

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES APPLIQUEES

Département d'hydraulique et génie civil



*En vue de l'obtention du Diplôme de DOCTORAT*

*En Hydraulique*

*Spécialité : Aménagement hydraulique en milieu aride*

THEME

*Etude de lessivage des sols salés dans la cuvette de Ouargla :  
Cas de l'exploitation agricole de l'université*

Présenté et soutenu publiquement par :

*M<sup>me</sup> REZAGUI Djihed*

Devant le jury :

Mr. KRIKER Abdelouahad	Professeur	U.K.M.Ouargla	Président
Mr. DADDI BOUHOUN Mustapha	Professeur	U.K.M.Ouargla	Promoteur
Mr. BOUTOUTAOU Djamel	Professeur	U.K.M.Ouargla	Co-promoteur
Mr. MASMOUDI Ali	M. C. A	U.M.K. Biskra	Examineur
M <sup>me</sup> . OUNOKI Samira	M. C. A	U.M.K. Biskra	Examinatrice

Année Universitaire : 2016/2017



# Dédicace



*Quoi qu'on dit, quoi qu'on fasse on ne saura jamais remercier les deux très chers personnes à mon cœur, à ce que ni les mots, ni les gestes, ni rien au monde pourras exprimer mes sentiments envers eux, à ce qui me donne la joie de vivre, à qui la vie avec eux devient un paradis, à ce qui me toujours soutenues, et qui ont jamais douté de moi.*

*A vous, les perles de mes yeux :*

*Ma chère Mère et Mon cher père (que dieu ait son âme).*

*Je dédie mon humble et modeste travail à:*

*Mon Cher Mari **Sid Ahmed** qui m'a soutenue, encouragé et m'a accompagné dans le parcours de la vie.*

*Mon petit enfant : Mohamed El Fateh.*

*Mon cher frère Djalel et sa famille.*

*Ma chère sœur Asma et sa famille*

*Ma chère sœur Ghofrane, son mari et son fils Mouatez.*

*Ma chère sœur Chaïma et son mari.*

*Ma chère sœur Ikrame et Mes cher Khalil et Ayoub.*

*Ma deuxième Mère : BEDLAOUI LaLLa*

*A toutes les familles : REZAGUI, AZIZI, HAMADOU, BENTCHIKOU*

*Mes chères amies : Amina et Samia, Maria, Khairia, Besma, Messaouda.*



*Djihed*



## *Avant propos*

*Merci Allah (mon dieu) de m' avoir donné la capacité d'écrire et de réfléchir, la force d'y croire, la patience d'aller jusqu'au bout du rêve et le bonheur de lever nos mains vers le ciel et de dire " Ya RAB ".*

*Avant de conclure ce modeste travail, Il m'est agréable de remercier, vivement mon promoteur Monsieur **DADDI BOUHOUN Mustapha**, Professeur du Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université KASDI Merbah Ouargla, d' avoir proposé et dirigé ce travail, Je lui atteste ma profonde gratitude pour son encadrement, ses encouragements, ses conseils, ses orientations et surtout sa patience.*

*Je n' oublierai jamais mon Co-promoteur Monsieur **BOUTOUTAOU Djamel**, Professeur du Département d'hydraulique et de Génie civile, Faculté des Sciences appliquées, Université KASDI Merbah Ouargla de son aide, son appui, et son important apport dans la réalisation et la finalisation de ce document.*

*Je tien à remercier Monsieur le Professeur **KRIKER Abdelouahed**, Doyen de la Faculté des Sciences appliquées, chef de laboratoire EVRNZA, Université KASDI Merbah Ouargla pour sa précieuse aide, son appui et ses conseils précieux. Mes remerciements vont aussi au laboratoire d' **EVARNZA**, relevant de la même université d' avoir domicilié ce thème de recherche dans l'équipe d'hydraulique dont je fais partie.*

*Mes remerciements aussi à tous les membres du jury Monsieur **MASMOUDI Ali** et Madame **OUNOKI Samira**.*

*Je tiens à exprimer mes respectueux et sincères remerciements à Monsieur **BEN MABROUK Lazhar**, Faculté des Sciences de la Matière, Monsieur **SIBOUKEUR Abdallah**, sans oublier toutes les personnes de*

*l'exploitation agricole de l'université de Ouargla (ITAS) particulièrement **AMI TAHAR**.*

*Je tiens à remercier mon mari **Sid Ahmed**, mes frères **Djalel** et **Khalil**, ma sœur **Ghofrane**, aussi **Maria** et **Allaa** et surtout la main d'œuvre **Lhadje** pour m'avoir prêté main forte lors de l'échantillonnage, le sondage et l'irrigation.*

*Je remercie également le personnel du laboratoire pédagogique de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah Ouargla. Je n'oublie pas tous les personnes de laboratoire **LEC BOUBLEL** surtout M. **RAHMANI**, le laboratoire physico-chimique de l'**ADE**, le laboratoire **LTPS** Ouargla, le laboratoire **CRSTRA** Touggourt.*

*Je saisis cette occasion pour exprimer mon profond respect et ma reconnaissance à l'ensemble des enseignants de **département de génie civil et hydraulique** de l'Université **KASDI Merbah** Ouargla, pour avoir participé à ma formation.*

*Enfin, que tout ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce modeste travail, soient assurés de ma profonde gratitude.*

## ملخص

الأراضي الصحراوية هي الأكثر عرضة لمشكل إعادة التهيئة، و هذا لوجود عوائق كثيرة من بينها العوائق المتعلقة بالتربة و الماء، بالأخص صعود الطبقة المائية المالحة و تواجد الطبقة القشرية الجبسية غير النفوذة و مشكل ملوحة مياه السقي .

تتوفر المستثمرة الفلاحية التابعة لجامعة ورقلة على مياه ري مالحة جدا و سوء تسيير السقي و الصرف مع تواجد عدة عوائق ميكانيكية و مائية متمثلة في ظاهرة صعود المياه و تكون طبقات غير نفوذة و هي الطبقات الجبسية. عملنا يتمثل في دراسة خصائص التربة في هذه المستثمرة لمعرفة كل العوائق المتعلقة بالملوحة و التوصل لكمية السقي الكافية التي تسمح بغسل التربة و التخلص من الأملاح.

أظهرت النتائج وجود وسطين بيئيين، مياه جوفية سطحية أو متوسطة العمق مع وجود القشرة الجبسية. يتميز هذين الوسطين بمشكلة تملح التربة و صعود مياه جوفية عالية الملوحة مع تكون قشور جبسية.

تتميز المياه الجوفية بمتوسط عمق  $12.11 \pm 156.67$  سم بدرجة ملوحة  $5.17 \pm 16.56$  dS.m<sup>-1</sup>. ملوحة التربة عالية جدا  $3.14 \pm 5.66$  dS.m<sup>-1</sup> بالنسبة للحقل A1 و  $2.56 \pm 6.08$  dS.m<sup>-1</sup> بالنسبة للحقل C1.

أظهر التباين المكاني لخصائص المياه و التربة، تدهور حالة المستثمرة بمستوى متفاوت مع تجاوز ملوحة التربة عتبة تحمل أشجار النخيل مما قد يؤدي إلى انخفاض إنتاجها.

إن دراسة تطور ملوحة التربة بعد عملية الغسل في الوسطين البيئيين، قد بينت وجود ارتفاع بين فترتي السقي و هذا راجع لتراكم الأملاح بسبب الحركة التصاعدية و التنازلية تحت تأثير صعود الطبقة المائية الجوفية و مياه السقي. بالنسبة لوسط المياه الجوفية السطحية مع وجود قشرة جبسية غسل التربة في عملية السقي الأولى لا يجب أن يتجاوز 40% مع الزيادة تدريجيا في عمليات السقي التي تليها. أما بالنسبة لوسط المياه الجوفية العميقة مع وجود قشرة جبسية فنجاح عملية الغسل يزداد بزيادة كمية الماء و هذا بشرط توفير صرف جيد يسمح بنزول كمية الاملاح و يحد من ظاهرة صعود المياه.

**الكلمات الأساسية:** السقي، غسل، الاملاح، أرض زراعية، مناطق جافة

## Résumé

Les sols sahariens sont le plus souvent confrontés à des problèmes de mise en valeur, compte-tenu des contraintes hydro-édaphiques, principalement de type hydrique de nappe phréatique, mécanique de croûtes gypso-calcaires et salines par les eaux d'irrigation et la remontée capillaire des eaux phréatiques.

L'exploitation de l'université de Ouargla présente des eaux d'irrigation très salées, avec une mauvaise gestion d'irrigation-drainage, plus l'existence des plusieurs contraintes hydro-mécanique représenté à la remontée de la nappe phréatique et la formation des croûtes gypseuses imperméables. Notre travail consiste à faire une caractérisation des sols de cette palmeraie pour étudier les contraintes hydro-halomorphes à fin de trouver la meilleure dose de lessivage.

Les résultats montrent qu'il existe à l'exploitation deux biotope, nappe superficielle-croûte et nappe moyennement profonde-croûte. Ces deux biotopes se caractérisent par un problème de remontée des eaux phréatiques, la formation des croûtes gypseuses et la salinisation des eaux et des sols. Les eaux phréatiques présentent un niveau statique moyen de  $156,7 \pm 12,1$  cm avec une salinité moyenne de  $16,56 \pm 5,17$  dS.m<sup>-1</sup>. Les sols sont très salés à extrêmement salés, en moyen de  $5,66 \pm 3,14$  dS.m<sup>-1</sup> pour le demi-secteur A1, et  $6,08 \pm 2,56$  dS.m<sup>-1</sup> pour le demi secteur C1.

La variation spatiale des paramètres hydro-édaphiques montre un niveau de dégradation variable de l'exploitation. Toutefois la salinité des sols dépasse le seuil critique de tolérance des palmiers dattiers, responsable fort probablement des chutes de rendements.

L'étude de l'évolution de la salinité après le lessivage dans les deux biotopes, a montrée qu'il y a une augmentation entre les deux irrigations à cause de l'accumulation des sels qui due à la dynamique ascendante et descendante des sels respectivement sous l'effet de la remontée de la nappe phréatique et les eaux d'irrigation. Pour le biotope nappe superficielle-croûte, dans la première irrigation il est déconseillé de dépasser la fraction de 40% de lessivage et il est recommandé de faire un lessivage progressif pour les autres irrigations. Pour le biotope nappe moyennement profonde-croûte, il est intéressant d'augmenter la fraction de lessivage à conditionner d'assurer un bon drainage.

**Mots clefs :** irrigation, lessivage, sels, terre agricole, zones arides.

## Summary

Saharan soils are often faced with several problems of development, taking account the hydro-edaphic constraints, mainly of hydric types by water table, mechanical by gypso-calcareous crusts and saline by irrigation waters and upwelling of water table.

The exploitation of the University of Ouargla has very salty irrigation water with bad irrigation-drainage management, plus the existence of several hydro-mechanical constraints represented by the rise of the water table and the formation of impermeable gypsum crusts. Our work consists in making a characterization of the soils of this palm grove to study the hydro-halomorphic constraints in order to find the best dose of leaching.

