est caractérisée essentiellement par :

* **Le quaternaire** qui s'étend largement dans la plaine en couvrant les dépressions et les vallées. Il est caractérisé par une érosion des formations pliocènes dont les produits sont évacués vers les chotts ainsi que par un alluvionnement important : sables et argiles dans les grandes plaines. Le quaternaire se divise en :

a- Quaternaire récent : représenté principalement par des cailloutes et éboulis sur les pentes et au pieds des montagnes, des dunes de sable éoliens et des alluvions sableuse et caillouteuse dans les lits actuels des oueds.

b- Quaternaire moyen : il comporte la croûte calcaro-gypseuse (deb-deb), des travertins des sources et des alluvions sableuse et argileuses dans toutes les grandes plaines.

c- Quaternaire ancien : présenté principalement par des poudingues près des montagnes.

* **Le pliocène** : représenté essentiellement par des poudingues, bancs de grès et argile sableuse ainsi que la croûte calcaro-gypseuse englobant souvent des masses de poudingues, de sables et des graviers dans le sud de l'Oued-Djedi.

* **Miocène supérieur** : représenté par des argiles et des marnes multicolores souvent très sableuse.

* **Eocène moyen** : c'est un dépôt exclusivement lagunaire représenté par des argiles, du gypse anhydrite et des calcaires dolomitiques.

* **Crétacé supérieur** : il est formé essentiellement de calcaire massif et du marne.

* **Crétacé inférieur** : représenté principalement par des grès rouges ou gris avec intercalation d'argile rouge (Albien).

3- Géomorphologie :

Le Sahara Algérien est un espace ouvert relativement plan qui peut être décrit assez simplement par quelques grands traits spécifiques (KOUZMINE, 2003). Le Sahara Algérien correspond à un désert zonal dans la typologie des zones désertiques

Le Sahara est caractérisé essentiellement par le grand erg occidental et oriental, les plateaux du Msab, du Tadmait ainsi qu'à la région relativement déprimée du Gourara, du Touat et du Tidikelt (BUISSON et CRONEE, 1989 in HAIYOUANI 2007). L'ensemble de ces étendues est appelé la plate forme saharienne.

La région de BISKRA constitue la transition entre le domaine atlasique plissé du Nord (Atlas saharien) et les étendues plates et désertiques du Sahara au Sud. Vers le Sud la plaine saharienne se présente en général du point de vue morphologique comme un piedmont sans relief marqué qui relie par une pente douce les chaînes atlasiques aux étendues sahariennes du sud. A l'Est, le relief est caractérisé par le développement d'une vaste plaine découpée par des lits d'oueds qui s'écoulent des montagnes de l'Atlas et disparaissent dans la grande dépression fermée du chott Melrhir.

4- Hydrogéologie

Au cours de sa longue histoire géologique, le Sahara a connu des périodes d'érosion continentale qui ont permis l'accumulation de puissants dépôts de sable et de grès. Ceux-ci ont ensuite emmagasinés d'énormes réserves d'eau lors des phases climatiques les plus humides (DUBOST, 1992). Les ressources en eau souterraines au Sahara sont contenues dans deux grands aquifères qui sont ceux du continental intercalaire (CI) et du complexe terminal (CT) (KHADRAOUI, 1998). Les volumes d'eau les plus considérables évalués à 50000 milliards de m³ (MARGAT, 1990 in DUBOST, 1992) sont contenus dans les dépôts sablo-gréseux du CI qui recouvrent plus de 600000 km² (DUBOST, 1992). Son épaisseur peut atteindre 1000m au Nord Ouest du Sahara (KHADRAOUI, 1998). Les eaux du CI (Albien) sont caractérisées par une température élevée de l'ordre de 60°C, la minéralisation varie entre 1 et 2g/l de résidu sec et peut atteindre 5g/l.

Le complexe terminal CT s'étend sur une superficie de 350000 km² (DAOUD et HALITIM, 1994), (KHADRAOUI, 1998), il alimente l'essentiel des palmeraies du bas Sahara (Ziban, Oued Rhir, Souf et Ouargla), sa profondeur varie de 100 à 500m. Cette nappe regroupe deux systèmes aquifères qui sont appelés nappe des sables et nappe des calcaires. La nappe du complexe terminal est en charge sous la formation argileuse du miopliocène dans la partie Nord et libre dans la partie Sud (KHADRAOUI, 2000). La concentration des sels est de 2 à 8g/l (DUBOST, 1992).

La lithologie et des considérations hydrodynamiques permettent d'individualiser 04 unités aquifères principales dans la région des Ziban.

- La nappe phréatique du quaternaire : c'est au niveau des palmeraies que cette nappe est la mieux connue. Elle se localise généralement dans les accumulations alluvionnaires. La plupart des eaux de cette nappe entrent dans la catégorie salées ou très salées et se classent parmi les chlorurées alcalines et sulfatées calco-magnésienne. L'accumulation des sels dans

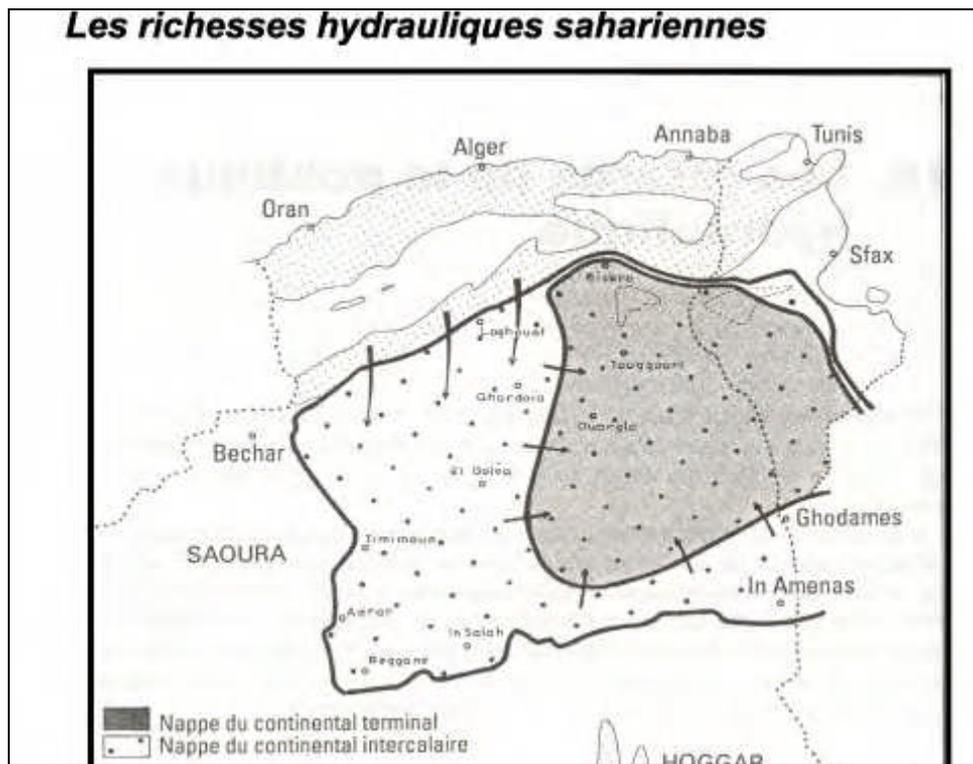


Fig. 3 : Les deux grandes nappes au Sahara. Source : COTE (1995) in KOUZMINE (2003)

les horizons supérieurs des sols et dans la nappe libre est due à la prédominance intense de l'évaporation. Ces eaux ont une teneur en sel dissous de 5 à 15 g/l (KHADRAOUI, 1994).

- Nappe des sables du miopliocène : la lithostratigraphie est mal connue, les eaux de cette nappe sont de type sulfaté alcalin, sulfaté calco magnésien et sulfaté calcique. Elles sont de mauvaise qualité avec une teneur en sels dissous de 3 à 8g/l.

- La nappe des calcaires de l'Eocène et du Sénonien : la nappe des calcaires est la mieux connue depuis longtemps grâce à ses exutoires naturels qui sont les sources d'Oumache et M'lili. C'est la nappe la plus exploitée dans la palmeraie des Ziban (région de Tolga), le réservoir de cette nappe est constitué essentiellement de calcaire de l'Eocène inférieur et du sénonien supérieur. L'écoulement de la nappe est de direction Nord Ouest – Sud Est. La nappe des Ziban est surexploitée, elle a subi une baisse du niveau piézométrique ce qui entraîne le tarissement des sources situées à la partie haute du réservoir. Les eaux présentent un faciès sulfaté alcalin mais a dominance alcalino terreux. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne des zones où les calcaires de l'Eocène inférieur et du Crétacé supérieur affleurent (c'est-à-dire en direction du Sud Est et de l'Est), la nappe des calcaires devient plus profonde, moins productive et plus mauvaise de point de vue chimique (augmentation de la salinité).

- La nappe profonde du continental intercalaire : cette nappe est souvent appelée Albien, elle correspond à un complexe continental ou continental intercalaire en grande partie gréseux dont les limites stratigraphiques varient selon les régions. Elle est exploitée dans l'Ouest et le Sud Ouest de BISKRA par les forages de Sidi Khaled, Ouled Djellal et M'lili. L'eau de cette nappe est très coûteuse en raison de sa profondeur (>2000m) et sa température de l'ordre de 60°C.

5- Les sols

La région saharienne se compose essentiellement des sols minéraux bruts, peu évolués, halomorphes et hydromorphes. La fraction minérale est constituée principalement de sable, mais on peut rencontrer des textures limono sableuse en particulier dans le Nord. Les sels constituent les traits caractéristiques des sols des zones arides (HALITIM, 1988). Ainsi, les sols sahariens sont généralement salins, alcalins, gypseux et calcaire dans le Nord en particulier. La capacité d'échange est limitée et la capacité de rétention en eau est très faible. Les sols sahariens sont aussi pauvres en matière organique, en général < 1% et ils manquent d'azote (TOUTAIN, 1977).

L'évaporation intense conduit à l'extension des sols salins et salins sodiques avec des encroûtements gypseux, gypso salin et gypso calcaire. Un sol salé se comporte comme un sol sec, le chlorure de Na qui représente le plus gros du stock s'accumule par tonnes à l'hectare dans les terres irriguées et doit absolument être évacué par lessivage et drainage, or le drainage n'est pas toujours en bonnes conditions dû à une topographie très plane et l'absence d'exutoires.

5.1- Les sols des Ziban

Dans la région de Biskra (les Ziban) on trouve les classes des sols : peu évolués, halomorphes et calcimagnésiques (ANAT, 2003). La région se divise généralement en deux zones : Est (Zab charki) et Ouest (Zab gharbi). A l'Est les sols sont généralement riches en argile et en calcaire par contre à l'Ouest la texture est généralement à dominance grossière et les sols sont gypseux et/ou calcaires. Cependant, à l'Ouest les eaux d'irrigation sont plus salées et la remontée des eaux caractérise certaines zones. Dans la région de Biskra le degré de la salinité des sols varie avec les zones, il est généralement plus élevé dans les zones irriguées avec les eaux salées.

6- Les eaux d'irrigation

A l'exception des trois barrages réservoirs situés deux à l'Est (Biskra), le barrage de Fom El-Gherza et le barrage d'El-Outaya et l'autre à l'Ouest, celui de Djorf Torba, les eaux d'irrigation dans la région saharienne prennent origine des eaux souterraines. Les eaux des nappes phréatiques sont toujours très salées avec plus de 4 à 5g/l de résidu sec et bien souvent trois fois plus (DUBOST et MOGUEDET, 2002), (MASMOUDI, 2003). La minéralisation des eaux des deux grandes nappes CT et CI varie de 2 à 8g/l (DAOUD et HALITIM, 1994). La salinité des eaux d'irrigation varie d'un puits à l'autre et pour même puits, elle est également susceptible de changer au cours de temps. Elle augmente avec le temps de pompage (DAOUD et HALITIM, 1994).

D'après DUBOST (1994), au Sahara, les eaux contenant moins de 0,5g de sels peuvent être considérées comme exceptionnelles et celles de moins de 1g parfaites pour la consommation humaine. Jusqu'à 2g ce sont des eaux d'irrigation de qualité excellente pour l'irrigation. Entre 2 et 5g, il s'agit d'eaux salées et au dessus de 5g on peut dire qu'elles sont très salées. Le seuil de la salinité des eaux d'irrigation est de 3ds/m (AYERS et WESTCOT, 1985), mais compte tenu de la forte évaporation, même cette concentration saline cause parfois de sévères problèmes aux plantes surtout dans les sols à texture fine ou irrigués par intermittence ou sur des sols enrichis en sels de manière cumulative après un nombre élevé d'irrigation effectuées sans drainage suffisant et sans lessivage des sels (DAOUD et HALITIM, 1994). Les eaux du Sahara sont en général chlorurées, chlorurées sulfatées ou sulfatées chlorurées. Parmi les cations, le sodium est nettement dominant constituant en général 50% du total (DUBOST, 1994), parmi les anions les chlorures et les sulfates sont les plus abondants. La concentration en chlorures est généralement supérieure à 10meq/l ce qui est excessive (AYERS et WESTCOT, 1985). Les phosphates et nitrates ne sont présents qu'à l'état de traces (DUBOST, 1994). Le pouvoir de sodisation SAR des eaux varie de 2,3 à 32 (DAOUD et HALITIM, 1994). Des valeurs acceptables de SAR autour de 10 ont peu d'action sur les propriétés des sols tant que la salinité est suffisante (supérieure à 0,7ds/m) mais peuvent provoquer une toxicité par le sodium (AYERS et WESTCOT, 1985). Cependant les teneurs en bore sont faibles (DAOUD et HALITIM, 1994). Donc les eaux d'irrigation dans la région saharienne présentent un risque de salinisation élevé et un pouvoir d'alcalisation faible à moyen. Cependant, dans les sols à un taux d'argile appréciable, il y a toujours un risque de gonflement et d'imperméabilisation et par conséquent une structure défavorable suite à une augmentation importante du taux de sodium adsorbé.

D'autre parts, il est utile de signaler que malgré la salinité qui caractérise les eaux de la région saharienne et qui sont classées d'après la classification américaine comme des eaux inutilisables, elles produisent des récoltes depuis longtemps au moins pour certaines cultures. Donc, on peut dire que la classification proposée par le laboratoire de Riverside est beaucoup trop sévère pour le Sahara (DUBOST, 1994).

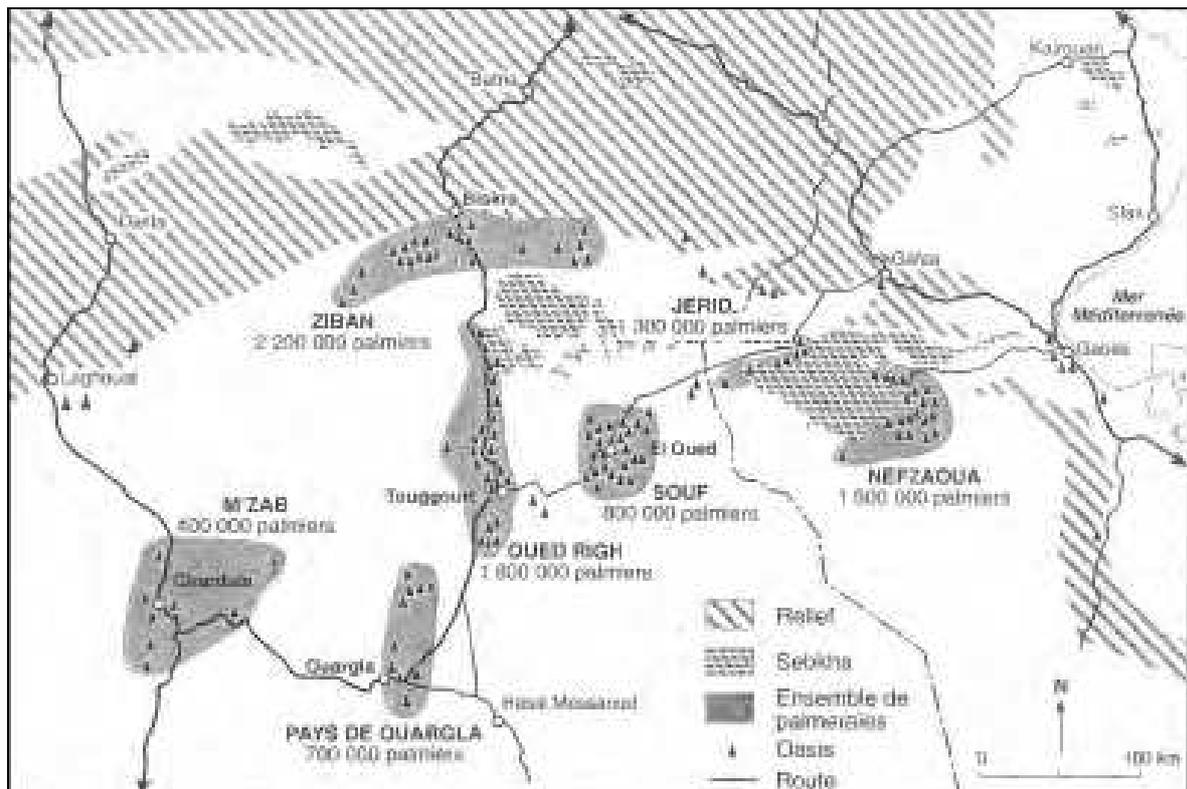


Fig. 4 : Les palmeraies du Bas Sahara. Source COTE (2002) in KOUZMINE (2003)

Chapitre II : Synthèse bibliographique sur La salinité des sols et les eaux d'irrigation

Généralité

Les sols salés se rencontrent le plus souvent sous les climats à faible pluviosité et à forte évaporation (zones arides ou subarides). L'aridité est le plus important facteur de la salinité (KAMALELDIN, 1990). Les climats arides et semis arides qui contribuent au maintien des sels dans les couvertures pédologiques sont les plus favorables au développement des caractéristiques salines ou alcalines (REFERENTIEL PEDOLOGIQUE, 1995). La présence de sels solubles dans les sols est en relation avec un ensemble de faits relatifs soit à l'origine de ces sels : roche mère salée, nappe phréatique salée, eau d'irrigation salée soit à l'absence d'évacuation de ces sels hors du sol : mauvais drainage, climat aride, mauvaise conduite des irrigations, remontée capillaire à partir d'une nappe (BOULAIN, 1974). Les éléments majeures caractéristiques des milieux salés sont Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} pour les cations et Cl^- et SO_4^{--} pour les anions. Une teneur en sel élevée provoque la formation d'une croûte saline blanchâtre à la surface du sol. Une structure poudreuse est observable dans les premiers centimètres du sol. Le sol est alors colonisé par une végétation halophyte. Les sols caractérisés par une fixation abondante de sodium sur le complexe adsorbant présentent les sols alcalins.

Tableau 2 : Echelle de salinité CE ds/m, extrait saturé

Non salin	Légèrement salin	Salin	Très salin	Extrêmement salin
< 2	2 – 4	4 – 8	8 – 16	> 16

(USDA, 1954)

Tableau 3 : Classification des sols salsodiques

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

(USDA, 1954)

1- Salinité et sodicité

Si la salinisation s'exprime par l'accumulation des sels au niveau du sol ce qui augmente la concentration de la solution du sol, la sodisation est un enrichissement en sodium du complexe adsorbant sans que ce phénomène entraîne de manière marquée une dégradation de l'état structural et une forte élévation du pH (LOZET et MATHIEU, 1990 in GONZALEZ,

1992). Cet enrichissement n'est cependant possible que lorsque le sodium a une dominance relative dans la solution du sol. La salinité et la sodicité subsistent ensemble dans le cas général des sols affectés par la salure au Sahara (sols salins sodiques) (MEDDAHI et al, 1993). L'augmentation de la salinité dans les sols s'accompagne souvent par une augmentation de la sodicité (DJILI et al, 2000). Mais le maintien de la structure en présence d'un pourcentage élevé de sodium échangeable est la conséquence d'un haut niveau de salinité. Selon HALITIM (1988), tous les sols salés dans la région aride d'Algérie sont à structure non dégradée malgré une forte sodisation, le pH n'est pas très élevé et le faciès chimique est généralement chloruré sodique, ce sont des sols salins à complexe sodique. DAJI (1970) in (GONZALEZ, 1992) a conclu que pour la sodisation ait lieu il faut que la concentration de sodium soit supérieure à 50% de la somme des cations.

Pour l'eau d'irrigation tant que le sodium n'atteint pas 50% du total des cations son action sur le complexe adsorbant du sol semble restreinte, au dessus de cette valeur le danger est grand il se traduit par l'imperméabilisation et la stérilisation du sol (DURAND, 1983).

Lorsque le taux de sodium échangeable est élevé le sol peut acquérir des propriétés défavorables. La valeur limite de l'ESP est un peu différente selon les chercheurs, elle dépend de la nature du sol et notamment des minéraux argileux dominants. Selon SHAINBERG et al (1981), LEBRONETAT (2002) in (SAIDI et al, 2004), le seuil 15% est variable selon certains paramètres caractérisent les sols tels que la texture et la nature des colloïdes. SAIDI et al (2004) ont montré que sous l'effet de la salinisation les sols manifestent une évolution structurale défavorable qui influence le comportement hydrodynamique de surface, car la salinité des sols étudiés s'accompagne d'une sodisation. Les valeurs seuils acceptables de SAR et de ESP nécessaires pour conserver une structure stable se situent respectivement à 2 et 5% (SAIDI et al, 2004). Pour HALITIM (1988), le seuil de ESP acceptable est de 10%. Mais généralement les auteurs sont d'accord pour retenir la valeur de 15% de Riverside. L'ESP et la concentration des sels de la solution du sol jouent un rôle significatif dans la détermination des propriétés physiques du sol et la réponse de l'argile du sol à la dispersion et le gonflement (LEVY et al, 2003). Mais l'effet néfaste du sodium se fait notamment en milieu de bas niveau de salinité. Selon LOYER et al (ND) la présence en grande quantité de sodium soluble entraîne obligatoirement la fixation de celui-ci sous forme échangeable sur le complexe adsorbant du sol mais la structure des agrégats reste stable et flocculée tant que la solution du sol est salée. Ainsi, HALITIM (1988) a signalé que dans la région aride d'Algérie les sels constituent les milieux conservateurs vis-à-vis de la fraction argileuse et inhibent toute transformation dans le sens d'une dégradation, cependant dans ces régions plus la salinisation

des sols augmente et plus la sodisation est grande. Dans les sols à forte CE, le gypse et la calcite quelque soit leur teneur à cause de leur faible solubilité n'empêche pas une certaine sodisation (HALITIM, 1988).

2- La qualité d'eau d'irrigation

L'eau d'irrigation peut avoir des propriétés qui risquent de modifier le sol et les cultures. Toutes les eaux naturelles contiennent des sels minéraux en solution. C'est la concentration et la proportion de ces sels qui déterminent les possibilités d'utilisation de ces eaux. Les principaux constituants dissous des eaux d'irrigation sont les cations Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} et les anions Cl^- , SO_4^- , HCO_3^- avec d'autres éléments mineurs. La qualité des eaux est donc fonction de la quantité totale des sels dissous et la nature de ces sels.

2.1- Classification des eaux d'irrigation

L'évaluation des eaux d'irrigation est différente selon les pays. Toutes les classifications des eaux d'irrigation doivent être considérées non comme standards indiscutables mais comme des guides généraux à adapter en fonction des conditions locales (BERTRAND, 1981). Il est presque impossible d'établir des critères généraux pour l'eau d'irrigation (ARAGUES, 1983), car l'efficacité de l'eau salée dépend des conditions de son utilisation : culture, climat, sol, méthode d'irrigation et les pratiques de gestion, donc la classification des eaux est difficile (ROHDES et al, 1992). Selon HAMDY (2001a) la majorité des classifications considèrent 3 critères : la salinité totale, la concentration des ions Na, CO_3 et HCO_3 en relation avec Ca, Mg (sodicité) et la toxicité des ions spécifiques Cl^- , B^- ...etc.

2.1.1- Risque de la salinité

L'effet principal de la salinité est l'augmentation du potentiel osmotique suite à l'augmentation de la salure dans le milieu de culture ce qui résulte une réduction de la disponibilité en eau pour les cultures, en conséquence, la croissance des plantes sera touchée. L'utilisation de la CE comme critère pour la salinité semble raisonnable (ARAGUES, 1983). Car malgré que les différents sels ne donne pas la même pression osmotique (DURAND, 1983), le potentiel osmotique est bien lié à la CE du mélange de sels : $\text{PO} = 0,36 \text{ CE}$ (USDA, 1954).

Dans le tableau suivant on peut donner certaines classifications basées sur la CE (DAOUD et HALITIM, 1994). Cependant le guide d'utilisation de l'eau d'irrigation d'AYERS et WESTCOT (1985) est considéré comme la meilleure évaluation des eaux d'irrigation (ELSHIMI 2001) (tab. 5).

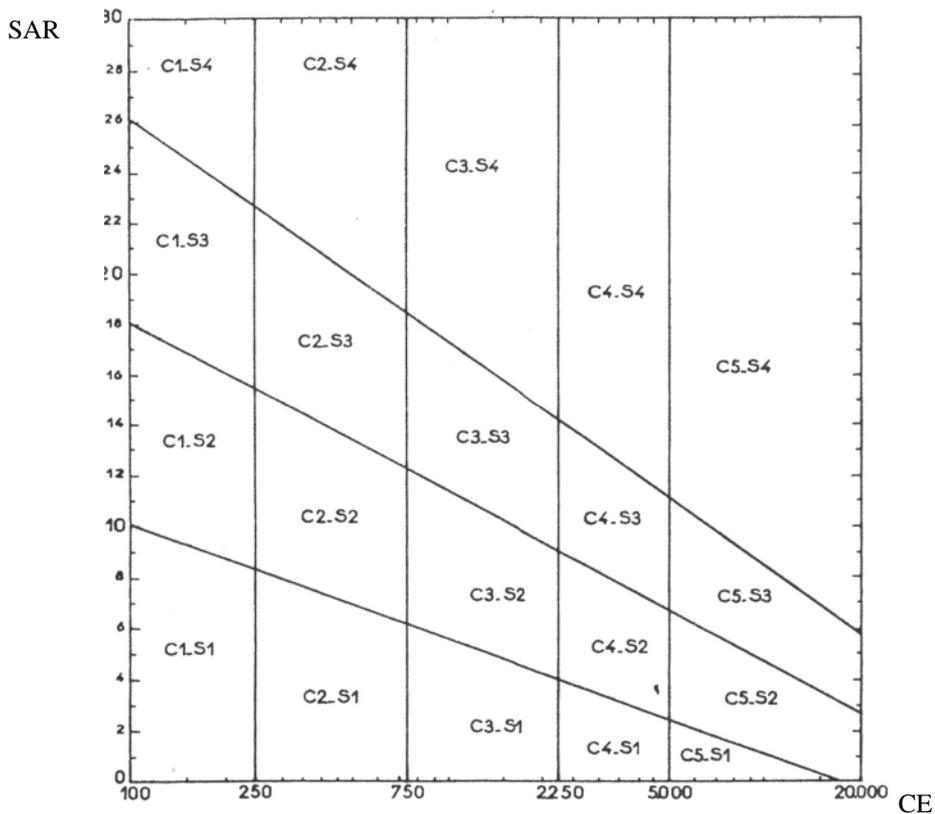


Fig. 5 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation de USSL (1954) complété par DURAND. D'après DURAND (1983)

Tableau 4 : Evaluation de la qualité des eaux d'irrigation

CE ds/m	Concentration (g/l)	Evaluation USA	Evaluation russe	Evaluation de Durand pour l'Algérie
CE<0.25	<0.2	Faiblement salée	Bonne qualité	Non saline
0.25<CE<0.75	0.2-0.5	Moyennement salée		Salinité moyenne
0.75<CE<2.25	0.5-1.5	Fortement salée	Risque de salinisation	Forte salinité
2.25<CE<5	1.5-3	Très fortement salée		Très forte salinité
5<CE<20	3-7	Salinité excessive	Ne peut être utilisée sans lessivage	Salinité excessive

(DAOUD et HALITIM, 1994)

Tableau 5 : Guide pour l'interprétation de la qualité de l'eau d'irrigation

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

(AYERS et WATSCOT, 1985)

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

2.1.2- Risque d'alcalinité

L'augmentation de la teneur du sodium soluble dans l'eau d'irrigation entraîne une augmentation de la teneur en sodium échangeable. Un taux élevé de sodium échangeable ESP peut se traduire par une dispersion des particules des argiles et une dégradation de la structure et par conséquent une diminution importante de la perméabilité. Le SAR est utilisé pour caractériser le pouvoir alcalinisant de l'eau

$$\text{SAR} = \text{Na} / [(\text{Ca} + \text{Mg})/2]^{1/2}$$

La classification USSS (1954) donne 4 classes des eaux en fonction du SAR depuis S1 : eaux faiblement sodiques jusqu'au S4 eaux très fortement sodiques généralement inutilisables pour l'irrigation. Dans cette classification le SAR augmente lorsque la salinité augmente (ARAGUES, 1983) ce qui paraît contradictoire avec les connaissances actuelles qui montrent

qu'une salinité élevée compense l'effet négatif de la sodicité sur la perméabilité (ARAGUES, 1983 ; AYERS et WESTCOT, 1985). Augmenter la sodicité et diminuer la salinité de l'eau ceci augmente la dispersion physicochimique (LEVY et al, 2003). Car le maintien de la structure en présence d'un pourcentage élevé de sodium échangeable est la conséquence d'un haut niveau de salinité (effet flocculant) (SERVANT, 1975 in GONZALEZ, 1992). Ainsi, selon HALITIM (1988) les sels constituent les milieux conservateurs vis-à-vis de la fraction argileuse et inhibent toute transformation dans le sens d'une dégradation.

En plus, certaines eaux ont tendance à solubiliser le calcium du sol et par conséquent diminuer le SAR, tandis que d'autres ont le caractère de précipiter le calcium soluble et augmenter en conséquence le SAR. En effet le SAR_{aj} est adopté pour donner importance particulière à la teneur des eaux en CO₃⁻ et HCO₃⁻ qui sont responsables de la précipitation du Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ en carbonates SAR_{aj} = SAR [1 + (8,4 - pH_c)].

pH_c étant le pH qu'aurait l'eau d'irrigation si elle était en équilibre avec CaCO₃, c'est à dire à pH 8,4.

Si pH_c > 8,4 l'eau a tendance à dissoudre le CaCO₃ du sol

Si pH_c < 8,4 l'eau a tendance à précipiter du CaCO₃ dans le sol

Récemment SAURAZ (1981) in (AYERS et WESTSCOT, 1985) a développé un autre terme pour évaluer le danger du sodium, c'est le RNa_{aj} (coefficient ajusté d'adsorption du sodium) pour améliorer l'ancienne formule du SAR qui ne prend pas en compte la dissolution et la précipitation du calcium. La formule est presque la même que celle du SAR.

$$\text{RNa}_{aj} = \text{Na} / [(\text{Cax} + \text{Mg})/2]^{1/2}$$

Cax : une valeur modifiée du calcium issue du tableau de SAURAS (1981) en fonction de la salinité de l'eau et le rapport HCO₃/Ca.

D'après AYERS et WESTCOT (1985), RNa_{aj} est plus recommandé que SAR_{aj}. Cependant, ARAGUES (1983), a signalé que le critère de sodicité reste encore n'est pas bien clair.

2.1.3- Toxicité des ions spécifiques

En plus de l'effet osmotique général, il a été retenu que les concentrations excessives de sel ont une action perturbatrice sur la physiologie des plantes soit par un effet direct de toxicité d'ions déterminés, soit par l'apparition de désordres nutritionnels provoqués par l'action de certains ions sur l'absorption et le métabolisme des éléments nutritifs (BOUGENDRE, 1973). La plupart des ions sont toxiques à des fortes concentrations (BOULAIN, 1974). Mais les espèces végétales et même les variétés ont une tolérance différente vis-à-vis la toxicité des

ions spécifiques (ARAGUES, 1983). Les principaux ions toxiques sont Na, Cl et le bore. Le seuil de carence et le seuil de toxicité du Bore sont assez voisins (BOULAINÉ, 1974). Certains ions sont plus nocifs par les modifications du milieu qu'ils entraînent que par leur nature. Ainsi, le Na_2CO_3 élève le pH de la solution du sol et entraîne des blocages des oligo éléments.

3- Effet des sels sur le sol

Les sols salés sont caractérisés généralement par des propriétés physiques, chimiques et biologiques défavorables à la croissance des végétaux en raison de la présence de sels solubles et ou de sodium échangeable en quantité élevée. Les sols salins peuvent provenir des sols normaux par suite d'une accumulation de sels provenant de l'eau d'irrigation ou par le mouvement montant de l'eau souterraine ou par une combinaison des deux processus. Les sels accumulés dans le sol provoquent l'augmentation de la pression osmotique de la solution du sol et peuvent conduire à la stérilisation du sol. D'autre part les sols riches en sodium échangeable peuvent avoir une structure dégradée suite à la dispersion des argiles. La séparation des particules du sol conduit à une structure dense compacte et le sol devient imperméable, asphyxiant et difficile à labourer. Il est à noter que la présence de sels en excès et l'absence de quantité appréciable de sodium échangeable peuvent donner dans certains sols salins une structure favorable et une bonne perméabilité suite à la floculation des colloïdes (ISRAELSEN, 1965).

4- Effet des sels sur la plante

Les effets des sels sur la physiologie des plantes ont été reconnus par :

- un effet osmotique général, diminuant la disponibilité en eau indépendamment de la nature des sels.
- des effets des ions spécifiques qui peuvent être toxiques dont les symptômes sont attribués à l'accumulation d'ions spécifiques dans la plante ou l'apparition de désordres nutritionnels provoqués par l'action de certains ions sur l'absorption et le métabolisme d'éléments nutritifs essentiels.

La salinité gêne ou interdit le développement des plantes cultivées. Elle restreint l'absorption d'eau et les éléments nutritifs par les racines (LARCHER, 1995 in HOULE, 2001). L'augmentation de la salure dans le sol produit une augmentation de la pression osmotique de la solution du sol qui fait diminuer l'eau disponible pour les plantes. La diminution de la croissance des végétaux est une fonction linéaire de la pression osmotique croissante de la solution du sol. Donc, la pression osmotique du milieu extérieur vient s'ajouter à la force de la

succion du sol et s'opposent à la pénétration de l'eau dans les racines. Les premières conséquences de l'utilisation de l'eau saline apparaissent au niveau de l'état hydrique de la plante et de ses échanges gazeux (KATERJI et al, 1991). Selon SCHLEIFF (1979), le développement des plantes irriguées avec des eaux salées est affecté par la réduction de la disponibilité d'eau. En effet, les plantes absorbent l'eau par osmose, cette absorption est conditionnée par la différence de la pression osmotique de la sève et de la solution du sol. Ainsi, l'excès de salinité dans la rhizosphère a un effet nocif sur la croissance, cet effet est lié à la salinité globale (ROHDES et al, 1992), SNOUSSI (1998) a trouvé que le ralentissement de la croissance des plante est dû à l'effet direct de la salinité des solutions.

En outre, les sels ont un effet sur la qualité des fruits : réduction en dimension, changement dans la couleur et l'apparence et changement dans la composition du produit (ROHDES et al, 1992). D'une façon générale la relation entre le rendement relatif et la salinité est à peu près linéaire (KATERJI, 1995).

L'accumulation excessive des sels dans le sol a autres effets en plus de l'effet osmotique. Lorsque, le niveau de salinité est important une absorption déséquilibrée des ions qui peut conduire à l'intoxication de la plante (KATERJI, 1995). Les ions les plus toxiques sont Cl, Na, et B.

Selon AYERS et WESTCOT (1985) l'ESP pour les plantes sensibles est < à 15%, plantes semi tolérante 15–40% et les plantes tolérantes > 40%, mais généralement un sol a ESP > 30% a une structure défavorable pour une bonne production.

L'effet de la sodicité sur la plante est un effet toxique est induit des problèmes nutritionnels dû au déséquilibre du rapport Ca/Na (VAN HOORN, 2001). Selon SLAMA (2004) dans le milieu salé où le rapport Na/Ca est élevé, l'absorption et la migration du calcium sont diminuées par rapport au témoin.

Il est à noter que le milieu plus ou moins équilibré est moins agressif pour les plantes que le milieu non équilibré. Ainsi la toxicité du chlorure de sodium est moins forte en présence de calcium qui joue un rôle antagoniste (MAUME et DULAC, 1929 in DURAND, 1983).

Enfin, la tolérance des plantes vis-à-vis des sels varie avec leur stade de développement. D'une manière générale, elles sont beaucoup plus sensibles aux premières phases de la végétation en particulier la germination et l'émergence.

5- Tolérance des plantes aux sels

La tolérance aux sels est un phénomène complexe qui varie avec les espèces, les variétés et le stade de développement des plantes. Les plantes les plus tolérantes sont appelées halophytes. Ces dernières ont une aptitude à développer des pressions osmotiques suffisamment élevées pour compenser la pression osmotique de la solution du milieu extérieur (BOUGENDRE, 1973). Par contre de nombreuses plantes sont sensibles aux sels et leur croissance est affectée par le niveau de salinité du sol (tab. 6). Il est à noter que la tolérance au sel est habituellement déterminée en termes de croissance ou de rendement (MAAS et al, 1977 ; SHANNON, 1984 in ZAMAN ALLAH et al, 2009)

Tableau 6 : Seuil de résistance de quelques plantes cultivées (CE de l'extrait de pâte saturée)

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

(BOULAINÉ, 1974)

6- Utilisation de l'eau salée en agriculture

La demande de l'eau douce est constamment en augmentation pour différentes utilisations compétitives (domestique, agriculture, industrie) ce qui crée une nécessité de l'utilisation de l'eau salée en agriculture. Le manque d'eau de bonne qualité constitue désormais une contrainte majeure lorsque l'on veut créer de nouveaux périmètres irrigués. (CHEVERRY, 1995). L'eau salée sera utilisée en plus à l'avenir à cause du développement de la demande de l'eau d'irrigation (VAN HOORN, 1991 ; OSMAN et al, 1997 ; CHOUKRALLAH et HAMDY, 2003 ; SAVVAS et al, 2007 ; WAN et al, 2007).

Les eaux salées peuvent être utilisées en irrigation sur certains sols si des pratiques de gestion sont appliquées (HAMDY, 1991). En effet, les recherches récentes montrent que la tolérance de la plante est non seulement dépend de la salinité d'eau mais aussi de la variété, climat, sol et la gestion de l'irrigation (HAMDY et RAGAB, 2003 ; CHARTZOULAKIS, 2003)

C'est ainsi que des eaux classées comme présentant des risques modérés à fort pour l'irrigation ce sont avérées bonnes pour l'irrigation de certaines cultures dans de nombreux pays. Plusieurs études en différentes régions irriguées ont montré que l'eau salée de drainage peut

être utilisée sans effet nuisible sur le rendement (AMER et ALANGAR, 1989 ; HAMDY, 1989 ; CHAUDHRY et QURESHI, 1991 ; AYARS et al, 1993 ; SHARMA et al, 1994 ; SHENNAN et al, 1995 ; ROMAN et al, 1996 ; BOUDER et BROCK, 2001 ; MACE et AMRHEIN, 2001 ; OSTER et SHAINBERG, 2001) in (HASSAN et al, 2005).

Les recherches réalisées sur l'amélioration des plantes, la gestion du sol, des cultures et de l'eau et les technologies d'irrigation et de drainage permettent d'envisager l'utilisation de l'eau salée pour des cultures irriguées avec de faibles effets défavorables sur la productivité du sol (BRESSLER, 1979 ; GUPTA, 1979 ; GUPTA et PAHAWA, 1981) in (HAMDY et al, 1995). ROHDES, 1977 in HAMDY (2001a) a conclu que la majorité des eaux de drainage en USA a une valeur potentielle pour l'irrigation.

D'après les études menées à l'institut de Bari depuis plus de quinze ans, il a été démontré qu'on peut utiliser des eaux salées ayant jusqu'à 6ds/m pour la plupart des cultures céréalières et maraîchères (HAMDY et al, 1995).

En Algérie les eaux salées de Oued Rhir sont utilisées depuis longtemps en irrigation en produisant souvent des récoltes satisfaisantes au moins pour certaines cultures. Il est à signaler que ces eaux sont appliquées sur des sols sableux et gypseux et avec l'existence des réseaux de drainage ce qui permet de créer un bon équilibre dans ces oasis (BELOUAM, ND ; MASMOUDI, 1996). En effet, l'eau salée peut être mieux utilisée en texture grossière qu'en texture fine (KAMALEDDIN, 1990). On ne peut pas dire que telle eau est bonne ou mauvaise ou tel sol est bon ou mauvais, une eau est bonne ou mauvaise en fonction d'un sol et inversement (DROUHIN, 1960). Selon AUBERT et OLLAT (1969) la teneur en sels et la teneur en sodium admissible pour l'eau d'irrigation dépendent pour une part des propriétés des sols (texture, structure, perméabilité) qui y influencent la circulation de l'eau. Enfin, l'eau salée est fréquemment la seule eau disponible, il devient alors nécessaire d'accepter ses limitations et de l'utiliser sagement (ISRAELSEN, 1965).

7- Besoin en eau des cultures en conditions salines et irrigation

Le besoin en eau des cultures est basé sur l'évapotranspiration. Presque tous les auteurs sont d'accord sur le fait que le sel diminue la transpiration (SLAMA, 2004). On observe une relation de proportionnalité entre la réduction de l'évapotranspiration due à l'accroissement de la salinité du sol et la réduction correspondante du rendement relatif (LETY, 1993 in KATERJI, 1995). La réponse du rendement des cultures à la contrainte hydrique d'origine saline ou résultant d'une sécheresse édaphique est donc similaire (KATERJI, 1995). Car l'effet osmotique se traduit par des symptômes semblables à ceux causés par la sécheresse (BERTRAND, 1981). Dans les milieux salés la pression osmotique du sel vient s'ajouter à la

force de succion du sol et s'oppose à l'alimentation hydriques des plantes. Le point de flétrissement se situé à un niveau plus élevé d'humidité si la solution du sol contient du sel que si elle n'en contient pas ; ainsi en Tunisie on a remarqué qu'il y a flétrissement des plantes de tomate pour 14 à 15% d'humidité dans un sol dont la solution contient 7g/l de sels, alors que le flétrissement ne se produit qu'à 9% d'humidité pour un sol sans sels (BOUGENDRE, 1973). Le pilotage de l'irrigation est donc plus compliqué avec les eaux salées qu'avec les eaux douces (HAMDY, 1995).

8- Texture du sol et concentration de l'eau d'irrigation

Vu que le sol retient une partie de l'eau d'irrigation égale à sa capacité de rétention seulement, donc la quantité de sels retenue par un sol argileux soit toujours supérieure à celle retenu par un sol sableux (ABOUSOULIMAN, ND). Une argile dont la capacité de rétention est 30% retiendra donc trois fois plus de sels qu'un sable dont la capacité de rétention est 10% s'ils sont traversés tous deux par une eau de salinité donnée. En conséquence les sols sableux peuvent être irrigués par des eaux plus salées que les sols argileux. Selon AUBERT et OLLAT (1969), sur sol sableux calcaire il est possible d'utiliser des eaux titrant 4.5g à 5gde sels/l et même parfois plus.

Les sols sableux ne risquent donc pas de se saler facilement par l'irrigation ; les sols a texture moyenne gardent de l'eau, cette eau a tendance à migrer vers le haut puis à s'évaporer et à déposer ses sels. Les sols a texture très fine retiennent bien l'eau et la laissent d'autant moins s'infiltrer que leur texture est plus fine ; irrigués avec de l'eau salée, ils peuvent se transformer en saline, chaque irrigation laissant sur le sol la quantité des sels contenue dans l'eau utilisée. Ces phénomènes rendent nécessaire un bon drainage qui malgré tout laissera dans le sol une certaine quantité de sels dont devront s'accommoder les plantes cultivées (DURAND, 1983).

L'eau d'irrigation s'infiltré et suivant la perméabilité du sol et sa capacité de rétention, reste à la disposition des plantes cultivées pendant un certain temps. Elle se concentre sous l'influence conjuguée de l'évaporation et de l'absorption par les racines des plantes qui puisent très peu de sels solubles. Les études américaines au champ et en lysimètres montrent que les eaux d'irrigation, en l'absence de toute précipitation ou dissolution des sels provenant du sol sont quand elles quittent la zone radiculaire de trois à dix fois plus concentrées que lorsqu'elles sont appliquées sur le sol. (DURAND, 1983). Cette augmentation de la concentration dépend de la texture et de la perméabilité du sol. L'eau qui s'écoule dans les drains en fin d'écoulement correspond à peu de chose près à la solution du sol à la limite de drainage (BOULAINÉ, 1974 ; DURAND, 1983). On peut donc définir un facteur de

multiplication par lequel il faut multiplier les concentrations en ions de l'eau d'irrigation pour obtenir les concentrations des mêmes ions dans l'eau de fin de drainage (tab. 7).

Tableau 7 : Facteur de multiplication de la concentration en fonction de la texture du sol

Textures	Facteur adopté
Sable	1,5
Limon sableux	2,5
Limon	4
Limon argileux	5
Argile	5 – 10

(DURAND, 1983)

Le facteur de concentration trouvé dans la région de Oued Rhir est environ 2 où les sols présentent une texture a dominance sableuse (MASMOUDI, 1996).

9- Irrigation et salinisation

La salinité du sol de l'eau constitue le problème majeur dans beaucoup de pays (SZABOLOCS, 1979). La salinisation et la sodisation provoquent une dégradation des propriétés chimiques, physiques et biologiques des sols. Le développement de l'irrigation s'est dans la majorité des situations accompagné de l'apparition de processus de salinisation, de sodisation ou d'alcalisation des sols à des degrés d'importance divers (MARLET, 2004). L'intensité de la salinisation est en rapport avec la qualité des eaux d'irrigation utilisées (DJILI et al, 2003). La salinisation des sols dans les régions arides et semi arides du monde est non seulement liée aux conditions climatiques mais également au recours souvent mal contrôlé de l'irrigation (BENNACEUR, 2001). FAO (1996) a noté que la plupart des problèmes de salinité et de sodicité sont liés aux systèmes d'irrigation ; le drainage devrait toujours être prévu dans la conception d'un système d'irrigation. Car le taux de salinisation est extrêmement rapide en absence de drainage (FERERES, 1983).

WYN-JONES et GUNSTON (1991) in DJILI et DAOUD (1999) citent quatre principales causes de salinisation des terres cultivées :

- la qualité médiocre des eaux d'irrigation
- l'insuffisance d'eau pour lessiver des sels
- le mauvais drainage des sols
- la faible profondeur de la nappe phréatique

L'utilisation des eaux salées constitue donc le principal facteur de la salinisation avec la mauvaise gestion d'irrigation qui comporte le non maîtrise des besoins en eau des cultures et le besoin de lessivage. Selon MOUHOUCHE (2000), l'absence ou le manque de lessivage des sels peut avoir les causes suivantes :

- Manque de périodes excédentaires en pluie durant les douze mois de l'année
- Manque de réseau de drainage
- Manque d'entretien du réseau de drainage
- Dans certains cas, manque de pente hydraulique permettant l'évacuation des eaux de drainage.

La présence d'une couche de sol imperméable provoque une accélération du phénomène de salinisation. De même la remontée de l'eau souterraine limite le drainage naturel et empêche le lessivage du sol (SZABOLOCS, 1979). Si un excès d'eau provoque une irrigation du sol en profondeur en présence d'un bon drainage, le manque d'eau provoque une accumulation de sel dans les horizons de surface. La vitesse de salinisation dépend de la profondeur de la couche imperméable et la texture du sol, elle est plus rapide dans un sol moins profond et de texture fine (MOUHOUCHE, 1999), Ainsi que, dans le cas d'utilisation des eaux très salées même si la période d'exploitation est assez courte (MASMOUDI, 2003).

Au Sahara algérien les sols sont menacés ou touchés par une salinisation croissante en raison de l'absence d'un réseau de drainage (BENNADJI et BENNADJI, 1998). En effet, les études faites par DAOUD et HALITIM (1994) et DJILI et al (2003) dans les périmètres de mise en valeur au Sahara ont montré que l'irrigation par des eaux diversement minéralisées provoque la salinisation des sols et en particulier les horizons de surface. La charge saline a été multipliée par 4 à 6 suivant la source d'eau d'irrigation utilisée. C'est ainsi que la salinisation secondaire constitue un facteur de dégradation des sols qui se traduit par une chute des rendements céréaliers (DJILI et al, 2003).

Au Maroc, BADRAOUI et al (1998) ont trouvé que l'irrigation a causé une augmentation significative du taux variation annuelle de la CE de la moitié des parcelles irriguées par pivot. Selon BADRAOUI et al (1998), l'irrigation même avec une eau de bonne qualité a causé sur des sols ayant une perméabilité satisfaisante une salinisation rapide des sols dans une région à forte évaporation.

D'après FERERES (1983), la salinisation est normalement un processus de long terme, aussi peu d'irrigation avec eau chargée en sels peut salinise le sol en seule campagne.

10- Perméabilité des sols et salinité

Plusieurs recherches sur les propriétés hydrodynamiques des sols et des argiles ont montré que la conductivité hydraulique dépend de la composition chimique et la concentration de la solution de percolation ainsi que de l'état structural du système (ARINGHIRI et GIACHETTI, 2001). Le taux d'infiltration est généralement augmente avec l'augmentation de la salinité et diminué soit avec la diminution de la salinité ou l'augmentation du SAR (AYERS et WESTCOT, 1985), (ROHADES et al, 1992). Une teneur excessive du sodium dans l'eau d'irrigation provoque la dispersion et la dégradation de la structure, ceci est généralement vrai si le rapport Na/Ca est plus élevé de 3:1 (AYERS et WESTCOT, 1985). DURAND (1983), montre que tant que le sodium n'atteint pas 50% du total des cations son action sur le complexe adsorbant du sol semble restreinte, au dessus de cette valeur le danger est grand, il se traduit par l'imperméabilisation et la stérilisation du sol. Pour HALITIM (1988), plus l'ESP est élevé et plus la conductivité hydraulique est faible, mais la relation n'est pas linéaire. En effet, un pourcentage de sodium échangeable élevé entraîne une faible stabilité structurale (AGASSI et al, 1981 ; VALZANO et al, 2001 ; VANCE et al, 2002) in (DOUAOUI et al, 2004). Un sol qui contient du sodium adsorbé à un taux dépassant 15 à 20% de sa capacité d'échange présente des propriétés physiques défavorable : gonflement et imperméabilisation par défloculation (DURAND, 1983), le gonflement des argiles conduit à la destruction des agrégats et à la dispersion ce qui bloque les pores conducteurs du sol. Une prise en masse du sol peut également réduire fortement l'infiltration de l'eau dans le sol et conduire à une hydromorphie plus ou moins importante (DOUAOUI et al, 2004). SAIDI et al, (2004), ont trouvé que sous l'effet de la salinisation les sols manifestent une évolution structurale défavorable qui influence le comportement hydrodynamique de surface car la salinité des sols étudiés s'accompagne d'une sodisation du complexe d'échange.

Enfin, a travers l'observation des sols irrigués et drainés, DURAND (1983) a conclut que si la teneur relative du sodium de l'eau d'irrigation est inférieure à celui de l'eau de drainage de la parcelle irriguée, il y a départ de ce cation et tout est pour le mieux, si au contraire, il est supérieure, il y a fixation de sodium dans le sol et danger d'imperméabilisation.

11- Salinisation et dégradation des sols

La salinisation a conduit à l'abandon des très anciens périmètres irrigués de Mésopotamie (BOUTEYRE et LOYER, 1992). Actuellement, les remontées salines et la salinisation des sols sont citées parmi les principales causes de la perte de productivité de nombre élevé de périmètres irrigués dans le monde (BOIVIN, 1999). La dégradation des sols sous l'effet de la

salinité est due à la mauvaise gestion des superficies irriguées et l'absence de drainage (ABDELJAOUAD, 1999). En effet, la qualité de l'eau d'irrigation suivant la texture et les possibilités de drainage des sols influence largement la vitesse de dégradation du sol (UMALI, 1993 in BADRAOUI et al, 1998). Selon CHEBBANI et al (1999), La croûte de salinisation témoigne d'une dégradation très avancée de la surface du sol, la structure est de type spongieuse, la surface est recouverte par une pellicule très mince qui recouvre une zone de transition formée de pseudo sable. Pour GAOUAR et al (1999), l'ESP est la principale caractéristique de dégradation des sols suivie par les limons et la salinité. Enfin, LASRAM et al (2001), ont montré que la salinisation est la cause majeure de la dégradation des terres, et elle est étroitement liée à la désertification ; la salinisation progressive engendre le phénomène de la désertification et vice-versa.

12- Les sels solubles, évolution et interaction

Les chlorures se sont les sels les plus mobiles, les chlorures de Na, Ca et Mg sont les sels les plus solubles et dominant dans les régions arides et semi arides. Suite à leurs solubilités élevées leurs teneurs augmentent avec l'augmentation de la salinité (GHAIBA, 1996). Selon HALITIM (1988), dans les régions arides d'Algérie, le Cl est dominant parmi les anions et le Na est presque toujours le plus abondant parmi les cations. Le Na et Cl ont le même sens d'évolution (ABDELJAOUAD, 1996). Ils varient aussi dans le même sens que la CE (CRUESI, 1970), (HALITIM, 1988), par conséquent leur teneur sont parfaitement corrélées avec la CE (HALITIM, 1988). En effet, les ions Cl et Na du fait de leur provenance de sels très solubles conditionnent la majeure partie des variations de la salure (CRUESI, 1970). Selon BOUGENDRE (1973), l'assimilation du chlore du sol par la plante dépend surtout des conditions physiques du sol, dans un sol même riche en chlorure mais a porosité libre élevée la plante assimile peu de chlore. Le sulfate de Mg a une solubilité élevée, cependant le comportement de Mg^{++} est semblable au Ca^{++} (GHAIBA, 1996), le sulfate de Na se dissout facilement dans l'eau 280g/l à 25c°, en hiver sa solubilité diminue (GHIBA 1996). Les carbonates a une réaction alcaline dans la solution du sol, le carbonate de Mg a une solubilité plus élevée que le carbonate de Ca. Le carbonate de Na a une solubilité très élevée pH 12, il est toxique pour les plantes. Les ions SO_4^- varient aussi avec la CE. Le Ca varie très peu avec la CE, son concentration et plus faible et son lessivage est aussi faible (GHAIBA, 1996). Les carbonates CO_3^- et le potassium K se trouvent en très faibles quantités dans les sols des régions arides d'Algérie (HALITIM, 1988).

Les interférences entre les ions se produisent au niveau de l'absorption par un effet d'antagonisme ou de synergie. La concentration de Na et de Ca dans la solution du sol diminue la concentration de K et Mg dans les feuilles des plantes (BERNSTEIN et al, 1974 in ARAGUES, 1983). Aussi, l'excès du chlorure dans le sol provoque une diminution nette en potassium et en calcium dans la plante (BOUGENDRE, 1973). La présence d'un excès de Na diminue le prélèvement de K par la plante (BALBA, 1979 ; CHORFI, 2009), mais après le lessivage du sol le prélèvement est augmentée (BALBA, 1979).

13- Salinité - éléments nutritifs et fertilisation

Selon FEIGIN (1985), les recherches sur la fertilisation en milieux salés montrent des résultats contradictoires : positifs et négatifs ou pas d'effet de la fertilisation sur la tolérance des plantes à la salinité. Dans ce contexte ARAGUES (1983), a montré que, si la fertilisation est excessive ou l'engrais est localisé par concentration élevée dans un petit volume du sol ceci augmente l'effet osmotique ce qui influe sur la plante. L'effet osmotique est plus élevé en sol sableux qu'en sol argileux, car la teneur en eau est plus faible (JURINAK et WAGENET, 1981 in ARAGUES, 1983). Cependant, beaucoup de travaux ont montré l'utilité de l'apport des engrais en conditions salines en particulier l'apport de potasse. Selon ZNATI (2009), l'apport des doses supplémentaires de Ca, K et Mg peut limiter l'effet négatif de la salinité en augmentant la résistance du végétal.

Pour l'azote, ALTAHIR et al (1997) in NAGAZ et al (2000) et NAGAZ et al (2000), ont trouvé que le rendement de l'orge augmente avec l'augmentation de la dose l'azote appliquée sous irrigation avec l'eau douce et salée. La réduction du rendement de l'orge dû à l'augmentation de la salinité d'eau d'irrigation est compensée par l'augmentation des doses d'azote appliquées (OSMAN et al, 1997 ; NAGAZ et al, 2000). L'ion nitrate plutôt que l'ammonium constitue une meilleure source d'azote sous stress salin pour le blé (ALMUTAWA et ELKATONY, 2001) et pour la tomate (FLORES et al, 2003). Le milieu pauvre en NO_3 favorise une absorption élevée de Cl et vice versa (ZNATI, 2009). L'apport de K et NO_3 semble atténué l'effet néfaste de la salinité sur le développement des plantes en créant un meilleur équilibre ionique dans la rhizosphère (PALIWAL, 1972).

Pour le phosphore, le prélèvement du phosphore par les plantes est influencé négativement en présence de la salinité (BALBA, 1979). Selon SHAHER et FADEL (1996), le Cl inhibe l'absorption du P_2O_5 et l'augmentation de la teneur de ce dernier a un effet important en milieu salé.

Le potassium a un rôle important dans le stress hydrique et salin (CAKMAK, 2010). Plusieurs chercheurs ont montré ou signalé l'importance de l'apport de K et son rôle dans l'amélioration de la tolérance des plantes à la sécheresse et la salinité. En effet, le K serait rapidement assimilé par la plante en augmentant sa pression osmotique interne sans provoquer de désordres physiologiques secondaires importants (BERTRAND, 1981). Il augmente l'absorption d'eau, favorise ainsi la turgescence des cellules, il diminue également les pertes par transpiration et augmente l'efficacité de la régulation stomatique (RAJOPOL, 1985 ; SAXEN, 1985). Donc l'apport de K surtout sous forme de sulfate de potasse augmente la tolérance à la salinité et diminue le stress hydrique. Pour cela, KALIL et al (1967) et DEVIIT et al (1981) in (ARAGUES, 1983) suggèrent l'addition de K pour opposer à la compétition du Na et Ca en sols salés. En effet, La présence de quantité adéquate de K dans le sol réduit l'absorption de Na (ABDELJAOUAD, 2003).

Enfin BALBA (1979), a montré que l'extraction de Fe, Mn, Zn, P et Ca est faible en présence d'une solution du sol riche en Na_2CO_3 , ainsi que, le prélèvement de Fe et Mn par les plantes diminue.

D'une façon générale, LEHOUEIROU (1991), a signalé que l'obtention des rendements importants des plantes halophytes nécessite un bon sol drainé et application importante de fumure. D'autre part, l'addition d'éléments nutritifs aux eaux salines permet de diminuer l'effet de la salinité en accroissant à la fois la production totale et la qualité des fruits (SNOUSSI et HALITIM, 1998) ; SNOUSSI (1998) a montré que la production de la tomate est 13 fois plus élevée dans les eaux salines corrigées que les eaux salines naturelles.

14- Méthodes d'irrigation et salinité

Le choix de la méthode d'irrigation avec l'eau salée dépend :

- de la distribution des sels et l'eau dans le sol
- la sensibilité des plantes au mouillage foliaire
- la fréquence d'irrigation

Le mauvais choix de la méthode d'irrigation non seulement aggrave la salinisation du sol mais aussi peut créer des problèmes de drainage (HAMDY, 2001b)

14.1- L'irrigation de surface

La méthode la plus connue et la plus utilisée, les sels s'accumulent généralement au dessous de la zone racinaire mais ceci dépend des conditions de lessivage. En irrigation par cuvettes et par planches, la salinité augmente entre 2 irrigations dans la couche supérieure et diminue

durant l'irrigation. En irrigation à la raie, les sels s'accumulent au milieu du billon et surtout la partie supérieure d'où une attention particulière doit tenir en compte au lit de semences.

14.2- l'irrigation par aspersion

C'est une méthode qui permet une économie d'eau surtout dans le cas des sols très filtrants. Cependant, le problème de l'aspersion dans le cas de l'utilisation des eaux salées est le risque de brûlure de feuilles mais les cultures ne sont pas toutes pareillement sensibles. L'arboriculture et les ornements sont sensibles à l'aspersion lorsque l'eau contient une quantité de Na et de Cl supérieure à 3meq/l, par contre la sensibilité des cultures annuelles est plus élevés 15 à 20 ou 30meq/l (AYERS, 1976 ; AYERS et WESTCOT, 1985). Selon ABDELJAOUAD (1996) l'aspersion ne doit pas être utilisée si l'eau d'irrigation contient plus de 20 meq/l de Na et du Cl. Quant à son effet sur le sol, elle a tendance aussi à provoqué une salure importante des couches superficielle (BOUGENDRE, 1973).

Au Sahara Algérien, l'irrigation sous pivot avec des eaux salées a engendré une salinisation des sols notamment dans la couche de la surface (DAOUD et HALITIM, 1994) (DJILI et al, 1999). MOUHOUCHE (2000) a montré que la CE des sols sous pivot au Sahara varie de 6 ds/m au début de la campagne à plus de 24 ds/m en fin de campagne.

14.3- L'irrigation goutte à goutte

La micro irrigation peut permettre une économie concernant la ressource hydrique, l'énergie de pompage et la fertilisation (ZELLA ET KETTAB, 2003). L'introduction de l'irrigation goutte à goutte a donné un grand avantage dans l'utilisation de l'eau salée (AYERS, 1976 ; HAMDY, 2001b ; HAMDY et RAJAB, 2001). En effet, les feuilles ne sont pas mouillées et la partie de sol sous le goutteur où se trouvent les racines et constamment humide ce qui empêche la concentration et l'accumulation des sels. Mais les sels s'accumulent sur la surface entre les goutteurs et le front d'humectation (YARON et al, 1973 in HAMDY, 2001b ; AYERS, 1976 ; HAMMOUDI, 1999). Les racines des plantes tendent à se concentrer dans la zone lessivé à proximité des goutteurs évitant ainsi les sels accumulés au front d'humectation (HAMDY, 2001a). Une salinité élevée de l'eau d'irrigation peut être tolérable en irrigation goutte à goutte par rapport à d'autres méthodes d'irrigation (HAMDY, 2001b). En effet, l'irrigation fréquente maintient l'eau du sol à 50% de l'eau utile donc réduit l'effet du potentiel osmotique (YAZAR et al 2003). Aussi l'irrigation goutte à goutte peut donner des récoltes meilleures que celles des autres types d'irrigations dans le cas où l'on doit utiliser de l'eau salée (AYERS, 1976). Comparée à l'irrigation à la raie, l'irrigation goutte à goutte a donné les

rendements les plus élevés et un meilleur calibrage de tomate en conditions salines (CHELOUFI et al, 2001 ; FLAWRES et al, 2003). MASMOUDI (2000) a trouvé une augmentation du rendement des cultures maraîchères irriguées au goutte à goutte varie entre 3% à 36% d'augmentation selon la salinité des eaux qui varie de 2 à 6 ds/cm par rapport à celles irrigués à la raie. Ainsi, HAMDY et al (1995) ont trouvé avec une eau de CE 9 ds/m que l'irrigation goutte à goutte a donné une production nettement meilleure que l'irrigation de surface. Des résultats similaires ont été obtenus en comparaison avec l'aspersion en utilisant de l'eau salée (CTGREF, 1979). Le grand problème de l'irrigation goutte à goutte est le besoin d'enlever les sels accumulés sur la surface et le front d'humectation (HAMDY, 2001a). Car les sels accumulés constituent un danger pour les nouvelles cultures s'ils ne sont pas lessivés d'avance (AYERS et WESTCOT, 1985). Donc l'accumulation progressive des sels d'une compagne à une autre sans lessivage peut conduire à une salinisation importante du sol. Selon HACHICHA et HALLAIRE (2002), Les conséquences des techniques d'irrigation localisée restent peu évaluées surtout avec eaux riches en sels.

15- Gestion de l'irrigation avec des eaux salées

La gestion de l'irrigation avec les eaux salées comporte principalement : la gestion de lessivage, le drainage, la fréquence d'irrigation et la gestion des différentes sources d'eaux.

15.1- Le besoin en lessivage

En zone aride et semi aride, l'irrigation des sols salés nécessite un apport d'eau supérieur du besoin des cultures (VALLES et al, 1988) qui peut permettre le lessivage des sels.

Le lessivage est le facteur principal par lequel la salinité du sol peut être maintenue à un niveau acceptable pour les plantes cultivées. Il faut lessiver les sels hors de la zone racinaire avant que leur niveau puisse affecter la croissance. La fréquence et la quantité de lessivage dépendent de la qualité d'eau, le climat, le sol et la tolérance des plantes à la salinité. En général, le lessivage est appliqué à chaque irrigation ou périodiquement quand l'accumulation des sels devient excessive. Le lessivage périodique lorsqu'un excès des sels se produit est préférable que le lessivage à chaque arrosage (CRUESI, 1970 ; HAMDY et al, 1995 ; HAMDY, 2001a ; HAMDY, 2001b ; HAMDY et RAJAB, 2001) car, le lessivage permanent augmente le risque d'engorgement et d'asphyxie des cultures (HAMDY et al, 1995 ; HAMDY, 2001c). Pour (VAN HOORN, 2001), le lessivage se fait durant la période de faible consommation d'eau pour les cultures (ETP faible). Cependant, le lessivage continu reste à conseiller lorsque l'on a une nappe phréatique saumâtre proche de la surface, ou bien lorsque

l'on a un taux d'évaporation élevé à condition toutefois que la perméabilité du sol soit bonne (CTGREF, 1979).

Pour augmenter l'efficacité de lessivage et réduire aussi la quantité d'eau, il est nécessaire de lessiver pendant la saison froide lorsque les pertes par évapotranspiration sont faibles. Par ailleurs, l'utilisation des asperseurs à une pluviométrie horaire inférieure à la vitesse d'infiltration des sols est efficace pour le lessivage (HAMDY, 2001a). Selon GALLEZ et al (1981), un régime d'écoulement très lent et une évaporation minimale peuvent être réalisés durant la période hivernale. En effet, un apport lent pénètre mieux dans les pores les plus fins des sols et permet donc une meilleure dissolution des sels (CTGREF, 1979).

Le besoin de lessivage augmente avec l'augmentation de la salinité de l'eau d'irrigation et la sensibilité des plantes (PALIWAL, 1972). Il est à noter que le lessivage même avec eau salée joue un rôle important dans la diminution de l'accumulation des sels, cependant, il est recommandé de lessiver avec une eau dont la CE est inférieur à l'eau d'irrigation (HAMDY 2001a). En revanche, LOYER (1991) a noté que les normes de lessivage habituellement définies sont souvent excédentaires, la tendance actuelle serait de maintenir les sels à une certaine profondeur, donc d'utiliser moins d'eau et ainsi de limiter les quantités à drainer. La FAO (1985) in (LOYER, 1991) préconise 300mm pour lessiver 30cm de sol et enlever 80% des sels. D'autre part, l'expérience sur des sols argileux a montré que 600mm en submersion lessivent 80cm - 90cm de sol à 90%.

15.2- Le drainage

Le drainage naturel ou artificiel est le complément indispensable de l'irrigation (VAN HOORN, 1995). Par le drainage on évacue les eaux chargées en sels et on peut maintenir le niveau de la nappe à une profondeur constante. La salinité peut être provoquée par la remontée saline de l'eau souterraine. Cette remontée capillaire apporte les sels à la surface du sol et dans le profil. Le drainage est important dans ces conditions non seulement pour empêcher la salinisation mais aussi de fournir une aération adéquate aux racines des plantes (HAMDY et RAJAB, 2001). Les drains doivent pourvoir évacuer les eaux salées loin de la zone des cultures. Le drainage se fait soit par des drains à ciel ouvert ou des drains enterrés. La conductivité hydraulique du sol détermine largement l'espacement des drains. Si le drainage est satisfaisant, la salinité du sol sera liée directement à la salinité d'eau d'irrigation (ELSHIMI, 2001). Selon RITZEMA et al (2008), le drainage a amélioré la production des cultures à plus de 50%, diminué le niveau de la nappe à 25% et diminué la salinité à 50% en INDE.

15.3- La fréquence d'irrigation

La plupart des auteurs montrent que l'augmentation de la fréquence d'irrigation en conditions saline a un effet favorable sur les cultures. En effet, la chute de rendement augmente avec le temps d'exposition à la salure ; lorsque le sol s'assèche, sa solution se concentre et il peut y avoir des effets très marqués sur les cultures (BERTRAND, 1981). Cependant, l'effet néfaste de l'eau salée peut être moins accentué si l'intervalle entre 2 irrigations est réduit par l'augmentation de la fréquence d'irrigation puisque la pression osmotique sera réduite par l'apport de l'eau à travers l'irrigation (PALIWAL, 1972).

Ainsi PALIWAL, (1972) a montré que lorsque on irrigue avec l'eau salée, le sol ne doit pas être séché en comparaison avec l'irrigation avec l'eau non salée. Car l'effet négatif de la salinité peut être atténué par une humidité élevée constante, c'est-à-dire le rapprochement des périodes d'arrosage. Les travaux de CRUESI (1970), ont montré que la meilleure production est obtenue avec la fréquence élevée sur sorgho. En effet les plantes tolèrent un haut niveau de salinité de la solution des sols (jusqu'à 7g/l) sous des conditions de faible stress hydrique résultant d'irrigation fréquente (DAOUD et HALITIM, 1994). Puisque les sels solubles réduisent la disponibilité en eau, et le stress hydrique entre deux irrigations peut être souvent éliminé par augmentation de la fréquence d'irrigation (AYERS et WESTCOT, 1985).

Après irrigation la teneur de l'eau du sol et au maximum et la concentration des sels et au minimum, lorsque la durée entre les irrigations devient assez longue, la concentration des sels peut arriver au niveau de stress pour les plantes. Pour cela, maintenir l'humidité à un niveau favorable par une fréquence d'irrigation appropriée, ceci rend la plante capable de tolérer une concentration élevée de la solution du sol et d'éviter le stress salin. Ainsi, OULD AHMED et al (2006) n'ont pas observés de stress salin sur sorgho irrigué avec une eau de 7,3ds/m quotidiennement sur sol sableux. En conséquence l'augmentation de la fréquence d'irrigation avec des faibles quantités d'eau aide à compenser l'effet défavorable de la salinité d'eau d'irrigation (GTZ, 2003). Elle empêche ainsi l'accumulation des sels dans la zone racinaire, cependant l'augmentation de l'intervalle d'irrigation même avec fortes quantités d'eau provoque l'accumulation des sels (KRIDA et BAYTORUN, 2000). Ainsi, RAJAB et al (2003) ont indiqué que l'augmentation de la fréquence d'irrigation peut réduire l'accumulation des sels dans le sol et augmente le rendement. En outre, plus la fréquence d'irrigation est grande plus la solution du sol est diluée et plus l'enlèvement des sels solubles est facile (DURAND, 1983). Enfin, ROHADES et al (1992) ont précisé que l'augmentation de la fréquence peut augmenter l'humidité et diminuer la salinité spécialement dans les premiers stades de la plante.

15.4- Gestion des ressources en eau de différentes qualités

Pour accroître les superficies cultivées et maximiser l'utilisation de l'eau disponible de différentes qualités, les techniques de mélange et de l'alternance sont proposés.

15.4.1- Mélange des eaux : les eaux de différentes qualités sont mélangées avec un rapport permettant de déterminer au préalable la salinité de l'eau à délivrer suivant la tolérance des cultures. Ce procédé permet d'augmenter la quantité totale d'eau mais en même temps il détériore l'eau de bonne qualité disponible.

15.4.2- Alternance d'application des eaux : changement de la source d'eau au cours de la saison d'irrigation suivant la tolérance des cultures à la salinité aux différents stades de croissance.

Les données techniques et économiques sont en faveur de l'alternance que le mélange (AYERS, 1985 ; LOYER, 1991 ; SHALHEVET, 1994 in LASRAM et al, 2001 ; HAMDY et al, 1995 ; GTZ, 2000 ; HAMDY, 2001a ; HAMDY, 2001b ; HAMDY et RAJAB, 2001 ; CHAUHAN et al, 2008). En effet, l'eau de bonne qualité est utilisée lors des premiers stades où la plante est plus sensible (germination, levé) et l'eau de mauvaise qualité peut être utilisée quand la plante ne sera pas très sensible. Donc l'alternance de l'irrigation permet de fournir avec l'eau de bonne qualité des conditions favorables de démarrage des cultures où les plantes sont plus sensibles à la salinité. Dans les derniers stades où les plantes sont plus tolérantes l'irrigation se change vers l'eau salée. Par cette méthode, on peut minimiser la réduction du rendement causé par la salinité (SHALHEVET, 1994 ; MINHAS, 1996) in (WAN et al, 2007). Cette technique est recommandée en particulier pour les plantes à faible et moyenne tolérance (GTZ, 2000). En revanche, le mélange des eaux constitue une perte pour l'eau de bonne qualité qu'il doit être gardée de préférence pour l'irrigation des plantes sensibles ou les stades sensible de développement. En effet, les quantités d'eau de bonne qualité nécessaires à la dilution de l'eau salée sont très élevées. Cependant le mélange est recommandé seulement si la CE des sources d'eau disponibles sont relativement faible à moyenne (HAMDY et RAJAB, 2001) ou l'eau de bonne qualité est disponible en abondance (GTZ, 2000). Par ailleurs ABDELJAOUED et GHAIBA (2000) ont montré que le mélange a donné des bons résultats dans les sols de texture moyenne à lourde, tandis qu'en sol sableux c'est l'irrigation par alternance qui est la meilleure.

II.PARTIE PRATIQUE

1. Préambule

La salinisation secondaire est généralement liée à l'irrigation dans la région aride. La charge saline de l'eau ainsi que la mauvaise gestion de l'irrigation sont les principaux responsables de l'accumulation des sels dans le sol et la dégradation des rendements des cultures des périmètres irrigués.

L'objectif de notre travail est dans un premier temps est la mise en évidence de la salinisation des sols dans la région liée aux différentes techniques d'irrigation : l'irrigation de surface (submersion), l'aspersion et l'irrigation goutte à goutte. En deuxième étape, notre objectif vise à la contribution à limiter ou atténuer l'effet de la salinité sur la plante à travers l'expérimentation sur l'effet du régime hydrique et la fertilisation.

2. Méthodologie générale

Le travail de recherche a été divisé en deux parties, la première partie concerne les études sur terrain sur les trois méthodes principales d'irrigation : submersion, aspersion, goutte à goutte et leur effets sur la salinisation des sols. La deuxième partie concerne l'expérimentation qui vise à apporter une contribution aidant à limiter ou diminuer l'effet nocif de la salinité sur le végétal. La première expérimentation concerne l'effet du régime hydrique du sol sur le végétal en conditions salines, tandis que, la deuxième vise à étudier l'effet de la fertilisation sur la plante en milieu salé.

II.1- L'ETUDE PRATIQUE

Chapitre I : L'irrigation de surface (submersion)

Introduction

La pratique de l'agriculture dans la région saharienne est impossible sans irrigation. La région de Biskra est la première région en superficies irriguées au niveau national avec 81632 ha (ANONYME, 2006). La technique d'irrigation de surface est la plus répandue. Ce système d'irrigation est le plus connu dans le monde mais l'efficacité de l'eau est faible (WOLTERS, 1992 in LEVY et al, 2002). L'irrigation s'effectue généralement par des eaux souterraines de salinités différentes. Notre étude a été réalisée dans la région de M'lili qui est caractérisée généralement par la salinité de ses eaux d'irrigation. L'objectif de ce travail est l'étude de la salinisation des sols sous l'effet des eaux d'irrigation salées et l'évolution de cette salinité.

1- Méthodologie

L'étude a été effectuée dans les anciennes palmeraies de la région de M'lili et les périmètres de mise en valeur implantés plus ou moins récemment dans la région. On a choisi plusieurs sites pour nos interventions qui concernent en particulier l'échantillonnage des sols et des eaux d'irrigation des puits et des eaux des forages ; d'autres échantillons des sols considérés comme références de comparaison ont été prélevés dans chaque site mais dans des endroits non irrigués. Les sites d'étude sont choisis d'une manière qu'ils soient s'il est possible plus ou moins différents du point de vue qualité des eaux et des sols ainsi qu'ils soient plus ou moins éloignés entre eux, ils couvrent ainsi presque toute la région. Le nombre de sites dans la première année d'étude est de 23 dont 17 sites dans les anciennes palmeraies et 6 sites dans les périmètres de mise en valeur. Les prélèvements des échantillons des sols dans les cuvettes des palmiers ont été effectués à la tarière sur 3 profondeurs 0-20, 20-40 et 40-60cm. Le suivi de la salinité des sols a été effectué au cours des années 2004, 2006 et 2007.

2- Résultats et discussion

2.1- La salinité des eaux des puits des anciennes palmeraies :

A travers les résultats de la CE des eaux des puits des anciennes palmeraies, on remarque en général que ces eaux ont une salinité élevée et parfois même dangereuse. A l'exception du site 17 qui est irrigué avec une eau de forage de CE 3.94 ds/m, la CE des eaux des puits des sites varie de 6,37 à 16,62 ds/m (fig. 6), la concentration des sels peut atteindre 10,5g /l environ. Ces eaux sont classées parmi C4 selon la classification américaine (USDA, 1954). Cette salinité a influé négativement sur l'agriculture de ces palmeraies non seulement sur les cultures sensibles mais aussi sur les espèces tolérantes où leur production est touchée en

quantité et notamment en qualité surtout dans les sites irrigués par des eaux de $CE \geq 14$ ds/m. Il est à noter que la salinité des eaux d'irrigation des puits de palmeraies a connu des augmentations avec le temps, en conséquence, on a observé dans certaines palmeraies la disparition progressive des espèces arboricoles selon leur tolérance à savoir : poirier, prunier, abricotier, vigne, figuier et grenadier. Le palmier dattier a été touché aussi en particulier sur le plan qualité des dattes.