The results show the existence of two biotope types, surface water table and medium deep water table with crust. They are characterized by ascended ground water, the formation of gypsum crusts and a salinization of water table and soils. Static level of water table has a depth average of  $156,7 \pm 12,1$  cm and a salinity average of  $16,56 \pm 5,17$  ds.m<sup>-1</sup>. Soils are very salty to extremely salty, by means of  $5,66 \pm 3,14$  dS.m<sup>-1</sup> for the half sector A1,  $6,08 \pm 2,56$  dS.m<sup>-1</sup> for the half sector C1.

The spatial variation of hydro-edaphic parameters showed a variable level of degradation in palm grove. However, soil salinity surpasses the critical threshold of date palms which likely led to a drop in yield.

The study of the evolution of salinity after leaching in the two biotopes, has shown that there is an increase between the two irrigations due to the accumulation of salts Which is due to the upward and downward dynamics of the salts respectively under the effect of the rise of the water table and the irrigation water. For the biotope surface water table with crust, and in the first irrigation, it is not advisable to exceed the fraction 40% of leaching but it is recommended to gradually leach for other irrigations. For the biotope medium deep water table with crust, it is interesting to increase the leaching fraction to condition ensure good drainage.

**Keywords:** irrigation, leaching, salt, agricol soil, arid areas.

## *Liste des figures*

<b>Figures</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Figure I 1.	Limites géographiques de la wilaya d'Ouargla.....	05
Figure I 2.	Diagramme ombrothermique de GAUSSEN de Ouargla.....	08
Figure I 3.	Climagramme d'EMBERGER de la région de Ouargla (2005-2014).....	09
Figure I 4.	Carte topographique de la cuvette de Ouargla.....	10
Figure I 5.	Carte piézométrique de la nappe phréatique en avril 2002.....	12
Figure I 6.	carte des ressources en eaux souterraines (CI et CT).....	14
Figure III 1.	Schéma représente l'exploitation.....	39
Figure III 2.	Approche méthodologique de l'étude.....	41
Figure III 3.	Profil de sol proche du palmier dattier.....	45
Figure III 4.	Sondage d'estimation le niveau statique de la nappe phréatique.....	47
Figure III 5.	Sondage pour estimer le niveau supérieur de la croûte.....	48
Figure III 6.	Principe de doubles anneaux.....	50
Figure IV 1.	Représentation des eaux d'irrigation sur le diagramme de Piper.....	70
Figure IV 2.	Classifications des eaux d'irrigation sur le diagramme de RIVERSIDE...	70
Figure IV 3.	Salinité globale des eaux de drainage des deux demi secteur.....	74
Figure IV 4.	Danger d'alcalinisation des eaux de drainage des deux demi secteur.....	75
Figure IV 5.	Représentation des eaux de drainage sur le diagramme de Piper.....	75
Figure IV 6.	Niveau des eaux phréatiques des profils étudiés.....	76
Figure IV 7.	Salinité globale des eaux phréatiques.....	77
Figure IV 8.	Danger d'alcalinisation des eaux phréatiques.....	77
Figure IV 9.	Faciès chimiques des eaux de nappe phréatique.....	78
Figure IV 10.	Relation entre le degré de salinité et le résidu sec des eaux phréatique....	79



Figure IV 11.	Relation entre le degré de salinité et la sodicité des eaux phréatiques.....	79
Figure IV 12.	Relation entre le degré de salinité et la Profondeurs des eaux phréatiques	79
Figure IV 13.	Propriétés physico-chimiques des profils des sols de demi-secteur A1....	90
Figure IV 14.	Propriétés hydro-mécaniques des profils des sols de demi-secteur A1.....	91
Figure IV 15.	Caractéristiques organiques et en sels peu solubles des profils des sols de A1.....	92
Figure IV 16.	Faciès chimiques de profil de sols A1P1.....	93
Figure IV 17.	Faciès chimiques de profil de sols A1P2.....	94
Figure IV 18.	Faciès chimiques de profil de sols A1P3.....	94
Figure IV 19.	Courbe granulométrique des horizons du profil A1P1.....	95
Figure IV 20.	Courbe granulométrique des horizons du profil A1P2.....	95
Figure IV 21.	Courbe granulométrique des horizons du profil A1P3.....	96
Figure IV 22.	Propriétés des profils des sols de demi-secteur C1.....	97
Figure IV 23.	Propriétés hydro-mécaniques des profils des sols de demi-secteur C1.....	98
Figure IV 24.	Les propriétés chimiques et biochimiques des profils des sols de A1.....	99
Figure IV 25.	Faciès chimiques de profil de sols C1P1.....	100
Figure IV 26.	Faciès chimiques de profil de sols C1P2.....	101
Figure IV 27.	Faciès chimiques de profil de sols C1P3.....	101
Figure IV 28.	Courbe granulométrique des horizons du profil C1P1.....	102
Figure IV 29.	Courbe granulométrique des horizons du profil C1P2.....	103
Figure IV 30.	Courbe granulométrique des horizons du profil C1P3.....	103
Figure V 1.	Variabilité spatiale de niveau statique des eaux phréatiques de A1.....	109
Figure V 2.	Niveau piézométrique des nappes phréatiques dans le demi-secteur A1...	110

Figure V 3.	Variabilité spatiale d'obstacle mécanique dans A1 et C1.....	111
Figure V 4.	Biotopes existants dans les demi-secteurs A1 et C1.....	112
Figure V 5.	Variabilité spatiale de la salinité des sols dans A1 et C1.....	114
Figure V 6.	Variabilité spatiale d'alcalinité des sols dans les demi-secteurs A1 et C1.	114
Figure V 7.	Variabilité spatiale de la perméabilité des sols dans A1 et C1.....	115
Figure V 8.	Relation entre la perméabilité des sols et la profondeur de la croûte.....	116
Figure V 9.	Variabilité spatiale de l'enracinement dans les demi-secteurs A1 et C1...	118
Figure VI 1.	Surface des planches d'irrigation des demi-secteurs A1 et C1.....	123
Figure VI 2.	Réserves utiles des sols des demi-secteurs A1 et C1.....	124
Figure VI 3.	Réserves facilement utilisable des sols des demi-secteurs A1 et C1.....	124
Figure VI 4.	Doses réelles pour chaque fraction de lessivage de demi-secteur A1.....	125
Figure VI 5.	Doses réelles pour chaque fraction de lessivage de demi-secteur C1.....	126
Figure VI 6.	Doses finales pour chaque fraction de lessivage de demi-secteur A1.....	126
Figure VI 7.	Doses finales pour chaque fraction de lessivage de demi-secteur C1.....	127
Figure VI 8.	Variation Journalière de la température de l'aire.....	128
Figure VI 9.	Variation Journalière de la vitesse du vent.....	128
Figure VI 10.	Relation entre la température et la vitesse du vent.....	129
Figure VI 11.	Variation Journalière de l'humidité de l'aire.....	129
Figure VI 12.	Variation journalière de l'ETP pendant la période d'irrigation.....	130
Figure VII 1.	Variabilité spatiale de la salinité des sols après (24h) d'irrigation.....	133
Figure VII 2.	Variabilité spatiale de l'alcalinité des sols après (24h) d'irrigation.....	133
Figure VII 3.	Variabilité spatiale de la salinité des sols après irrigation (7jours).....	134
Figure VII 4.	Variabilité spatiale de l'alcalinité des sols après (07 jours) d'irrigation...	135

Figure VII 5.	Variabilité spatiale de la salinité des sols après irrigation (14 jours).....	136
Figure VII 6.	Variabilité spatiale de l'alcalinité des sols après (14 jours) d'irrigation...	136
Figure VII 7.	Variabilité spatiale de la salinité des sols après irrigation (16 jours).....	137
Figure VII 8.	Variabilité spatiale de l'alcalinité des sols après la deuxième d'irrigation.	138
Figure VII 9.	Salinité des sols des fractions de lessivage dans le demi-secteur A1.....	139
Figure VII 10.	Salinité des sols des fractions de lessivage dans le demi-secteur C1.....	139
Figure VII 11.	Salinité des sols pour le biotope NSC demi-secteur A1.....	140
Figure VII 12.	Salinité des sols entre deux irrigations pour biotope NSC A1.....	141
Figure VII 13.	Salinité des sols pour le biotope NMPC demi-secteur A1.....	141
Figure VII 14.	Salinité des sols entre deux irrigations pour biotope NMPC A1.....	142
Figure VII 15.	Salinité des sols entre deux irrigations pour biotope NMPC C1.....	142
Figure VII 16.	Taux de lessivage biotope NSC A1.....	143
Figure VII 17.	Taux d'accumulation des sels biotope NSC A1.....	144
Figure VII 18.	Taux de lessivage pour le biotope NMPC A1.....	145
Figure VII 19.	Taux de lessivage des sels pour le biotope NMPC C1.....	146
Figure VII 20.	Taux d'accumulation des sels biotope NMPC A1.....	147
Figure VII 21.	Taux d'accumulation des sels pour le biotope biotope NMPC C1.....	147

## *Liste des photos*

<b>Photos</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
Photo III 1.	Photo satellitaire de l'exploitation de l'université.....	35
Photo III 2.	Forage du Miopliocène.....	36
Photo III 3.	Forage du Sénonien.....	36
Photo III 4.	L'état du réseau de drainage de l'exploitation.....	37
Photo III 5.	Situation des sites d'étude à l'exploitation.....	38
Photo III 6.	prélèvement des eaux de la nappe phréatique.....	43
Photo III 7.	Niveau de la nappe phréatique dans les profils de sol.....	43
Photo III 8.	Localisation des profils.....	44
Photo III 9.	Enfoncement des cylindres et prélèvement des échantillons dans le profil...	46
Photo III 10.	Sondage dans et hors planches.....	49
Photo III 11.	Sondage des nappes, croûtes, enracinement et prélèvements d'échantillons de sols.....	49
Photo III 12.	Mesure de perméabilité.....	50
Photo III 13.	Avant (A) et après (B) l'aménagement des planches d'irrigation.....	51
Photo III 14.	Irrigation des planches.....	51
Photo III 15.	Bac colorado (A) et abri météorologique (B).....	57
Photo III 16.	Spectrophotomètre à flamme.....	59
Photo III 17.	Dosage de calcium $Ca^{2+}$ et de magnésium $Mg^{2+}$ .....	59
Photo III 18.	Dosage de chlore et bicarbonate.....	60
Photo III 19.	Dosage de sulfate par le spectrophotomètre atomique.....	61
Photo III 20.	Mesure de la densité apparente sur terrain et au laboratoire.....	62
Photo III 21.	Mesure de l'humidité par l'appareil de RICHARD au laboratoire.....	63

Photo III 22.	Dosage de gypse.....	64
Photo III 23.	Détermination de la texture par la méthode de sédimentation.....	65
Photo IV 1.	Dimensions des planches d'irrigation par submersion traditionnelle.....	67
Photo IV 2.	Grand bassin d'irrigation à l'exploitation.....	68
Photo IV 3.	Grand bassin d'irrigation à l'exploitation.....	68
Photo IV 4.	Réseau de drainage de l'exploitation agricole.....	71
Photo IV 5.	Drain à paroi de sol (A) et à paroi de pierre (B).....	72
Photo IV 6.	Etat des drains primaire (A) et secondaire (B) à l'exploitation.....	73
Photo IV 7.	Topographie des drains.....	73
Photo IV 8.	Profil A1P1.....	83
Photo IV 9.	Profil A1P2.....	84
Photo IV 10.	Profil A1P3.....	85
Photo IV 11.	Profil C1P1.....	86
Photo IV 12.	Profil C1P2.....	87
Photo IV 13.	Profil C1P3.....	88

## *Liste des tableaux*

<b>Tableaux N°</b>	<b>Titres</b>	<b>Pages</b>
Tableau I 1.	Données climatiques de la région de Ouargla.....	06
Tableau II 1	Les classes de l'eau d'irrigation.....	25
Tableau II 2.	Valeurs du coefficient (Kc) pour le palmier dattier.....	27
Tableau VII 1.	Estimation des besoins en eau des palmiers dattiers à Ouargla.....	122

## *Liste des abréviations*

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Ouargla

A1 : demi-secteur A1

A1P1 : profil N°1, demi-secteur A1

A1P2 : profil N°2, demi-secteur A1

A1P3 : profil N°3, demi-secteur A1

C1 : demi-secteur C1.