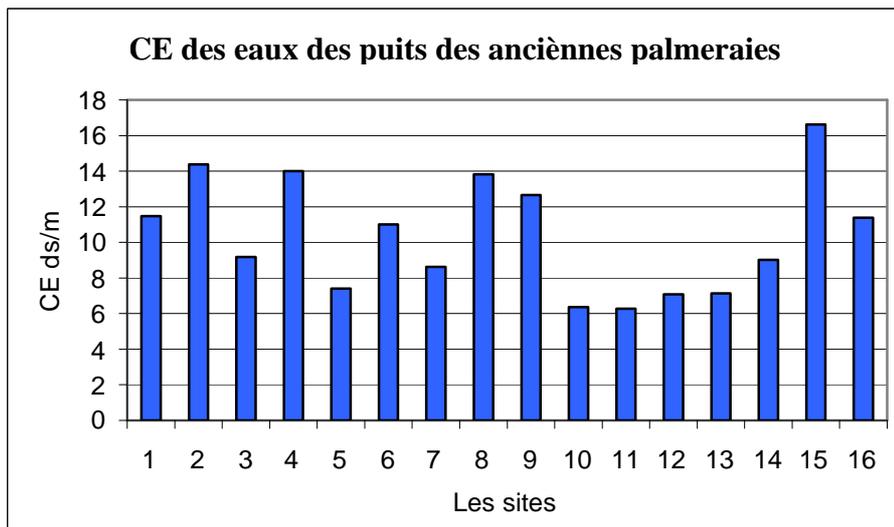


Fig. 6 : Salinité des eaux des puits des anciennes palmeraies

2.2- La salinité des eaux des puits des périmètres de mise en valeur

Les sites étudiés dans les périmètres de mise en valeur se trouvent dans deux zones différentes, les eaux des sites de la première zone sont les moins salées dans la région, la CE varie de 4,8 à 5 ds/m (C4). Par contre les eaux des sites de l'autre zone sont salées représentée par le site (N°20) dont la CE = 10,97ds/m (fig. 7). Il est à noter que les sites 21, 22 et 23 sont irrigués par des eaux de deux forages dont les CE sont 5 ds/m (21, 22) et 3.65 ds/m (23).

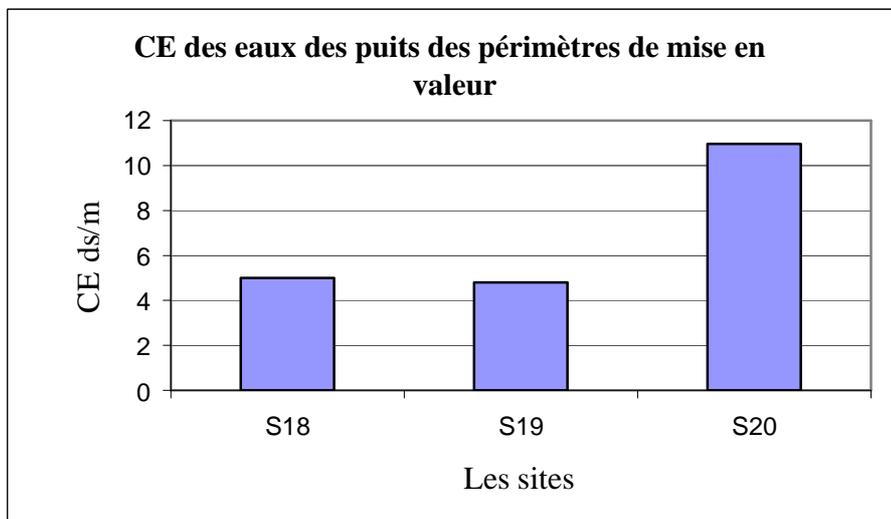


Fig. 7 : Salinité des eaux des puits des périmètres de mise en valeur

2.3- La salinité des sols des sites étudiés

Les sols des anciennes palmeraies sont généralement plus salés que les sols des périmètres de mise en valeur. La CE moyenne des sites des anciennes palmeraies varie de 2.39 à 9.75 ds/m (annexe 3), tandis que la CE moyenne des sols des sites des périmètres de mise en valeur est de 1.28 à 2.26 ds/m à l'exception du site n° 20 où la CE moyenne est 2.59 ds/m (annexe 4). Ce dernier est irrigué avec une eau très fortement salée (10,97ds/m), par contre, les eaux des autres sites sont moins salées, ainsi que l'exploitation est plus ou moins récente et par conséquent les sols de ces sites sont généralement non salés. L'évolution de la salinité en fonction de la profondeur montre que la majorité des sites étudiés présentent une augmentation relative de la salinité avec la profondeur (fig. 8), ceci est vraisemblablement l'effet de la percolation des eaux de lessivage chargées en sels. Certains sites présentent au contraire une évolution différente de salinité, cette dernière diminue en profondeur, ce qui semble que cette évolution est liée au régime d'irrigation surtout la fréquence d'arrosage. En effet, lorsque la fréquence est moins importante l'évaporation de l'eau du sol enrichie la surface en sels, ce qui augmente la salinité des couches superficielles. Les sites irrigués au goutte à goutte (7, 19) présentent une accumulation relative des sels à une faible profondeur car la quantité d'eau fournie semble insuffisante pour un lessivage profond.

2.4- Relation entre la salinité des eaux d'irrigation et la salinisation des sols 2004

Pour confirmer la salinisation des sols après irrigation par des eaux salées, il fallait avoir des analyses préalables avant l'exploitation, ce qui n'est pas disponible. En effet, on a prélevé dans chaque site un échantillon de sol non irrigué et non exploité pour servir à la comparaison (témoin) (BADRAOUI et al, 1998).

Les résultats que nous avons obtenus, même si certains d'entre eux (la moitié environ) montrent une salinisation marquée et les autres résultats ne l'indiquent pas sur la base de la comparaison de la salinité des échantillons, il nous semble que la quasi-totalité des sols des anciennes palmeraies s'ils ne sont pas tous, sont effectivement salinisés. Cette conviction provient de la difficulté de trouver des échantillons de sol non touchés par les eaux d'irrigation dans les petites palmeraies, ainsi que les sols des périmètres de mise en valeur qui sont relativement récents et dans la même région sont généralement moins salés que ceux des anciennes palmeraies. Néanmoins, on se basant sur nos résultats pour expliquer le problème de la salinisation.

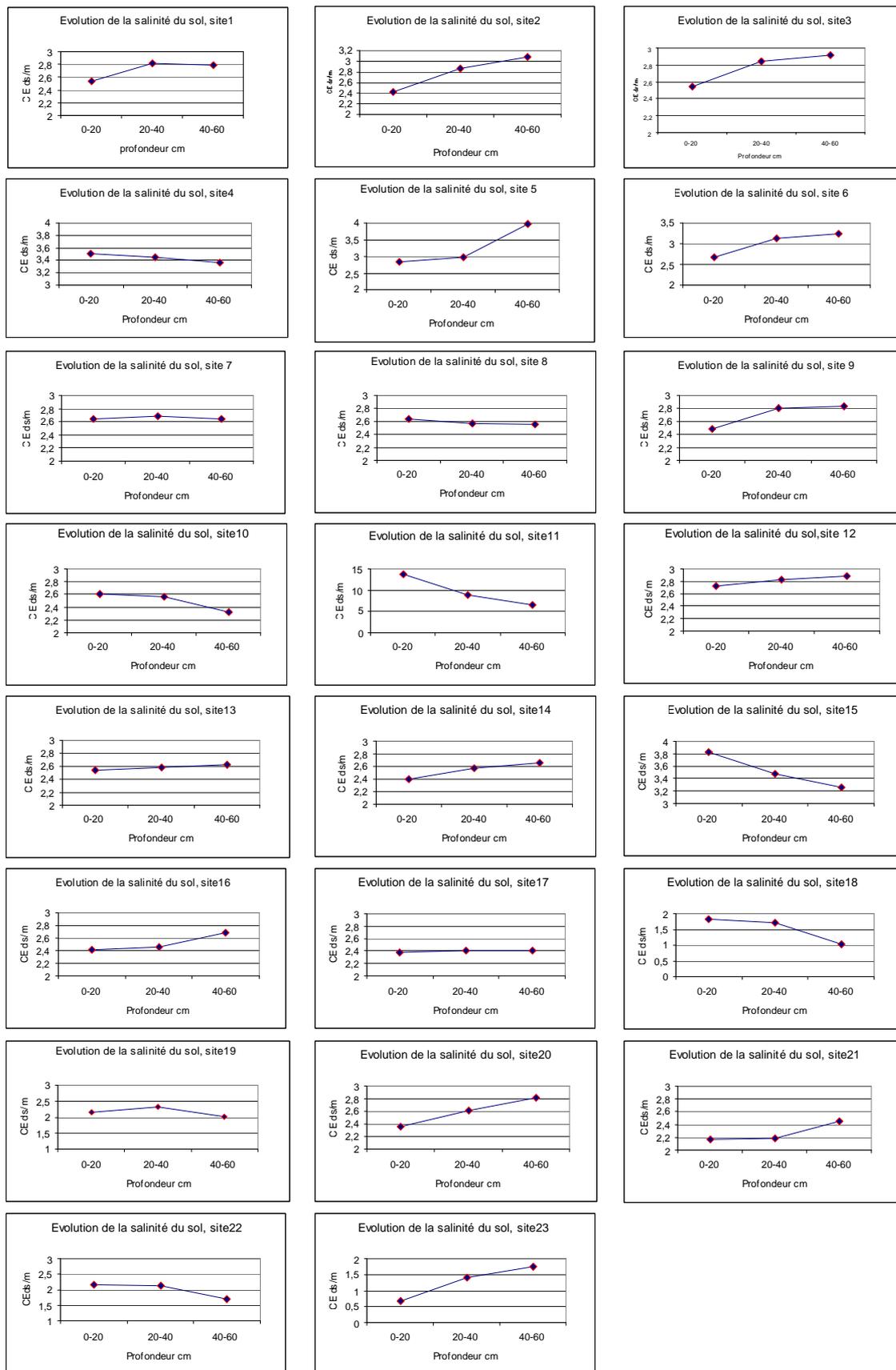


Fig. 8 : Evolution de la salinité des sols en fonction de la profondeur

2.4.1- Les anciennes palmeraies

Toutes les eaux d'irrigation utilisées dans les anciennes palmeraies sont salées et par conséquent elles influent sur les sols selon leur concentration mais aussi selon les caractéristiques des sols : la texture, la structure et plus précisément la perméabilité des sols. On a remarqué que l'eau la moins salée a donné la salinité de sol la moins élevée dans le site n°17, mais dans les autres sites cette règle n'est pas toute à fait applicable à cause des facteurs cités ci-dessus.

A travers les résultats obtenus on a observé que la salinisation a touché 8 sites parmi les 17 sites étudiés dans les anciennes palmeraies soit une proportion de 47% (fig. 9). Ceci est dû vraisemblablement à l'accumulation des sels après les irrigations successives par les eaux salées qui apportent après chaque arrosage des quantités de sels qui se déposent en majorité dans le sol notamment en absence d'un réseau de drainage dans la région.

Il est à noter que la salinité des eaux des puits a été augmentée avec le temps sous l'effet de pompage et de la sécheresse. Il est à signaler aussi que certains sites touchés par la salinisation trouvent généralement des difficultés d'infiltration d'eau à travers leurs sols, c'est à dire que leur perméabilité est mauvaise et par conséquent le lessivage n'est plus efficace. Pour cela on n'a pas trouvé davantage des sels en profondeur mais les couches superficielles qui sont les plus salées (sites 4, 10, 11, 15). Ces sites sont caractérisés par un taux important d'éléments fins (argile + limon) et ou de sable fin (annexe 5). Enfin, même s'il existe un lessivage plus ou moins acceptable il reste inefficace à cause de la salinité élevée des eaux et l'absence de drainage.

2.4.2- Les périmètres de mise en valeur

La qualité des eaux d'irrigation dans cette zone est considérée comme satisfaisante dans la région et par conséquent les sols ne sont pas salés. Ainsi, on a pas enregistré une salinisation dans cette zone à l'exception d'un seul site (n° 20) qui diffère des autres sites du fait qu'il est irrigué avec une eau très salée 11ds/m (fig. 10). Donc, même si la durée d'exploitation est plus ou moins courte et les eaux d'irrigations sont fortement salées, la salinisation sera plus rapide (FERRERS, 1983).

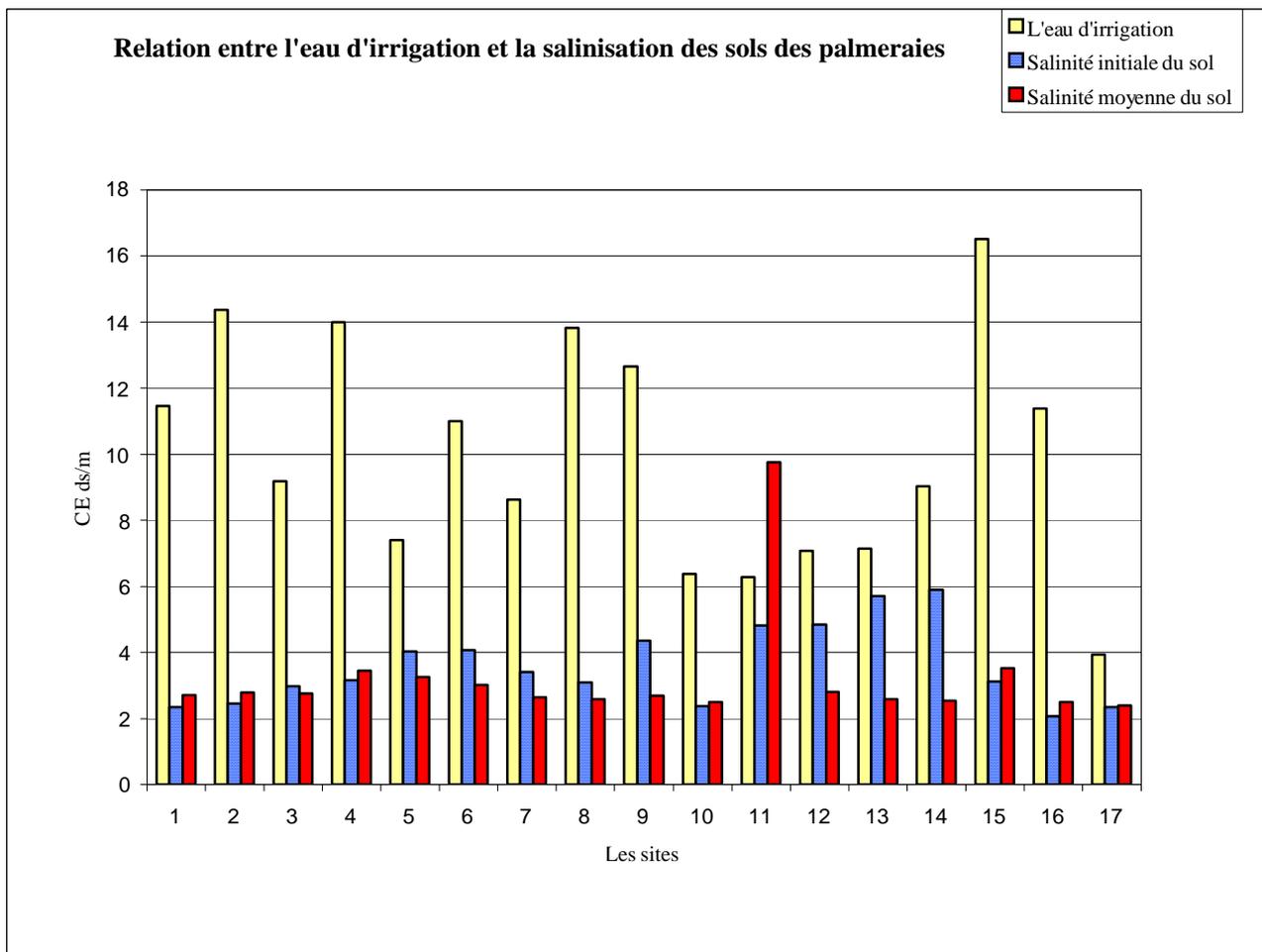


Fig. 9 : Relation entre l'eau d'irrigation et la salinisation des sols des anciennes palmeraies

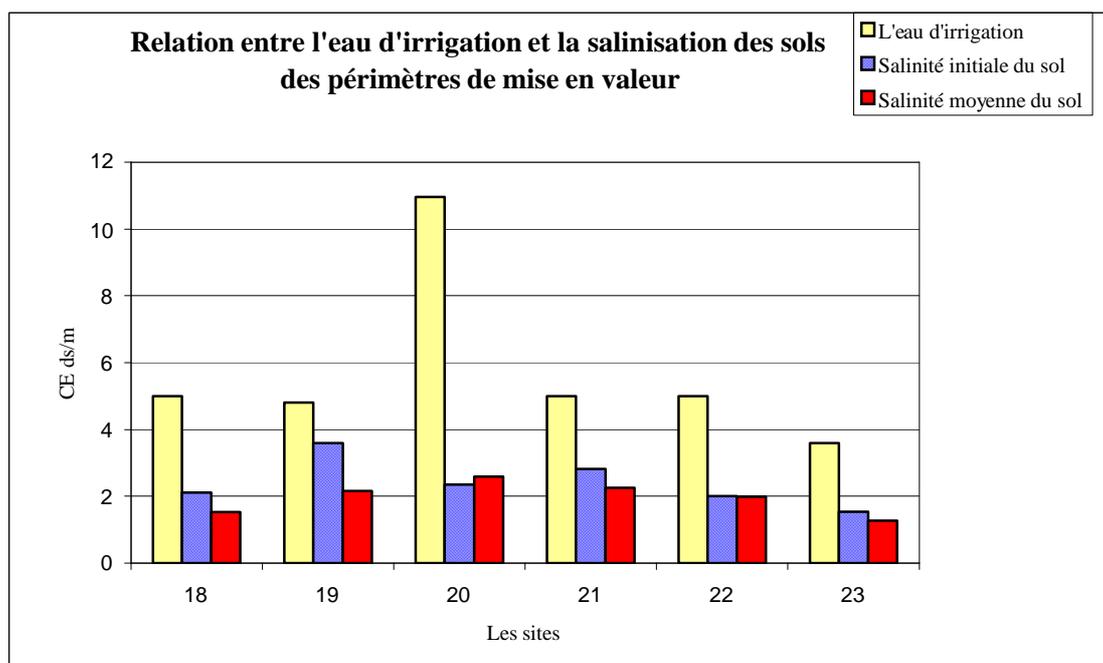


Fig. 10 : Relation entre l'eau d'irrigation et la salinisation des sols des périmètres de mise en valeur

2.5- Evolution de la salinité des sols : 2004 – 2006 – 2007

Le suivi de l'évolution de la salinité au cours du temps est effectué durant les années 2004, 2006 et 2007 au niveau de 12 sites dont 8 dans les anciennes palmeraies et 4 dans les périmètres de mise en valeur. Il a montré une variation de la salinité du sol d'un site à un autre et d'une année à une autre dans les anciennes palmeraies (fig. 11) mais, il a montré aussi une tendance à une augmentation importante de la salinité du sol surtout dans les périmètres de mise en valeur, ce qui constitue un risque majeur de salinisation des sols dans la région et influe en conséquence sur la production végétale. L'augmentation continue de la salinité des sols est de 35% environ dans les anciennes palmeraies (fig. 11) par contre elle est de 100% dans les périmètres de mise en valeur (fig. 12).

Cette évolution de la salinité dépend de plusieurs facteurs en particulier, la salinité des eaux d'irrigation, la perméabilité des sols, le régime d'irrigation, le lessivage-drainage, la pluviométrie, l'utilisation de différentes sources d'eaux d'irrigation et aussi de l'alimentation de la nappe phréatique.

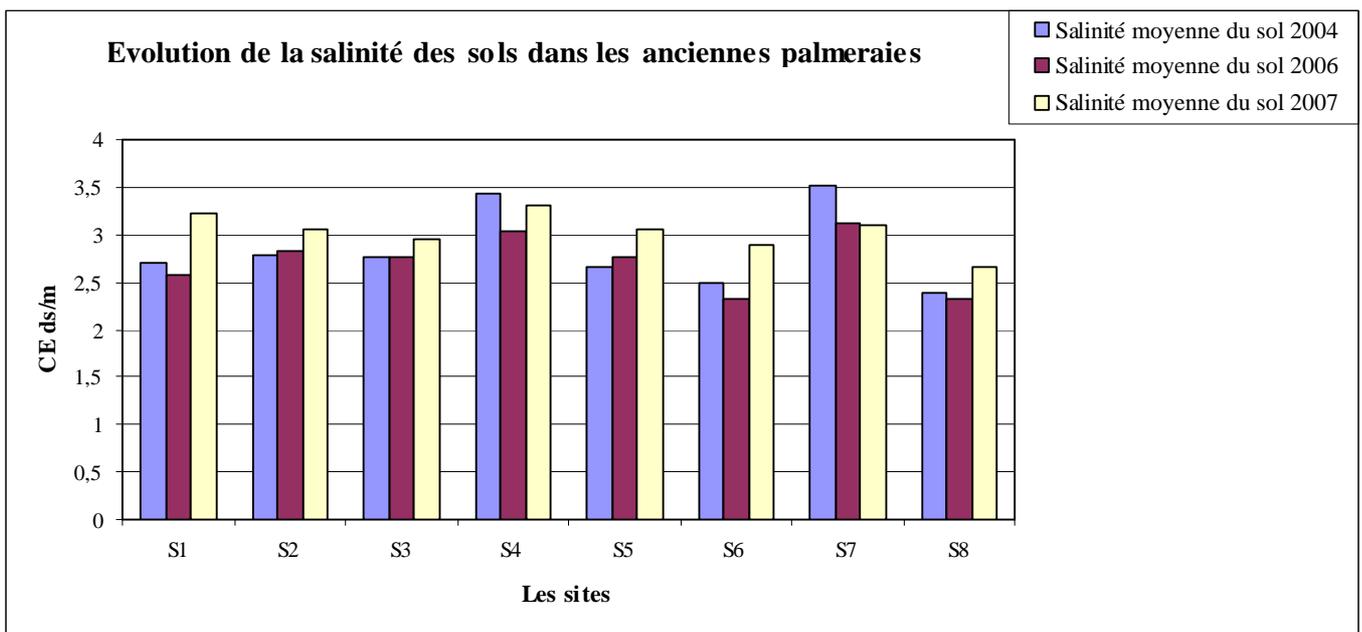


Fig. 11 : Evolution de la salinité des sols dans les anciennes palmeraies

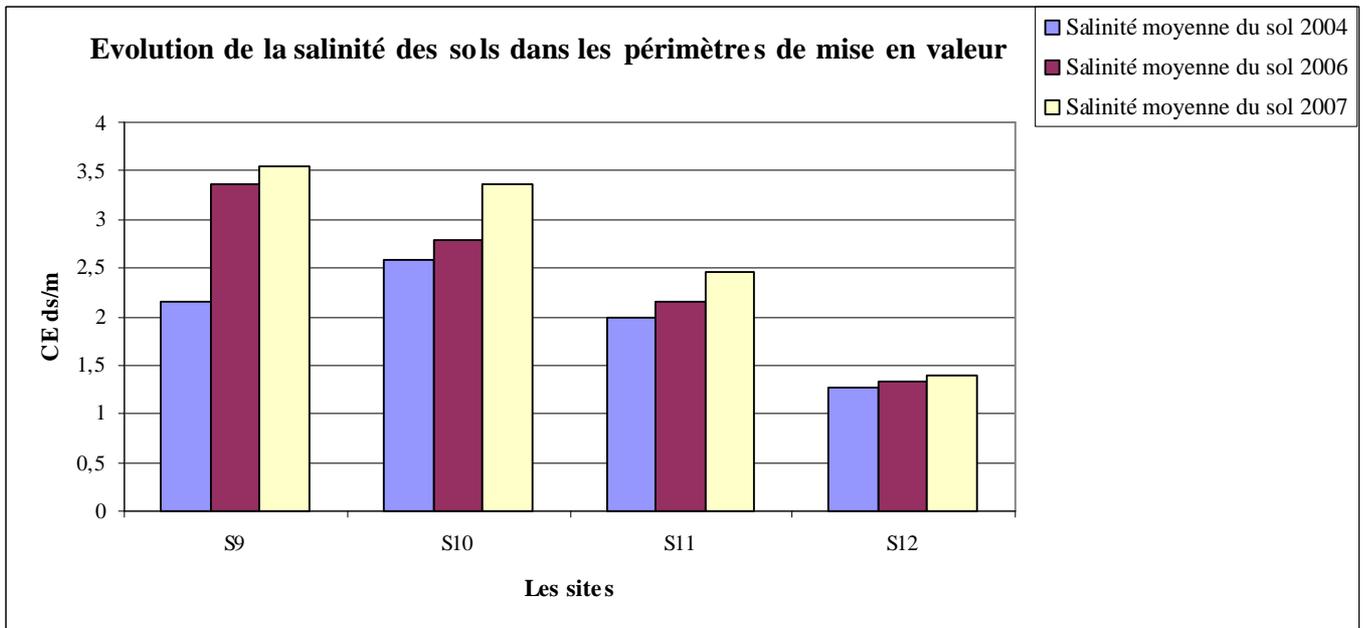


Fig. 12 : Evolution de la salinité des sols dans les périmètres de mise en valeur

3- Conclusion :

Le contrôle permanent de la salinisation des sols est une opération indispensable dans les périmètres irrigués pour éviter la dégradation des sols et de la production. La région d'étude (M'lili) a été auparavant irriguée par une source d'eau unique (Oued M'lili) qui est caractérisée par sa bonne qualité d'eau. La production des palmeraies a été à son optimum en quantité et en qualité et ainsi en diversité. Après l'exploitation de la nappe phréatique dans l'irrigation, qui est caractérisée par ses eaux salées, le problème de la salinisation a commencé mais progressivement ce qui influe négativement et d'une manière progressive avec le temps sur la production des palmeraies.

Enfin des mesures convenables doivent être entreprendre pour éviter ou au moins atténuer le degré de danger de salinisation telle que : le contrôle de la salinité des sols et des eaux, l'amélioration des caractéristiques des sols, l'irrigation avec des eaux moins salées, le mélange des eaux et le maintien de la balance des sels dans le sol par le lessivage et le drainage.

Chapitre II : Irrigation par aspersion

Introduction

L'évolution technique des systèmes d'irrigation par aspersion a été influencée en permanence par le souci d'économiser de la main-d'œuvre et de diminuer la pénibilité du travail (RNEDHA, 1992).

L'irrigation par aspersion et en particulier par pivot est une technique nouvelle récemment introduite dans la région aride en Algérie où elle est surtout utilisée pour l'arrosage des céréales. Dans notre travail on a choisi un périmètre irrigué par pivot de la station de l'ITDAS de El Outaya Biskra.

1- Méthodologie :

Pour étudier l'effet de l'irrigation par aspersion sur la salinisation du sol on a choisi trois zones dans le périmètre irrigué par pivot pour le prélèvement mensuel des échantillons du sol.

Ce prélèvement s'effectue à la tarière dans deux couches 0-25 et 25-50cm dans chaque zone. D'autres prélèvements sont également effectués pour caractériser la distribution de l'humidité et des sels en relation avec l'irrigation sur les profondeurs 0-25, 25-50 et 50-75cm.

2- Matériel d'étude :

2.1- Le sol : le sol d'étude est le périmètre irrigué de El Outaya dont la surface est de 3,4ha, cultivé d'orge et irrigué par pivot. Les caractéristiques du sol sont regroupées dans le tableau 8

Tableau 8 : Caractéristiques du sol

Granulométrie %					pH	CE ds/m 1/5	CaCO ₃ %	MO %
A	LF	LG	SF	SG				
22.5	18	10.5	27.5	21.5	7.9	1.09	41.1	1.1

2.2- L'eau d'irrigation : l'origine de l'eau d'irrigation est un forage de 80m de profondeur qui a un débit de 12 l/s. Les caractéristiques de l'eau d'irrigation sont dans le tableau 9.

Tableau 9 : Analyse de l'eau d'irrigation

pH	CE ds/m	RS g/l	SAR	Ca me/l	Mg me/l	K me/l	Na me/l	Cl me/l	SO ₄ me/l	HCO ₃ me/l
7.9	3.9	2.5	8.73	9.0	7.2	0.5	24.8	20.4	11.6	4.0

3- Résultats et discussions :

3.1- Evolution de la salinité du sol dans la zone 1

L'évolution de la salinité du sol dans la zone 1 est très claire dans la couche superficielle et la couche profonde (fig. 13). La salinité a évolué de 1,09 ds/m avant l'irrigation à 2,57 ds/m en fin de cycle dans la couche superficielle, tandis que, dans la couche profonde elle est passé de 1,07 ds/m avant irrigation à 2,74 ds/m en fin de cycle, ceci avec des variations au cours du cycle souvent en augmentation dans les deux couches. L'augmentation progressive de la salinité du sol est due à l'accumulation des sels dans le sol sous l'effet des irrigations successives avec l'eau salée. Il est à noter que la couche profonde est plus salée que la couche superficielle et ceci à cause de lessivage des sels de la surface vers la profondeur. La diminution de la salinité observée dans le deuxième mois est due vraisemblablement à la pluviométrie enregistrée dans cette période (38mm).

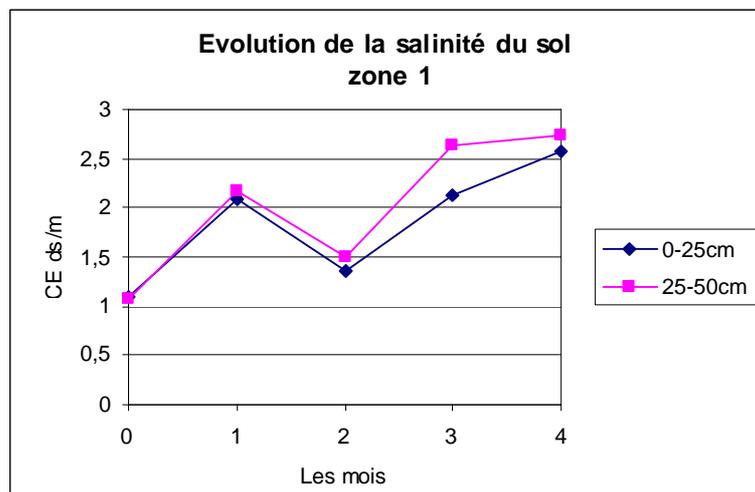


Fig. 13 : Evolution de la salinité du sol dans la zone 1

3.2- Evolution de la salinité du sol dans la zone 2 :

Dans la zone 2, on a remarqué une augmentation de la salinité dans la couche superficielle plus importante que la zone 1 arrivant jusqu'à 3,5ds/m, par contre, la salinité est relativement faible et presque stable dans la couche profonde (fig. 14). Ce qui nous semble que la texture du périmètre est un peu hétérogène où la perméabilité ici est plus faible.

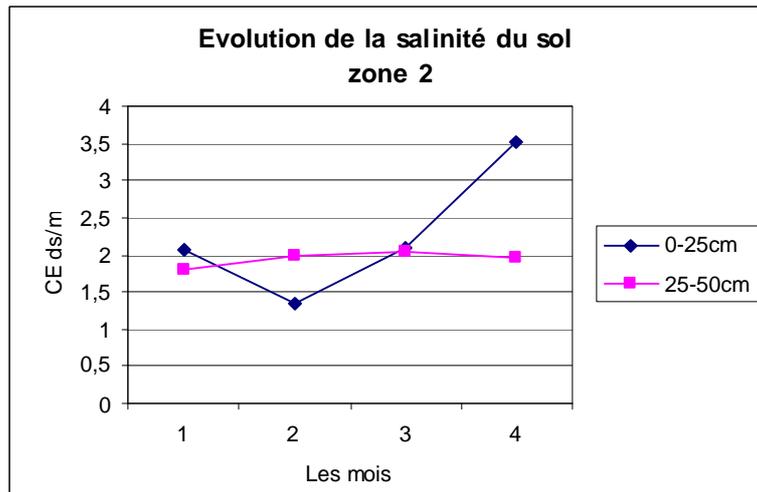


Fig. 14 : Evolution de la salinité du sol dans la zone 2

3.3- Evolution de la salinité du sol dans la zone 3

La salinité dans la zone 3 est élevée dès le début de la saison surtout dans la couche superficielle, ensuite elle a connu une diminution puis une augmentation en fin de la saison (fig. 15) qui semble favorisée par l'augmentation de l'évaporation suite à l'augmentation de la température.

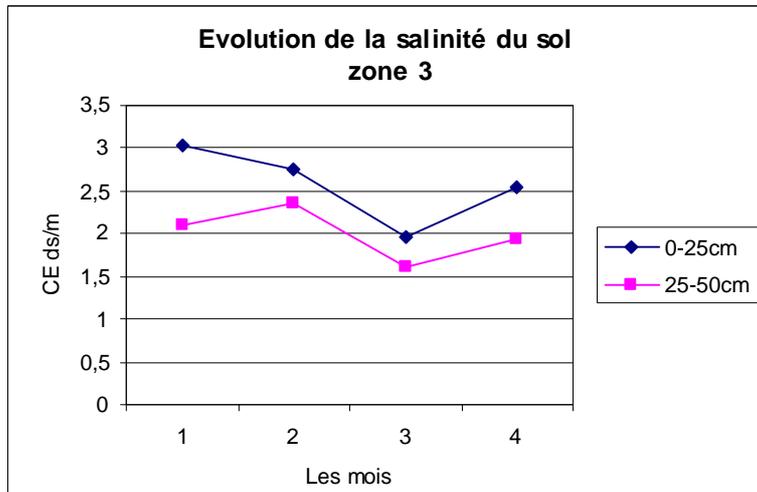


Fig. 15 : Evolution de la salinité du sol dans la zone 3

3.4- Evolution de salinité moyenne du sol :

L'évolution de la salinité moyenne dans le périmètre irrigué sous pivot nous montre en général qu'elle augmente progressivement sous l'effet de l'accumulation des sels suite aux irrigations successives avec l'eau salée (fig. 16). Cette augmentation est plus importante en surface qu'en profondeur sous l'effet de la forte évaporation. La salinité a passé de 1,09 à 2,87 ds/m en fin

de cycle. En effet, la salinisation est d'autant plus importante que le sol est de texture fine et en absence de drainage (MOUHOUCHE, 1999). Au Sahara algérien les sols sont menacés ou touchés par une salinisation croissante en raison de l'absence d'un réseau de drainage (BENNADJI et BENNADJI, 1998). En effet, les études faites par DAOUD et HALITIM (1994) et DJILI et al (2003) dans les périmètres de mise en valeur irrigués par pivots au Sahara ont montré que l'irrigation par des eaux diversement minéralisées provoque la salinisation des sols et en particulier les horizons de surface. La charge saline a été multipliée par 4 à 6 suivant la source d'eau d'irrigation utilisée.

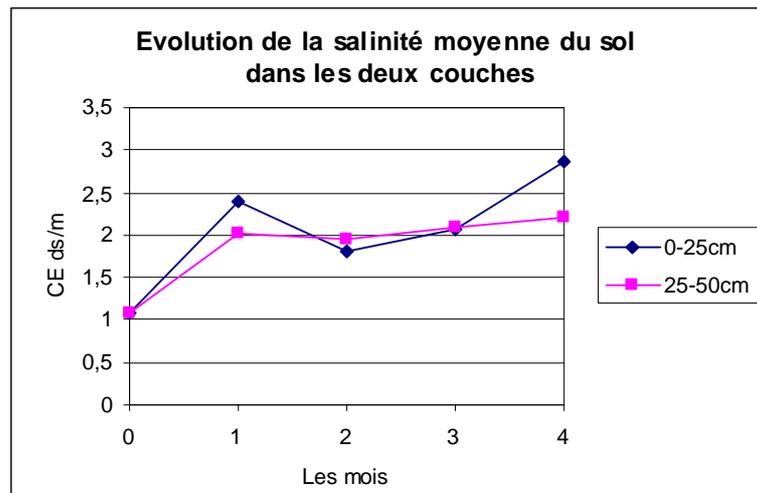


Fig. 16 : Evolution de la salinité moyenne dans les deux couches du sol

3.5- Evolution de l'humidité moyenne du sol en relation avec l'irrigation :

Avant irrigation l'humidité du sol est assez faible dans les deux couches superficielle et moyenne 0-25 et 25-50cm qui sont plus exposées à l'évaporation que la couche profonde 50-75cm où l'humidité est plus élevée (fig. 17). Après 2 jours de l'irrigation il y a augmentation de l'humidité, plus élevée dans les deux couches de profondeur 25-50 et 50-75cm (20% environ) qu'en surface (16% environ) suite à la percolation de l'eau. Après 4 jours de l'irrigation, on observe une diminution générale de l'humidité plus importante en surface qu'en profondeur, ceci est dû à l'évaporation et l'absorption par les racines des plantes. L'humidité la plus élevée est dans la couche la plus profonde qui est moins exposée à l'évaporation et moins prospectée par les racines.

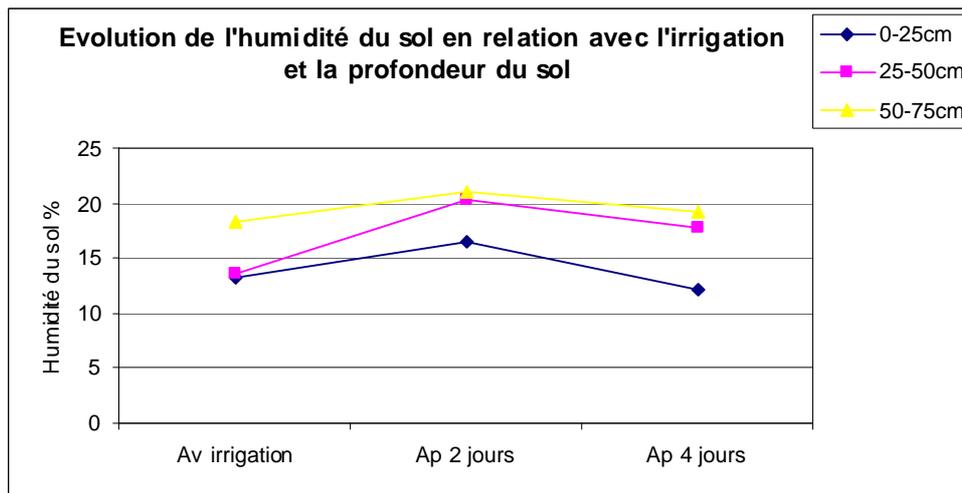


Fig. 17 : Evolution de l'humidité du sol en relation avec l'irrigation et la profondeur

3.6- Evolution de la salinité du sol en relation avec l'irrigation :

On remarque que les courbes de la salinité sont à l'inverse des courbes de l'humidité (fig. 18), ceci montre que, lorsque l'humidité augmente la salinité diminue suite au lessivage et lorsque l'humidité diminue la salinité augmente suite à l'évaporation. La salinité a été élevée avant l'irrigation puis elle retombe après l'apport d'eau sous l'effet de lessivage de sels et elle augmente de nouveau après 4 jours de l'irrigation surtout en surface sous l'effet de l'évaporation et la concentration de la solution du sol.