C1P1 : profil N°1, demi-secteur C1

C1P2 : profil N°2, demi-secteur C1

C1P3 : profil N°3, demi-secteur C1

C.E.<sub>e1:5</sub> : Conductivité électrique de l'extrait 1:5 des sols

C.E.<sub>n</sub> : Conductivité électrique des eaux phréatiques

C.E.<sub>i</sub> : Conductivité électrique des eaux d'irrigation

C.E.<sub>d</sub> : Conductivité électrique des eaux de drainage

NSC : biotopes nappe superficielle-croûte

NMPC : biotopes nappe moyennement profonde-croûte

P<sub>n</sub> : Profondeur de la nappe.

P<sub>c</sub> : Profondeur de la croûte.

P<sub>r</sub> : Profondeur racinaire.

pH<sub>e1:5</sub> : pH de extrait 1:5 du sol.

pH<sub>n</sub> : pH des eaux phréatiques.

pH<sub>i</sub> : pH des eaux d'irrigation.

pH<sub>d</sub> : pH des eaux de drainage.

R.s.<sub>n</sub> : Résidus secs des eaux de la nappe phréatique.

R.s.<sub>i</sub> : Résidus secs des eaux d'irrigation.

R.s.<sub>d</sub> : Résidus secs des eaux de drainage.

## *Table des matières*

*Avant propos*

*Résumé*

*Liste des figures*

*Liste des photos*

*Liste des tableaux*

*Liste des abréviations*

*INTRODUCTION GÉNÉRALE ..... 1*

### ***PARTIE I. CADRE D'ÉTUDE ET PROBLÉMATIQUE***

#### ***Chapitre I. Présentation de la région d'étude***

1. Situation géographique.....	4
2. Climat.....	5
3. Classification du climat.....	7
3.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN.....	7
3.2. Climagramme d'EMBERGER.....	7
4. Topographie.....	9
5. Pédologie.....	10
6. Hydrogéologie.....	11
6.1. Nappe phréatique.....	11
6.2. Nappe du complexe terminal.....	13
6.3. Nappe Continental Intercalaire.....	14

#### ***Chapitre II. La salinisation des sols irrigués***

1. Définition de la salinisation.....	16
2. Définition de la salinité.....	16
3. Définition des sols salés (sols halomorphes).....	17
3.1. Genèse de conditions salines et /ou sodique.....	17
3.2. Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation.....	18



4. Salinisation des terres dans le monde et en Algérie .....	18
5. Types de la salinisation .....	18
5.1. Salinisation primaire ou naturelle .....	19
5.2. Salinisation secondaire.....	19
6. Conditions climatiques de la salure.....	19
7. Classification des sols salés.....	20
7.1. Sols à complexe sodique ou sols alcalins .....	20
7.2. Sols salins à complexe calcique .....	20
8. Caractères des sels.....	20
8.1. Solubilité des sels .....	20
8.2. Mobilité des sels.....	21
9. Mesures de la salinité .....	21
9.1. La conductivité électrique .....	21
9.2. Sels totaux dissous .....	21
10. Répartition et importance des sols salés.....	22
11. Mise en valeur des sols salés.....	22
12. Salinité de l'eau d'irrigation.....	22
12.1. Evaluation de la qualité de l'eau d'irrigation .....	22
12.2. Classification de l'eau d'irrigation (Réf).....	23
13. Terres irriguées en Algérie .....	23
14. Terres irriguées au Sahara algérien .....	26
15. Besoins en eau des cultures .....	26
15.1. Evapotranspiration.....	26
15.2. Evapotranspiration potentielle .....	27
15.3. Evapotranspiration maximale .....	27
15.4. Evapotranspiration réelle .....	28
16. Evaluation des besoins en eau des cultures .....	28

16.1. Méthodes indirectes .....	28
16.2. Méthodes directes .....	28
17. Besoins en eau des palmiers dattier.....	29
18. Relation entre l'évaporation et la salinité.....	30
19. Techniques d'irrigation .....	30
20. Le drainage.....	32
21. Différents types de drainage.....	32
21.1. Drainage souterrain.....	32
21.2. Drainage de surface.....	32

## *Partie II. Etude expérimentale*

### *Chapitre III. Matériels et méthodes*

1. Matériels d'études .....	34
1.1. Choix de la zone d'étude .....	34
1.2. Station d'étude .....	34
1.2.1. Choix de la station d'étude .....	34
1.2.2. Présentation de la station d'étude.....	34
1.3. Infrastructure hydro-agricole.....	36
1.3.1. Système d'irrigation .....	36
1.3.2. Système de Drainage.....	36
1.3.3. Système de culture.....	37
1.4. Présentation des sous-stations d'étude .....	37
2. Méthodes d'étude .....	40
2.1. Approche méthodologique .....	40
2.1.1. Etude des contraintes hydro-édaphiques pour l'irrigation-drainage.....	42
2.1.2. Estimation de la meilleure conduite d'irrigation .....	50
B. Méthode indirecte .....	58
2.2. Méthodes d'analyse.....	58

2.2.1. Méthodes d'analyse des eaux.....	58
2.2.2. Méthodes d'analyses des sols.....	61

### ***Partie III. Résultats et discussions***

#### ***Chapitre IV. Contraintes hydro-édaphiques dans les stations d'étude***

1. Caractérisation hydriques.....	66
1.1. Etude de l'irrigation.....	66
1.2. Etude du drainage.....	71
1.3. Etude de la nappe phréatique.....	76
2. Caractérisation édaphique.....	82
2.1. Etude morphologique.....	82
2.2. Etude analytique.....	89
3. Conclusion.....	105

#### ***Chapitre V. Variabilité spatiale des contraintes hydro-édaphiques et d'enracinement***

1. Variabilité spatiale des eaux phréatiques.....	107
1.1. Niveau statique.....	107
1.2. Niveau piézométrique.....	109
2. Variabilité spatiale des obstacles mécaniques.....	110
3. Variabilité spatiale de la salinité et de l'alcalinité des sols.....	112
4. Variabilité spatiale de la perméabilité des sols.....	115
5. Impact des contraintes hydro-édaphique sur l'enracinement.....	116
6. Conclusion.....	119

#### ***Chapitre VI. Estimation de la meilleure conduite d'irrigation***

1. Détermination des paramètres d'irrigation.....	121
1.1. Besoin en eau des palmiers dattiers.....	121
1.2. Préparation des planches et techniques d'irrigation.....	122
1.3. Paramètres théoriques de l'irrigation de submersion.....	123
2. Détermination des paramètres climatologiques.....	127

2.1. La température de l'aire.....	127
2.2. Vitesse du vent .....	128
2.3. Humidité de l'aire.....	129
2.4. Evapotranspiration.....	130
3. Conclusion.....	130

### *Chapitre VII. Effet d'irrigation sur lessivage des sels*

1. Variabilité spatiale de la salinité et l'alcalinité après irrigation .....	132
1.1. Evolution de la salinité et d'alcalinité après la 1 <sup>ère</sup> irrigation.....	132
1.2. Evolution de la salinité après 07 jours .....	134
1.3. Evolution de la salinité après 14 jours .....	135
1.4. Evolution de la salinité après la deuxième irrigation .....	137
2. Impact de lessivage sur l'évolution de la salinité.....	138
3. Estimation de la salinité selon les biotopes.....	140
4. Impacte de lessivage et d'accumulation des sels sur la salinité .....	143
4.1. Biotope NSC.....	143
4.2. Biotope NMPC.....	145
5. Conclusion.....	148

<i>CONCLUSION GENERALE.....</i>	<i>150</i>
---------------------------------	------------

### *REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES*

Annexes



Introduction générale

## *INTRODUCTION GÉNÉRALE*

Les oasis ont toujours été perçues comme symboles de gestion d'une eau rare, les techniques hydrauliques adoptées ont créé un paradoxe au Sahara : des oasis malades de trop d'eau! (COTE, 1998 ; MAMOU, 1990). L'accroissement des débits fournis et la forte minéralisation des eaux ont eu des conséquences directes et à plusieurs niveaux ; une baisse du niveau piézométrique de la nappe du CT et la disparition de l'artésianisme, la remontée des nappes phréatiques, le drainage déficient et la salinisation des sols, limitation des espèces cultivées sous palmiers et réduction des rendements en dattes. Le taux de renouvellement de ces nappes ne dépasse pas 15% en Tunisie (MTIMET ET HACHICHA, 1995) et en 5% Algérie (TESCO-VISITEREV, 1985).

En Afrique du Nord, la combinaison entre un passé géologique favorable au stockage des sels, l'aridité du climat, l'hydrologie, et l'irrigation mal contrôlée font de la salinisation des sols une menace permanente (AUBERT, 1975 ; HULLIN, 1983).

La salinité est parmi les problèmes majeurs qui affectent les sols et les eaux dans beaucoup de pays du monde (SZABOLOCS, 1979). Elle constitue une grande menace pour certains sols cultivés dans le monde (CHEVERRY ET BOURRIE, 1998). Elle est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent la productivité végétale (AL-KARAKI, 2000; BAATOUR *et al.*, 2004), et le rendement agricole (ZID et GRIGNON., 1991; ZHU., 2001).

En Algérie, de l'est à l'ouest, et de la côte au Sahara, les sols agricoles sont dans leur forte majorité affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (DURAND, 1958 ; HALITIM, 1973). Au Sahara le problème est d'autant plus accentué puisque toutes les conditions sont réunies pour qu'il ait une forte concentration en sels (DUBOST, 1994). Dans les milieux arides et semi arides, elle résulte des fortes évaporations d'eau à partir du sol (MUNNS *et al.*, 2005) et d'une irrégulière et insuffisante pluviométrie (MEZNI *et al.*, 2002). Elle provient également de l'irrigation le plus souvent mal contrôlée (BEN NACEUR *et al.*, 2001).

Chaque année, les surfaces perdues à cause de la salinité des sols, varient autour de 20 millions d'ha dans le monde. Ainsi, ces surfaces sont passées de 48 millions à 265 millions d'ha de terres agricoles touchées par la salinité, les surfaces agricoles affectées dans le monde seraient de 340 millions d'ha, soit 23% des terres cultivées dans le monde (CHEVERRY.,

1995). Selon SZABOLCS (1994), un milliard d'ha est menacé. Dont 3,2 millions d'ha en Algérie (BELKHODJA et BIDAI., 2004).

Le monde perd en moyenne 10 hectares de terres cultivables par minute, dont au moins 3 ha de terres arables et ce à cause de la salinité du sol (KOVDA, 1983 ; IPTRID, 2006). D'après l'Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage, le problème de la salinité des sols en Algérie touche une grande partie des terres agricoles avec des degrés différents. L'étude réalisée dans les hauts plateaux, l'Ouest et le Sud algérien a montré des superficies affectées par la salinité de l'ordre de un million d'hectare, 400 000 hectares et 100 000 hectares, respectivement (INSID, 2016).

Une étude rapporte qu'en Algérie, les terres irriguées, dégradées par la salinisation représentent environ de 10 à 15 % des périmètres irrigués (HAMDY *et al.*, 1995 ; CHEVERY et ROBERT, 1998). Les eaux d'irrigation au Sahara algérien contiennent des quantités excessives de sels solubles. Cette salinité se concentre dans la zone racinaire et provoque la salinité des sols (DAOUD et HALITIM, 1994).

Les sols de la région d'Ouargla, sont parmi les sols affectés par les sels. Cette salinité est due à de multiples facteurs: l'aridité du climat, l'importance de l'évapotranspiration la remontée de la nappe phréatique qui nécessite une bonne gestion de l'irrigation-drainage etc.

La cuvette de Ouargla compte parmi les régions sahariennes confrontées à de nombreux problèmes environnementaux et hydro-édaphiques de différentes natures qui touchent principalement le système agraire des palmeraies. Ces contraintes hydro-édaphiques présentent des impacts sur la performance des palmeraies (SAKER et DADDI BOUHOUN, 2006b ; DADDI BOUHOUN *et al.*, 2009 ; DADDI BOUHOUN, 2010 ; DADDI BOUHOUN *et al.*, 2011). Elle a fait l'objet de nombreuses études agronomiques, notamment les ressources phoenicoles et les conduites agricoles (IDDER, 2005 ; BOUAMMAR *et al.*, 2008 ; IDDER *et al.*, 2011). Certaines d'entre elles, se sont intéressées à l'environnement hydrique de la nappe phréatique, source principale de sels, pour étudier son origine, sa qualité, sa fluctuation piézométrique (CÔTE, 1998 ; NEZLI, 2004 ; TABOUCHE et ACHOUR, 2004 ; NEZLI *et al.*, 2007 ; DJIDEL, 2008 ; IDDER, 2007) ainsi que l'effet de la gestion des eaux en palmeraies sur l'hydro-halomorphie des sols (HAMDI AISSA, 2001 ; BENCHELLAL *et al.*, 2009 ; DADDI BOUHOUN et BRINIS, 2006 ; DADDI BOUHOUN *et al.*, 2008 ;) et l'enracinement (DADDI BOUHOUN *et al.*, 2009 ; DADDI BOUHOUN, 2010) et le rendement du palmier dattier (DADDI BOUHOUN *et al.*, 2011 ; DADDI BOUHOUN *et al.*, 2012). Ces approches de recherche ont permis d'apprécier les problèmes et le niveau de dégradation de l'environnement oasien dans la cuvette de Ouargla, notamment ceux dus à la

gestion des eaux d'irrigation.

Ces recherches ont permis d'étudier l'environnement hydro-édaphique et d'estimer le niveau de dégradation de certaines palmeraies, l'exploitation agricole de l'université de Ouargla. Elles montrent que la cuvette de Ouargla ne présente pas d'exutoire naturel pour les eaux excédentaires de drainage et d'assainissement, ce qui favorise leur stagnation et la salinisation des sols, et bien sûr la remontée capillaire des eaux phréatiques. Toutefois, ces travaux restent limités dans l'espace et non spécifiques à chaque palmeraie.

Ce travail de recherche consiste à étudier le lessivage des sels dans les sols salés par rapport aux contraintes hydro-édaphiques existantes avec une variation des doses. Notre approche méthodologique va apprécier premièrement l'effet de la conduite de l'irrigation-drainage pratiquée en palmeraie sur la salinisation des sols, et étudier les contraintes hydro-édaphiques existantes. Puis pratiquer par expérimentation une conduite d'irrigation optimisant le lessivage des sels avec des fractions de lessivage variables. Cette étude est réalisée en plusieurs étapes :

Notre thèse comporte trois parties principales, à savoir :

**1. Synthèse bibliographique :** Elle présente la région d'étude de Ouargla, particulièrement les potentiels hydro-édaphiques et agricoles de la cuvette de Ouargla ainsi que le problème de salinisation des sols.

**2. Matériel et méthodes :** Elle expose les motifs de choix de la cuvette de Ouargla et de la palmeraie de l'exploitation de l'université ainsi que l'approche méthodologique adoptée.

**3. Résultats et discussion :** Elle dévoile et interprète les résultats sur la gestion d'irrigation-drainage et évalue la dégradation hydro-édaphique à l'exploitation, puis faire une étude expérimentale d'optimisation du lessivage par conduite contrôlée de l'irrigation. En fin proposer par rapport aux contraintes hydro-édaphiques existantes la meilleure approche d'irrigation qui permet le meilleur lessivage des sels dans les sols étudiés de la cuvette de Ouargla.



A yellow scroll graphic with a black outline, featuring a vertical strip on the left side and a small circular tab on the top right. The text is written in a black, handwritten-style font.

Première Partie

Cadre d'étude et problématique



# Chapitre 1

Présentation de la région d'étude

## *Chapitre I. Présentation de la région d'étude*

### **1. Situation géographique**

La ville d'Ouargla, chef lieu de la wilaya d'Ouargla (Fig.1) est située au Sud-est algérien, au fond d'une cuvette très large de la vallée de l'Oued M'ya. A environ 800 Km d'Alger

La wilaya d'Ouargla couvre une superficie de 163.230 Km<sup>2</sup> elle est limitée (KHADRAOUI, 2006):

- au nord par la wilaya de Djelfa et la wilaya d'El-Oued,
- à l'est par la Tunisie sur 500 Km,
- au sud par la wilaya de Tamanrasset et la wilaya d'Illizi,
- à l'ouest par la wilaya de Ghardaïa.

La cuvette de Ouargla s'étend sur une superficie de 99000 Hectares ; avec une longueur de 45 Km dans la direction sud-ouest, Nord-est et une largeur de 2 à 5 Km 32° de l'attitude Nord et 5° 20' de longitude Ouest (DJIDEL, 2008). La région de Ouargla est limitée géomorphologiquement au sud par le grand reg oriental, à l'ouest par la vallée du M'Zab et au Nord par la vallée de l'Oued Righ (ENCYCLOPEDIE, 2015)

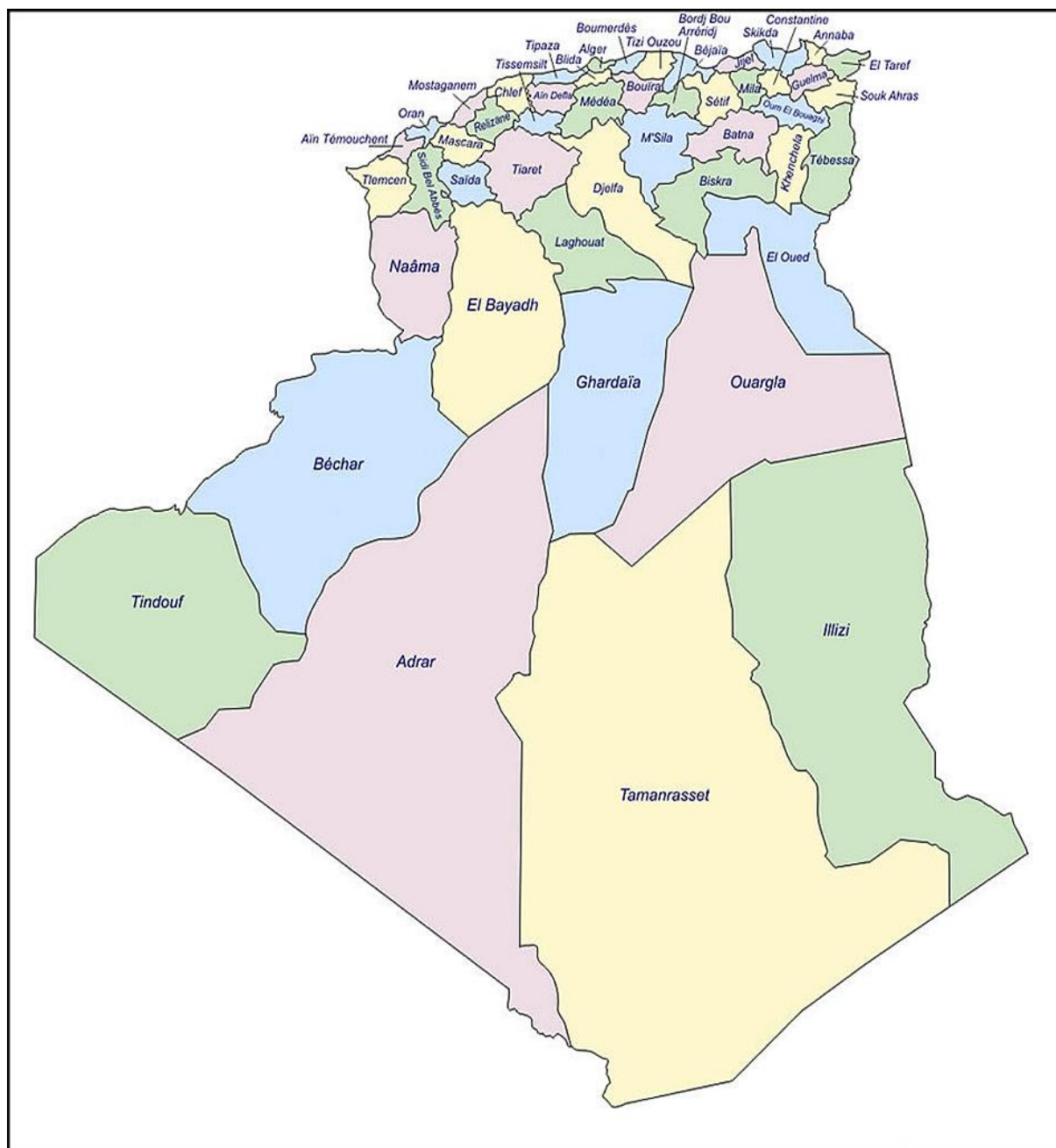


Figure I 1. Limites géographiques de la wilaya d'Ouargla (METROALGER, 2016)

## 2. Climat

Selon ROUVILLOIS-BRIGOL (1975), le climat d'Ouargla est particulièrement contrasté, avec la latitude relativement septentrionale. Elle se situe dans une zone saharienne, son climat sec désertique est caractérisé par une aridité qui s'exprime par l'irrégularité et la rareté des précipitations, une sécheresse permanente, des amplitudes thermique très importantes et un régime des vents qui se traduit par des courants chauds et secs. La présente caractérisation est faite à partir d'une synthèse climatique de 10 ans, entre 2005 et 2014, à partir des données de l'office national de météorologie.