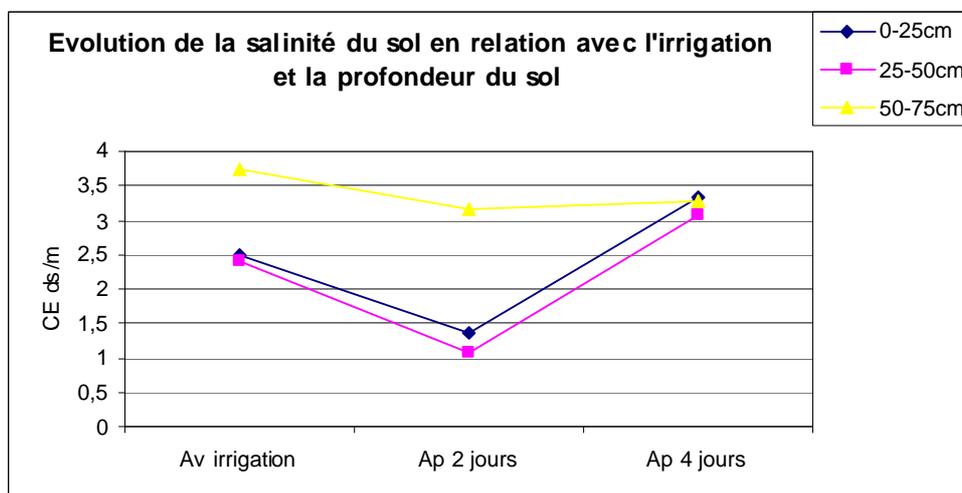


Fig. 18 : Evolution de la salinité du sol en relation avec l'irrigation et la profondeur

4- Conclusion

L'irrigation par aspersion et avec eau salée en zones arides pose toujours le problème de la salinisation des sols surtout dans les horizons superficielles sous l'effet de la forte évaporation (DAOUD et HALITIM, 1994 ; BADRAOUI et al, 1998 ; DJILI et DAOUD, 1999 ; MOUHOUCHE, 2000 ; DJILI et al, 2003). En effet, en absence de drainage les sels

s'accumulent progressivement dans le sol ce qui affecte la croissance et le rendement des cultures céréalières. Cette situation nécessite une gestion rigoureuse des périmètres irrigués surtout en ce qui concerne le contrôle de la salinité des sols pour la maintenir dans la limite de la production durable (HAMDY, 2001a).

Chapitre III : L'irrigation goutte à goutte

Introduction

L'agriculture de la région du Ziban est caractérisée essentiellement par la phéniciculture qui constitue depuis longtemps la source principale de l'économie agricole de la population locale. L'introduction de la plasticulture depuis plus de deux décennies a donné à la région une autre activité agricole très importante. Elle a connue depuis 1984 un développement progressif et rapide dans plusieurs zones de la région, de 06 hectares en 1984/1985 jusqu'à 2905 hectares en 2011 avec une production de 2441630 qx de produits maraîchers tels que tomate, poivron, piment, courgette, concombre et aubergine (DSA, 2011).

L'irrigation a une très grande importance dans la région du Ziban. La technique d'irrigation de surface est la plus utilisée, l'irrigation à la raie des cultures sous abris serres constitue la principale technique d'arrosage.

Les eaux d'irrigation dans la région sont le plus souvent chargées en sels, ce sont des eaux souterraines exploitant les nappes phréatiques et profondes.

La perte des quantités importantes d'eau ainsi que la salinisation secondaire des sols constituent des signes de la mauvaise gestion des eaux dans les périmètres irrigués (CHEVREY, 1995). L'introduction de nouveau système moderne d'arrosage à savoir l'irrigation goutte à goutte pour l'arrosage des cultures maraîchères sous serres a connu un progrès important chez les agriculteurs depuis quelques années. Cette technique a été bien appréciée par les agriculteurs pour ses nombreux avantages, en particulier l'économie d'eau, la main d'œuvre et l'énergie (ZELLA et KETTAB, 2003), ainsi qu'elle a pu donner des meilleurs résultats.

Dans une étude antérieure, nous avons comparé les rendements obtenus par l'irrigation goutte à goutte récemment appliquée et ceux obtenus à la raie, en utilisant des eaux salées. L'irrigation goutte à goutte a pu donner des meilleurs résultats par rapport à l'irrigation à la raie varient de 3% à 36% d'augmentation selon la salinité des eaux qui varié de 2 à 6 ds/cm (MASMOUDI, 2000). Ces résultats sont en accord avec les résultats obtenus par (CHELOUFI et al, 2001 ; ABDELJAWAD et al, 2003 ; FLAWERS et al, 2003 ; MALASH et al, 2003 ; RAJAB et al, 2003 ; KARLBERG et al, 2007). En effet, l'irrigation goutte à goutte peut permettre une moindre concentration des sels au niveau de la rhizosphère qui est souvent humide ce qui permis une bonne croissance des plantes (AYERS, 1976 ; MALASH et al, 2003).

Les sels accumulés à la périphérie du bulbe et la salinisation éventuelle des sols par la suite a été l'objet de notre présente étude, étant donné que le lessivage est négligeable en irrigation goutte à goutte pratiquée, de même que les sols des serres ne profitent pas de la pluviométrie qui est pratiquement hivernale.

Donc notre objectif dans cette étude est la mise en évidence de la salinisation des sols suite à une utilisation de goutte à goutte avec des eaux salées sous serres.

1- Méthodologie

L'étude a été effectuée sur 07 sites choisis dans des zones où se pratique l'irrigation goutte à goutte pour l'arrosage des cultures sous serres. On a opté pour que les sites choisis présentent une certaine ancienneté en ce qui concerne l'utilisation de l'irrigation goutte à goutte et se diffèrent s'il est possible au niveau de certains paramètres en particulier la salinité des eaux d'irrigation et la texture de sol.

La méthode d'étude se porte sur l'échantillonnage du sol au niveau du bulbe autour du goutteur en surface et en profondeur selon des distances déterminées. Les prélèvements des échantillons des sols sont effectués à la tarière au niveau d'un cercle dont le centre est le goutteur et ses rayons sont la demi-distance entre les rampes d'une part et la mi-distance entre les goutteurs d'autre part. Les points des prélèvements sont : le centre, $\frac{1}{2}$ rayon, fin rayon en surface et 0-25, 25-50, 50-75 cm en profondeur sous chaque point de surface (fig. 19), en conséquence nous aurons 9 échantillons dans et autour du bulbe. Un échantillon en plus, considéré comme référence a été prélevé d'un endroit non irrigué et non exploité.

Les sites d'étude ont utilisé le système d'irrigation goutte à goutte durant une période variant de 2 à 9 ans, et sont situés dans la région Ouest de Biskra qui représente un pôle potentiel de la production des récoltes maraîchères protégées.

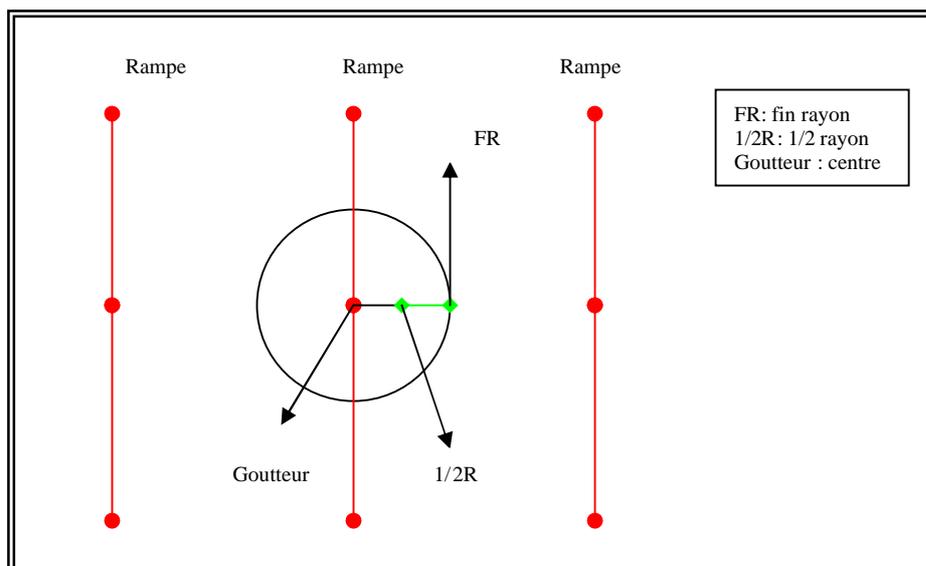


Fig. 19 : Les points de prélèvements des échantillons des sols

2- Salinité des eaux d'irrigation des sites étudiés

Les eaux d'irrigation utilisées dans les sites d'étude ont des concentrations en sels variables avec les zones, la CE est de 2.01 à 6.9 ds/m (fig. 20), elles sont classées parmi les eaux à forte salinité et salinité excessive C_3 et C_4 selon la classification américaine (USDA, 1954). Mais par rapport aux eaux d'irrigation utilisées dans la région, on peut dire que la qualité de la majorité des eaux des sites étudiés est relativement acceptable (MASMOUDI, 2005)

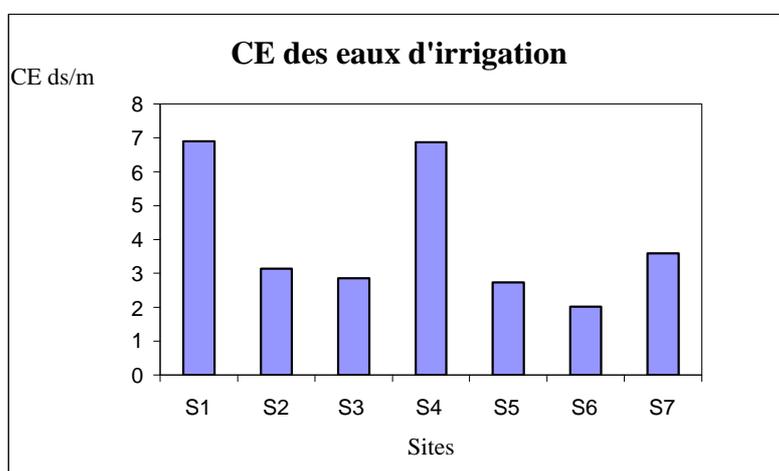


Fig. 20 : CE des eaux d'irrigation dans les sites étudiés

3- Composition granulométrique des sols :

Les sols des sites étudiés ont une texture à dominance sableuse, la fraction sableuse supérieure à 0,05 mm domine et constitue le taux le plus élevé en particulier dans les sites 1 et 2 : 82,23% et 95,57% respectivement, tandis que la fraction inférieure à 0,05mm qui

représente le limon et l'argile constitue une proportion moindre varie entre 4,34% et 37,81% selon les sites (Annexe 8).

4. Résultats et discussion

4.1- Distribution de l'humidité :

L'étude de l'humidité et sa distribution dans le sol nous révèle que celle-ci dépend de la fréquence et la durée d'arrosage ainsi que la nature du sol. A travers nos résultats on a remarqué que l'humidité du sol est plus faible dans les sites présentant des sols dont la texture est sableuse S1 et S2 ou l'humidité varie de 6.4% à 15.1%. Par contre dans d'autres sites on a enregistré des taux d'humidité relativement élevés, ces sites sont plus ou moins riches en éléments fins et ou de sable fin où l'humidité arrive jusqu' à 34.5%.

La distribution de l'humidité est fonction du mouvement de l'eau et le débit (HAMMOUDI, 1999), elle est concentrée au centre en surface et en profondeur dans le cas des sols qui présentent un taux de sable très élevé (S1). En revanche, elle est plus ou moins distribuée dans le cas des sols présentant une certaine proportion d'éléments fins et ou de sable fin (S2, S5, S6, S7), et ou encore dans le cas de la présence d'une croûte à faible profondeur (S3, S4) où se manifeste un écoulement latéral plus ou moins importante. La distribution de l'humidité dans le sol est donc déterminée par le mouvement d'eau d'irrigation (fig. 21).

4.2- Distribution des sels :

La dynamique et la distribution des sels sont liées en grande partie au régime hydrique. Dans les sites étudiés, on observe généralement que la distribution des sels se fait sur la périphérie des bulbes, les sels se concentrent en surface plus ou moins loin des goutteurs et en profondeur surtout dans la deuxième couche du sol mais à la périphérie, leur concentration augmente généralement du centre vers l'extrémité. L'accumulation en profondeur centrale dépend surtout de la quantité d'eau fournie et la nature du sol. La salinité en surface augmente généralement en s'éloignant du goutteur vers l'extrémité (HAMMOUDI, 1999). La forte évaporation provoque la remonté des sels en surface (YAZARD et al, 2003) ; la présence d'une couche peu perméable dans le sol (S3 et S4) favorise l'augmentation de la salinité du sol (>6.5 ds/m) même si l'eau d'irrigation est relativement moins salée (S3), suite à un mauvais drainage. Le mouvement de l'eau est parfois plus efficace vis à vis le lessivage des sels dans les deux couches du centre les plus proches du goutteur (S5 et S6) (fig. 22)

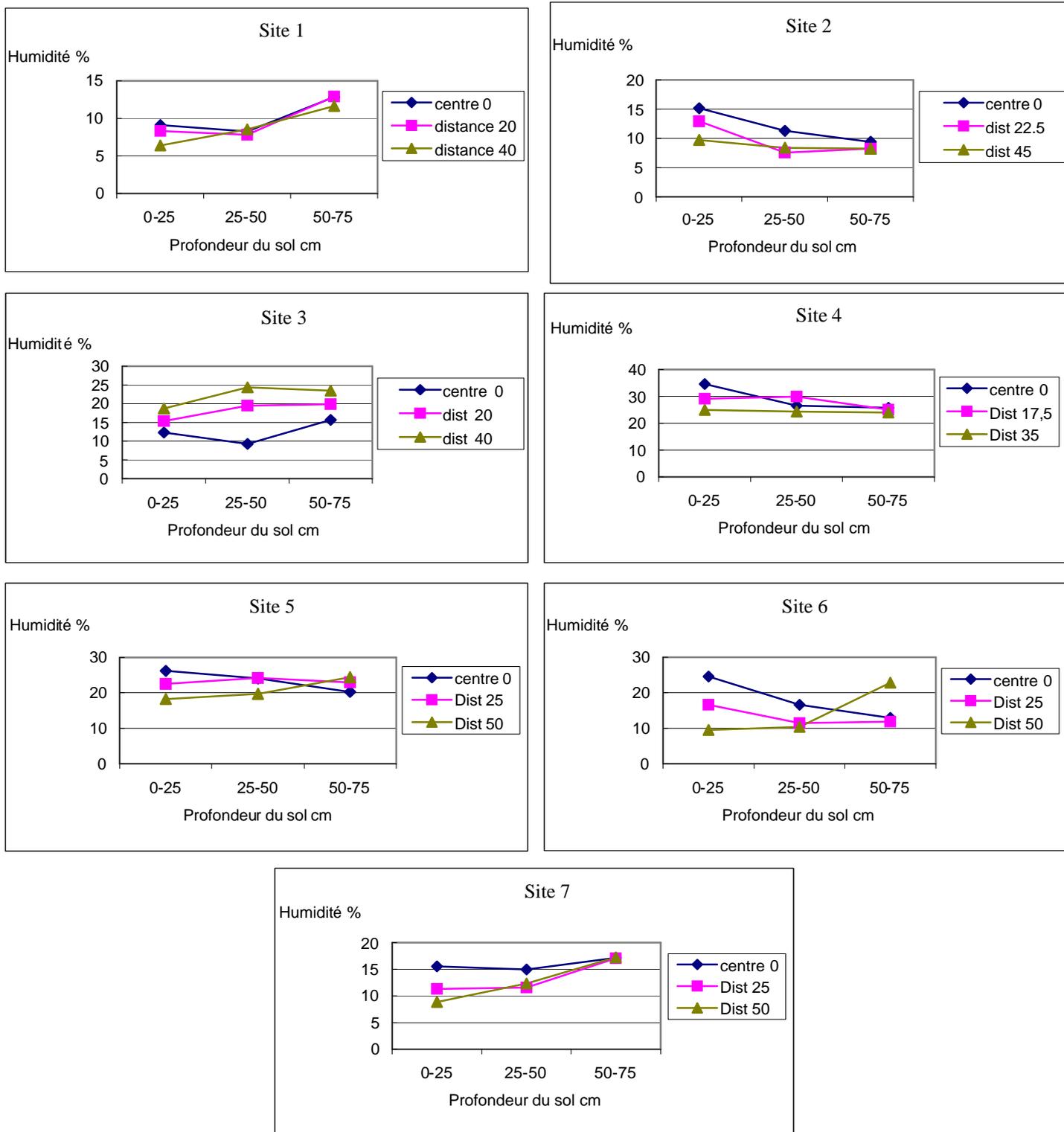


Fig. 21 : Distribution de l'humidité dans les sols à différentes profondeurs et différentes distances du goutteur (cm)

4.3- Evolution du pH des sols :

Le pH des sols des sites étudiés est généralement autour de 8. Il augmente de la surface en profondeur dans les zones exposées au lessivage, ceci est plus marqué donc au centre qu'à l'extrémité. Il augmente ainsi du centre vers l'extrémité en surface.

4.4- Sens et localisation des sels :

Afin de déterminer les zones les plus localisées par les sels dans le sol, on a opté à calculer la moyenne de salinité des échantillons du bulbe dans le sens horizontal et le sens vertical.

Les tableaux 10 et 11 montrent que la concentration saline est plus élevée dans les points les plus éloignés du goutteur dans le sens horizontal (mi-distance et extrémité) et dans les deux couches 0-25 et 25-50 cm en profondeur dans le sens vertical. Selon DEHGHANISANIJ et al (2006), l'humidité diminue et la CE augmente avec la distance à partir du goutteur. Mais, les sels peuvent s'approcher du goutteur si le débit est faible (HAMMOUDI, 1999).

Tableau 10 : Moyennes des salinités des sols dans le sens horizontal et vertical en ds/m (1/5)

Sites		Site 01	Site 02	Site 03	Site 04	Site 05	Site 06	Site 07
Salinité moyenne dans le sens Vertical	Centre 0	1.16	1.35	5.75	5.32	2.11	2.55	3.5
	½ rayon	2.19	1.72	5.9	3.35	3.09	4.39	4.31
	Fin rayon	2.23	1.67	5.68	4.42	4.57	3.73	2.91
Salinité moyenne dans le sens horizontal	0-25	3.79	2.26	6.31	4.69	2.26	2.63	3.58
	25-50	0.85	1.43	6.3	4.69	4.21	4.16	3.91
	50-75	0.94	1.04	4.73	3.71	3.31	3.88	3.23

Tableau 11 : Les zones des sols les plus localisées par les sels

Sites	Site 01	Site 02	Site 03	Site 04	Site 05	Site 06	Site 07
Distance horizontale à partir du goutteur (cm)	40	22.5	20	0	50	25	25
Profondeur (cm)	0-25	0-25	0-25	25-50	25-50	25-50	25-50

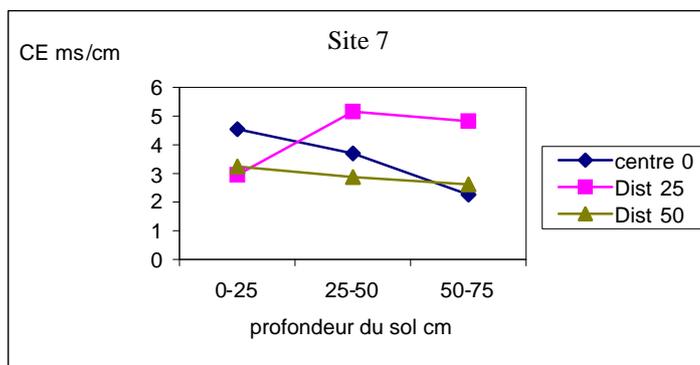
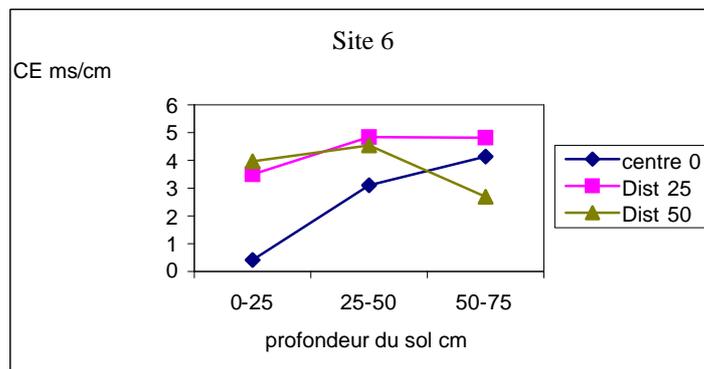
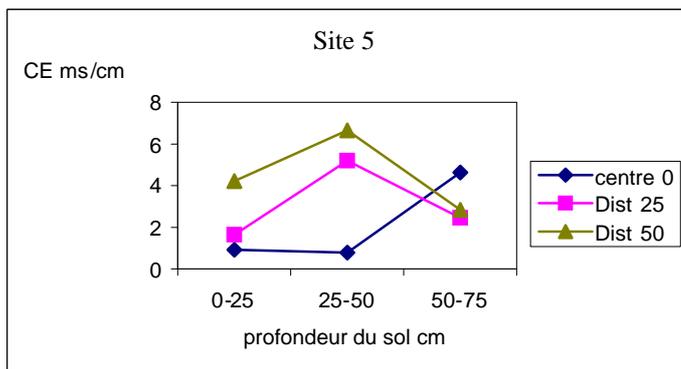
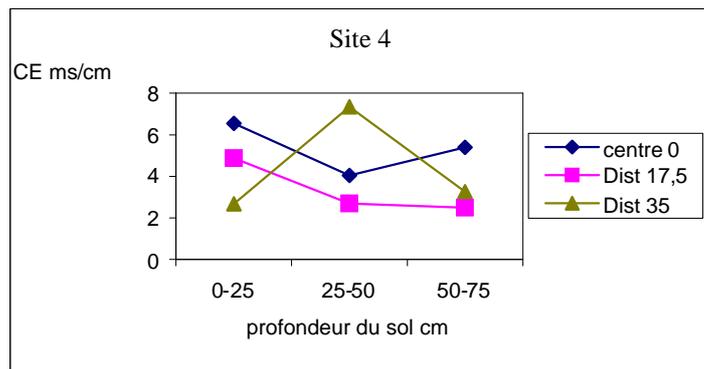
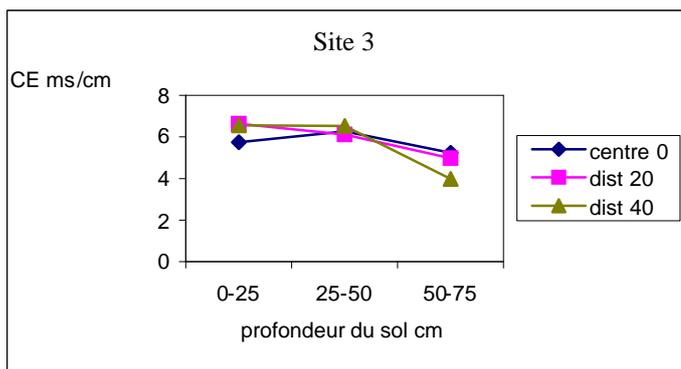
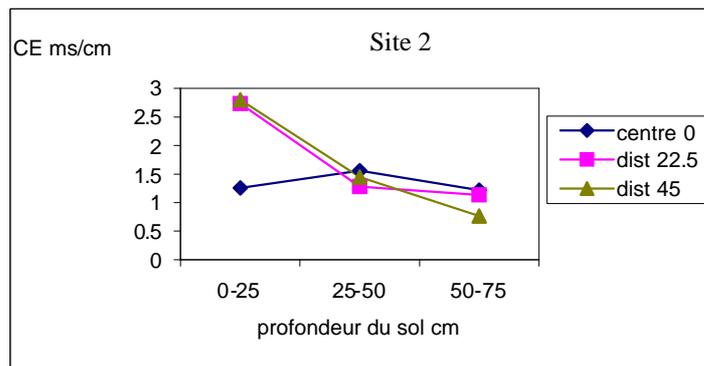
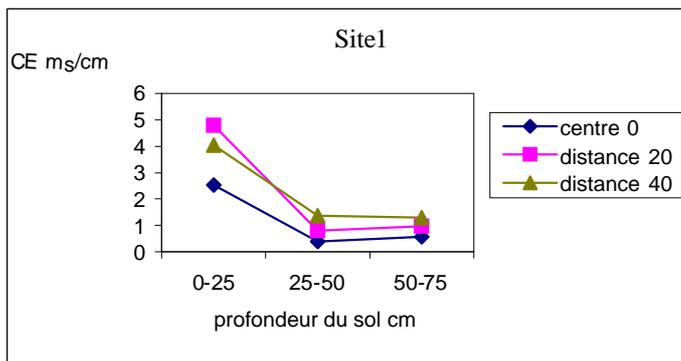


Fig. 22 : Distribution de la salinité dans les sols à différentes profondeurs et différentes distances du goutteur (cm)

4.5- Relation entre la salinité d'eau d'irrigation et la salinisation des sols :

A travers les résultats des salinités initiales et les salinités moyennes des sols après irrigation, on a remarqué que les sites 3, 4, 6 et 7 ont connus des accumulations de sels au cours des saisons d'irrigation. La salinité moyenne des sols a augmenté et dépasser la valeur initiale, effet favorisé souvent par un lessivage déficient et parfois un mauvais drainage naturel. En revanche on observe que d'autres sites à savoir : 1, 2 et 5 n'ont pas subit cette salinisation, c'est à dire les salinités moyennes des sols trouvées sont inférieures aux salinités initiales, en particulier pour les sites 1, et 2 dont le sable constitué une proportion très importante soit 83,23 et 95,57% respectivement ce qui semble favoriser le lessivage des sels hors du profil.

Donc, on note que parmi les sept sites étudiés, quatre sites présentent des signes de salinisation qui pourrait être dangereuse ultérieurement. Cette salinisation varie entre 0,9 et 2,91 ds/m, (tableau 12, fig. 23) dépend de plusieurs facteurs en particulier : salinité d'eau d'irrigation, texture, perméabilité ou présence d'une croûte peu perméable ainsi que le manque de lessivage et le mauvais drainage.

Il nous semble que le degré de danger de la salinisation est d'autant plus élevé que le nombre d'année d'exploitation s'élève sans prendre des mesures convenables et ceci suivant les conditions naturelles existant dans chaque exploitation. Dans certaines zones les agriculteurs changent de parcelles chaque trois ans de l'installation des serres suite au chute des rendements comme dans le cas des sites 3 et 4. D'autres problèmes agronomiques non maîtrisés peuvent être aussi responsables à coté bien entendu de la salinisation du sol.

Tableau 12 : Salinités des sols et des eaux d'irrigation en ds/m (1/5)

Sites	Site 01	Site 02	Site 03	Site 04	Site 05	Site 06	Site 07
Salinité des eaux d'irrigation	6.9	3.13	2.85	6.87	2.73	2.01	3.6
Salinité initiale du sol	5.17	5.22	2.87	2.42	4.37	2.66	2.62
Salinité moyenne du sol	1.86	1.58	5.78	4.36	3.26	3.56	3.57
Salinisation	-	-	2.91	1.94	-	0.9	0.95

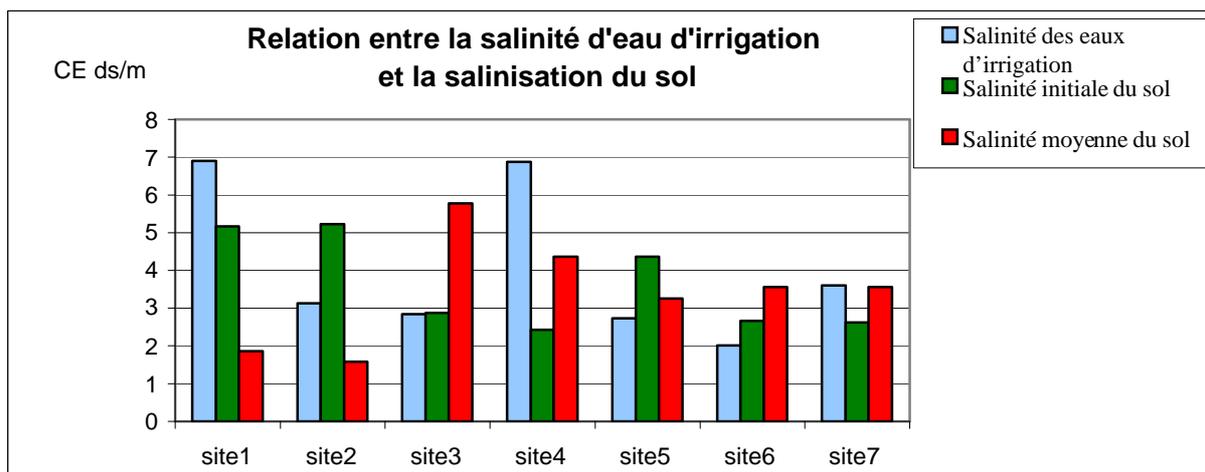


Fig. 23 : Relation entre la salinité d'eau d'irrigation et la salinisation du sol

5- Conclusion

La salinisation des sols constitue toujours un fléau qui menace les périmètres irrigués. La plasticulture irriguée avec des eaux chargées en sels par micro irrigation et en absence de pluviométrie et de lessivage régulier semble de plus en plus menacée suivant les cas et les conditions naturelles. L'accumulation progressive et successive des sels chaque campagne de culture augmente le taux de sels solubles dans le sol ce qui influe sur les rendements qui vont être chutés aussi progressivement.

La bonne gestion des eaux d'irrigation et la maîtrise de la balance des sels dans le sol des serres sont des priorités qui doivent tenir en compte dans telles conditions. Il nous semble que des mesures de lutte contre la salinisation doivent être entreprendre en particulier le lessivage et le drainage des sels solubles accumulés au cours de la saison, c'est une opération indispensable pour commencer la saison prochaine des cultures car les sels accumulés constituent un danger pour la nouvelle culture s'ils ne sont pas lessivés d'avance (AYERS et WESTCOT, 1985 ; SHARMA et MUNHAS, 2003).

**II. 2- L'EXPERIMENTATION SUR LE
REGIME HYDRIQUE ET LA
FERTILISATION EN CONDITIONS
SALINES**

Chapitre I : Effet de la salinité des eaux et la fréquence d'irrigation sur le sol et le végétal

Introduction

La salinité du sol et de l'eau constitue un problème majeur dans beaucoup de pays du monde (SZABOLOCS, 1979). La salinisation secondaire est généralement liée à l'irrigation dans la région aride. La charge saline de l'eau ainsi que la mauvaise gestion de l'irrigation sont les principaux responsables de l'accumulation des sels dans le sol et par conséquent la chute des rendements dans les périmètres irrigués.

Les eaux salées dans notre région constituent la majorité des eaux d'irrigation disponibles, leur influence sur le sol et les végétaux est d'autant plus nocive que leur utilisation est mal étudiée. La bonne gestion et l'utilisation rationnelle de ces eaux en agriculture constituent un domaine de recherche très important. Le recours à l'utilisation de l'eau salée devient de plus en plus une nécessité absolue vu l'absence ou la rareté des ressources d'eau douce dans certaines régions. Le manque d'eau de bonne qualité constitue désormais une contrainte majeure lorsque l'on veut créer de nouveaux périmètres irrigués (CHEVERRY, 1995). Ainsi, les eaux salées peuvent être utilisées en irrigation sur certains sols si des pratiques appropriées de gestion sont appliquées (HAMDY, 1991). Enfin, l'eau salée est fréquemment la seule eau disponible dans certaines régions, il devient nécessaire d'accepter ses limitations et de l'utiliser sagement (ISRAELSEN, 1965) ce qui fait de la valorisation des eaux salées est l'une des préoccupations importantes dans le monde aujourd'hui.

Dans ce cadre s'inscrit cette expérimentation qui vise à étudier l'influence de la salinité des eaux et la fréquence d'irrigation sur le sol et la croissance d'une culture de tomate en pots de végétation sous serre dont l'objectif est d'atténuer l'effet de la salinité et la valorisation de l'eau salée à travers le régime hydrique.

1. Matériel et méthodes

1.1- Matériel d'étude

1.1.1- Le sol : le sol utilisé est celui du terrain d'expérimentation du département d'agronomie (Biskra), il s'agit d'un sol de texture limono argileuse, calcaire et pauvre en matière organique (tab. 13). Le prélèvement du sol a été effectué à une profondeur de 25cm environ. Il est séché à l'air libre et tamisé à 2mm. On a mis dans chaque pot 9,5Kg de sol bien mélangé avec la fumure organique (fumier ovin) et l'engrais minéral composé (NPK).

Tableau 13 : Caractéristiques du sol

Granulométrie (%)	
Argile :	26.02
Limon fin :	30.66
Limon grossier :	23.11
Sable fin :	20.06
Sable grossier :	0.15
Densité apparente	1,4
Capacité de rétention (%)	26,24
Conductivité électrique 1/5 à 25°C (ds/m)	1,50
pH eau	7,88
Calcaire total (%)	34,02
Gypse (%)	16,51
Matière organique (%)	1.2
Solution du sol: (meq/l)	
Potassium K ⁺	1.53
Calcium Ca ⁺⁺	4.0
Sodium Na ⁺	6.52
Sulfate SO ₄ ⁻⁻	5.2
Chlore Cl ⁻	6.4
Bicarbonate HCO ₃ ⁻	1.5

1.1.2- Les pots: sont en matière plastique perforée en bas, d'une hauteur de 24cm et leur sections supérieure et inférieure ont des diamètres de 36,5cm et 25,5cm respectivement.

1.1.3- Le végétal : on a utilisée une plante test qui est une variété de tomate qui s'appelle "*Marmande*". Elle est caractérisée par : très bonne vigueur, très hâtive, productive et résiste bien à la chaleur.

1.1.4- Les eaux d'irrigation : sont préparées à partir d'une eau d'irrigation d'un puit de CE = 9 ds/m par addition de l'eau distillé. Quatre (04) qualités d'eau d'irrigation sont utilisées dans cette expérimentation dont les CE sont : 3, 5, 7 et 9 ds/m. Les caractéristiques des eaux utilisées sont regroupées dans le tableau 14

Tableau 14 : la qualité chimique des eaux d'irrigation

Qualité d'eau	CE ds/m	pH	Na ⁺ (meq/l)	Ca ⁺⁺ (meq/l)	K ⁺ (meq/l)	CL ⁻ (meq/l)	SO ₄ ⁻⁻ (meq/l)	CO ₃ ⁻⁻ (meq/l)	HCO ₃ ⁻ (meq/l)
1	3	8,18	18.47	6.66	0.51	14,40	13.54	1,50	1,00
2	5	8,30	29.34	10,0	0.59	25,40	23.94	2,00	1,25
3	7	8,04	38.04	15,0	0.85	33,80	33.32	01,00	2,00
4	9	7,8	53.26	23.33	0.94	43,70	38.54	02,00	5,75

1.2- Méthodes d'étude

1.2.1- Protocole expérimental

L'essai comporte 12 traitements et 03 répétitions. Les traitements sont 03 fréquences d'irrigation F1, F2 et F3 combinées avec 04 niveaux de salinités d'eaux d'irrigation : S1, S2, S3 et S4. Les fréquences d'irrigation sont choisies sur la base de deux extrêmes et une moyenne, F1 : fréquence maximum, F2 : fréquence moyenne et F3 : fréquence minimum ; c'est-à-dire l'intervalle de jours entre les irrigations augmente de F1 à F3. Ces fréquences sont déterminées en rapport avec la consommation d'eau à partir de la capacité de rétention (CR) (voir tableau 15). Cette consommation est calculée à travers la détermination de l'humidité du sol. Les fréquences sont donc des intervalles de jours variables qui correspondent à des niveaux de perte d'humidité du sol (consommation).

Les niveaux de salinité d'eau sont : S1=3 ds/m, S2=5 ds/m, S3=7 ds/m, et S4 =9 ds/m.

Tableau 15 : Fréquences d'irrigation en fonction de l'humidité du sol

Fréquences	Taux de perte d'humidité ou taux de consommation à partir de la CR	L'humidité du sol nécessaire pour l'irrigation	Correspondance en ml d'eau du taux d'humidité consommée/pot
F1	12 %	23.1 %	300 ml
F2	24 %	19.9 %	600 ml
F3	36 %	16.8 %	900 ml

Il est à noter qu'on a utilisé 04 pots en plus pour les prélèvements des échantillons pour la mesure de l'humidité. La détermination de l'humidité est effectuée chaque jour jusqu'à l'arrivée à 16.8 % d'humidité du sol, on détermine ensuite l'intervalle de jours nécessaire pour chaque fréquence, cette opération est répétée chaque mois.

Le dispositif utilisé pour l'essai est de type split-plot comportant 12 traitements et 03 répétitions. Les fréquences F1, F2 et F3 constituent les parcelles principales, tandis que les sous parcelles sont présentées par les niveaux de salinité d'eaux d'irrigation : S1, S2, S3 et S4. Donc l'essai comporte 36 sous parcelles au total (fig.24)



Photo N° 1 : Dispositif expérimental

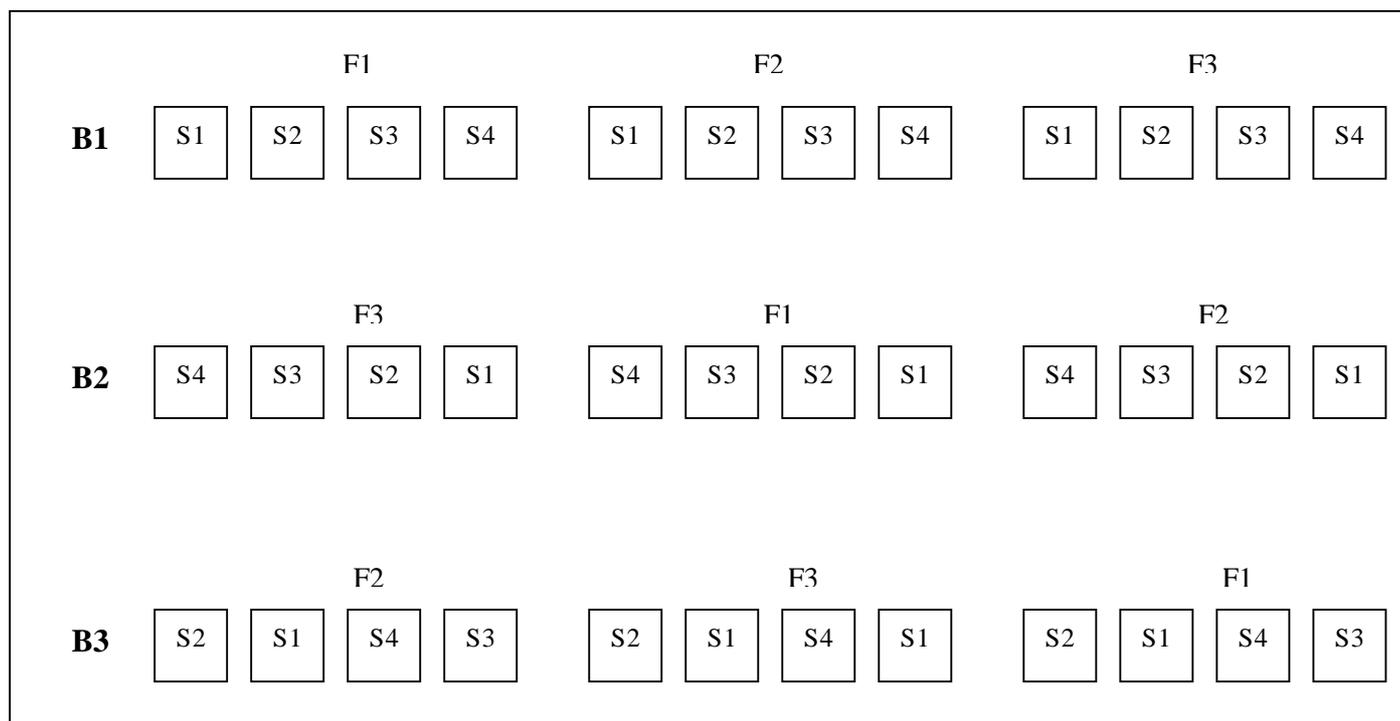


Fig. 24 Schéma du dispositif expérimental

2- Conduite de l'essai et prélèvements

2.1- Fertilisation: la fumure de fond a été apportée sous forme organique et minérale avec les doses de 50T/ha de fumier ovin et de 10qx/ha de l'engrais minéral composé NPK 15-15-15. Ensuite 300 unités d'azote/ha (urée 46%) ont été apportées en couverture sous forme fractionnée en 4 fois en fertigation.

2.2- L'irrigation : l'irrigation avec les eaux salées a commencé après un mois de la reprise des plantes. Elle est effectuée selon les 03 fréquences indiquées et avec des doses correspondant à la quantité d'humidité perdue pour amener le sol à une humidité égale à la CR plus une quantité d'eau de lessivage évaluée à 15 % (tab. 16).

Tableau 16 : Les doses d'arrosage

Parcelle principale	Besoin en eau pour amener le sol à la CR (ml)	Dose de lessivage 15 % en (ml)	La dose d'irrigation en ml/pot
F1	300	45	345
F2	600	90	690
F3	900	135	1035

Donc, les traitements de différentes parcelles principales reçoivent les mêmes quantités d'eau au total. Les fréquences varient en jours avec les mois c'est-à-dire avec le besoin en eau. Elles varient de 2 jours pour F1, 4 jours pour F2, 6 jours pour F3 jusqu'à 4 jours, 8 jours et 12 jours respectivement en fonction de l'ETM.

3- Prélèvements et mesures

La mesure de la croissance est effectuée à travers des mesures périodiques de la hauteur de tige de chaque plante. Cinq (05) mesures ont été réalisées durant l'expérimentation. Les prélèvements des échantillons du sol et de l'eau de drainage ont été effectués aussi périodiquement à raison de trois (03) prélèvements réparties sur le long du cycle de la culture.

4. Résultats et discussion

4.1 Evolution de la croissance de la tomate sous l'effet de la fréquence et la salinité d'eau

D'après les résultats obtenus illustrés dans les graphiques de croissance (fig. 25, 26), on remarque que la croissance a commencé assez lentement et elle est presque homogène dans la première période de mesure dans tous les traitements. La longueur de la tige varie de 7 à 9cm, il n'y a pas des différences significatives. Cette homogénéité persiste généralement dans la deuxième période de mesure avec une rapidité de croissance relative enregistrée en F1 (6cm environ) tandis que, la moyenne de croissance la plus lente est en F3 (4cm environ), la longueur des tiges entre 12 et 15cm. Pour la troisième période de mesure, La croissance devient de plus en plus hétérogène, la longueur de la tige varie de 18 à 23cm. La croissance est plus rapide qu'en deuxième période (8cm environ) mais elle reste faible pour S4 (5cm environ). Il semble que la salinité a commencé à poser des problèmes pour la croissance. En effet, la tolérance au sel est habituellement déterminée en termes de croissance ou de rendement (MAAS et al, 1977 ; SHANNON, 1984 in MAINASSARA et al, 2009). Après la troisième période, la croissance devient plus rapide suite vraisemblablement à une augmentation de la température ainsi que dans cette période la différence devient plus claire entre les traitements. La longueur des tiges les plus élevées est autour de 40cm environ pour S1, S2 et S3, tandis que, la moins élevée est celle de S4 dans toutes les fréquences, mais on note que la plus mauvaise croissance est enregistrée en F3 (F3S4 : 25cm). La croissance est plus rapide dans cette période en particulier pour S1 et S2 en F1 (16 à 18cm), cependant, elle est de l'ordre de 10 à 12cm pour les salinités élevées : S3 et S4 notamment en F3. Cette rapidité de croissance a diminué en cinquième période de mesure malgré l'accroissement des hauteurs des tiges jusqu'à plus de 50cm en S1, S2 et S3 mais, la hauteur la plus faible reste

celle du S4 en F3 : 33cm. Le ralentissement général de croissance observé est traduit par une croissance lente de l'ordre de 12 à 15cm en S1 et S2 et de 7 à 8cm en S3, S4, ce qui nous semble que ceci résulte d'une accumulation importante des sels en particulier pour les fortes salinités d'eaux.

Donc, la croissance la plus rapide et les hauteurs les plus élevées des tiges sont observées en F1 pour S1 et S2 par rapport à F2 et F3 (fig. 25, 26). La fréquence F1 est plus favorable aussi pour S4 par rapport à F2 et F3 même si la hauteur des tiges reste relativement faible, mais la plus mauvaise croissance de S4 est observée en F3 qui présente la plus faible croissance de tous les traitements. Pour S3 les résultats montrent un effet favorable de F2 puis F1 et enfin F3.

L'analyse de la variance de la croissance de la dernière mesure des tiges montre un effet moyen significatif de la salinité exprimé par 2 groupes homogènes selon le test Newman et Keuls, S1, S2 et S3 constituent un groupe et S4 un autre groupe (annexe 14). Donc on peut dire que l'effet moyen des salinités des traitements S1, S2 et S3 est similaire sur la croissance dans cet essai et présentent une différence significative par rapport au S4 qui est la salinité la plus élevée. L'interaction est aussi significative, S1 et S2 ont une bonne interaction avec F1, tandis que S3 a une bonne interaction avec F2 et la meilleure croissance de S4 est obtenue avec F1 (annexe 15). Donc on peut dire que F1 et F2 représentent les meilleures fréquences pour l'irrigation avec des eaux salées.

Le test ppds a pu dégager 3 groupes homogènes en interaction fréquence – salinité (annexe 16). Le plus important c'est le 1^{er} groupe qui englobe 9 traitements : F1(S1,S2,S3,S4); F2(S1,S2,S3); F3(S1,S2) ; à partir de ces résultats, on peut dire que l'utilisation des eaux salées est d'autant plus utile que la fréquence est plus grande. On remarque que les salinités les plus élevées disparaissent du groupe progressivement à chaque fois si la fréquence a diminué, c'est-à-dire à chaque fois qu'on augmente la fréquence on peut utiliser davantage des salinités relativement élevées des eaux d'irrigation. Mais il est à noter que F1S1 et F1S2 restent les meilleurs traitements.

L'effet principal de la salinité est l'augmentation du potentiel osmotique suite à l'augmentation de la salure dans le milieu de culture ce qui résulte une réduction de la disponibilité en eau pour les cultures (SCHLEIFF, 1979 ; CHARTZOULAKIS, 2003) et en conséquence la croissance des plantes sera touchée (BERTRAND, 1981 ; BEN NACEUR, 2001 ; CUARTERO et al, 2003 ; FLOWERS et al, 2003 ; SLAMA, 2004 ; KADRI et al, 2009). En effet, le ralentissement de croissance enregistrée dans la dernière période de mesure surtout pour les fortes salinités est une conséquence de l'accumulation des sels dans le sol.

Cette accumulation ralentit la croissance des végétaux (BOULAINÉ, 1974). L'effet est indépendant de la nature des sels, il est plutôt lié à la salinité globale (BOUGENDRE, 1973), (RHOADES, 1992). Ainsi, SNOUSSI et HALITIM (1998) ont trouvé que le ralentissement de croissance des plantes est dû à l'effet direct de la salinité des solutions. D'autre part, S4 présente certes une salinité élevée mais son effet est d'autant plus nocif que l'intervalle d'irrigation augmente (F3). La mauvaise croissance de S4 en F3 s'explique par le fait que la diminution de croissance est une fonction linéaire de la pression osmotique croissante de l'eau du sol (BOULAINÉ, 1974). En effet, l'assèchement des sols augmente la concentration de sa solution et il peut y avoir des effets très marqués sur les cultures (BERTRAND, 1981). Donc, on peut dire que les grandes fréquences ont bien favorisé la croissance du végétal pour tous les niveaux de salinités en comparaison avec la faible fréquence. Selon ABDELJAOUAD (2003) la hauteur de la plante de la tomate diminue avec l'augmentation de la salinité d'eau d'irrigation. Cependant, l'effet néfaste de l'eau salée peut être moins accentué si l'intervalle entre deux irrigations est réduit par l'augmentation de la fréquence d'irrigation, car la pression osmotique sera réduite par l'apport de l'eau à travers l'irrigation (PALIWAL, 1972). En effet, les sels solubles réduisent la disponibilité en eau, cependant, le stress hydrique entre deux irrigations peut être souvent éliminé par augmentation de la fréquence d'irrigation (AYERS et WESTCOT 1985). Donc, l'irrigation fréquente avec de faibles quantités d'eau compense l'effet défavorable de l'irrigation avec l'eau salée (GTZ, 2003).

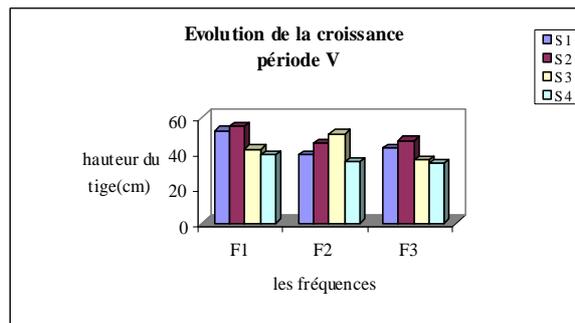
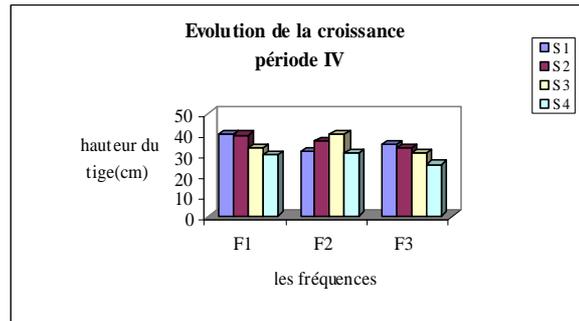
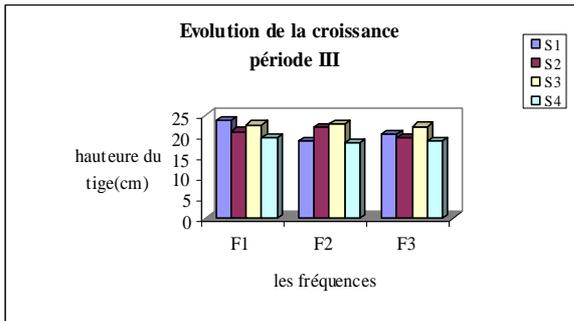
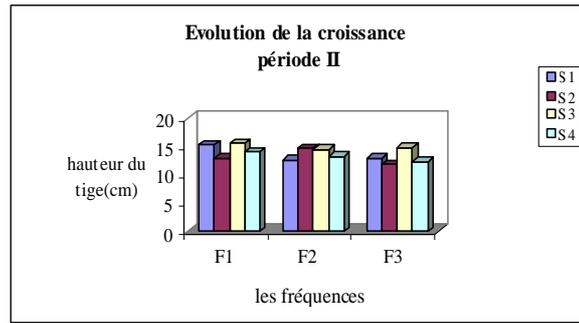
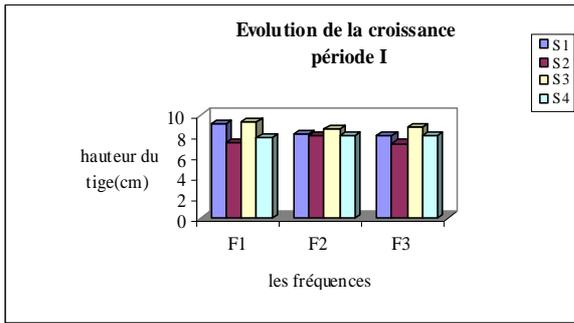


Fig. 25 Croissance de la tomate par période de mesure

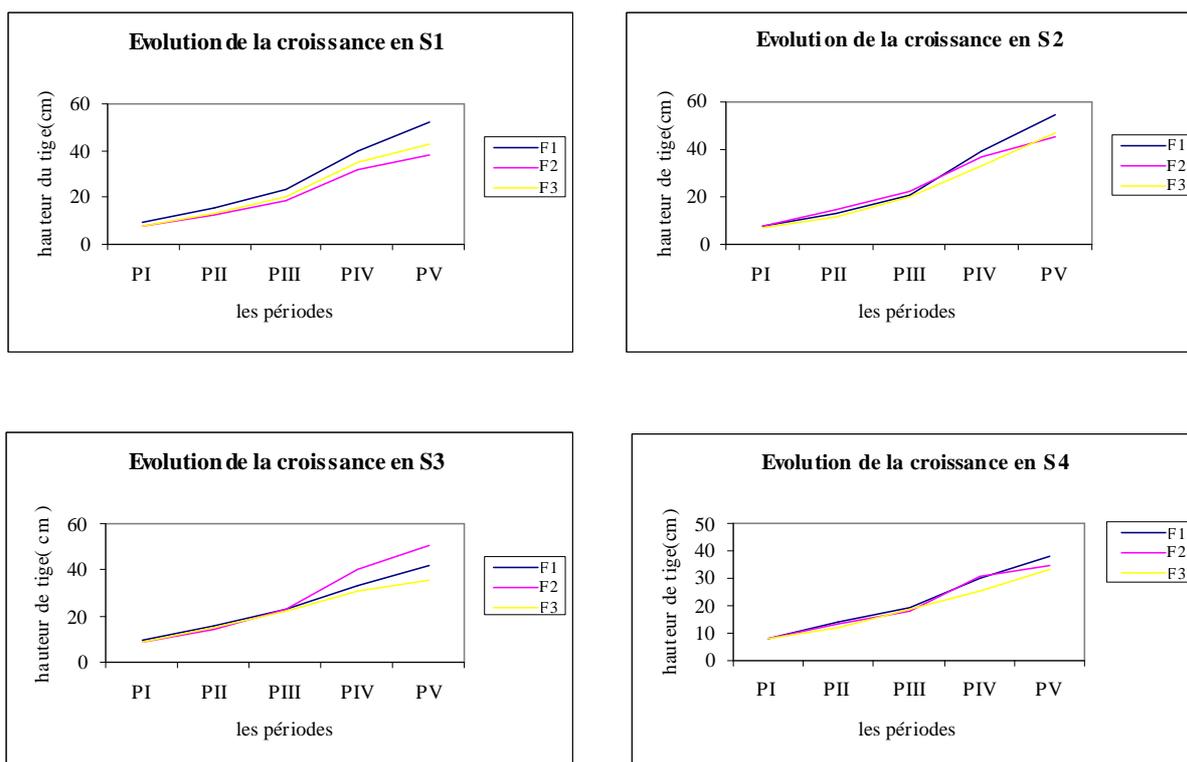


Fig. 26 Croissance de la tomate par salinité d'eau

4.2- Évolution de la CE des sols

Les résultats d'évolution de la CE du sol montrent des variations plus ou moins importantes au niveau des traitements. Généralement la CE du sol la plus faible est enregistrée dans le traitement S1 dans chaque prélèvement et la CE la plus élevée est celle de la salinité d'eau la plus élevée S4 dans la fréquence F3 (F3S4) (fig. 27). La CE du sol varie avec la fréquence et la salinité des eaux d'irrigation. Généralement, on a remarqué que le traitement S1 présente la CE la moins élevée et son évolution a une tendance à diminuer relativement avec la moyenne et la faible fréquence F2 et F3 ce qui nous semble que la quantité élevée d'eau fournie en une fois qui a une grande influence sur la CE du traitement irriguée par l'eau relativement de faible salinité. Cependant, pour les salinités élevées à savoir les traitements S2, S3 et S4 la CE du sol est plus élevée notamment pour la faible fréquence F3 (fig. 28). Pour la salinité d'eau relativement faible, il semble que malgré une CE du sol relativement élevée mais en présence d'une humidité adéquate dans le sol les plantes peuvent présenter un bon développement. Cependant, pour les salinités d'eau plus élevées, l'augmentation de l'intervalle d'irrigation a un effet défavorable pour la plante et la CE du sol. La CE du sol augmente en S3 et surtout en S4 jusqu'à 5,6 ds/m ce qui influe sur les plantes cultivées et entraîne leur mort dans certains traitements, ceci est dû à l'accumulation progressive des sels

dans les sols dépassant parfois la tolérance des plantes ce qui engendre une salinisation plus intense en texture fine (MOUHOUCHE, 1999) et plus rapide avec l'utilisation des eaux très salées (MASMOUDI, 2003). FERERES (1983) a montré que la salinisation est normalement un processus de long terme, néanmoins, peu d'irrigations avec eau chargée en sels peut saliniser le sol en une seule campagne.

Donc, on note que les CE du sol les plus élevées sont enregistrées au niveau des traitements S3 et S4 notamment avec la fréquence F3. Ceci, représente l'irrigation avec les eaux les plus salées et avec l'intervalle d'irrigation le plus long. En effet, l'augmentation de la fréquence d'irrigation peut réduire l'accumulation des sels dans le sol (RAJAB et al, 2003). Selon KIRDA et BAYTORU (2000), l'augmentation de la fréquence d'irrigation peut réduire l'accumulation des sels dans la zone racinaire, cependant l'augmentation de l'intervalle d'irrigation même avec forte quantité d'eau provoque l'accumulation des sels. Ainsi, DURAND (1983) a montré que plus la fréquence d'irrigation est grande plus la solution du sol est diluée et plus l'enlèvement des sels solubles est facile.

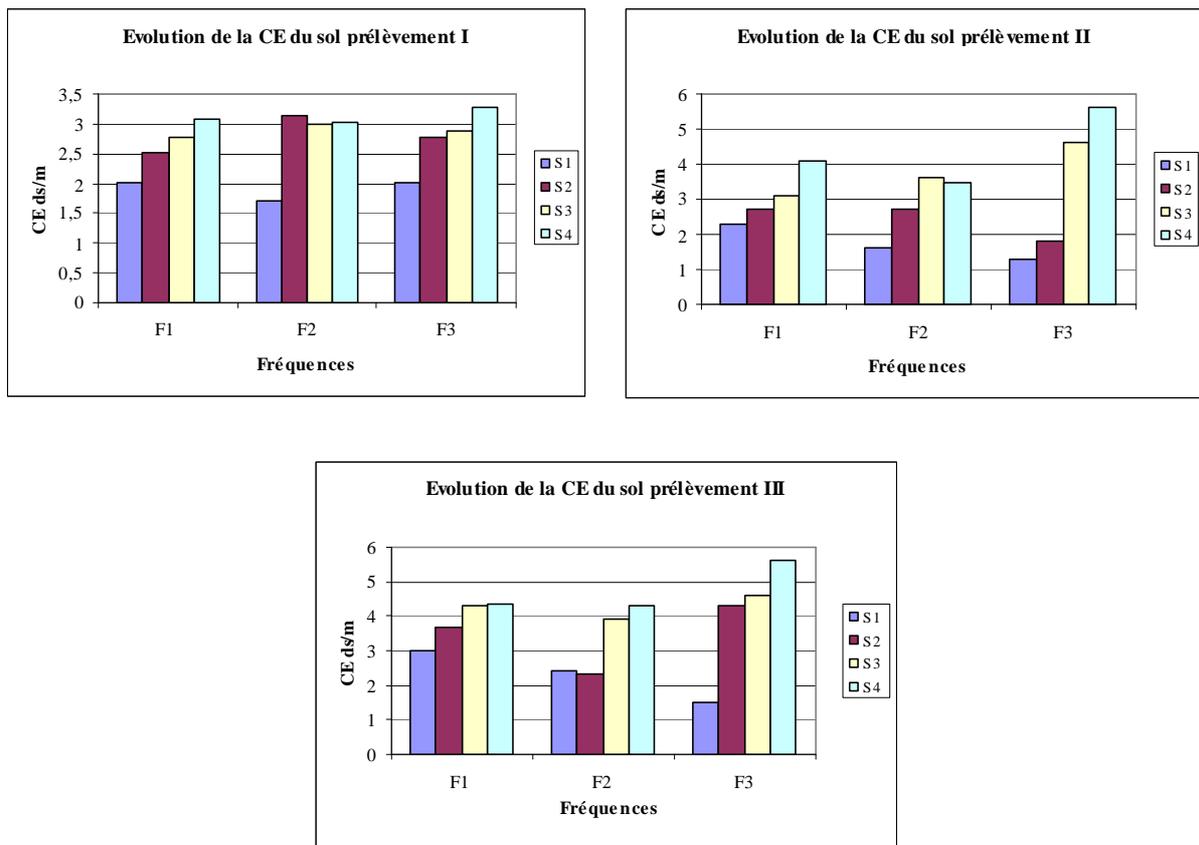


Fig. 27 Evolution de la CE du sol

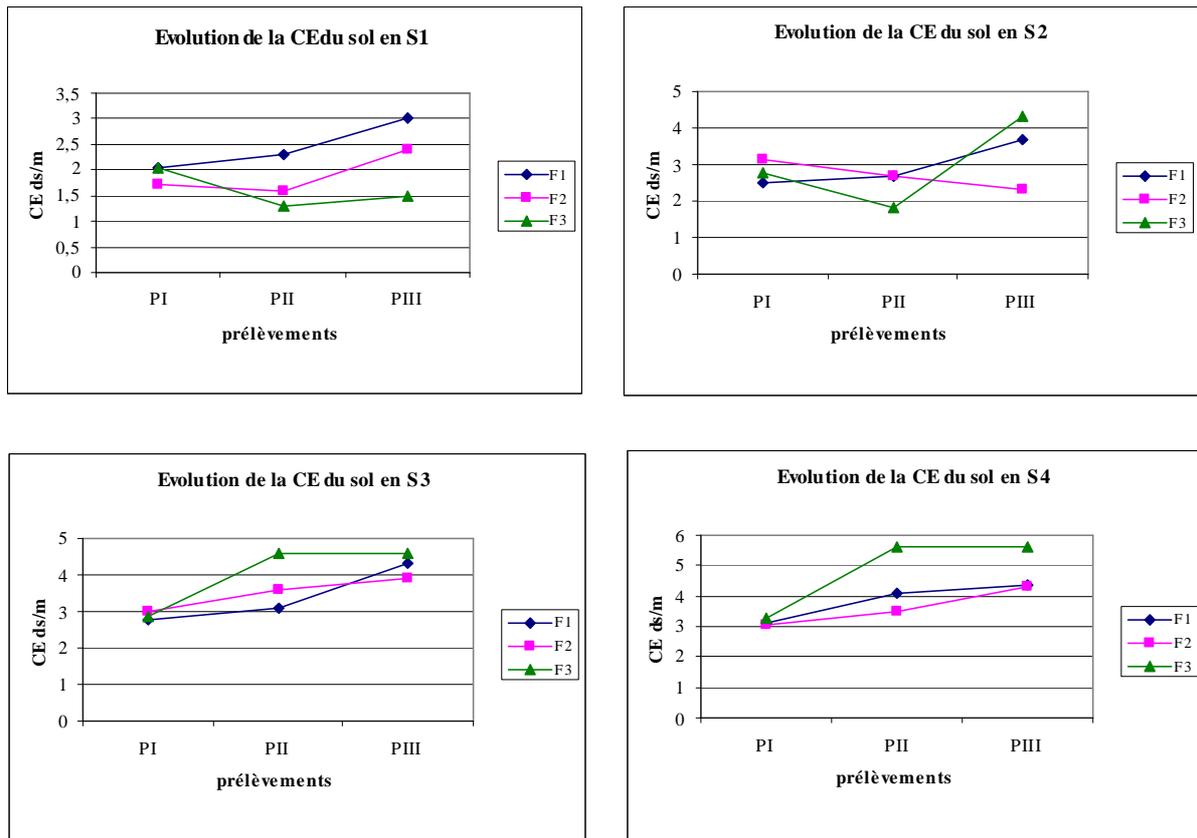


Fig. 28 Evolution de la CE du sol par salinité d'eau

4.3- Evolution des sels solubles et du pH du sol.

4.3.1- Les sels solubles (fig. 29) :

4.3.1.1- Cl^- : la concentration en Cl^- de la solution du sol augmente avec la salinité des eaux d'irrigation et avec le temps pour arriver au maximum en troisième prélèvement (PIII). La variation de la teneur en Cl^- est généralement en concordance avec celle de la CE, les concentrations les plus élevées se trouvent en F3S4 et les concentrations les moins élevées se trouvent au niveau des traitements S1. Suite à leur solubilité la teneur en chlorure augmente avec la salinité (GHAIBA, 1996).

4.3.1.2- Na^{++} : il présente des teneurs importantes au niveau des traitements. Comme le Cl^- , on trouve généralement les concentrations les plus élevées en PIII, la variation de la teneur en Na^{++} est en concordance avec la variation de la CE, la valeur la moins élevée est enregistrée en S1. Il est à noter que le Cl et le Na ont une très bonne corrélation avec la CE.

4.3.1.3- Ca^{++} : on remarque une augmentation progressive de la teneur de la solution du sol en Ca^{++} . En PI, les teneurs ont été plus ou moins basses puis elles augmentent avec le temps, les teneurs les plus élevées se trouvent au niveau du S4 et les plus basses au niveau du S1. On

note ici que pour le Ca^{++} il y a seulement des augmentations de la teneur, et ceci semble être expliqué par le lessivage plus difficile de cet élément par rapport au Na^+ et Cl^- .

4.3.1.4- K^+ : les teneurs en K^+ de la solution du sol ont presque la même évolution que le Ca^{++} . Les teneurs ont été moins élevées en PI, puis augmentent progressivement pour arriver à leur maximum en PIII. Le K^+ est aussi moins lessivable que le Na^+ et le Cl^- . Les teneurs en K^+ sont généralement moins élevées que les autres cations.

4.3.1.5- SO_4^{--} : les teneurs en SO_4^{--} ont connus une augmentation et une stabilisation dans certains traitements après PII. La teneur la plus élevée est enregistrée au niveau du traitement S4 et la moins élevée en S1.

Enfin, on peut dire que le Na et le Cl ont le même sens d'évolution, le coefficient de corrélation $R = 0.9$ pour Na – Cl. Ils varient aussi dans le même sens que la CE (CRUESI, 1970), et par conséquent leur teneurs sont parfaitement corrélés avec la CE (HALITIM, 1988), $R = 0,97$ et 0.87 pour Cl – CE et Na – CE respectivement. Le Ca varie très peu avec la CE, sa concentration et son lessivage est plus faible (GHAIBA, 1996). Le K soluble se trouve en faible quantité dans la solution du sol. Les bicarbonates se trouvent en très faible quantité dans les sols de la région aride d'Algérie et ne montrent pas des variations significatives (HALITIM, 1988).

4.3.2- Le pH du sol (fig. 30)

Le pH du sol a connu une évolution importante durant la période végétative. Le premier prélèvement a montré un pH proche entre les traitements entre 7.74 et 7.93. En deuxième prélèvement on a remarqué une diminution plus ou moins importante dans tous les traitements puis une légère augmentation ou stabilisation en troisième prélèvement. Ceci peut être expliqué par l'effet de la rhizosphère et aussi par la présence des ions sulfatés. Les ions SO_4 peuvent conduire à l'acidification du sol (DURAND, 1983). L'effet rhizosphérique semble ensuite diminuer suite au ralentissement de la croissance. Il est à noter qu'en troisième prélèvement les valeurs du pH les plus basses sont celles des salinités les plus élevées S3 et S4.

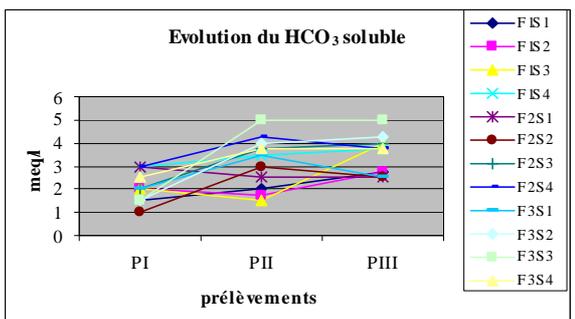
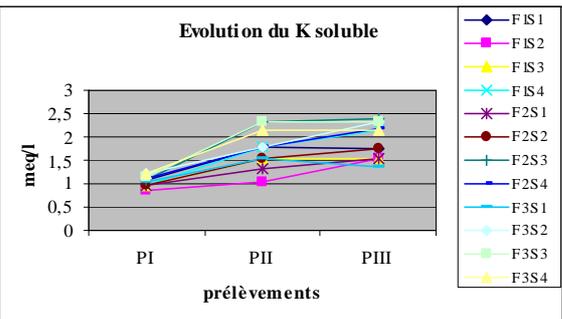
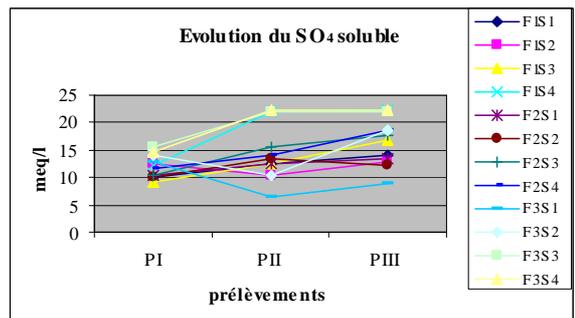
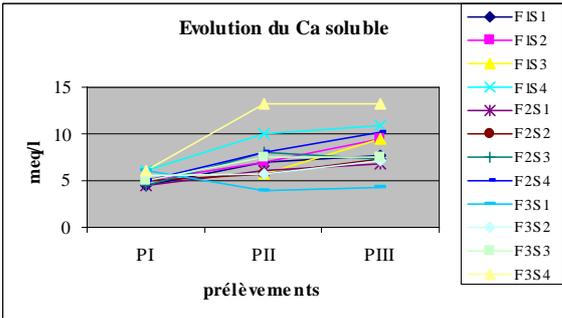
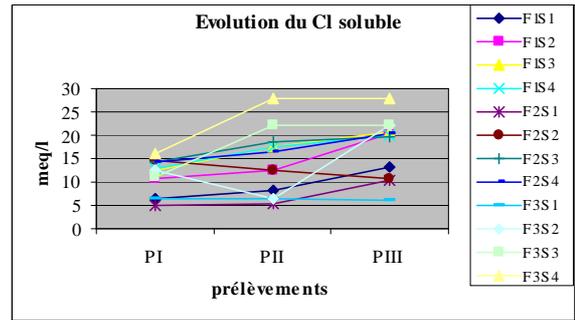
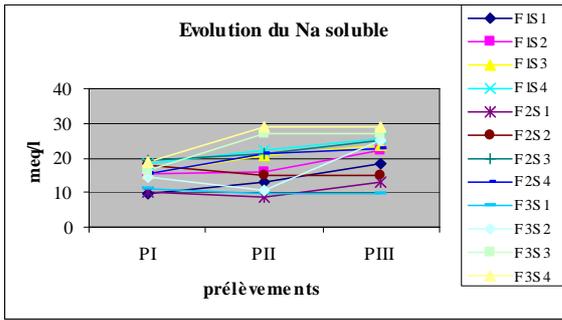


Fig. 29 : Evolution des sels solubles dans le sol

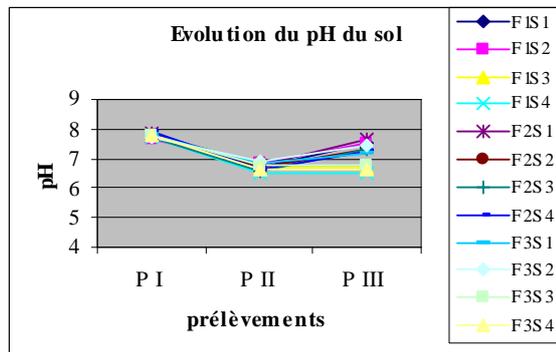


Fig. 30 : Evolution du pH du sol

4.4- Evolution du calcaire et du gypse dans le sol (fig. 31, 32)

Le dosage du calcaire et du gypse dans le sol est réalisé au début et en fin de l'essai. Le taux initial du calcaire du sol a connu une variation minime caractérisée généralement par une légère augmentation qui peut être expliquée par la précipitation du Ca et du bicarbonate. Cependant le taux initial du gypse a connu une variation très importante, il diminue dans tous les traitements à des valeurs proches de zéros. Ceci est probablement dû à l'effet des sels sur la solubilisation du gypse en particulier les chlorures de Na (POUGET, 1968), (ABDELJAOUAD, 1996), (SCHREIBER ET SCHREIBER, 1977 in HIOUANI, 2007)

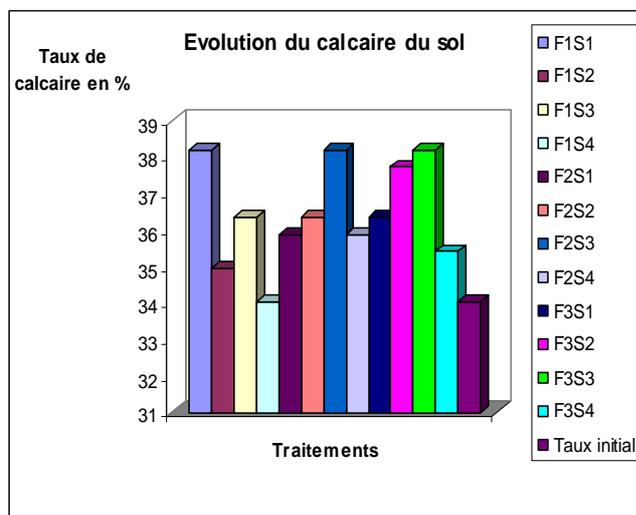


Fig. 31 : Evolution du calcaire

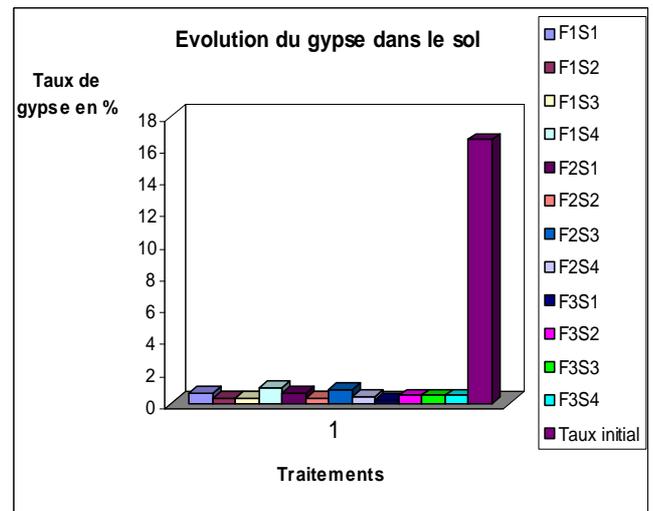


Fig. 32 : Evolution du gypse

5- Conclusion

Les résultats obtenus montrent que le bon développement du végétal est observé en F1 en particulier pour S1 et S2 et la plus faible croissance est enregistrée en S4 surtout en F3.

Nos résultats montrent un effet très important de la fréquence d'irrigation sur le comportement de la plante vis-à-vis la salinité. En effet, lorsque on augmente la fréquence on peut utiliser davantage des salinités relativement élevées des eaux d'irrigation. Néanmoins, les traitements relativement moins salés restent toujours les meilleurs.

Enfin, on peut dire que la bonne maîtrise de l'irrigation peut conduire à une production satisfaisante des cultures et une utilisation rationnelle des eaux de moindre qualité.

Chapitre II : Effet de la fertilisation phosphopotassique sur une culture de blé en conditions salines

Introduction

La fertilisation joue un rôle très important dans la fertilité des sols et l'augmentation de la production des cultures. Cependant, dans les milieux salés elle fait l'objet de différents points de vue des scientifiques. Les travaux de recherche effectués dans ce domaine ont des résultats différents et parfois contradictoires (FEIGIN, 1985). Certains auteurs sont pour la fertilisation car elle augmente la fertilité du sol et créer un milieu de nutrition favorable aux cultures face à l'effet agressif de la salinité. Par contre d'autres sont à l'opposé à cause des sels supplémentaires apportés par les engrais. En effet, si la fertilisation est excessive ou l'engrais est localisé par concentration élevée dans un petit volume du sol ceci augmente l'effet osmotique ce qui influe sur la plante (ARAGUES, 1983). Mais, il semble que l'apport raisonné des engrais peut donner des bons résultats comme a été signalé par plusieurs recherches effectuées dans ce domaine (BERTRAND, 1981; SAURAT, 1989 ; SHAHER et FADEL, 1996 ; OSMAN et al, 1997 ; NAGAZ et al, 2000 ; ALMUTAWA et EL KATONY, 2001 ; FLORES et al, 2003 ; ZNATI, 2009). Selon JURINAK et WAGENET (1981) in (ARAGUES, 1983), dans la plupart des cas, un niveau modéré de salinité du sol peut être compensé par l'augmentation de la fertilisation. Donc, pour améliorer l'état et la résistance du végétal à la salinité qui constituent notre objectif dans cette étude, on a opté de travailler aussi sur la fertilisation en milieu salé par l'apport de différentes doses d'éléments nutritifs indispensables à la plante à savoir le phosphore et le potassium en utilisant deux niveaux de salinité d'eau. L'essai est réalisé en pots de végétation avec une culture de blé dur et s'est déroulé au niveau de département d'agronomie à l'université de Biskra.

1- Matériel d'étude

1.1- Le sol : le sol utilisé dans l'essai est celui du terrain d'expérimentation de département d'agronomie de Biskra. Ces caractéristiques sont regroupées dans le tableau 1.

Tableau 17 : Caractéristiques du sol

Densité apparente	1,4
Conductivité électrique 1/5 à 25°C (ds/m)	4.58
pH eau	8.5
Calcaire total (%)	37.96
Phosphore assimilable (ppm)	245.64
Potassium assimilable (meq/l)	11.43
Matière organique (%)	0.67
Solution du sol : (meq/l)	
Potassium K ⁺	0.86
Calcium Ca ⁺⁺	21.20
Magnésium Mg ⁺⁺	7.80
Sodium Na ⁺	20.97
Sulfate SO ₄ ⁻⁻	17.75
Chlore Cl ⁻	29.08
Bicarbonate HCO ₃ ⁻	1.50

1.2- Les eaux d'irrigation : deux qualités d'eau sont utilisées dans cette expérimentation, l'une est apporté d'un puits situé à M'lili de CE = 8 ds/m, l'autre est l'eau de département d'agronomie de Biskra de CE=5.5 ds/m. Les caractéristiques des eaux utilisées sont dans le tableau 18.

Tableau 18 : la qualité chimique des eaux d'irrigation

Qualité d'eau	CE ds/m	pH	K ⁺ (meq/l)	Na ⁺⁺ (meq/l)	Ca ⁺⁺ (meq/l)	Mg ⁺⁺ (meq/l)	Cl ⁻ (meq/l)	SO ₄ ⁻⁻ (meq/l)	HCO ₃ ⁻ (meq/l)	CO ₃ ⁻ (meq/l)
S1	5.5	7.49	0,28	38,69	8.2	6.6	33,24	10,49	5,7	0,8
S2	8	7.61	1,03	57,50	17.2	5.8	44,11	33,15	3,0	1,0

1.3- Les engrais : Les engrais utilisés sont :

-Engrais potassique : le sulfate de potassium qui contient 50% de K₂O.

-Engrais phosphaté : le triple super phosphate qui contient 46% de P₂O₅

1.4- Le végétal : la plante utilisée dans cette expérimentation est une variété de blé dur qui s'appelle *Vitron*. C'est une variété précoce à paille courte, l'épi est blanc avec des barbes brunes à noires selon les conditions de culture.

1.5- Les pots : Les pots utilisés sont en plastique perforés en bas, leur hauteur est 22cm et leurs sections supérieure et inférieure sont 30 et 18cm de diamètre respectivement.