**Tableau I 1.** Données climatiques de la région de Ouargla entre 2005 et 2014

(O.N.M. Ouargla, 2015)

Mois	Température (°C)			Hr (%)	V (m/s)	P (mm)	E (mm)
	T moy	T max	T min				
<b>Janvier</b>	11,94	18,76	5,11	55,9	8,9	9,1	118,58
<b>Février</b>	13,97	21,09	6,84	36,8	12,5	1,23	148,49
<b>Mars</b>	18,41	25,82	11	34,6	17,4	3,92	215 ,09
<b>Avril</b>	22,8	30,36	15,25	22,2	12,9	2,11	278,53
<b>Mai</b>	27,33	34,89	19,77	22,6	18	1,45	351,1
<b>Juin</b>	32,54	40,29	24,80	19,6	18,4	0,68	407,61
<b>Juillet</b>	35,95	43,69	28,21	16,8	15,8	0,32	462,8
<b>Août</b>	35,07	42,85	27,3	17,1	14	1,7	434,73
<b>Septembre</b>	30,68	37,75	23,51	21,2	14,9	3,56	307,3
<b>Octobre</b>	24,89	32,18	17,6	27,2	10,9	5,73	255,44
<b>Novembre</b>	17,31	24,18	10,44	40,8	10,8	7,25	143,19
<b>Décembre</b>	12,63	19,23	6,05	54,8	9,4	4,63	103,12
<b>Moyenne</b>	23,62	30,92	16,32	30,8	13,65	41,68*	3225,98

\* Cumul

## 2.1 Température

La température moyenne annuelle est de 23,62 °C. En Juillet, pour le mois la plus chaud, elle est de 35,95°C. En Janvier, pour le mois le plus froid, elle est de l'ordre de 11,94°C (Tabl. I 1).

## 2.2 Précipitation

Les précipitations sont très rares et irrégulières. Leur répartition est marquée par une sécheresse presque absolue de mai jusqu'à août, et par un maximum au mois d' avril avec 2,11mm. La valeur maximale est enregistrée durant le mois de janvier (9,1 mm) et le cumul annuel de pluviosité est de l'ordre de 41,68 mm (Tabl. I 1).

### 2.3. Humidité relative

L'humidité relative de l'air à Ouargla est très forte avec une moyenne annuelle de 30,8 % (Tabl. I). Elle atteint son maximum au mois de janvier (55,9 %) et son minimum au mois de juillet (16,8%).

### 2.4. Evaporation

La région est caractérisée par une évaporation très importante. Elle est de 3225,98 mm/an avec un minimum de 103,12 mm au mois décembre, le maximum enregistré est de 462,8 mm au mois de Juillet (Tab.I 1).

### 2.5. Vents

Dans la région de Ouargla, les vents soufflent du Nord-Est et du Sud. Les vents les plus fréquents en hiver sont les vents d'Ouest, tandis qu'au printemps les vents du Nord-Est et de l'Ouest dominent. En été, ils soufflent du Nord-Est et en automne du Nord-Est et Sud-Ouest (DUBIEF, 1963). D'après les données de (l'O.N.M, 2015) pour la période de 2005-2014, Les vents sont fréquents sur toute l'année avec une moyenne annuelle de 13,65 m/s. (Tabl. I 1) Cette vitesse peut produire une érosion éolienne dans la région.

## 3. Classification du climat

### 3.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN (1955, in DADDI BOUHOUN, 2010) permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. Il est représenté :

- En abscisse par les mois de l'année ;
- en ordonnées à gauche par les précipitations en mm ;
- en ordonnées à droite par les températures moyennes en °C ;
- Une échelle de  $P=2T$ .

L'aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche. Dans la région de Ouargla, nous remarquons que cette période s'étale sur toute l'année (Fig. I 2).

### 3.2. Climagramme d'EMBERGER

Le climagramme d'EMBERGER (1955, in FLORET et PONTANIER, 1984) nous permet de classer l'étage bioclimatique par le calcul du quotient pluviothermique ( $Q_2$ ) adapté pour l'Algérie selon la formule de STEWARD (1969), qui se présente comme suit :

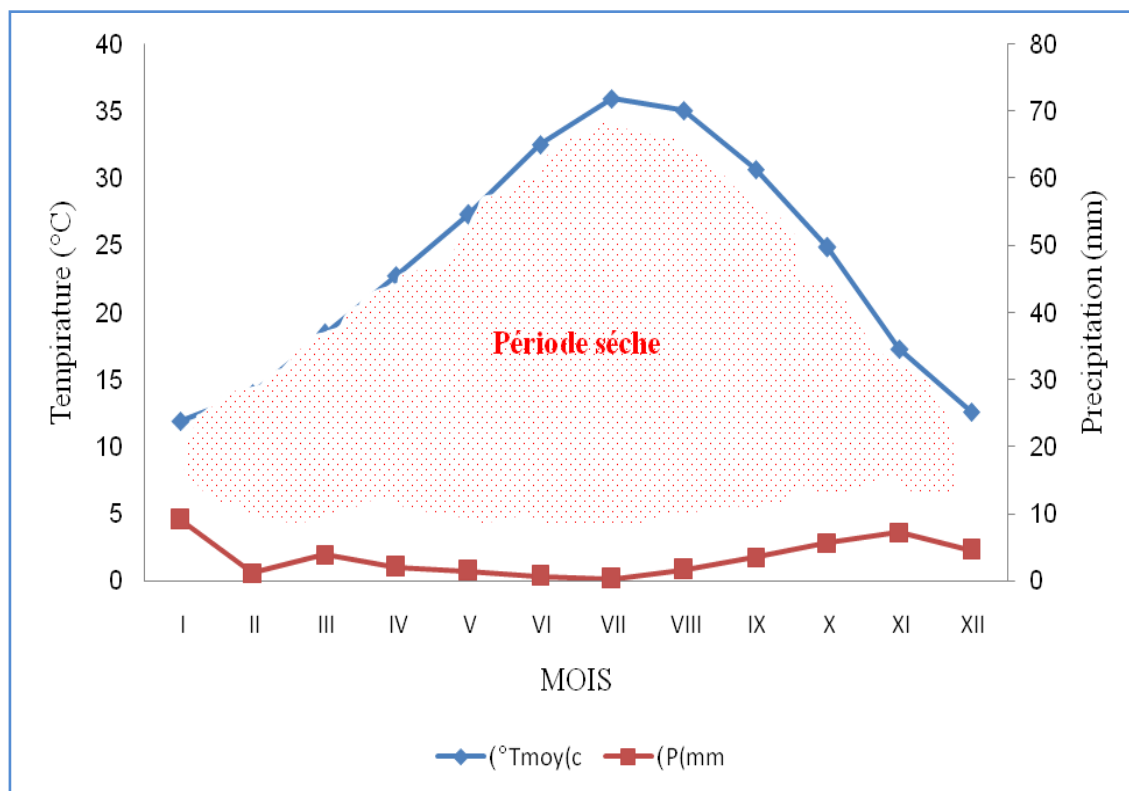
$$Q_2 = 3.43 \frac{P}{M - m}$$

$Q_2$  : quotient thermique d'EMBERGER

P : pluviométrie moyenne annuelle en mm

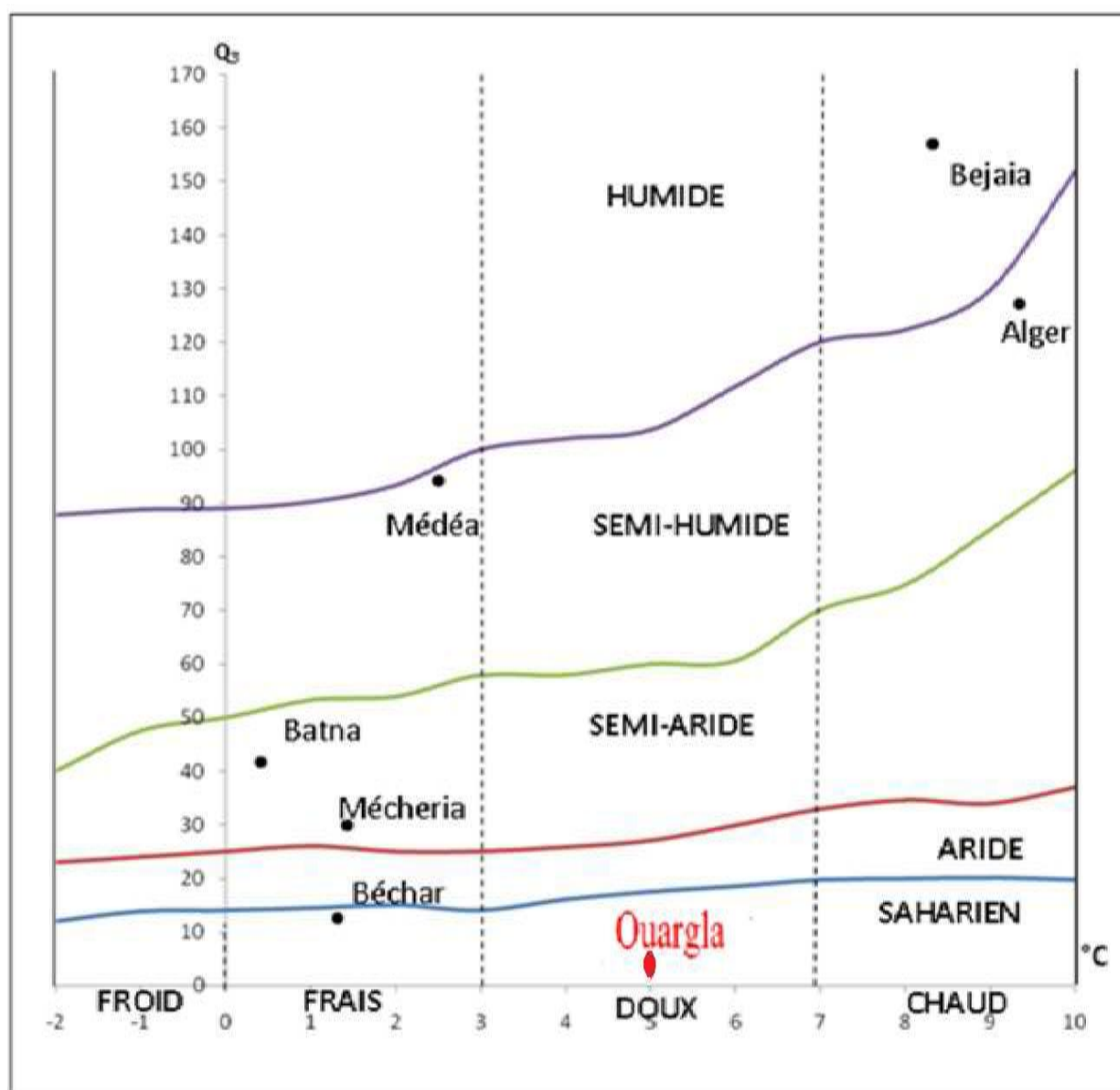
M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C (M = 43,69 °C).

m : moyenne des maxima du mois le plus froid en °C (m = 5,11°C).