2- Méthode d'étude :

2.1- Protocole expérimental

L'essai comporte 16 traitements et 3 répétitions. Les traitements sont des combinaisons des niveaux des 03 facteurs étudiés: engrais potassique: K0, K1, K2, K3, engrais phosphorique: P1, P2 et salinité d'eaux d'irrigation: S1 et S2.

Les doses d'engrais potassique sont: K0=0 unité/ha, K1=50 u/ha, K2=100 u/ha, K3=150 u/ha.

Les doses d'engrais phosphorique sont : P1=50 u/ha, P2=100 u/ha.

Les niveaux de salinités d'eau sont : S1= 5.5 ds/m, S2= 8 ds/m.

Donc les traitements sont :

S1K0P1	S1K1P1	S1K2P1	S1K3P1	S1K0P2	S1K1P2	S1K2P2	S1K3P2
S2K0P1	S2K1P1	S2K2P1	S2K3P1	S2K0P2	S2K1P2	S2K2P2	S2K3P2

2.2- Dispositif expérimental

Le dispositif expérimental appliqué est le dispositif "split-plot à trois étages comportant 16 traitements et 3 répétitions. Le dispositif est constitué de 3 blocs, les niveaux de salinités sont les parcelles principaux, les doses de phosphore sont les sous parcelles et les doses de potasse constituent les sous sous parcelles (fig. 33).



Photo N° 2 : Dispositif expérimental

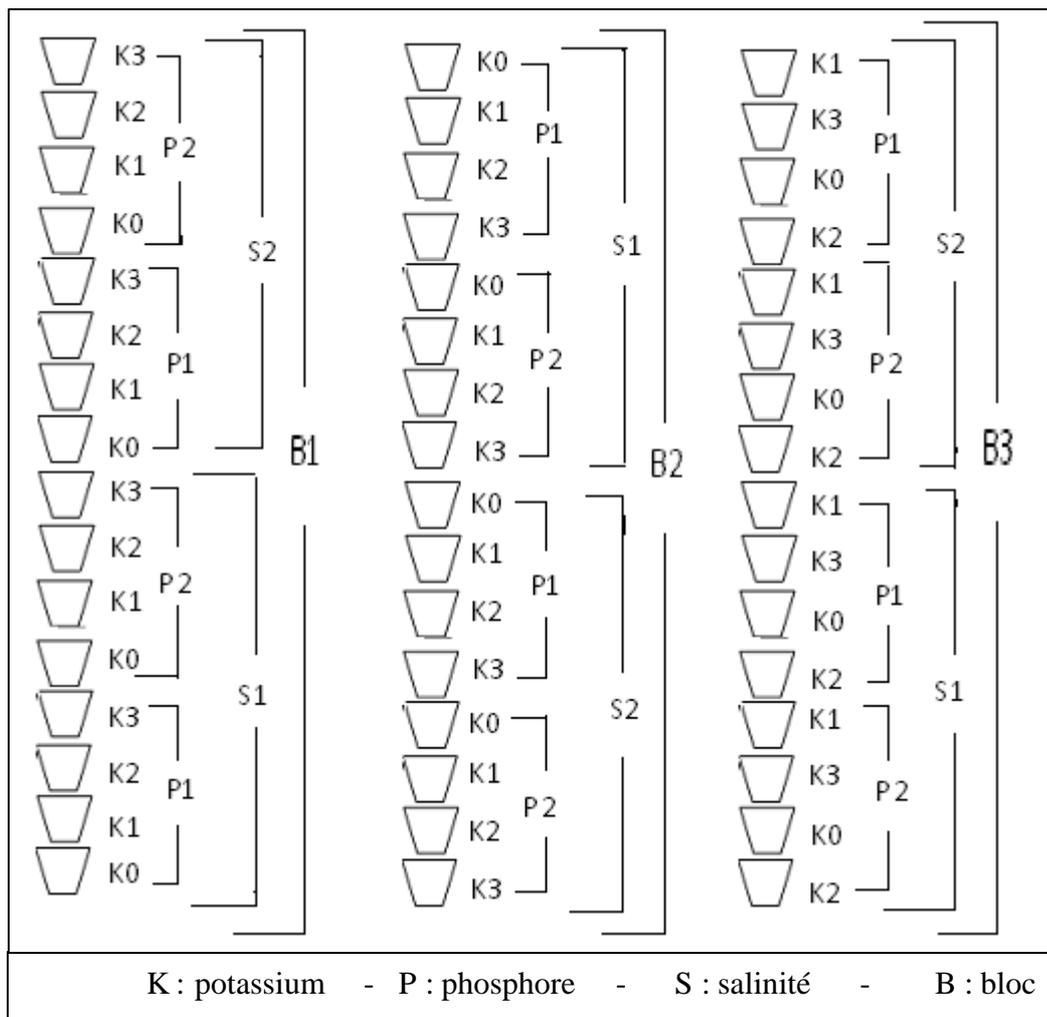


Fig. 33 : Schéma du dispositif expérimental

3- Installation et conduite de l'essai

3.1- Préparation de sol : le sol est prélevé du terrain d'expérimentation de département d'agronomie (Biskra) sur 25cm environ, séché et tamisé à 2mm.

3.2- Fumure minérale : la fumure minérale de fond appliquée est l'engrais potassique sous forme de sulfate de potassium : K0 : 0 u/ha, K1 : 50 u/ha, K2 : 100 u/ha, K3 : 150 u/ha et l'engrais phosphaté sous forme de TSP (triple superphosphate): P1 : 50 u/ha, P2 : 100 u/ha selon les traitements. L'azote a été apporté fractionné en couverture avec une dose de 120 u/ha sous forme d'urée 46%.

3.3- Remplissage des pots : On a mis dans chaque pot 8.5kg de sol bien mélangé avec la fumure minérale de fond indiquée ci-dessus selon les traitements.

3.4- L'irrigation : l'irrigation est réalisée au début par l'eau de S1 sur tout les traitements. Après la levée, l'irrigation est effectuée par les eaux de S1 et S2 selon les traitements.

3.5- Détermination des besoins en eau : la détermination des besoins en eaux est faite par l'intermédiaire de deux pots supplémentaires conçus pour ce but, le premier est irrigué par S1 et le deuxième est irrigué par S2. Les deux pots sont irrigués en excès à l'avance puis les eaux de drainage sont récupérées et mesurées. La différence entre la quantité d'eau donnée et la quantité d'eau de drainage récupérée donne le besoin en eau des plantes qui sera majoré par 20% pour le lessivage des sels.

4- Paramètres étudiés et analyses

4.1- Le végétal : trois mesures de la hauteur des tiges des plantes ont été effectuées périodiquement au cours de cycle végétatif, la production en grains et en paille et le poids de 1000 grains ainsi que la teneur des grains en phosphore, potassium et sodium.

4.2- Le sol : trois prélèvements de sol ont été effectués aussi périodiquement au cours de cycle de blé pour déterminer la CE et le pH ainsi que les cations et les anions en fin de cycle.

4.3- L'eau de drainage : les eaux de drainage ont été aussi prélevées deux fois au cours de cycle de la culture pour l'analyse de leur CE.

5- Résultats et discussion

5.1- Effets de la salinité et la fertilisation sur le végétal

5.1.1- Evolution de la croissance du végétal (hauteur des plantes)

D'après les résultats de croissance, on remarque que la salinité a un effet marqué sur la réduction de la croissance du végétal (BIZID et al, 1988 ; BEN NACEUR, 2001 ; HU et al, 2008 ; MONTANRI et al, 2008 ; KADRI et al, 2009), ceci est clair sur les traitements témoins sans engrais S1K0P0 et S2K0P0 dont les hauteurs sont 34.7 et 23.5cm respectivement et aussi sur les traitements S2 par rapport à S1 (fig. 34). D'autre part, on peut signaler un effet positif de la fertilisation sur la croissance du végétal par rapport aux traitements témoins n'ayant pas reçus des engrais.

La croissance de végétal est généralement rapide entre la première et la deuxième période de mesure, mais elle devenue plus lente ensuite en fin de cycle. La hauteur des tiges la plus

élevée et de 48 à 50cm enregistrée dans les traitements irrigués par l'eau la moins salée S1 à savoir : S1K1P2, S1K2P2 et S1K3P2 (fig. 34).

L'analyse de la variance montre qu'il y a un effet significatif global du phosphore exprimé par 2 groupes homogènes selon le test de Newman et Keuls dans les mesures 1, 2 et 3. Les traitements P2 constituent le premier groupe et les traitements P1 constituent le deuxième groupe (annexe 30), cela veut dire que la dose du phosphore P2 a un effet plus favorable que celle de P1. Aussi l'interaction montre qu'il y a un effet significatif entre S1-P2 et S1-P1 (annexe 31).

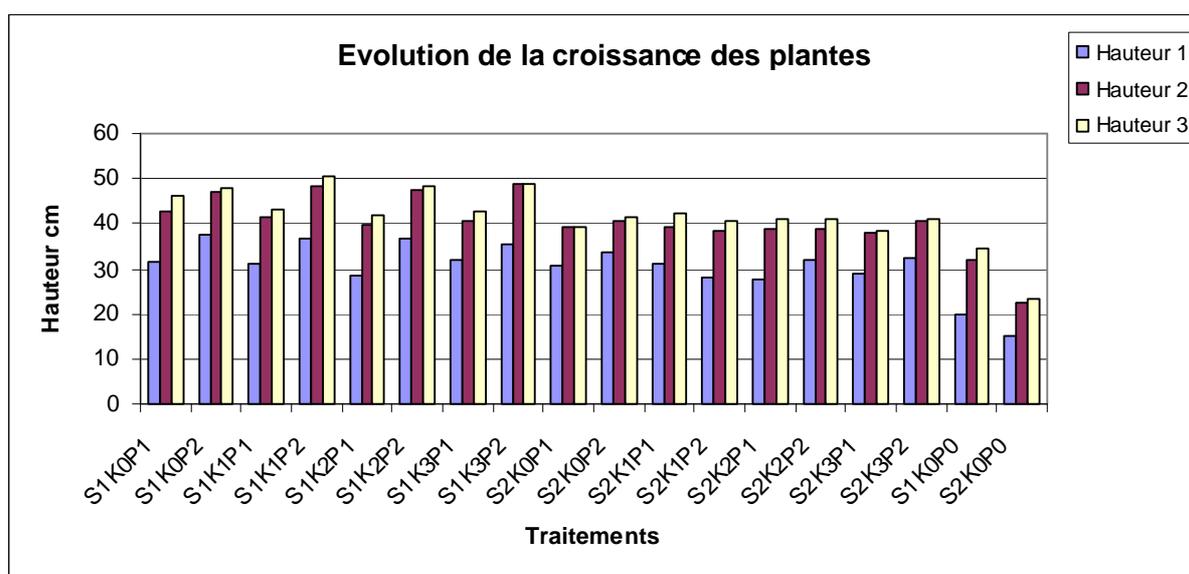


Fig. 34 : Evolution de la croissance des plantes

5.1.2- Le rendement en grains

L'apport d'engrais a contribué à l'augmentation des rendements dans les conditions salines par rapport aux témoins sans engrais dont les rendements sont presque nuls (S1N0P0K0 : 0.01 g/ pot, S2N0P0K0 : 0 g/ pot). Les traitements irrigués par S1 présentent généralement les rendements les plus élevés par rapport à ceux irrigués par S2.

On remarque que les traitements ayant reçu la dose P2 présentent des rendements plus élevés par rapport à ceux ayant reçu la dose P1, ceci est plus clair en particulier pour les traitements de S1 (fig. 35). L'analyse de la variance montre que l'interaction S-P est significative entre S1-P2 et S1-P1 et aussi entre S2-P2 et S2-P1 en faveur de P2. Elle est aussi significative pour S-K-P d'où S1K1P2, S1K2-P2 et S1-K3-P2 forment le premier groupe par rapport aux autres interactions pour S1 et S2-K0-P2 forme le premier groupe par rapport au autres interactions pour S2 (annexes 32, 33, 34). Il semble que l'apport du phosphore améliore la nutrition et la tolérance des plantes en milieu salé (SHAHER et FADEL, 1996). Cependant une dose faible à

moyenne de potasse semble suffisante dans les conditions de notre essai surtout en ce qui concerne l'espèce végétal selon nos résultats.

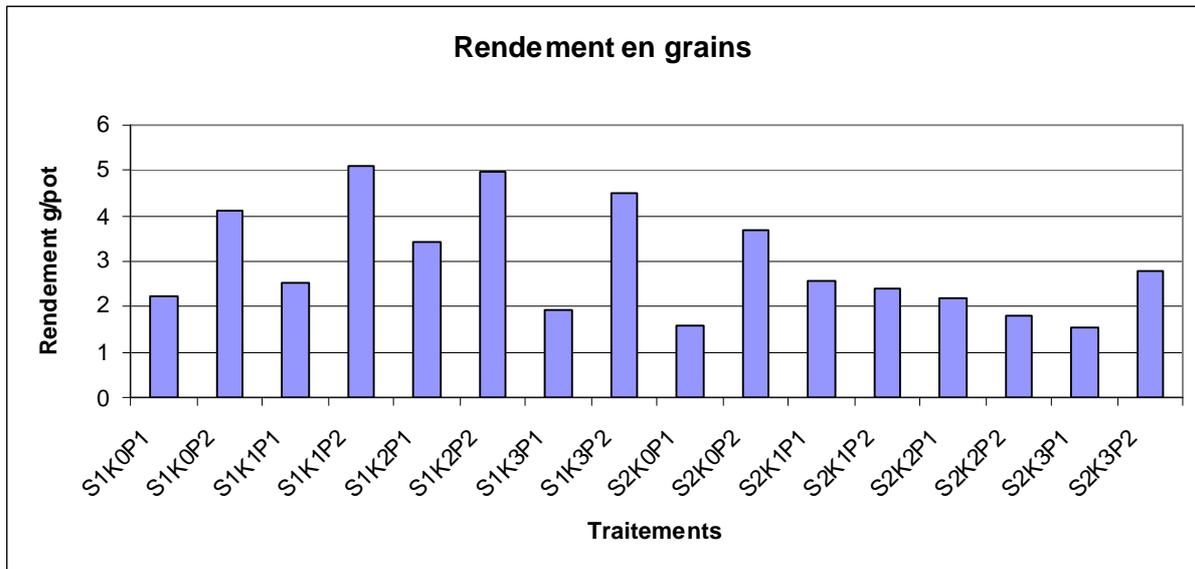


Fig. 35 : Rendement en grains

5.1.3- Le rendement en paille

Les rendements en paille sont généralement proches entre les traitements identiques du S1 et S2 avec une supériorité marquée pour les traitements de P2 en particulier pour les traitements S1. Il semble que l'effet de la salinité est moins marqué au niveau de la production de paille par rapport aux grains. Mais la dose P2 reste toujours la meilleure par rapport à P1 que ce soit au niveau de la hauteur ou le rendement en grain et en paille (fig. 36). Selon BALBAA (1979), le prélèvement du phosphore par les plantes est influencé négativement par la salinité. En effet, le Cl inhibe l'absorption du P_2O_5 et l'augmentation de la teneur de ce dernier a un effet important en milieu salé (SHAHER et FADEL, 1996). Ceci est confirmé par un effet significatif global de P2 par rapport à P1 (annexe 36). L'analyse de la variance montre ici un effet significatif global de potassium où K1 représente la meilleure dose de potassium par rapport aux autres doses (annexe 35).

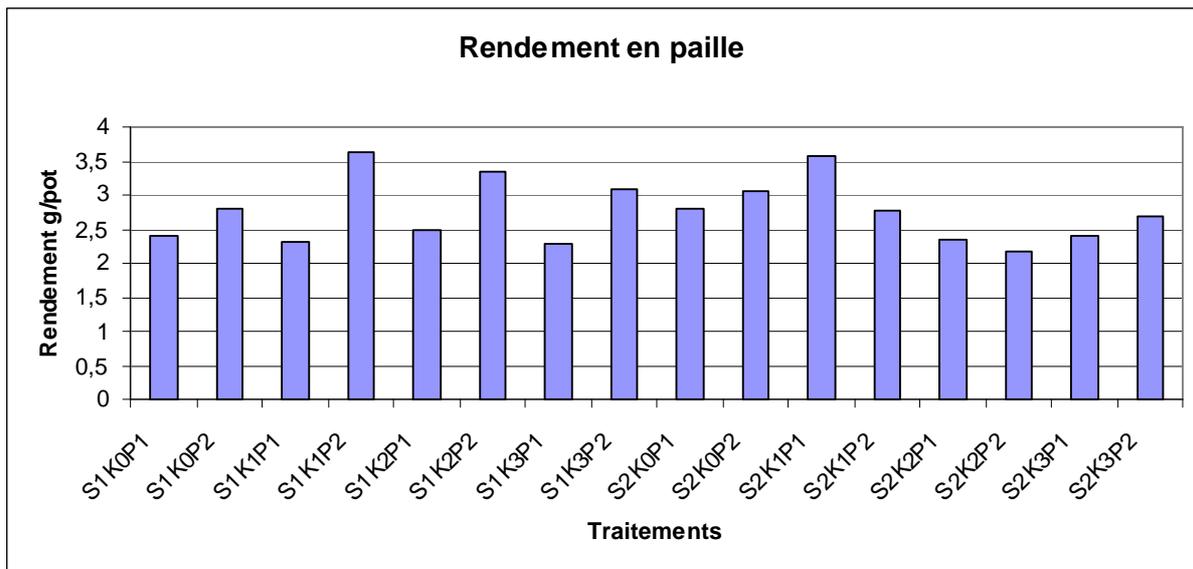


Fig. 36 : Rendement en paille

5.1.4- Le poids de 1000 grains

Les résultats obtenus montrent que le poids de 1000 grains des traitements S1 est généralement plus élevé que celui des traitements S2 (fig. 37), ce qui indique que l'augmentation de la salinité a un effet négatif sur le poids de 1000 grains, ce qui est confirmé aussi par l'analyse de la variance qui montre un effet significatif global de S1 par rapport à S2 (annexe 39). D'autre part tous les traitements ayant reçus P2 présentent des poids de 1000 grains plus élevés que ceux ayant reçus P1 (fig. 37) ce qui confirme l'effet positif du phosphore sur le poids de 1000 grains (BATTEN, 1987 in BRAHIMI, 1991). L'effet global du P2 est toujours significatif par rapport à P1 (annexe 41), ainsi que l'effet global de K est significatif où K2 et K1 présentent les meilleures moyennes (annexe 40). L'interaction S-K est significative aussi pour le poids de 1000 grains où S1-K2 représente la meilleure moyenne (annexe 42).

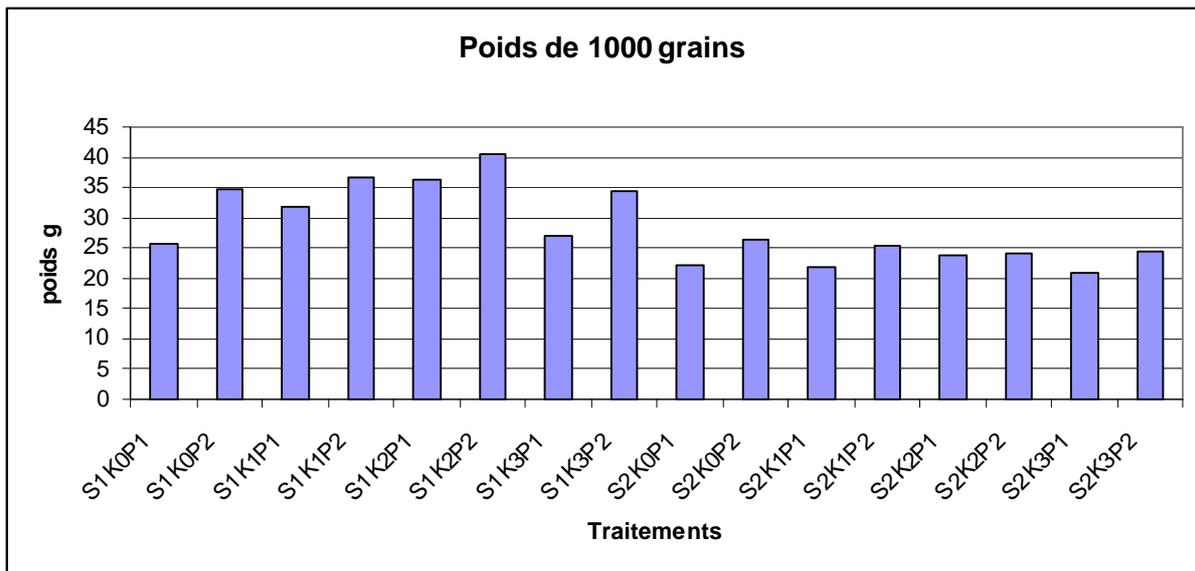


Fig. 37 : Poids de 1000 grains

5.1.5- La teneur des grains en phosphore

Généralement la teneur du phosphore dans les grains est plus élevée dans les traitements S2 que les traitements S1 (fig. 38). Il semble que la plante utilise plus de phosphore lorsqu'il est disponible pour équilibrer l'effet négatif des autres anions surtout les chlorures qui sont très abondants dans un milieu très salé, ce qui indique que la fertilisation phosphatée a une influence positive dans les conditions salines.

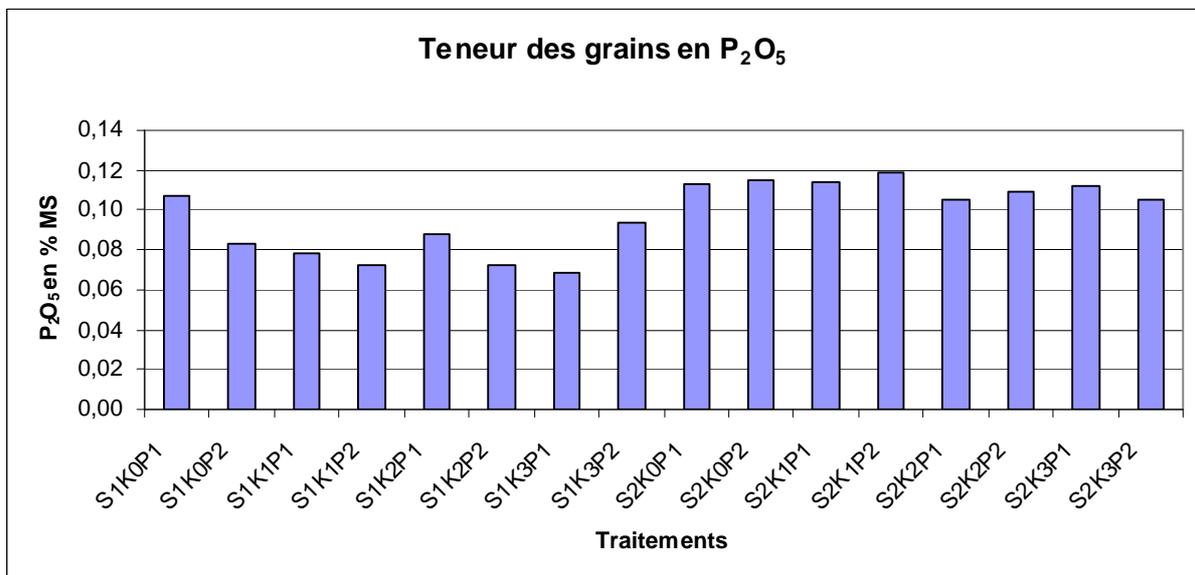


Fig. 38 : Teneur des grains en phosphore

5.1.6- La teneur des grains en potassium

Les résultats obtenus montrent que la concentration de K dans les grains est très proche entre les différents traitements S1 et S2 (fig. 39), ce qui nous semble que l'effet du potassium dans notre essai n'est pas très clair comme le phosphore, cela est dû probablement à l'exigence de l'espèce et à la richesse du sol en potassium. La culture de blé est peu exigeante en potasse (COMIFER, 2009)

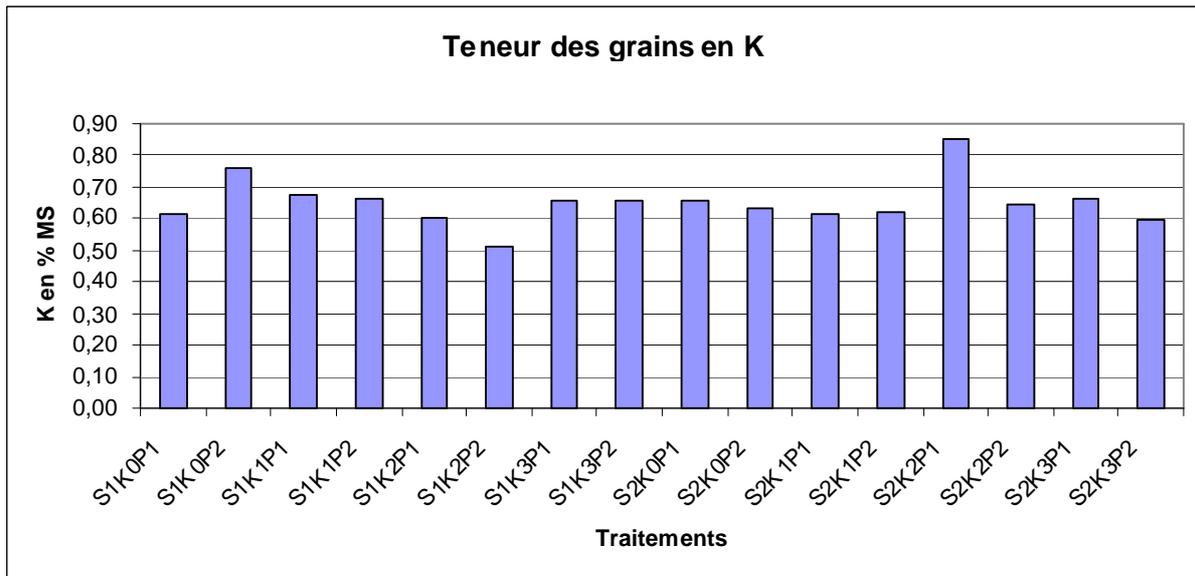


Fig. 39 : Teneur des grains en potassium

5.1.7- La teneur des grains en sodium

Les résultats obtenus montrent clairement l'effet de la salinité sur la teneur des grains en Na. En effet, le pourcentage de Na dans les grains des traitements S2 est plus élevé que celui des traitements S1 (fig. 40) à cause de la teneur élevée de Na dans l'eau d'irrigation S2. La réduction de croissance à cause de la salinité s'accompagne par une augmentation de l'accumulation de Na dans la plante (GRENWAY, 1963 ; MUNNS et al, 1982) in (SOLTANI, 1990). Une remarque aussi importante est observée au niveau des traitements ayant reçus la dose P2 qui présentent des teneurs plus faible en Na par rapport à ceux ayant reçus la dose P1, ce qui montre aussi l'importance de l'apport phosphaté dans ces conditions.

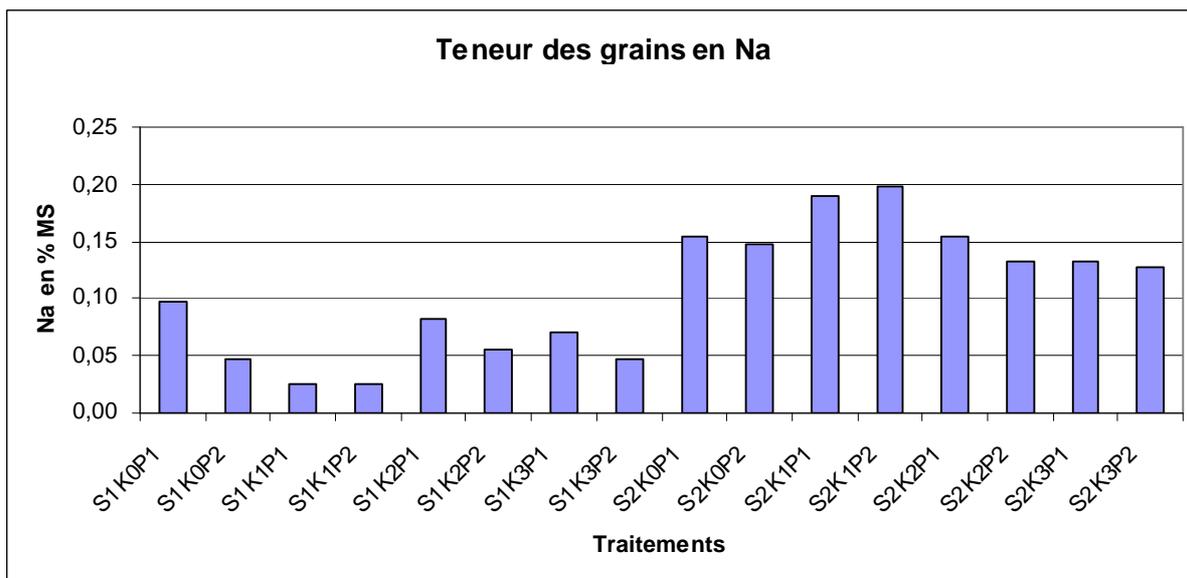


Fig. 40 : Teneur des grains en sodium

5.2- Effets de la salinité et la fertilisation sur le sol

5.2.1- Evolution de la CE du sol

Généralement la conductivité électrique de la solution de sol est plus élevée dans les traitements S2 par rapport à S1 (fig. 41), ceci est vraisemblablement dû à la différence de salinité entre les eaux d'irrigation appliquées. D'après les résultats obtenus, la conductivité électrique du sol est diminuée à la fin du cycle du végétal, cette diminution est expliquée par l'application importante de lessivage. Ce dernier semble plus efficace au niveau des traitements irrigués par l'eau la moins salée S1 que ceux irrigués par l'eau la plus salée S2 au cours du cycle de la culture.

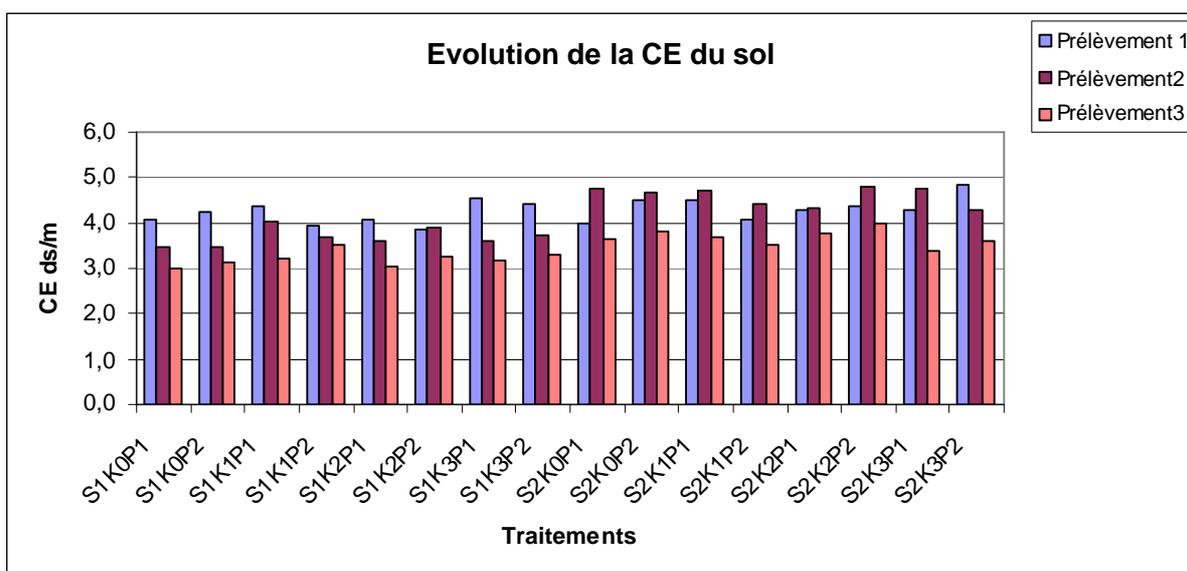


Fig. 41 : Evolution de la CE du sol

5.2.2- Evolution du pH du sol

Le pH des sols varie entre 8.25 et 8.6 ce qui caractérise généralement les sols calcaires. Le pH des traitements S2 est relativement plus élevé que celui des traitements S1 en particulier dans les derniers prélèvements suite à l'accumulation des sels dans le sol (fig. 42).

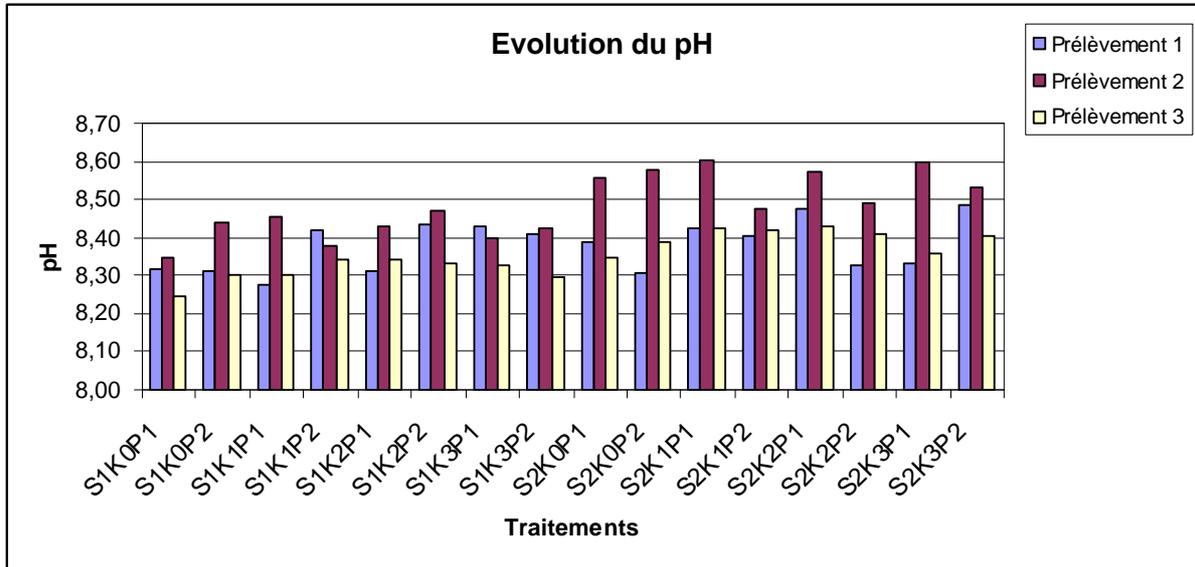


Fig. 42 : Evolution du pH du sol

5.2.3- Evolution des sels solubles

5.2.3.1- Le sodium

Comme dans le cas des grains des plantes, les teneurs du sol en Na soluble dans les traitements S2 sont plus élevées que celles dans les traitements S1 (fig. 43) à cause de la concentration plus élevée de l'eau d'irrigation S2 en cet élément.

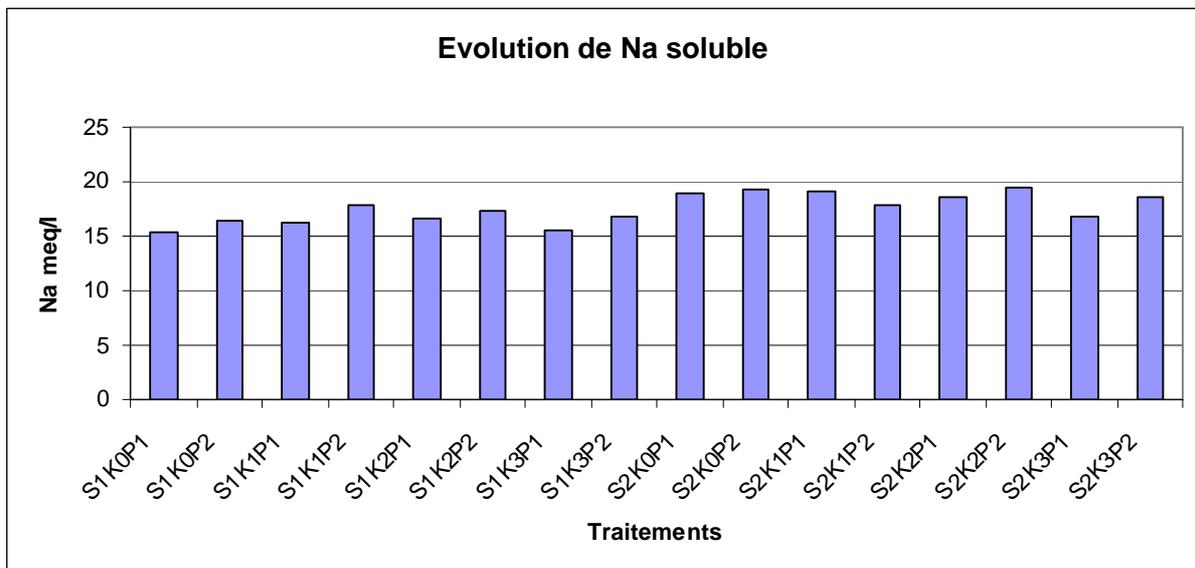


Fig. 43 : Teneur du sol en sodium soluble

5.2.3.2- Le potassium

Généralement, les teneurs de K soluble dans le sol sont proches entre les traitements identiques de S1 et S2. Elles augmentent relativement avec l'augmentation des doses de potassium (fig. 44).

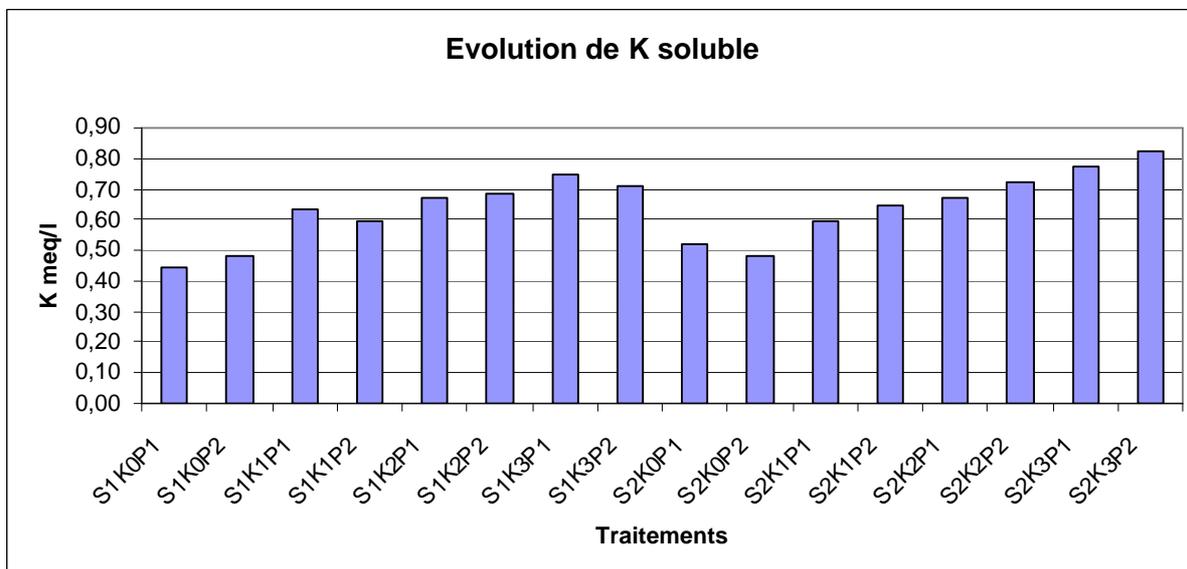


Fig. 44 : Teneur du sol en potassium soluble

5.2.3.3- Le calcium et le magnésium

Généralement les teneurs du sol en Ca soluble sont proches entre les différents traitements S1 et S2 (fig. 45), ceci est dû probablement au sol étudié qui est calcaire, par contre, pour Mg, on remarque une supériorité relative des traitements S2 par rapport à S1 (fig. 46).