**Figure I 2.** Diagramme ombrothermique à Ouargla entre 2005 et 2014

Le quotient pluviométrique ( $Q_2$ ) de la région d'Ouargla calculé pour une période de dix ans (2005-2014) est égal à 4,83. En rapportant cette valeur sur le Climagramme d'EMBERGER, accompagnée de la valeur de la température minimale (m = 5,11°C.) du mois le plus froid, on constate que la région d'Ouargla appartient à l'étage bioclimatique saharien à hiver doux (Fig. I 3).

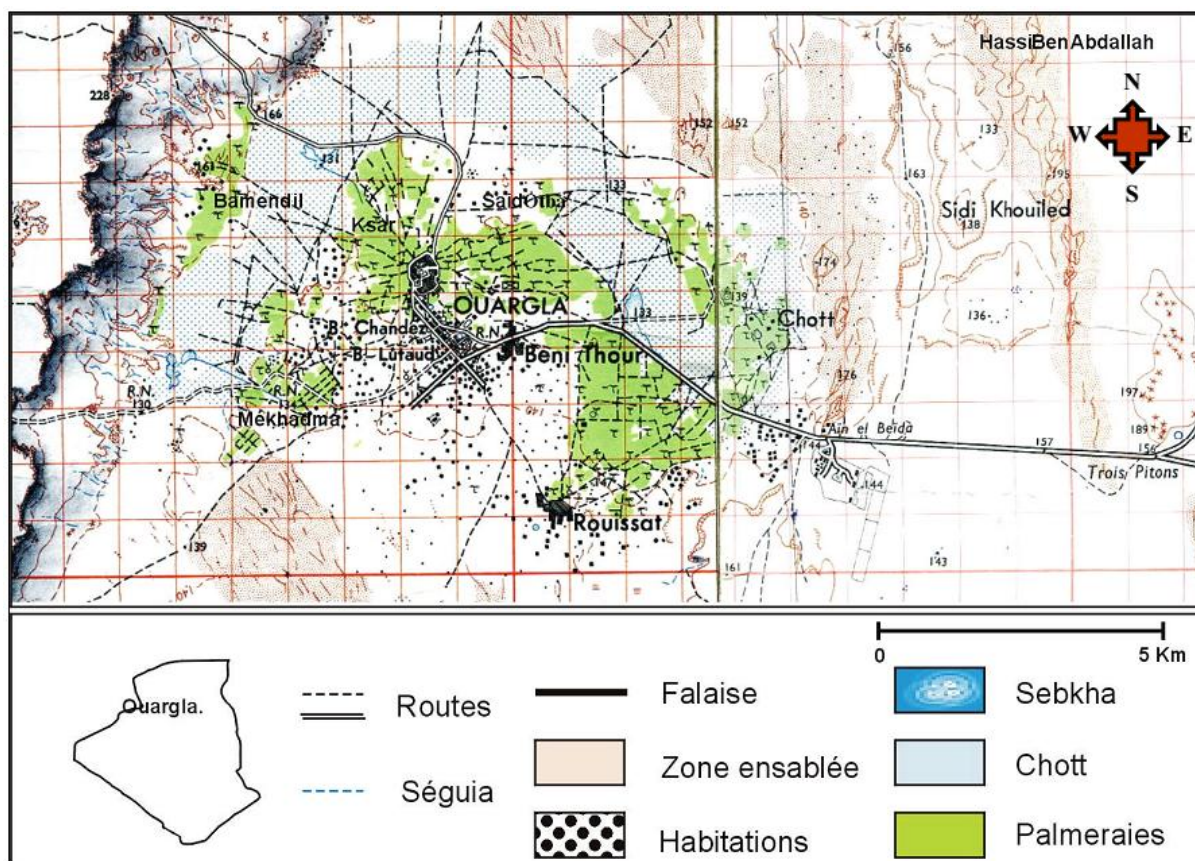


**Figure I 3.** Climagramme d'EMBERGER de la région de Ouargla (2005-2014)

#### 4. Topographie

Le relief de la région de Ouargla est caractérisé par des pentes légèrement inférieures à 1%. Toute fois ce palier de pente n'est pas constant. La région de Ouargla se trouve encaissée au fond d'une cuvette très large de la basse vallée fossile quaternaire de l'Oued M'ya descendant en pente douce au plateau de Tadmaït et qui se termine à 20 km au Nord de Ouargla avec une largeur de près de 45 km (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).





**Figure I 4.** Carte topographique de la cuvette de Ouargla (I.G.N., 1960 in DADDI BOUHOUN, 2010)

## 5. Pédologie

Les sols de l'oasis de Ouargla sont de prédominance sableuse (KHADRAOUI, 2007 ; DADDI BOUHOUN, 2010). Les résultats de l'étude des secteurs phoenicoles de la cuvette de Ouargla montrent une dégradation de son environnement hydro-édaphique, notamment une halomorphie d'irrigation ou associée à des obstacles mécaniques de croûtes gypso-salines à gypsocalcaires-salines en nappes profondes, et une hydro-halomorphie de nappes superficielles ou associée à des obstacles mécaniques de croûte (DADDI BOUHOUN, 2010). Ils sont caractérisés également par un faible taux de matière organique, une faible teneur en éléments fertilisants et une forte salinité (KHADRAOUI, 2007) ainsi qu'une sodisation des sols (NEZLI et *al.*, 2007). D'après HAMDI-AÏSSA (2001), les sols dans la cuvette de Ouargla sont à prédominance salsodique, hydro-halomorphe et minéraux bruts.

L'intensité de l'évaporation et la remontée des nappes phréatiques accentuent l'accumulation des sels dans les couches superficielles des sols (I.N.S.I.D, 2008). La dégradation du milieu édaphique peut conduire à la longue, en cas d'absence de drainage, au dépérissement des palmiers dattiers et contribue à la désertification de l'environnement oasien de Ouargla (DADDI BOUHOUN et *al.*, 2011 ; DADDI BOUHOUN et *al.*, 2013 ).

## 6. Hydrogéologie

La région de Ouargla repose sur un énorme réservoir d'eaux souterraines, il s'agit du système aquifère du Sahara septentrional qui renferme une série de couches aquifères qui ont été regroupées en deux réservoirs appelés communément : le Continental Intercalaire (CI) et le Complexe Terminal (CT) (HOUARI *et al.*, 2014). Une troisième formation d'importance plus modeste s'ajoute aux deux précédents : la nappe phréatique ou nappe superficielle.

### 6.1. Nappe phréatique

Elle n'est pas utilisée ni pour l'alimentation en eau potable ni pour l'irrigation. Sa teneur en sels élevée qui est généralement de 10 à 15 g.l<sup>-1</sup> de résidu sec sur l'ensemble de la région et peut dépasser les 25g à la périphérie des chotts. Son niveau d'eau est proche de la surface du sol (KHADRAOUI, 2006), sa profondeur varie de surface à 8 m en fonction du lieu et de la saison. Ce qui confère aux eaux de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla le faciès chlorure sodique (78,26% des échantillons) (NEZLI *et al.*, 2007 ; HAMDI-AÏSSA et FEDOROFF, 1997 ; HAMDI-AÏSSA *et al.*, 2000). Les eaux de cette nappe présentent une pollution organique à différents degrés (DJIDEL, 2008).

Les mesures les plus récentes et faites sur quelques piézomètres indiquent que le niveau piézométrique de la nappe est aujourd'hui situé entre 130 et 135 m. Le niveau hydrostatique est supérieur à 2 m à la périphérie de la cuvette, entre 0,5 à 1 m au fond de la cuvette, dans les palmeraies limitrophes du chott. Le niveau diminue progressivement vers la sebkha jusqu'à l'affleurement au centre (GUENDOZ *et al.*, 1992 ; A.N.R.H., 1994 ; HAMDI-AÏSSA et FEDOROFF, 1997 ; HAMDI-AÏSSA *et al.*, 2000), où l'eau atteint une hauteur de 0,2 à 0,8 m en 1991 (PILLET et IDDER, 1995). En 1998, la profondeur de la nappe est estimée entre 0 et 3 m dans la cuvette, et dépassant 3 m en zones situées à la périphérie de la cuvette (A.N.R.H., 2000).

La forte salinité des eaux phréatiques est due essentiellement à la présence des formations gypseuses et argileuses salées dans le sous-sol de certaines zones de l'oasis de Ouargla. Tandis que la faible minéralisation des eaux phréatiques est due à la dilution par les eaux d'irrigation moins salées, l'absence des niveaux gypseux et la présence de formations sableuses dans le sous-sol (HAMDI-AÏSSA, 2001 ; A.N.R.H., 2003).

Les études effectuées par l'agence nationale des ressources en eau (A.N.R.H., 2001), sur quelques piézomètres des palmeraies de la cuvette de Ouargla, montrent que la salinité et le faciès chimique des eaux phréatiques varient au niveau des palmeraies.

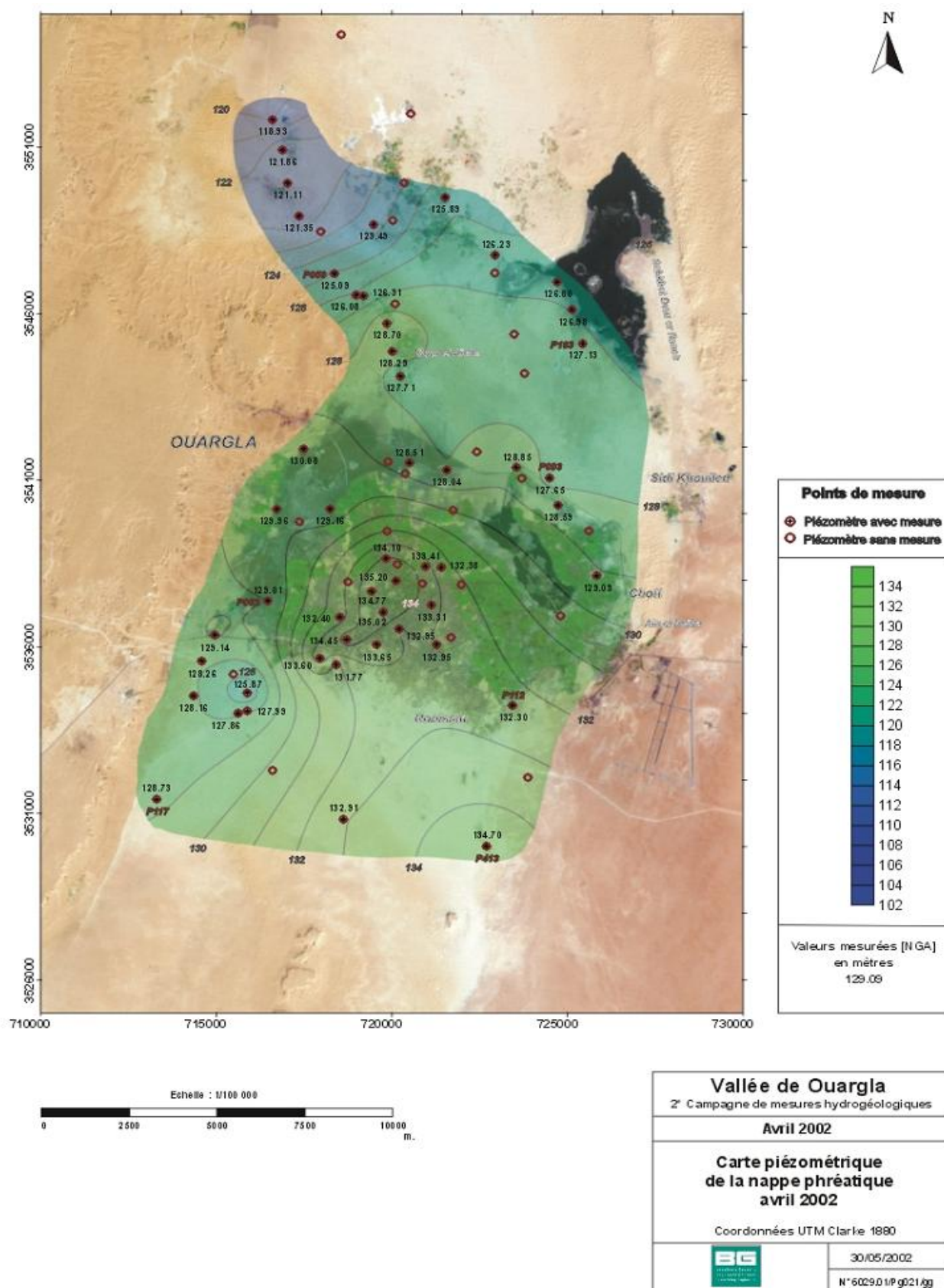


Figure I 5. Carte piézométrique de la nappe phréatique en avril 2002  
(BONNARD et GARDEL, 2005)

Le problème de remontée de la nappe phréatique dans la cuvette de Ouargla ces dernières années est dû à la multiplication des points d'eau, au mauvais drainage des eaux agricoles et à la mauvaise gestion des eaux usées. Le drainage reste peu efficace, à cause de l'absence d'exutoire (CÔTE, 1998). Ce parcours succinct montre une remontée importante de la nappe phréatique entre 1883 et 1998. À cette allure et en cas d'absence d'une bonne gestion des eaux usées, d'irrigation et de drainage, les zones basses de la cuvette de Ouargla risquent d'être inondées.

Les effets nuisibles de la remontée des eaux dans la cuvette sont accentués par l'inexistence de réseaux de drainage efficaces. Le drainage se fait dans les palmeraies par des canaux à ciel ouvert et les eaux usées sont rassemblées par des collecteurs des eaux usées. L'ensemble de ces eaux de rejet étant évacué par pompage vers la zone d'Oum Er-Raneb, située dans la cuvette à 8 km de la ville de Ouargla. Toutefois, l'absence d'un vrai exutoire pour les eaux de la cuvette, fait planer un risque de saturation de la zone de rejet et le retour des eaux, s'il n'y a pas une stratégie de gestion rationnelle des eaux.

## **6.2. Nappe du complexe terminal**

Le CT est le système le plus exploité (DURAND et GUYOT, 1955). Il alimente les palmeraies du Bas-Sahara, aux Ziban, Oued Rhir, Oued Souf et Ouargla. Il couvre 350000 km<sup>2</sup> du bassin oriental du Sahara septentrional (HAMDI-AÏSSA, 2001). Il regroupe plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques entre le Turonien et le Miopliocène (CORNET, 1964). L'exploitation en Algérie était de 9 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> en 1970, atteindrait aujourd'hui 15 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup> (DUBOST, 1992). Le complexe terminal à Ouargla est composé de nappes Miopliocène et du Sénonien, plus profonde (GUENDOUIZ et al., 1992). L'épaisseur de ces formations géologiques est consécutivement de 87 m et 159 m (KARPOFF, 1952). Il y a 598 forages à Ouargla dont 48,66 % non utilisés. La cuvette de Ouargla présente 349 forages dont 183 pour l'irrigation, 169 de nappe Miopliocène et 14 du Sénonien. La profondeur des forages varie de 30 à 237 m (A.N.R.H., 2004).

La première nappe utilisée à Ouargla après les puits artésiens fut celle du Miopliocène, en 1883, à une profondeur de 30-60 m (PILLET et IDDER, 1995). Elle s'écoule du Sud-Ouest vers le Nord-Est. La salinité de cette nappe varie de 1,8 à 4,6 g.l<sup>-1</sup> (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975). La nappe du Sénonien fut exploitée pour la première fois en 1953 à Mékhadma, à une profondeur de 150-195 m. Elle présente un débit et une salinité plus faibles par rapport au Miopliocène (PILLET et IDDER, 1995 ; A.N.R.H., 2004). Les forages fournissent 32195,3 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> pour une superficie irriguée de 1915 ha (D.P.A.T., 2001 ; A.N.R.H., 2004). Le débit fourni est largement suffisant pour les palmeraies, car il dépasse les besoins en eau du

palmier dattier, estimés à  $26383 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$  (MONCIERO, 1950 in DADDI BOUHOUN, 2010).

Les concentrations en fluor dans les nappes les moins profondes du CT dépassent fréquemment les teneurs recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), soit  $0,6$  à  $0,8 \text{ mg.l}^{-1}$ , selon la température diurne maximale de la région considérée (NEZLI et al., 2009).

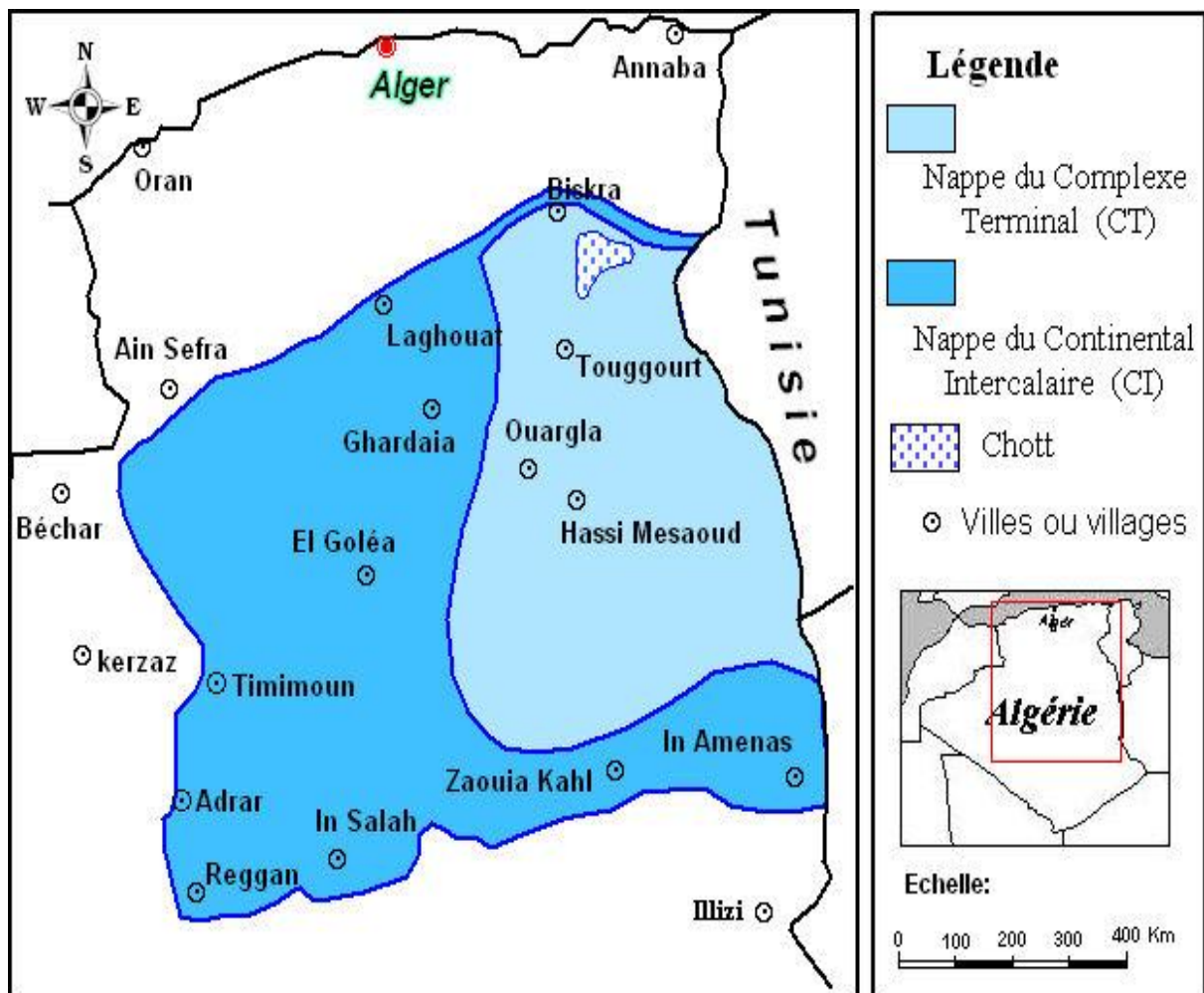


Figure I 6 : carte des ressources en eaux souterraines (UNESCO, 1972)

### 6.3. Nappe Continental Intercalaire

La nappe du continental intercalaire est une nappe fossile (CORNET et GOUSCOV, 1952), fortement artésienne, qui n'est pas réalimentée par la climatologie actuelle. Cette nappe est captée par une profondeur de 1000 m (Gassi Touil) et 1500 m (Ouargla) et dépasse 1500 m de profondeur au Nord-Est, à Oued Righ et aux Ziban (NESSON, 1978). Elle est captée à une profondeur allant de 1760 m dans la partie Sud et à 2200 m dans la partie Nord de la vallée (DUBOST, 1986). Il s'étend sur plus de  $600000 \text{ Km}^2$  avec un volume évalué à 50000 milliards de  $\text{m}^3$  (PNUD-UNESCO, 1972).

Elle se distingue par un débit important qui peut dépasser les 200 l.s<sup>-1</sup>, une salinité relativement faible (inférieure généralement à 2 g.l<sup>-1</sup> de résidu sec, et environ de 2,4 dS.m<sup>-1</sup> (KHADRAOUI, 2006). Les eaux du Continental Intercalaire sont caractérisées par une température qui dépasse parfois le 60°C son alimentation est relativement faible (ZAHROUNA, 2011). Elle affleure au Sud-Ouest algérien où depuis longtemps on exploite l'eau par les foggaras de Gourara, du Touat et du Tidikelt (DUBOST, 1992).

La nappe albienne fut exploitée pour la première fois à Ouargla en 1956, à une profondeur de 1100-1400 m. Elle présente un débit de 200 à 250 l.s<sup>-1</sup>, une température d'environ 50 °C et une salinité plus faible par rapport au Sénonien. La température élevée des eaux pose un problème en agriculture (PILLET et IDDER, 1995). La salinité des eaux albiennes oscille entre 1,6 et 3 g.l<sup>-1</sup> (A.N.R.H., 2000).