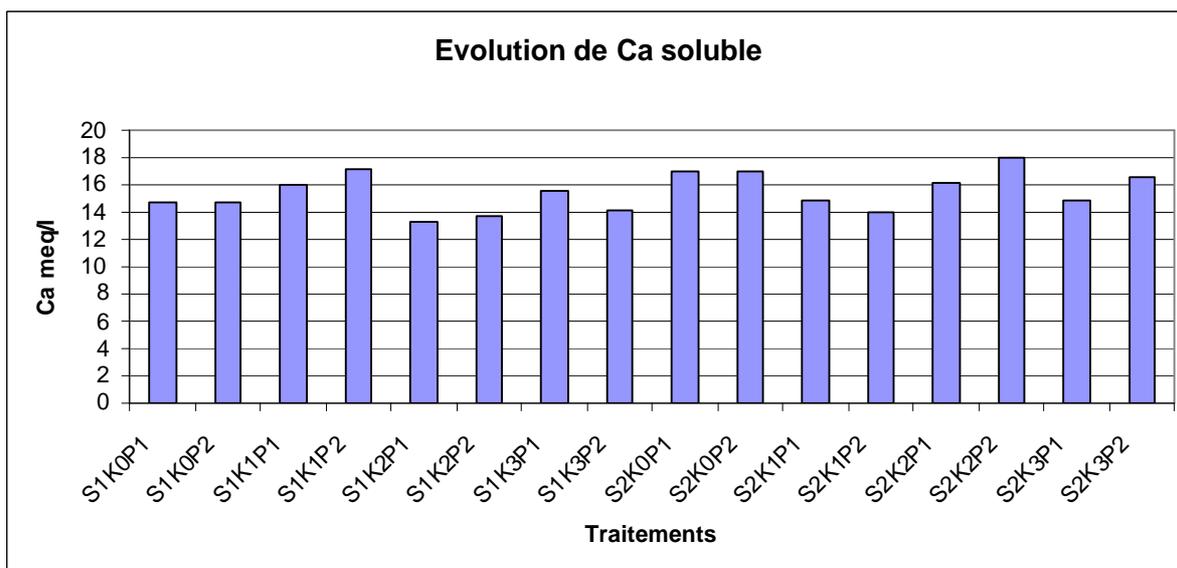


Fig. 45 : Teneur du sol en calcium soluble

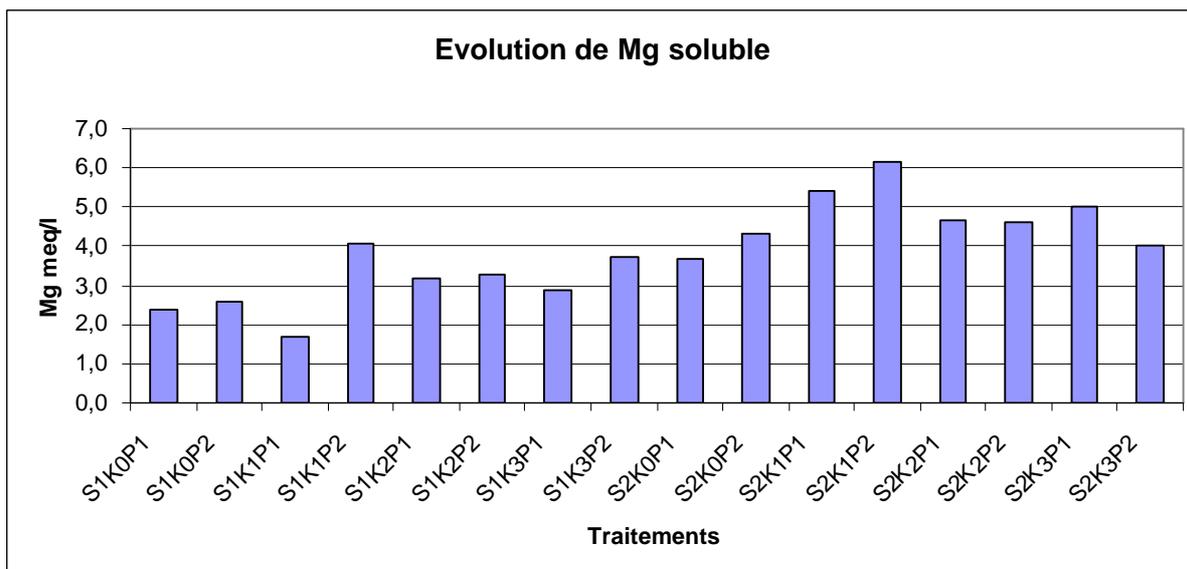


Fig. 46 : Teneur du sol en magnésium soluble

5.2.3.4- Le chlore

Les teneurs du sol en Cl dans les traitements S2 sont plus élevées que celles dans les traitements S1 (fig. 47) à cause de la concentration plus élevée de l'eau d'irrigation S2 en cet élément. La teneur en Cl varie généralement avec la variation de la CE du sol et aussi avec la teneur en Na soluble (CRUESI, 1970 ; HALITIM 1988).

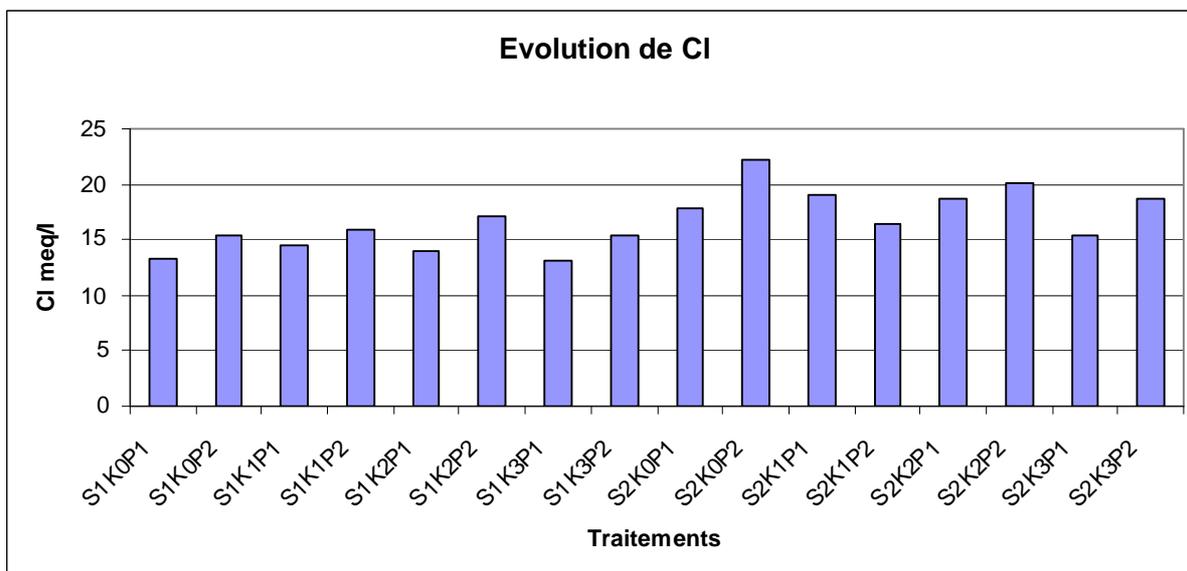


Fig. 47 : Teneur du sol en chlore

5.2.3.5- Sulfate et bicarbonates

Les teneurs du sol en SO_4 sont très proches entre les différents traitements autour de 15 meq/l (fig. 48). cependant, les teneurs du sol en HCO_3 sont faibles, inférieures à 2meq/l (fig. 49).

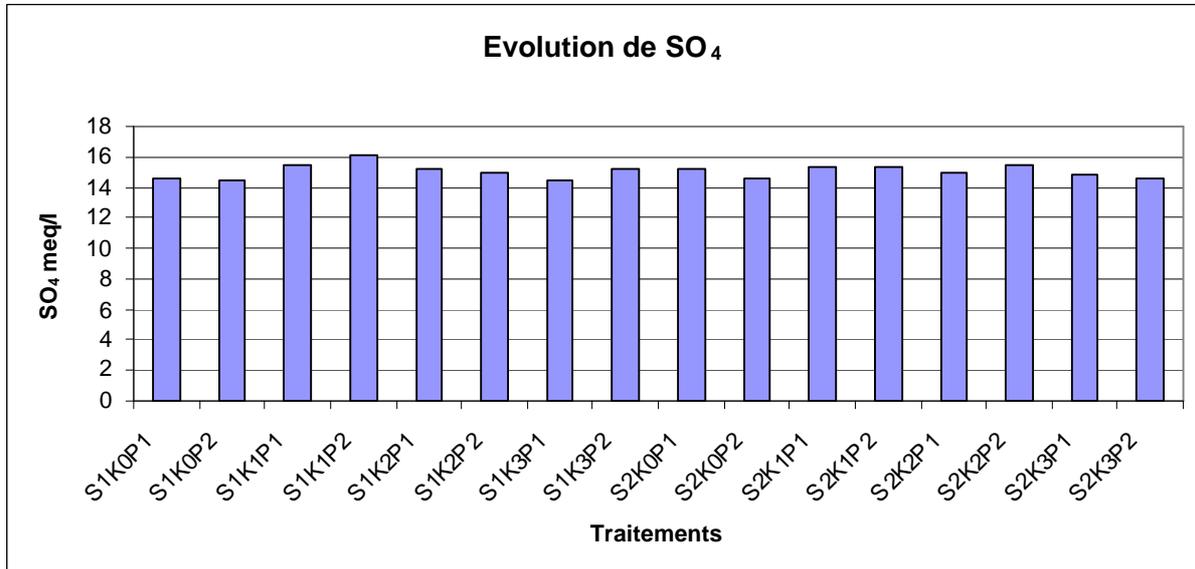


Fig. 48 : Teneur du sol en sulfate

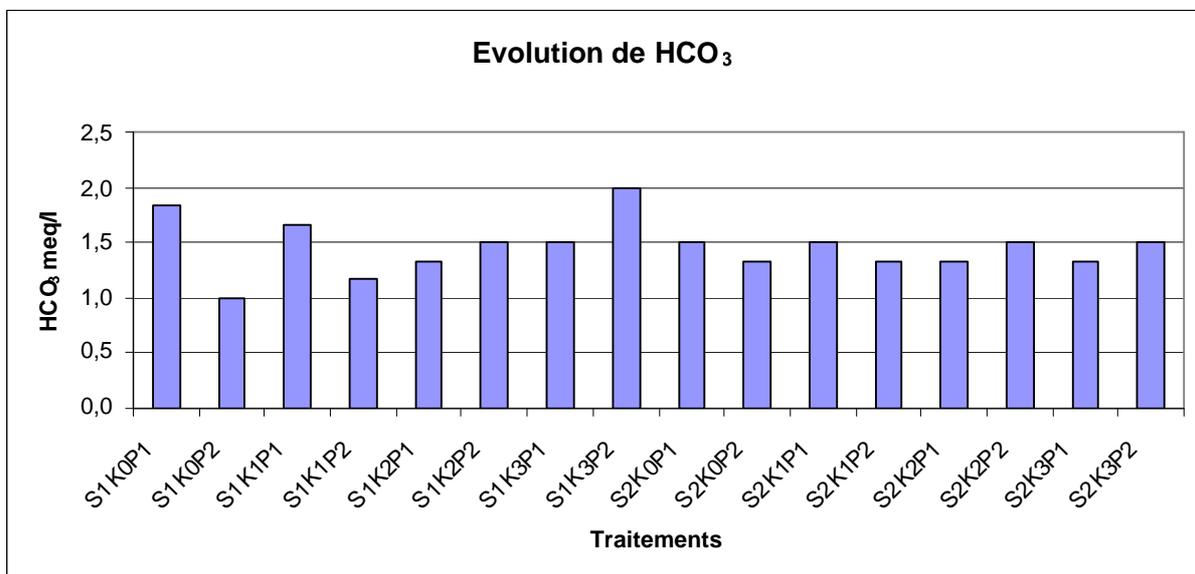


Fig. 49 : Teneur du sol en bicarbonate

5.2.4- Teneur du sol en phosphore assimilable

Généralement, les teneurs du sol en phosphore assimilable sont proches entre elles, avec une supériorité relative des traitements ayant reçus P2 que ceux ayant reçus P1 (fig. 50). Il semble que l'effet du phosphore est plus évident sur le végétal que sur le sol.

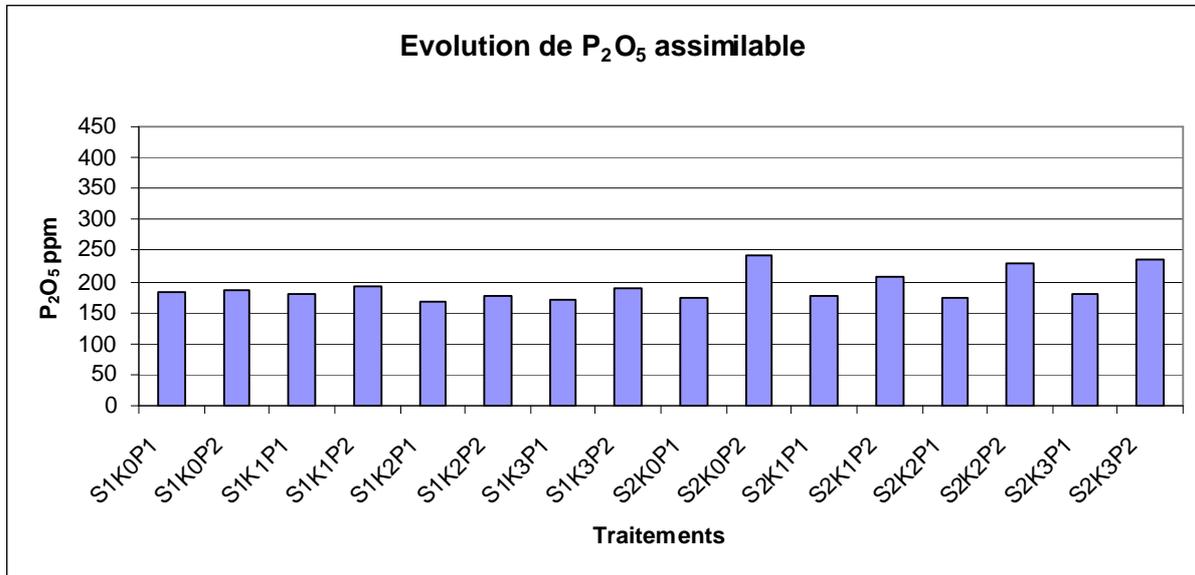


Fig. 50 : Teneur du sol en phosphore assimilable

5.2.5- Teneur du sol en potassium assimilable

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en K assimilables sont plus élevées que celles en K soluble à cause de la richesse du sol en argile. Les teneurs sont généralement proches entre les traitements (fig. 51).

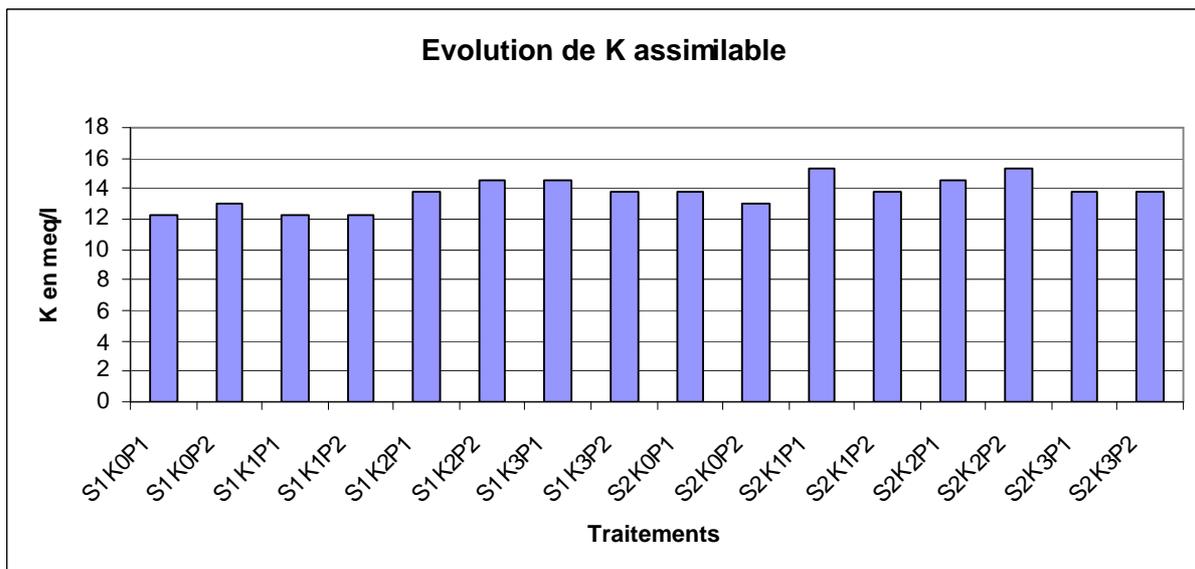


Fig. 51 : Teneur du sol en potassium assimilable

5.2.6- Evolution de la CE des eaux de drainage

Les résultats obtenus montrent que les conductivités électriques des eaux de drainage des traitements S2 sont plus élevées que celles des traitements S1 (fig. 52), ceci est une conséquence d'une salinité des sols plus élevée résultant de l'accumulation des sels apportés par l'eau d'irrigation la plus salée (YURTSEVEN et al, 2003). L'évolution de la CE des eaux de drainage montre une diminution générale suite à une application importante de lessivage.

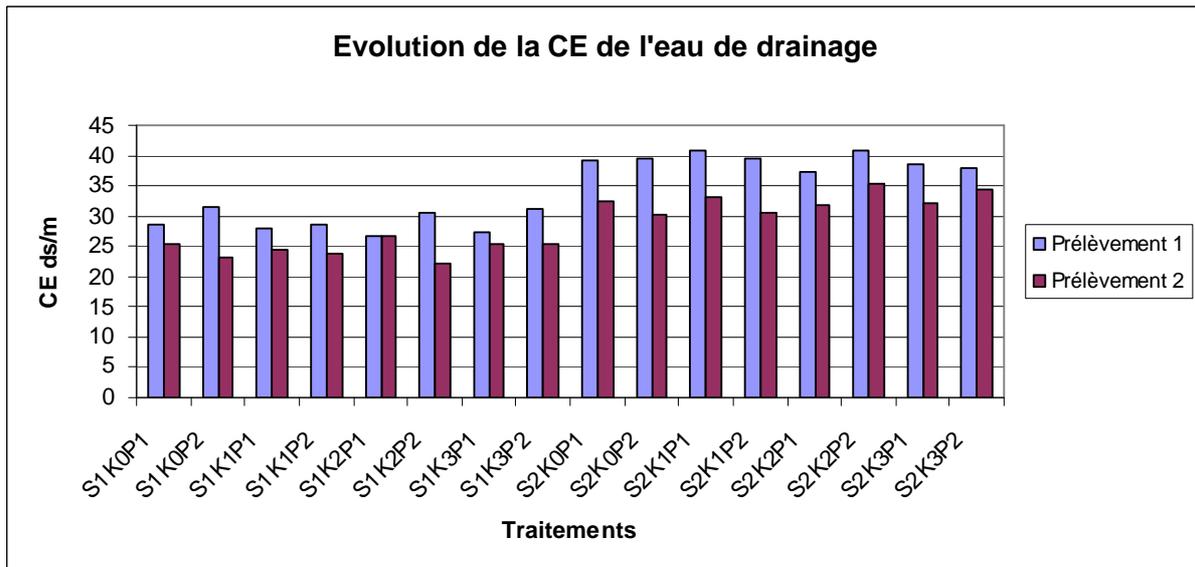


Fig. 52 : Evolution de la CE de l'eau de drainage

6- Conclusion

La salinité a un effet marqué sur la réduction de la croissance et le rendement du végétal, cependant l'apport d'engrais a contribué à l'amélioration des aptitudes de la culture en milieu salé. La fertilisation phosphatée a joué un rôle très important, la dose la plus élevée P2 a donné les bons résultats de croissance, rendement en grain, rendement en paille et le poids de 1000 grains. Cependant l'apport de potasse a un effet moins clair, mais on note que la dose faible et moyenne K1 et K2 sont les meilleures sur certains paramètres dans les conditions de notre essai. Concernant la teneur des grains en phosphore, on a remarqué que les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans les traitements les plus salés, ainsi que les traitements ayant reçus la dose P2 présentent des teneurs en sodium des grains plus faibles que ceux ayant reçus la dose P1 ce qui montre l'importance du phosphore dans ces conditions.

Il semble que la fertilisation en condition saline assure un milieu nutritionnel favorable face à l'agressivité de la salinité. Aussi, elle reste le moyen le plus efficace pour l'obtention des rendements acceptables surtout en sols sahariens généralement pauvres en éléments nutritifs (HALILAT, 2004)

Synthèse et conclusion générale

Notre étude sur le terrain montre que les trois systèmes d'irrigations submersion, aspersion et goutte à goutte peuvent engendrer une salinisation du sol croissante et par conséquent ils influent négativement sur les cultures pratiquées. Cette situation résulte principalement de l'utilisation des eaux salées et la gestion mal adaptée de l'irrigation.

L'irrigation de surface (submersion) qui est la plus répandue a donné une salinisation des sols importante 50% environ suite aux irrigations avec des eaux très salées où la conductivité électrique CE arrive parfois à 16,6ds/m. cette salinisation est plus rapide lorsque l'eau est très salée ce qui a une influence défavorable sur l'agriculture des palmeraies. L'évolution de la salinité montre une tendance à l'augmentation surtout dans les périmètres de mise en valeur. L'augmentation continue de la salinité est de 35% dans les anciennes palmeraies, tandis que dans les périmètres de mise en valeur elle atteint 100%.

Pour l'aspersion, la salinité des sols augmente aussi progressivement sous l'effet de l'accumulation des sels suite aux irrigations successives avec l'eau salée. Cette augmentation est plus importante en surface qu'en profondeur sous l'action de la forte évaporation. La salinité est en relation avec l'humidité du sol, elle diminue lorsque l'humidité augmente suite au lessivage et augmente lorsque l'humidité diminue suite à l'évaporation et la concentration de la solution du sol.

La plasticulture irriguée au goutte à goutte et avec des eaux salées et en absence de la pluviométrie et de lessivage régulier semble aussi menacée par la salinisation. Parmi les sept sites étudiés quatre sites présentent des signes de salinisation. La distribution des sels dans le sol se fait sur la périphérie des bulbes en surface et en profondeur. Ces sels s'accumulent progressivement dans le sol d'une année à l'autre.

Concernant l'expérimentation sur le régime hydrique et la fertilisation en condition saline on a trouvé pour le premier essai que les bons résultats de croissance du végétal sont obtenus dans la fréquence la plus élevée (F1) en particulier dans la faible et la moyenne salinité d'eau d'irrigation utilisées dans notre essai. Tandis que les mauvais résultats sont enregistrés dans la salinité d'eau la plus élevée (S4) surtout dans la fréquence la plus faible (F3). En fait, lorsque on augmente la fréquence on peut utiliser davantage des salinités d'eau relativement plus élevées, néanmoins les traitements relativement moins salés restent les meilleurs. Donc on peut dire que les grandes fréquences ont bien favorisé la croissance du végétal pour tous les niveaux de salinité utilisés en comparaison avec la faible fréquence (F3). En effet, l'irrigation

fréquente avec de faibles quantités d'eau compense l'effet défavorable de l'irrigation avec l'eau salée.

Pour la fertilisation, les résultats montrent que la salinité a un effet négatif sur la croissance et le rendement de la plante, cependant l'apport d'engrais a contribué à l'amélioration des aptitudes de la culture en milieu salé. La fertilisation phosphatée a joué un rôle très important, la dose la plus élevée P2 a donné les bons résultats de croissance, rendement en grain, rendement en paille et le poids de 1000 grains. Cependant l'apport de potasse a un effet moins clair, mais on note que la dose faible et moyenne K1 et K2 sont les meilleures sur certains paramètres dans les conditions de notre essai. Concernant la teneur des grains en phosphore, on a remarqué que les teneurs les plus élevées sont enregistrées dans les traitements les plus salés, ainsi que les traitements ayant reçus la dose P2 présentent des teneurs en sodium des grains plus faibles que ceux ayant reçus la dose P1 ce qui montre l'importance du phosphore dans ces conditions.

Références bibliographiques

- ABDELJAOUAD G, ARSLAN A, GHAIBA A, KADOURI F.**, 2003 Effects of saline irrigation water management and salt tomato varieties on sustainable production of tomato in Syria. Proceeding of an international workshop: sustainable strategies for irrigation, 33-45.
- AL MUTAWA M.M, EL KATONY T.M.**, 2001 Salt tolerance of two wheat genotypes in response to the forms of nitrogen. *Agronomie* 21, 259-266.
- ANAT**, 2003 Schéma directeur des ressources en eau, wilaya de Biskra. Dossier agropédologique, 146P.
- ANONYME**, 1980 Carte hydrogéologique de Biskra. Note explicative. Ministère de l'hydraulique, 51P.
- ANONYME**, 2006 Statistique agricole, superficie et production. Série B, ministère de l'agriculture.
- ANONYME**, 2011 Journée mondiale de l'alimentation. Prix des denrées alimentaire de la crise à la stabilité. Ministère de l'agriculture, 50P.
- ARAGUES R.**, 1983 The quality and availability of water used in irrigation systems. In. Nutrient Balances and the need for fertilizers in semi arid and arid regions. Proceedings IPI. Morocco, 315 – 323.
- ARINGHERI R, GIACHETTI M.**, 2001 Effect of sodium adsorption ratio and electrolyte concentrations on the saturated hydraulic conductivity of clay sand mixtures. *European journal of soil science* 52, 449 – 458.
- AUBERT G, OLLAT C.H.**, 1969 Observation sur l'utilisation d'eaux saumâtres pour l'irrigation et sur l'amélioration des sols salés. *Acad. d'agric. de France* 19/02/69, 244-254.
- AYERS R.S.**, 1976 Aspects de salinité et de la qualité de l'eau de l'irrigation goutte à goutte. *Annales INA El-Harrach* VI, 3, 109-113.
- AYERS R.S, WESTCOT D.W.**, 1985 Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and drainage paper 29. 174P. Rome, Italy
- BADRAOUI M, SOUDI B, FARHAT A.**, 1998 Variation de la qualité des sols. *EGS* 5, 4, 227 – 234.
- BALBA A.M.**, 1979 The effect of salinity on soil fertility and fertilizer efficiency in soils. In soils in mediterranean type climates and their yield potential. Proceedings IPI. Spain, 125-129.
- BELOUAM N**, ND Qualité d'eau d'irrigation. Polycopie 32P.

- BENNACEUR M, RAHMOUNE C, SDIRI H., MEDDHI ML., SELMI M.,** 2001 Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. *Sècheresse* 12, 3, 167 – 174.
- BENNADJI A, BENNADJI H.,** 1998 Création d'oasis dans le Sahara algérien : le projet de Gassi-Touil. *Sécheresses* 9, 4, 289-298
- BERTRAND R.,** 1981 Sols salsodiques et cultures irriguées avec des eaux salines. Ed. GERDAT – IRAT, 44P.
- BIZID E, ZID E, GRIGNON C.,** 1988 Tolérance à NaCl et sélectivité K^+/Na^+ chez les triticales. *Agronomie* 81, 23-27.
- BOIVIN P.,** 1999 Salinité et irrigation : quelques questions posées à la recherche par le couple infernal. *Compte rendu : la solution du sol en relation avec l'alimentation des plantes.* Montpellier 3 -7.
- BOUGENDRE A.,** 1973 Utilisation des eaux salées pour l'irrigation. Mémoire ESAT.
- BOULAIN J.,** 1974 *Hydropédologie.* ITA. 121P
- BOUTEYRE G, LOYER J. Y.,** 1992 Sols salés, eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéenne. In. *L'aridité : une contrainte au développement.* 69 – 80.
- BRAHIMI T.,** 1991 Contribution à l'étude de l'utilisation des phosphates naturels dans la fertilisation phosphatée d'un sol saharien. Mémoire ingénieur, ITAS Ouargla.
- CAKMAK I,** 2010 Potassium for better crop production and quality. *Plant and Soil* 335, 1-2.
- CHARTZOULAKIS K.,** 2003 The use of saline water for irrigation of olives: effects on growth physiology and oil quality. *Proceeding of an international workshop: sustainable strategies for irrigation,* 160-171.
- CHAUHAN C.P.S, SINGH R.B, GUPTA S.K.,** 2008 Supplemental irrigation of wheat with saline water. *Agricultural water management* 95, 253-258.
- CHEBBAH M.,** 1998 Cadre litho structural et zonalité hydro chimique des aquifères. Actes du séminaire sur l'hydraulique, université de Biskra, 21-29.
- CHEBBANI R, BEHLOULI A, DOUAOUI A,** 1999 Etat de la dégradation des sols dans le bas Cheliff. Actes du séminaire sur la salinisation des terres agricoles en Algérie. Chlef, 69-78
- CHELOUFI H., ATTALAH S., BOUAMMAR B., CHAOUKI Y., GOUASMI D.,** 2001 Etude comparative de l'irrigation goutte à goutte par rapport à la raie en présence d'une culture de tomate sous abris serre en région aride. Actes du séminaire national sur l'eau, université de Tlemcen, 372-375
- CHEVERRY C.,** 1995 Extension et diversité des phénomènes mettant en jeu les sels solubles. *Comptes rendus. Académie d'agriculture de France,* 81, 2. 42 – 46.

- CHORFI A**, 2009 Contribution à l'étude de la résistance à la salinité chez une variété de blé dur Algérien : Mohamed Ben Bachir. Science et technologie C 29, 41-44.
- CHOUKRALLAH R, HAMDY A.**, 2003 On farm water management strategies for using saline water for irrigation: practical examples. Proceeding of an international workshop: sustainable strategies for irrigation, 258-267.
- CNAID**, 1992 L'irrigation en Algérie. 100P
- COMIFER.**, 2009 Fertilisation P K : Grille de calcul de dose. Groupe P K Mg, 2P.
- COTE M.**, 2002 Des oasis aux zones de mise en valeur, l'étonnant renouveau de l'agriculture dans le Sahara Maghrébin. Actes du séminaire international sur le développement de l'agriculture saharienne comme alternative aux ressources épuisables. Université de Biskra, 45-48.
- CRUESI**, 1970 Recherches et formation en matière d'irrigation avec des eaux salées UNESCO. 243P.
- CTGREF**, 1979 Evaluation des quantités d'eau nécessaires aux irrigations. Ministère de la coopération Française. 197P.
- CUARTERO J, GOMEZ M.L, ROMERO R, RENIA A, CARO M, PERES F.**, 2003 Effects of salinity on tomato crop approach to reduce deleterious effects. Proceeding of an international workshop: sustainable strategies for irrigation, 46-58.
- DAOUD Y, HALITIM A.**, 1994 Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresses 5, 3, 151 – 160.
- DEGHANISANIJ H, AGASSI M, ANYOJI H, YAMAMOTO T, INOUE M.**, 2006 Improvement of saline water use under drip irrigation system. Agricultural water management 85, 233-242.
- DJANNANE A.**, 1990 Constat de situation des zones sud des oasis algériennes. Options méditerranéennes, série A, 11, 29-40.
- DJILI K, DAOUD Y.**, 1999 Distribution latérale et verticale de l'ESP dans les sols du Nord de l'Algérie. Actes du séminaire sur la salinisation des terres agricoles en Algérie. Chlef, 25-42.
- DJILI K, DAOUD Y, TOUAF L.**, 2000 La salinisation et la sodisation des sols d'Algérie. Actes du congrès scientifique arabe, El-Oued, 215-223.
- DJILI K, DAOUD Y, GAOUAR A, BELDJOUDI Z**, 2003 La salinisation secondaire des sols au Sahara, conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. Sècheresses 14, 4, 241-246.

- DOUAOUI A, GASCUEL – ODOUX C, WALTER C.**, 2004 Infiltrabilité et érodibilité de sols salinisés de la plaine du bas Cheliff (Algérie). *EGS* 11, 4, 379 – 392.
- DROUHIN G.**, 1960 Expérience Algérienne d'utilisation des eaux saumâtre pour l'irrigation avec référence particulière au sols salins. Séminaire sur la salinité, Téhéran 239 – 244.
- DSA**, 2001 Statistiques agricoles de la wilaya de Biskra.
- DUBOST D.**, 1992 Aridité, agriculture et développement : le cas des oasis algériennes. *Sècheresses* 3, 2, 85-96.
- DUBOST D.**, 1994 Pratique de l'irrigation au Sahara. *CIHEAM / IAM*.
- DUBOST D, MOGUEDET G.**, 2002 La révolution hydraulique dans les oasis impose une nouvelle gestion de l'eau dans les zones urbaines. *Méditerranée* 3.4, 15 - 20.
- DURAND J.H**, 1983 Les sols irrigables. Etude pédologique. *SES*, Alger, 190P
- FAO**, 1996 Choyez la terre. 32P.
- FAO**, 2002 Le sel de la terre : un danger pour la production vivrière. Dossiers de fond, sommet mondial de l'alimentation. Site FAO.
- FEIGIN A.**, 1985 Fertilization management of crops irrigated with saline water. *Plant and soil* 89, 285 – 299.
- FERERES E.**, 1983 Short and long term effects of irrigation on the fertility and productivity of soils. In. *Nutrient Balances and the need for fertilizers in semi arid and arid regions*. Proceedings IPI. Morocco, 283 – 304.
- FLORES P, NAVARRO J.M, CARVAJAL M.**, 2003 Tomato yield and quality as affected by nitrogen source and salinity. *Agronomie* 23, 249-256.
- FLOWERS T.J, FLOWERS S.A, YEO A.R, CUARTERO J, BOLARIN M.C.**, 2003 Saltmed: a summary of the project. Proceeding of an international workshop: sustainable strategies for irrigation, 9-18.
- GALLEZ A, STITOU M, DUFEY E.**, 1981 Dessalage et déssodification d'un sol marocain irrigué. *Agronomie* 1, 4, 265-272.
- GAOUAR A, DOUAOUI A, BENBOUALLI E.**, 1999 Evaluation de la dégradation des sols du périmètre de H'madena (bas Cheliff). Actes du séminaire sur la salinisation des terres agricoles en Algérie. *Chlef*, 58-68.
- GONZALEZ B.J.L.**, 1992 Eaux d'irrigation et salinité des sols en zone aride mexicaine : exemple dans la Comarca lagunera. Thèse doctorat, université Montpellier II, 316P.
- GTZ.**, 2003 Guidelines for brackish water irrigation in the Jordan valley. Brackish water project, 109P

- HACHICHA M, HALLAR V.**, 2002 Evolution structurale de la surface d'un sol tunisien sous différents modes d'irrigation. EGS 9, 4, 239 – 249.
- HALILAT M.T.**, 1998 Etude expérimentale de sable additionné d'argile. Thèse doctorat, INAPG, Paris, 229P.
- HALILAT M.T.**, 2004 Effet de la fertilisation potassique et azotée sur blé en zone saharienne. IIP regional workshop on potassium and fertigation development in West Asia and North Africa. Rabat, Morocco.
- HALITIM A.**, 1988 Sols des régions arides d'Algérie. OPU. Alger, 384P.
- HAMDY A.**, 1991 Water soil and crop management relating to the use of saline water. European Mediterranean conference on the use of saline water in irrigation. Abstracts of MAI/ Bari.
- HAMDY A, LASRAM M, LACIRIGNOLA C.**, 1995 Les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne. Académie d'agriculture de France 81, 2, 47 -59.
- HAMDY A.**, 2001a Saline irrigation management for a sustainable use. In. Non conventional water resource: reuse and management. IAM, BARI, 49P.
- HAMDY A.**, 2001b Irrigation with poor quality water : major issues. In. Non conventional water resource: reuse and management. IAM, BARI, 63P.
- HAMDY A.**, 2001c Management practices under saline water irrigation. Non conventional water resource: reuse and management. IAM, BARI, 10P.
- HAMDY A, RAJAB R.**, 2001 Reuse of saline and waste water for irrigation : major issues on water, crop and soil management environment protection and health safety. In. Non conventional water resource: reuse and management. IAM, BARI, 38P.
- HAMDY A, RAJAB R**, 2003 Sustainable use of non-conventional water resources in agriculture. Proceeding of an international workshop: sustainable strategies for irrigation, 146-159.
- HAMMOUDI A.**, 1999 Distribution de l'humidité et de la salinité dans la rhizosphère du maïs jaune sous irrigation goutte à goutte. Actes du séminaire sur la salinisation des terres agricoles en Algérie. Chlef, 145-156.
- HASSAN G, PERSAUD N, RENEAU R.B.**, 2005 Utility of hydrus-2D in modeling profile soil moisture and salinity dynamics under saline water irrigation of soybean. Soil sciences, 170, 1, 28 – 37.
- HIOUANI F.**, 2007 Influence de la teneur en gypse et de la taille de ses grains sur la capacité de rétention en eau. Mémoire magister, université de Batna, 106P.

- HOULE G, MOREL L, REYNOLDS C.E, SIEGEL J.,** 2001 The effect of salinity on different developmental stage of an endemic annual plant. American journal of botany 88, 1, 62-67.
- HU Y, BURUCS Z, SCHMIDHALTER U.,** 2008 Effect of foliar fertilization application on the growth and mineral nutrient content of maize seedlings under drought and salinity. Soil sciences and plant nutrition 54, 133-141.
- IDDER M.A.,** 2002 La préservation de l'écosystème palmeraie, une priorité absolue : cas de la cuvette de Ouargla. Actes du séminaire international sur le développement de l'agriculture saharienne comme alternative aux ressources épuisables. Université de Biskra, 38-44.
- ISRAELSEN O.W, HANSEN V.E.,** 1965 Traité pratique de l'irrigation. Ed. Intercontinental. New york.
- KADRI K, MAALAM S, CHEIKH M.H, BENABDALLAH A, RAHMOUNE S.,** 2009 Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques accessions tunisiennes d'orge. Science et technologie C 29, 72-79.
- KAMALELDIN A.,** 1990 Water management in oases. Options méditerranéenne série A, 11, 221-228.
- KARLBERG G.L, ROCKSTROM J, ANNANDALE J.G, STEYN M.,** 2007 Low-cost drip irrigation, a suitable technology for Southern Africa. An example with tomatoes using saline irrigation water. Agricultural water management 89, 59-70.
- KATERJI N, VAN HOORN J.W, HAMDY A, BOUZID N, EL SAYED S,** 1991 Influence du niveau de salinité du sol sur l'état hydrique, la croissance et le rendement de la fève. European Mediterranean conference on the use of saline water in irrigation. Abstracts of MAI/ Bari.
- KATERJI N.,** 1995 Réponse des cultures à la contrainte hydrique d'origine saline, approches empiriques et mécanistes. Académie d'agriculture de France, 81, 2. 73 – 86.
- KHADRAOUI A.,** 1994 Contribution des études agropédologiques et hydrodynamiques des sols aux projets d'aménagements hydro agricoles : cas du périmètre d'El-Outaya Biskra. Actes du séminaire national sur l'hydraulique, université de Biskra, 223-233.
- KHADRAOUI A.,** 1998 Utilisation des ressources en eau souterraines au Sahara septentrional et leur impact sur l'environnement. Actes du séminaire sur l'hydraulique, université de Biskra, 193-201.
- KHADRAOUI A.,** 2000 Utilisation des ressources en eau souterraines au Sahara septentrional (Evaluation, gestion et impact). Actes du congrès scientifique arabe, El-Oued, 162-169.

- KIRDA G, BAYTORUN N.**, 2000 Fertigation under saline conditions, irrigation management minimizing soil salinity risk. In. Plant nutrient management under pressurized irrigation systems in the mediterranean region. Proceeding IMPHOS. AMMAN, 288 – 296.
- KOUZMINE Y.**, 2003 L'espace Saharien Algérien. Maîtrise de géographie, université de Franche Comté, 207P.
- LASRAM M, HAMDY A, LACIRIGNOLA C.**, 2001 Use and management of marginal water quality for irrigation in the Mediterranean: major issues. In. Non conventional water resource: reuse and management. IAM, BARI, 17P.
- LE HOUEROU H. N.**, 1991 The use of brackish water for producing forage and fuel in the Mediterranean arid zone. European Mediterranean conference on the use of saline water in irrigation. Abstracts of MAI/ Bari.
- LEVY G. J, SHARSHEKEEV N, ZHURAVSKAYA G. L.**, 2002 Water quality and sodicity effects on soil Bulk density and conductivity in interrupted flow soil sciences 167, 10, 692 699.
- LEVY G. L, MAMEDON A.I, GOLDSTEIN D.**, 2003 Sodicity and Water quality effects on slaking of aggregates from semi arid soils. Soil sciences 168, 8, 552 – 561.
- LOYER J.Y.**, 1991 Salinité des eaux d'irrigation problèmes et solutions. European mediterranean conference on the use of saline water in irrigation. IAM/ Bari, 8P.
- LOYER J.Y, GONZALEZ B.J.L, JOB J.O.**, ND Les principaux faciès salins et leur expression dans les sols des régions chaudes. Actas del seminario Mapimi, 348-362.
- MALASH N.M, FLOWERS T.J, RAJAB R.**, 2003 Effect of irrigation systems and water management practices using saline and non saline water on tomato production. Proceeding of an international workshop: sustainable strategies for irrigation, 19-32.
- MARLET S.**, 2004 Evolution des systèmes d'irrigation et gestion de la salinité des terres irriguées. Actes du séminaire modernisation de l'agriculture. Maroc , 241-250.
- MASMOUDI A.**, 2000 Influence de l'irrigation goutte à goutte sur les rendements de la plasticulture en relation avec la salinité des eaux et en comparaison avec la méthode traditionnelle. Séminaire national sur la micro irrigation, université de Blida.
- MASMOUDI A.**, 2003 Irrigation et salinisation dans certains oasis de la wilaya de Biskra. Séminaire sur la préservation des oasis. Université de Ouargla.
- MASMOUDI A.**, 2005 Eaux d'irrigation et salinisation dans certaines oasis du Ziban. Séminaire sur l'oasis et son environnement : un patrimoine à préserver et à promouvoir. Université de Ouargla

- MEDDAHI M, MALLANTS D, FEYEN J, VEREECKEN H.**, 1993 Modélisation de l'évolution de la salinité dans la zone racinaire. *Science du sol* 31,1/2, 59 – 76.
- MERMOUD A**, 2006 Notions fondamentales d'irrigation. Copie de transparents, école polytechnique fédérale de Lausanne, 48P.
- MONTANARI M, DEGL'INNOCENTI E, MAGGINI R, PACIFICI S**, 2008 Effect of nitrate fertilization and saline stress on the contents of active constituents *Echinacea angustifolia*. *Food chemistry* 107, 1461-1466.
- MOUHOUCHE B, BOULASSEL M.**, 1999 Contribution à une meilleure maîtrise des pertes en eau d'irrigation et de la salinisation des sols en zones arides. Séminaire sur la salinisation des terres agricoles en Algérie. *Chlef*. 125 – 131.
- MOUHOUCHE B.**, 2000 L'avenir de l'agriculture saharienne dépend de la maîtrise de la salinisation des sols et de la valorisation de l'eau d'irrigation et de drainage. Actes du congrès scientifique arabe, El-Oued, 191-201.
- NAGAZ K., BENMECHLIA N., HAMDY A.**, 2000 Irrigation water quality and nitrogen for yield and water use efficiency of barley in the arid climate of southern Tunisia. In *Plant nutrient management under pressurized irrigation systems in the mediterranean region*. Proceeding IMPHOS. AMMAN, 344-352.
- OULD AHMED B.A, YAMAMOTO T, RASIAH W, INOUE M, ANYOJI H.**, 2007 The impact of saline water irrigation management options in a dune sand on available soil water and its salinity. *Agricultural water management* 88, 63-72.
- OSMAN A.A, ALNABULSI Y.A, HELALIA A.M.**, 1997 Effects of water quality and frequency of irrigation growth and yield of barley. *Agricultural water management* 34, 17-24.
- PALIWAL K.V.**, 1972 *Irrigation with saline water*, Ed. Indian agricultural research institute, 198P.
- POUGET M.**, 1968 Contribution à l'étude des croûtes et encroûtements gypseux de nappe dans le sud tunisien. *Cah. ORSTOM. Ser. Pédologie*, VI, 103, 4, 309 – 336.
- RAJAB R, MALASH N.M, ABDELJAOUAD G, ARSLAN A, GHAIBA A.**, 2003 A holistic generic integrated approach for irrigation crop and field management:3, the saltmed model validation using field data of five growing seasons from Egypt and Syria. Proceeding of an international workshop: sustainable strategies for irrigation, 115-135.
- RAJAGOPAL V.**, 1985 Le potassium et le régime hydrique des plantes. Research review serie 2. In *Potassium et physiologie végétale*. *Revue de la potasse* N° 6, 1987 IIP.
- REFERENTIEL PEDOLOGIQUE**, 1995 INRA, France, 332P.

- RHOADES J.D, KANDIAH A, MASHALI A.M.**, 1992 The use of saline waters for crop production. FAO. Irrigation and drainage paper 48. Rome. Italy.
- RITZEMA H.P, SATYA NARAYANA T.V, RAMAN S, BOONSTRA J.**, 2008 Subsurface drainage to combat water logging and salinity in irrigated lands in India. *Agricultural water management* 95, 179-189.
- RNEDHA**, 1992 Guide pratique : Irrigation. 2 ed. CEMAGREF, 294P.
- SAIDI D, Le BISSONNAIS Y, DUVAL O, DAOUD Y, HALITIM A.**, 2004 Effet du sodium échangeable et de la concentration saline sur les propriétés physiques des sols de la plaine du Cheliff (Algérie). *EGS* 11, 2, 137 – 148.
- SAURAT A.**, 1989 Potash fertilization in Arab countries. *Potash review* 3, 1-10.
- SAVVAS D, STAMATI E, TSIROGIANNIS I.L, MANTZOS N.**, 2007 Interactions between salinity and irrigation frequency in greenhouse pepper grown in closed cycle hydroponics systems. *Agricultural water management* 91, 102-111.
- SAXENA R.S.**, 1985 Rôle du potassium dans la tolérance à la sécheresse. Research review serie 2. In Potassium et physiologie végétale. *Revue de la potasse* N° 6, 1987 IIP.
- SCHLEIFF U.**, 1979 Salt contents in the rhizosphere and in soil solution outside the rhizosphere under controlled irrigation. In soils in mediterranean type climates and their yield potential. *Proceeding IPI. Spain*, 93 - 98.
- SHARMA B.R, MINHAS P.S.**, 2003 Strategies for managing saline/alkali water for sustainable agricultural production. *Proceeding of an international workshop: sustainable strategies for irrigation*, 249-257.
- SLAMA F.**, 2004 La salinité et la production végétale. Centre de publication universitaire, Tunis, 163P.
- SNOUSSI S.A.**, 1998 Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Thèse doctorat, INA El-Harrach, Alger 152.
- SNOUSSI S.A, HALITIM A.**, 1998 Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées : cas de la tomate et du haricot. *EGS*. 5, 4, 289 – 298.
- SOLTANI A, HAJJI M, GRIGNON C.**, 1990 Recherche de facteurs limitant la nutrition minérale de l'orge en milieu salé. *Agronomie* 10, 857-866.
- SZABOLCS I.**, 1979 The limitation of potential yield by salinity and alkalinity of soils with particular reference to the mediterranean regions. In. soils in Mediterranean type climates and their yield potential. *Proceeding IPI. Spain*. 121 - 123.
- TOUTAIN G.**, 1977 *Eléments d'agronomie saharienne*. Ed. Jouve, Paris, 276P.
- USDA**, 1954 *Diagnosis and improvement of saline and alkali soil*. *Agriculture Handbook* 60.

- VALLES V, BOURGEAT F, GUIRESSE M.,** 1988 Calcul des doses d'irrigation pour les sols salés. Application d'une méthode géochimique de calcul à un sol tunisien. Cahier ORSTOM, Pédologie 24, 2, 115 – 122.
- VAN HOORN J.W.,** 1991 Saline irrigation problems and perspectives. European Mediterranean conference on the use of saline water in irrigation. Abstracts of MAI/ Bari.
- VAN HOORN J.W.,** 1995 Développement de la salinité du sol dans la zone racinaire. Académie d'agriculture de France 81,2, 61 -72.
- VAN HOORN J.W.,** 2001 Salinity control. Course on land and water management. IAM, Bari.
- WALLIN B, PEDRAZA J.M.,** Graine de vie. IAEA bulletin 45/1, 47-53.
- WAN S, KANG Y, WANG D.,** 2007 Effect of drip irrigation with saline water on tomato yield and water use in semi humid area. Agricultural water management 90, 63-74.
- YASARD A, HAMDY, GENCEL B, SEZEN M.S.,** 2003 Corn yield response to saline irrigation water applied with a trickle system. Proceeding of an international workshop: sustainable strategies for irrigation, 137-145.
- YURTSEVEN E, KESMEZ G.D, UNLUKARA A.,** 2003 The effects of potassium on salinity tolerance fruit quality and water consumption for tomato under saline conditions. Proceeding of an international workshop: sustainable strategies for irrigation, 192-203.
- YURTSEVEN E, KESMEZ G.D, UNLUKARA A.,** 2005 The effects of water salinity and potassium level on yield fruit quality and water consumption of tomato. Agricultural water management 78, 128-135.
- ZAMAN ALLAH M, SIFI B, L'TAIEF B, ELAOUNI M.H.,** 2009 Paramètres agronomiques liés à la tolérance au sel chez le haricot. Biotec. Agr. Soc. Envir. 13,1, 113-119.
- ZELA L, KETTAB A.,** 2003 Optimisation d'un réseau de micro irrigation. Sècheresse 14, 3, 189 – 194.

المراجع بالعربية

- ابوسليمان م. س. م، غير مؤرخ التوازن الملحي للأراضي المروية. معهد بحوث الأراضي والمياه والبيئة، مصر. 16ص.
- الشيمي ح.م، 2001 إدارة وصيانة الأراضي و المياه في الزراعات الصحراوية. دار الفكر العربي الطبعة 1، 272ص
- شاهر م، فاضل ق، 1996 كفاءة استعمال اسمدة الأزوت والفسفور على نمو وانتاجية محصول القمح المروي بمياه مالحة بحوض الفرات . في إستعمالات المياه المالحة في الزراعة. أكساد، 28ص.
- عبد الجواد ج، 1996 صلاحية المياه للري و علاقتها بالتربة و المحاصيل المروية. في إستعمالات المياه المالحة في الزراعة. أكساد، 94ص.

- عبد الجواد ج.، 1999 تدهور التربة بفعل عامل الملوحة في الوطن العربي. الدورة العربية القومية حول التوازن الملحي، المائي و الغذائي في الأراضي المرورية. القاهرة، 6ص.
- عبد الجواد ج، غيبة ع، 2000 تقدير العتبات الملحية للمحاصيل الزراعية المرورية بمياه ذات نوعيات مختلفة. دورة تدريبية حول تقنيات الري في وسط ملحي. أكساد، 22ص.
- غيبة ع، 1996 التوازن الملحي لطبقة الجذور. في إستعمالات المياه المالحة في الزراعة. أكساد، 60ص.
- مسمودي ع، 1996 مشاكل الملوحة في الري. ملتقى حول إستعمالات المياه المالحة في الزراعة. معهد الزراعة الصحراوية بسكرة - أكساد.
- زناتي ع.ا، 2009 الإدارة الجيدة لإستخدام العناصر المغذية تقلل من التآثيرات الضارة للملوحة على النبات. الأسمدة العربية 54، 36 - 37.

ANNEXES

Irrigation de surface

Annexe 01 : Salinité des eaux d'irrigation des puits des sites des anciennes palmeraies

Sites	CE ds/m
S1	11,47
S2	14,37
S3	9,18
S4	14
S5	7,4
S6	11
S7	8,62
S8	13,83
S9	12,66
S10	6,37
S11	6,28
S12	7,08
S13	7,14
S14	9,02
S15	16,62
S16	11,39

Annexe 02 : Salinité des eaux d'irrigation des puits des sites des périmètres de mise en valeur

Sites	CE ds/m
S18	5
S19	4,8
S20	10,97

Annexe 03 : Salinité moyenne des sols des sites des anciennes palmeraies

Sites	CE moyenne du sol	CE du sol témoin
S1	2,71	2,35
S2	2,79	2,45
S3	2,76	2,98
S4	3,44	3,15
S5	3,26	4,04
S6	3,01	4,07
S7	2,65	4,8
S8	2,58	8,9
S9	2,7	7,65
S10	2,5	2,37
S11	9,75	4,82
S12	2,81	5,84
S13	2,58	8,4
S14	2,54	5,9
S15	3,52	3,86
S16	2,51	3,01
S17	2,39	2,34

Annexe 04 : Salinité moyenne des sols des sites des périmètres de mise en valeur

Sites	CE moyenne du sol	CE du sol témoin
S18	1,53	2,11
S19	2,16	3,6
S20	2,59	2,53
S21	2,26	2,82
S22	1,99	2,01
S23	1,28	1,55

Annexe 05 : Fractions granulométriques des sols des sites des anciennes palmeraies en %

Sites	Profondeur	Fractions granulométriques (mm)			
		< 0.05	0.05 – 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 2
Site 1	0 – 20	12.4	47	35	5.6
	20 – 40	20.2	35	27.1	17.9
	40 – 60	20.5	38.3	20	21.2
	NI	6.7	43.3	43.6	6.4
Site 2	0 – 20	16	50.3	25.5	8.2
	20 – 40	19.7	30.3	26.5	23.5
	40 – 60	18.9	26.3	21	33.8
	NI	16	46.3	27.5	10.2
Site 3	0 – 20	13.6	56.2	26.1	4.1
	20 – 40	19.4	37.6	25.8	17.2
	40 – 60	25.4	28.4	20.2	26
	NI	11.9	47.4	35.1	5.6
Site 4	0 – 20	36.1	23.6	20.8	19.5
	20 – 40	33.2	20.4	22.6	23.8
	40 – 60	26.8	30.6	21.9	20.7
	NI	30.1	37.8	16.8	15.3
Site 5	0 – 20	32.5	33.7	21.1	12.7
	20 – 40	24.5	29.6	21.3	24.6
	40 – 60	27.9	22	23.3	26.8
	NI	29.9	29.5	18.3	22.3
Site 6	0 – 20	15.4	46.5	29.9	8.2
	20 – 40	26.5	33.4	18.9	21.2
	40 – 60	24	34.6	20.2	21.4
	NI	26.6	42.6	19.3	11.5
Site 7	0 – 20	30.2	34.2	18.1	17.5
	20 – 40	26.8	36.1	18.7	18.4
	40 – 60	27.8	26.5	16.5	29.2
	NI	33	30.4	19.4	17.4
Site 8	0 – 20	31.6	41.7	17.9	7.8
	20 – 40	23	44.5	20	12.5
	40 – 60	22.8	40.3	19.7	17.2
	NI	26.1	45.5	19.4	9
Site 9	0 – 20	35.1	32	17.4	15.5
	20 – 40	29.6	37.9	16	16.5
	40 – 60	27.6	28.3	18.6	25.5
	NI	37.5	38.1	13.4	11
Site 10	0 – 20	22.9	33.5	22.5	21
	20 – 40	24.1	33.1	20.8	22
	40 – 60	19	56.8	12.4	11.9
	NI	18.3	47	20	14.7
Site 11	0 – 20	29.4	22.6	21.9	26.1
	20 – 40	28	28.1	20.8	23.1
	40 – 60	30.6	23.9	19.8	25.7
	NI	39.6	35.4	13.2	11.8
Site 12	0 – 20	36.5	37.4	16.3	9.8
	20 – 40	39.4	31.1	18.2	11.3
	40 – 60	30.8	33.6	20.5	15.1
	NI	41.8	27.3	16.2	14.7
Site 13	0 – 20	29.1	31.4	26.2	13.3
	20 – 40	33.9	22.7	22.1	21.3
	40 – 60	38.5	28.7	20.6	12.2
	NI	30.4	26.5	26.6	16.5
Site 14	0 – 20	28.7	39.1	18.1	13.8
	20 – 40	26.5	37.6	20.2	16.1
	40 – 60	21	37.8	19	22.2
	NI	22.1	42.4	18.1	17.4
Site 15	0 – 20	14.7	45.3	18.5	21.5
	20 – 40	21.6	46.8	20.6	11
	40 – 60	19	39.9	20.5	20.6
	NI	24.6	41.9	18.3	15.2
Site 16	0 – 20	22.6	48.9	21.5	7
	20 – 40	17.5	52.9	22	7.6
	40 – 60	20	54.4	21.3	4.3
	NI	25.6	41	19.4	14
Site 17	0 – 20	13.4	53	23	10.6
	20 – 40	13.7	36.8	23.3	6.5
	40 – 60	10.4	22.1	52.8	14.7
	NI	8	13.5	58.3	20.2

NI : non irrigué

Annexe 06 : Fractions granulométriques des sols des sites des périmètres de mise en valeur en %

Sites	Profondeur	Fractions granulométriques (mm)			
		< 0.05	0.05 – 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 2
Site 18	0 – 20	11.3	63.7	16	9
	20 – 40	15.5	57.8	19.6	7.1
	40 – 60	13.1	63.4	13.3	10.2
	NI	15.2	63	13.2	8.6
Site 19	0 – 20	21.3	63.5	10.7	4.5
	20 – 40	21	56.5	13.3	9.2
	40 – 60	17.9	72	6.6	3.5
	NI	32.3	33.5	19.5	12.7
Site 20	0 – 20	13.5	41.8	31.7	13
	20 – 40	21	36.5	27.7	14.8
	40 – 60	28.7	31.7	25.8	13.8
	NI	11.6	55	24	9.4
Site 21	0 – 20	22	60.9	12.6	4.5
	20 – 40	20.8	64.2	12.6	2.4
	40 – 60	25.5	53.8	15.9	4.8
	NI	11.9	59.3	25.8	3
Site 22	0 – 20	12.2	65.5	20	2.3
	20 – 40	10.5	62.6	21.9	5
	40 – 60	3.5	39.7	49.3	7.5
	NI	8.4	56.1	29.7	4.9
Site 23	0 – 20	12.9	68.8	12.2	6.1
	20 – 40	13.1	69.2	13.2	4.5
	40 – 60	9.4	79.5	7.5	3.6
	NI	13.9	58.4	23.1	4.6

Irrigation goutte à goutte

Annexe 7 : Salinité des eaux d'irrigation des sites d'étude

Site	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
CE	6,9	3,13	2,85	6,87	2,73	2,01	3,6

Annexe 08 : Fractions granulométriques des sols des sites en %

Fraction granulométrique (mm)	site 01	site 02	site 03	site 04	site 05	site 06	site 07
<0.05	16.77	4.43	35.61	36.23	37.81	29.05	31.5
0.05-0.2	45.23	65.18	38.58	18.91	38.52	32.43	38.85
0.2-0.5	25.26	29.35	22.41	27.88	12.28	29.2	16.72
0.5-2	12.74	1.04	3.4	16.98	11.39	9.32	12.93

Salinité d'eau et fréquence d'irrigation

Annexe 09 : Evolution de la croissance de la tomate durant les 05 période de mesure

F	S	PI	PII	PIII	PIV	PV
F1	S1	9,16	15,33	23,66	40	52,33
	S2	7,33	13	21	39,66	54,66
	S3	9,36	15,66	22,66	33,33	42
	S4	7,83	14	19,66	30	38,33
F2	S1	8,16	12,66	18,66	32	38,33
	S2	8	14,66	22	36,66	45,33
	S3	8,66	14,5	23	40,3	50,33
	S4	7,96	13,33	18,33	31	34,66
F3	S1	7,96	13	20,33	35	42,5
	S2	7,23	11,83	19,66	33,33	46,66
	S3	8,83	14,83	22,33	31,16	35,66
	S4	8	12,33	18,66	25,33	33,66

Annexe 10 : Evolution de la CE du sol durant les trois prélèvements

PI	F1	F2	F3
S1	2,03	1,71	2,03
S2	2,51	3,13	2,76
S3	2,76	3	2,88
S4	3,09	3,03	3,27
PII	F1	F2	F3
S1	2,3	1,6	1,3
S2	2,7	2,7	1,8
S3	3,1	3,6	4,6
S4	4,1	3,5	5,6
PIII	F1	F2	F3
S1	3	2,4	1,5
S2	3,7	2,3	4,3
S3	4,3	3,9	4,6
S4	4,35	4,29	5,6

Annexe 11 : Evolution de la CE et la composition ionique de la solution du sol durant les trois prélèvements

F	S	CE (ds/cm)			Cl ⁻ (meq /l)			HCO ₃ ⁻ (meq/l)			SO ₄ ⁻ (meq/l)			K ⁺ (meq/l)			Na ⁺ (meq/l)			Ca ⁺⁺ (meq/l)		
		1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}	1 ^{ère}	2 ^{ème}	3 ^{ème}
F1	S1	2.03	2.30	3.00	6,4	8,2	13	1,5	2	2,75	10	12,5	14,2	1,08	1,79	1,75	9,78	13,04	18,1	4,49	7	7,71
	S2	2.51	2,7	3,7	11	12	20	2	1,75	2,75	12,5	10,4	12,8	0,84	1,02	1,53	15,33	16,08	22,3	5	7	9,49
	S3	2.76	3.10	4,3	13	18	21	2	1,5	4	9,16	12,49	16,7	0,97	1,54	1,54	15,33	20,71	23,66	5,49	5,69	9,5
	S4	3.09	4.10	4,35	13	18	20	3	3,5	3,75	12,08	21,87	22,2	0,97	1,79	2,14	18,26	22,17	25,33	6	10	10,9
F2	S1	1.71	1.60	2.40	4,9	5,2	10	3	2,5	2,5	10,4	12,5	13,4	0,97	1,31	1,53	10,11	8,8	13,04	4,49	6	6,85
	S2	3.13	2.70	2.30	15	12	11	1	3	2,5	10	13,32	12,1	0,95	1,54	1,74	17,61	14,84	14,95	5	5,69	7,28
	S3	3.00	3.60	3,9	14	18	20	2	3,75	4	10,4	15,61	17,8	1,08	2,31	2,41	19,24	21,03	25,22	4,49	8	7,28
	S4	3.03	3.50	4,29	14	16	20	3	4,25	3,75	11,66	14,05	18,7	1,1	1,79	2,19	15,65	21,03	22,83	5	8	10,13
F3	S1	2.03	1.30	1.50	6,3	6,4	6	2	3,5	2,5	12,9	6,55	8,74	1,05	1,53	1,34	11,09	9,78	9,46	6	3,85	4,28
	S2	2.76	1.80	4.30	12	6,4	22	1,5	4	4,25	14,16	10,3	18,8	1,2	1,79	2,31	14,35	10,6	24,95	5,49	5,69	7,16
	S3	2.88	4.60	4.60	11	22	22	1,5	5	5	15,4	21,82	21,8	1,13	2,31	2,31	16,3	26,9	26,9	5	7,49	7,49
	S4	3.27	5.60	5.60	16	28	28	2,5	3,75	3,75	14,58	22,37	22,4	1,2	2,15	2,15	18,59	28,91	28,91	6	13,2	13,2

Annexe 12 : Evolution du pH du sol durant les trois prélèvements

pH	P I	P II	P III
F1S1	7,8	6,67	7,54
F1S2	7,67	6,84	7,53
F1S3	7,76	6,72	6,72
F1S4	7,71	6,51	6,51
F2S1	7,82	6,75	7,62
F2S2	7,76	6,7	7,31
F2S3	7,74	6,58	7,28
F2S4	7,93	6,61	7,24
F3S1	7,78	6,85	7,15
F3S2	7,72	6,89	7,45
F3S3	7,78	6,76	6,76
F3S4	7,81	6,66	6,66

Annexe 13 : Taux de calcaire et du gypse à la fin de l'essai

Traitements	Taux de calcaire %	Taux de gypse %
F1S1	38,18	0,68
F1S2	34,96	0,34
F1S3	36,34	0,34
F1S4	34,04	1,03
F2S1	35,88	0,68
F2S2	36,34	0,34
F2S3	38,18	0,86
F2S4	35,88	0,43
F3S1	36,34	0,25
F3S2	37,72	0,51
F3S3	38,18	0,51
F3S4	35,42	0,51
Taux initial	34,02	16,51

Test de NEWMEN-KEULS, seuil 5%

ANNEXE 14 : Hauteurs des plantes

Facteur salinité		
Libelles	Moyennes	Groupes
S2	48.89	A
S1	44.39	A
S3	42.67	A
S4	35.56	B

ANNEXE 15 : Hauteurs des plantes

Facteurs fréquence-salinité		
Libelles	Moyennes	Groupes
F1-S2	54.67	A
F1-S1	52.33	A
F1-S3	42.00	B
F1-S4	38.33	B
F2-S3	50.33	A
F2-S2	45.33	A B
F2-S1	38.33	B
F2-S4	34.67	B
F3-S2	46.67	A
F3-S1	42.50	A B
F3-S3	35.67	A B
F3-S4	33.67	B

Test ppds

ANNEXE 16 : Hauteurs des plantes

Fréquence- Salinité		
Libelles	Moyennes	Groupes
F1 S2	54.67	A
F1 S1	52.33	A
F2 S3	50.33	A B
F3 S2	46.67	A B C
F2 S2	45.33	A B C
F3 S1	42.50	A B C
F1 S3	42.00	A B C
F2 S1	38.33	A B C
F1 S4	38.33	A B C
F3 S3	35.67	B C
F2 S4	34.67	B C
F3 S4	33.67	C

Fertilisation phosphopotassique

Annexe 17 : Evolution de la croissance du blé (hauteur en cm)

Traitements	Hauteur 1	Hauteur 2	Hauteur 3
S1K0P1	31,49	42,53	46,06
S1K0P2	37,56	47,09	47,77
S1K1P1	31,03	41,62	43,14
S1K1P2	36,57	48,43	50,36
S1K2P1	28,67	39,85	42,05
S1K2P2	36,8	47,6	48,24
S1K3P1	32,15	40,61	42,75
S1K3P2	35,37	48,75	48,95
S2K0P1	30,71	39,16	39,31
S2K0P2	33,82	40,6	41,63
S2K1P1	31,08	39,16	42,4
S2K1P2	27,95	38,25	40,64
S2K2P1	27,67	38,8	41,02
S2K2P2	32	38,91	40,9
S2K3P1	28,98	38,03	38,56
S2K3P2	32,56	40,39	40,93
S1K0P0	20	32	34,7
S2K0P0	15	22,5	23,5

Annexe 18 : Rendement en grains (g)

Traitements	Rendements
S1K0P1	2,25
S1K0P2	4,13
S1K1P1	2,54
S1K1P2	5,12
S1K2P1	3,43
S1K2P2	4,98
S1K3P1	1,93
S1K3P2	4,49
S2K0P1	1,58
S2K0P2	3,69
S2K1P1	2,59
S2K1P2	2,42
S2K2P1	2,2
S2K2P2	1,82
S2K3P1	1,56
S2K3P2	2,8

Annexe 19 : Rendement en paille (g)

Traitements	Rendements
S1K0P1	2,4
S1K0P2	2,8
S1K1P1	2,31
S1K1P2	3,63
S1K2P1	2,5
S1K2P2	3,34
S1K3P1	2,29
S1K3P2	3,1
S2K0P1	2,81
S2K0P2	3,06
S2K1P1	3,58
S2K1P2	2,78
S2K2P1	2,33
S2K2P2	2,16
S2K3P1	2,4
S2K3P2	2,7

Annexe 20 : Poids de 1000 grains (g)

Traitements	Poids
S1K0P1	25,8
S1K0P2	34,8
S1K1P1	31,87
S1K1P2	36,65
S1K2P1	36,23
S1K2P2	40,65
S1K3P1	26,89
S1K3P2	34,42
S2K0P1	22,21
S2K0P2	26,21
S2K1P1	21,75
S2K1P2	25,28
S2K2P1	23,75
S2K2P2	24,19
S2K3P1	20,96
S2K3P2	24,27

Annexe 21 : Teneurs des grains en phosphore en % MS

Traitements	P ₂ O ₅ %
S1K0P1	0,107
S1K0P2	0,083
S1K1P1	0,078
S1K1P2	0,073
S1K2P1	0,088
S1K2P2	0,073
S1K3P1	0,068
S1K3P2	0,093
S2K0P1	0,113
S2K0P2	0,115
S2K1P1	0,114
S2K1P2	0,119
S2K2P1	0,105
S2K2P2	0,109
S2K3P1	0,112
S2K3P2	0,106

Annexe 22 : Teneurs des grains en potassium en % MS

Traitements	K %
S1K0P1	0,61
S1K0P2	0,76
S1K1P1	0,67
S1K1P2	0,66
S1K2P1	0,60
S1K2P2	0,51
S1K3P1	0,66
S1K3P2	0,65
S2K0P1	0,66
S2K0P2	0,63
S2K1P1	0,61
S2K1P2	0,62
S2K2P1	0,85
S2K2P2	0,65
S2K3P1	0,66
S2K3P2	0,59

Annexe 23 : Teneurs des grains en sodium en % MS

Traitements	Na %
S1K0P1	0,10
S1K0P2	0,05
S1K1P1	0,03
S1K1P2	0,03
S1K2P1	0,08
S1K2P2	0,06
S1K3P1	0,07
S1K3P2	0,05
S2K0P1	0,15
S2K0P2	0,15
S2K1P1	0,19
S2K1P2	0,20
S2K2P1	0,15
S2K2P2	0,13
S2K3P1	0,13
S2K3P2	0,13

Annexe 24 : Evolution de la CE du sol (ds/m)

Traitements	Prélèvement 1	Prélèvement 2	Prélèvement 3
S1K0P1	4,1	3,5	2,98
S1K0P2	4,3	3,5	3,12
S1K1P1	4,4	4,0	3,20
S1K1P2	3,9	3,7	3,51
S1K2P1	4,1	3,6	3,05
S1K2P2	3,9	3,9	3,24
S1K3P1	4,5	3,6	3,18
S1K3P2	4,4	3,7	3,31
S2K0P1	4,0	4,8	3,66
S2K0P2	4,5	4,7	3,83
S2K1P1	4,5	4,7	3,69
S2K1P2	4,1	4,4	3,53
S2K2P1	4,3	4,3	3,77
S2K2P2	4,4	4,8	3,98
S2K3P1	4,3	4,8	3,38
S2K3P2	4,8	4,3	3,61

Annexe 25 : Evolution du pH du sol

Traitements	Prélèvement 1	Prélèvement 2	Prélèvement 3
S1K0P1	8,32	8,35	8,25
S1K0P2	8,31	8,44	8,30
S1K1P1	8,28	8,45	8,30
S1K1P2	8,42	8,38	8,34
S1K2P1	8,31	8,43	8,34
S1K2P2	8,43	8,47	8,33
S1K3P1	8,43	8,40	8,33
S1K3P2	8,41	8,42	8,30
S2K0P1	8,39	8,56	8,35
S2K0P2	8,31	8,58	8,39
S2K1P1	8,42	8,60	8,42
S2K1P2	8,40	8,47	8,42
S2K2P1	8,47	8,57	8,43
S2K2P2	8,33	8,49	8,41
S2K3P1	8,33	8,60	8,36
S2K3P2	8,48	8,53	8,40

Annexe 26 : Teneurs de la solution du sol en cations et en anions

Traitements	Na Meq/l	Ca Meq/l	Mg meq/l	K meq/l	Cl meq/l	HCO₃ meq/l	SO₄ meq/l
S1K0P1	15,42	14,67	2,40	0,45	13,22	1,83	14,53
S1K0P2	16,48	14,67	2,60	0,48	15,40	1,00	14,46
S1K1P1	16,19	16,00	1,67	0,63	14,44	1,67	15,50
S1K1P2	17,82	17,13	4,07	0,60	15,87	1,17	16,11
S1K2P1	16,67	13,33	3,20	0,67	13,96	1,33	15,16
S1K2P2	17,25	13,67	3,27	0,68	17,18	1,50	15,00
S1K3P1	15,52	15,60	2,87	0,75	13,18	1,50	14,47
S1K3P2	16,77	14,13	3,73	0,71	15,31	2,00	15,16
S2K0P1	18,97	16,93	3,67	0,52	17,78	1,50	15,22
S2K0P2	19,36	17,07	4,33	0,48	22,21	1,33	14,62
S2K1P1	19,17	14,80	5,40	0,60	19,07	1,50	15,30
S2K1P2	17,82	13,93	6,13	0,65	16,47	1,33	15,29
S2K2P1	18,59	16,20	4,67	0,67	18,73	1,33	14,93
S2K2P2	19,55	18,00	4,60	0,72	20,08	1,50	15,44
S2K3P1	16,86	14,80	5,00	0,77	15,41	1,33	14,87
S2K3P2	18,49	16,53	4,00	0,82	18,73	1,50	14,63

Annexe 27 : Phosphore assimilable du sol en ppm

Traitements	P ₂ O ₅ (ppm)
S1K0P1	183,73
S1K0P2	184,99
S1K1P1	181,20
S1K1P2	192,57
S1K2P1	167,30
S1K2P2	177,41
S1K3P1	169,40
S1K3P2	188,78
S2K0P1	174,04
S2K0P2	242,30
S2K1P1	178,17
S2K1P2	206,97
S2K2P1	173,62
S2K2P2	229,60
S2K3P1	181,20
S2K3P2	235,53

Annexe 28 : Potassium assimilable du sol en meq/l

Traitements	K (meq/l)
S1K0P1	12,22
S1K0P2	13,00
S1K1P1	12,22
S1K1P2	12,22
S1K2P1	13,79
S1K2P2	14,57
S1K3P1	14,57
S1K3P2	13,79
S2K0P1	13,79
S2K0P2	13,00
S2K1P1	15,35
S2K1P2	13,79
S2K2P1	14,57
S2K2P2	15,35
S2K3P1	13,79
S2K3P2	13,79

Annexe 29 : Evolution de la CE de l'eau de drainage (ds/m)

Traitements	Prélèvement 1	Prélèvement 2
S1K0P1	28,50	25,25
S1K0P2	31,63	23,15
S1K1P1	27,90	24,33
S1K1P2	28,73	23,67
S1K2P1	26,57	26,57
S1K2P2	30,60	22,23
S1K3P1	27,30	25,37
S1K3P2	31,07	25,50
S2K0P1	39,13	32,37
S2K0P2	39,40	30,37
S2K1P1	40,87	33,20
S2K1P2	39,43	30,60
S2K2P1	37,20	31,75
S2K2P2	40,75	35,47
S2K3P1	38,53	32,17
S2K3P2	37,80	34,23

Test de NEWMEN-KEULS, seuil 5%

ANNEXE 30 : Longueur des plantes

Facteur P		
Libelles	Moyennes	Groupes
P2	44.91	A
P1	41.87	B

ANNEXE 31 : Longueur des plantes

Facteurs S1-P		
Libelles	Moyennes	Groupes
S1-P2	48.86	A
S1-P1	43.7	B

ANNEXE 32 : Rendement en grains

Facteurs S-P		
Libelles	Moyennes	Groupes
S1-P2	4.68	A
S1-P1	2.54	B
S2-P2	2.6	A
S2-P1	1.98	B

ANNEXE 33 : Rendement en grains

Facteurs S1-K-P		
Libelles	Moyennes	Groupes
S1-K1-P2	5.12	A
S1-K2-P2	4.98	A
S1-K3-P2	4.49	A
S1-K0-P2	4.13	A B
S1-K2-P1	3.43	B
S1-K1-P1	2.54	C
S1-K0-P1	2.25	C
S1-K3-P1	1.93	C

ANNEXE 34 : Rendement en grains

Facteurs S2-K-P		
Libelles	Moyennes	Groupes
S2-K0-P2	3.69	A
S2-K1-P1	2.59	B
S2-K3-P2	2.48	B
S2-K1-P2	2.42	B
S2-K2-P1	2.2	B
S2-K2-P2	1.82	B
S2-K0-P2	1.58	B
S2-K3-P1	1.56	B

ANNEXE 35 : Rendement en paille

Facteur K		
Libelles	Moyennes	Groupes
K1	3.04	A
K0	2.77	A B
K3	2.57	B
K2	2.53	B

ANNEXE 36 : Rendement en paille

Facteur P		
Libelles	Moyennes	Groupes
P2	2.95	A
P1	2.5	B

ANNEXE 37 : Rendement en paille

Facteurs S-P		
Libelles	Moyennes	Groupes
S1-P2	3.22	A
S1-P1	2.22	B
S2-P1	2.78	A
S2-P2	2.68	B

ANNEXE 38 : Rendement en paille

Facteurs S-K-P		
Libelles	Moyennes	Groupes
S1-K1-P2	3.63	A
S1-K2-P2	3.34	A B
S1-K3-P2	3.1	A B
S1-K0-P2	2.8	B C
S1-K0-P1	2.4	C
S1-K2-P1	2.28	C
S1-K1-P1	2.15	C
S1-K3-P1	2.05	C
S2-K1-P1	3.58	A
S2-K0-P2	3.06	A B
S2-K0-P1	2.81	B C
S2-K1-P2	2.78	B C
S2-K3-P2	2.73	B C
S2-K3-P1	2.4	B C
S2-K2-P1	2.33	B C
S2-K2-P2	2.16	C

ANNEXE 39 : Poids de 1000 grains

Facteur S		
Libelles	Moyennes	Groupes
S1	33.33	A
S2	25.04	B

ANNEXE 40 : Poids de 1000 grains

Facteur K		
Libelles	Moyennes	Groupes
K2	31.09	A
K1	30.06	A B
K3	28.36	B C
K0	27.23	C

ANNEXE 41 : Poids de 1000 grains

Facteur P		
Libelles	Moyennes	Groupes
P2	32.23	A
P1	26.14	B

ANNEXE 42 : Poids de 1000 grains

Facteurs S-K		
Libelles	Moyennes	Groupes
S1-K2	38.21	A
S1-K1	34.26	B
S1-K3	30.59	C
S1-K0	30.26	C
S2-K3	26.13	A
S2-K1	25.87	A
S2-K0	24.21	A
S2-K2	23.97	A

ANNEXE 43 : Poids de 1000 grains

Facteurs K-P		
Libelles	Moyennes	Groupes
K1-P2	33.36	A
K3-P2	32.79	A
K2-P2	32.31	A
K0-P2	30.46	A
K2-P1	29.87	A
K1-P1	26.78	B
K0-P1	24.01	B
K3-P1	23.93	B