## Chapitre II

# La salinisation des sols irrigués

## *Chapitre II. La salinisation des sols irrigués*

Les sels des sols et des eaux, ont été reconnus comme un problème depuis des milliers d'années, particulièrement dans les régions arides et semi-arides où il n'y a pas suffisamment de pluie pour lessiver les sels au-delà de la zone racinaire.

### **1. Définition de la salinisation**

il y'a plusieurs définitions de la salinisation :

- La salinisation est défini par SERVANT (1975), comme étant l'ensemble des mécanismes suivant lesquels le sol s'enrichit en sels solubles et acquiert, à un degré plus ou moins fort, le caractère salé. CHERBUY (1991) a ajouté qu'il s'agit d'un processus résultant de la migration des sels à travers le profil du sol et de leur accumulation, par précipitation en profondeur.
- La salinisation est un processus d'accumulation des sels à la surface du sol et dans la zone racinaire qui occasionne des effets nocifs sur les végétaux et le sol, il s'en suit une diminution des rendements, et à terme, une stérilisation des sols (MERMOUD, 2006).
- MERMOUD (2001) vient d'indiquer que ce phénomène d'accumulation des sels solubles (en particulier le sodium) à la surface du sol et dans la zone racinaire, occasionne des effets nocifs sur les végétaux qui vont induire une diminution des rendements et une stérilisation du sol.
- FRANÇOIS(2008) a actualisé la définition de la salinisation comme étant un phénomène par lequel un sol devient sur salé. La salinisation résulte le plus souvent de l'irrigation de sols mal drainés sous climat aride. La stagnation de l'eau dans les couches superficielles du sol par défaut de drainage se traduit par une accumulation de sels dans les horizons les plus superficiels, car les mouvements ascendants, liés à la forte évaporation due au climat chaud et aride, excèdent de beaucoup l'infiltration et donc le lessivage.

### **2. Définition de la salinité**

Plusieurs auteurs ont défini la salinité des sols comme étant la présence de concentration excessive de sels solubles, ou lorsque les concentrations en Na, Ca, Mg sous formes de chlorures, carbonates, ou sulfates sont présentes en concentrations anormalement élevées. Un sol salé indique la prédominance de NaCl (ASLOUM., 1990).



La salinité des sols et des eaux, constitue un obstacle majeur sur la croissance des végétaux, dans les régions arides et semi-arides.

### 3. Définition des sols salés (sols halomorphes)

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

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles. On parle en général de sol salé lorsque la concentration des solutions dépasse  $0,5 \text{ g.l}^{-1}$  (ROBERT., 1996).

Génétiqument, les sols sont constitués par deux unités très différentes, les salisols, dans lesquels les sels de sodium, de calcium ou de magnésium sont sous la forme soluble de sels simples ou complexes. Les sodisols à complexe sodique dans lesquels les cations, essentiellement le sodium sont sous la forme échangeable, les sels solubles étant très peu abondants (BOUTEYRE *et* LOYER., 1992).

La teneur en sels est le critère le plus important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Cette teneur peut être exprimée en termes de conductivité électrique ou en ppm ou méq/l. Généralement, une augmentation de la teneur en sels dans l'eau d'irrigation résultera dans une augmentation de la salinité de la solution du sol.

#### 3.1. Genèse de conditions salines et /ou sodique

La formation d'un sol salin (parfois dit « salé ») ou sodique résulte généralement de l'accumulation des sels dans les horizons de surface (CHURCHMAN *et al.* 1993 ; NAIDU & RENGASAMY 1993 ; SUMNER 1993 ; KEREN 2000 ; LEVY 2000 ; BRADY & WEIL 2002 ; ESSINGTON 2004). Ce processus dépend essentiellement du régime hydrique du sol et des sources de sel. Lorsque le climat est chaud et sec, entraînés par les eaux capillaires suivant le flux d'évaporation, les sels sont accumulés en surface. Les sels les plus communs présents dans la solution du sol correspondent aux cations  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ , et aux anions  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{NO}_3^-$  (KEREN 2000 ; ESSINGTON 2004). De façon analogue à la formation d'un sol salin, un sol devient sodique lorsque la proportion d'ions  $\text{Na}^+$  dépasse celles des autres électrolytes de plusieurs ordres de grandeur (SUMNER 1993, LEVY 2000, ESSINGTON 2004). Cela dépend de la source de sels mais aussi des conditions physico-chimiques du sol. Selon (BOLT *et al* 1978), la salinité se produit si :

$$CE_i \times Q_i > CE_d \times Q_d$$

- Où :
- CE<sub>i</sub> : conductivité électrique moyenne de l'eau d'irrigation.
  - Q<sub>i</sub> : quantité d'eau d'irrigation.
  - CE<sub>d</sub> : conductivité électrique moyenne de l'eau de drainage.
  - Q<sub>d</sub> : quantité d'eau de drainage

### 3.2. Facteurs intervenant dans le processus de la salinisation

Selon WYN JONES et GOUSTON (1991), la salinisation des sols peut être due à :

- ✓ La lixiviation des sels solubles et/ou à l'évaporation, qui déposent leurs sels dans les sols.
- ✓ En régime, non saturé, la remontée capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol où ils s'accumulent après évaporation de l'eau (RAJU et *al.*, 1995).

## 4. Salinisation des terres dans le monde et en Algérie

Les terres émergées représentent 13,5 milliard d'ha. Mais quand on a retiré les déserts, les hautes montagnes, l'antarctique, le Groenland, il reste 3 milliard d'ha cultivable, soit 22% du total ; c'est seulement 50 fois la France (NAHON, 2008). Et la moitié de ces 3 milliards d'ha cultivable sont déjà cultivés. Comme on prévoit à court terme le doublement des populations humaines, il est plus que temps de se préoccuper de la sauvegarde du capital sol. Or, ce capital est inextensible et menacé (LEGROS, 2007). La salinisation des terres est un problème majeur à l'échelle du globe. Selon la FAO et les estimations les plus récentes, elle affecte déjà au moins 400 millions d'ha et en menace gravement une surface équivalente. Elle est donc très importante quantitativement puisque, encore une fois, nous n'avons qu'un milliard et demi d'ha cultivés sur la terre.

En Algérie, les sols agricoles sont dans leur majorité, affectés par la salinité ou susceptibles de l'être (DURAND, 1958). Les sols salins sont très répartis dans les basses plaines de l'Oranie, dans la vallée de Mina près de Relizane, sur les hautes plaines au sud de setif et de constantine, aux bords de certains chotts. Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra jusqu'à Touggourt, Ouargla et au-delà. (DURAND, 1958). Les sols salés d'Algérie sont caractérisés en général par une conductivité électrique supérieure à 7 dS.m<sup>-1</sup>.

## 5. Types de la salinisation

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

## 5.1. Salinisation primaire ou naturelle

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

### 5.1.1. Salinisation géologique

Les sels solubles peuvent provenir :

- ✓ Soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodiques potassiques et magnésiques. En région arides et semi-arides, ces sols se concentrant sur place ; dans les dépressions fermées.
- ✓ Soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates, etc. Les évaporites se localisent essentiellement dans les bassins élémentaires.
- ✓ Soit de l'altération des roches volcaniques (SERVANT, 1975).

### 5.1.2. Salinisation marine et lagunaire

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

## 5.2. Salinisation secondaire

Dans les zones à climat aride et semi-aride, la pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes causes de la salinisation secondaire. Actuellement, on dénombre environ 350 millions d'hectares irrigués dans le monde (SZABLOCS, 1994). Ces chiffres sont susceptibles d'être augmentés à l'avenir. En effet, (HAMDY et *al.*, 1995) ont constaté que les terres irriguées affectées par la salinité correspondent à 27% de la surface irriguées dans le monde. Cette menace selon CHEVERRY (1995) occasionne, chaque année des pertes de terres, variables selon les auteurs de 10 à 12 millions d'hectares.

## 6. Conditions climatiques de la salure

Les climats comportent deux caractéristiques qui s'ajustent parfaitement aux mécanismes de la mobilisation et de l'accumulation du salant (GAUCHER ET BURDIN, 1974) :

- Un régime irrégulier des précipitations avec une dominance des averses brutales qui sont séparées par des périodes de sécheresse : ce mécanisme de mobilisation du salant est assuré par les averses, qui peuvent éventuellement détacher des matériaux solides salés à partir des gisements originels et les transporter par ruissellement. Ces eaux vont

par la suite s'accumuler dans des zones de dépression et causer ainsi une remonté du niveau phréatique.

- Une saison sèche prolongée, pendant laquelle la chaleur et l'insolation provoquent une évaporation intense : ce mécanisme s'opérant en période sèche, il est le résultat d'une évaporation qui provoque l'ascension du salant par remontée capillaire.

## 7. Classification des sols salés

Selon DUCHAUFOR (1983), deux sous classes de sols halomorphes sont distinguées, sols à complexe sodique ou sols alcalins et Sols salins à complexe calcique.

### 7.1. Sols à complexe sodique ou sols alcalins

Caractérisés par une saturation marquée en Na et une accumulation des sels en profondeur. Ces sols se caractérisent par la présence d'une quantité importante de sodium qui dépasse les 15% de le C.E.C. (Capacité d'Echange Cationique). La conductivité électrique (C.E) ne dépasse pas 4 ds/m à 25°C, et le pH est supérieur à 8,5. La relative abondance de l'ion sodium, dans la garniture ionique absorbant, peut avoir deux origines distinctes:

- ✓ Elle peut provenir du sodium libéré par l'altération de certains minéraux alcalins.
- ✓ Elle peut résulter d'une saturation progressive du complexe en sodium, aux dépens d'une solution saline (DUCHAUFOR, 1983). Ces sols ont un profil peu stable, en raison de la grande facilité de dispersion des argiles, ils sont asphyxiants plutôt que physiologiquement secs.

### 7.2. Sols salins à complexe calcique

Caractérisés par une accumulation marquée des sels solubles en surface.

Ces sols se rencontrent dans les zones à climat sec. Ils se caractérisent par un pH généralement inférieur à 8,5 et supérieur à 7 et le sodium n'y forme pas plus de 50% des cations en solution (DAJOZ, 1982). La conductivité électrique de l'extrait aqueux à saturation est supérieur à 4,5 dS.m<sup>-1</sup> à 25°C, dans les horizons de surface (25 cm); 15 dS.m<sup>-1</sup> dans les horizons inférieurs (suivant la texture) (DUCHAUFOR, 1983); avec un taux de sodium échangeable (E.S.P) inférieur à 15% de la C.E.C du sol. Ces sols présentent une structure non dégradée, caractérisés par une richesse en sels solubles, tels qu'ils inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées (AUBERT, 1978).

## 8. Caractères des sels

### 8.1. Solubilité des sels

Les sels présents dans les sols n'ont pas la même solubilité, il en ressort que les chlorures sont les plus solubles, les sulfates, les carbonates et les bicarbonates sont

moyennement soluble. Lorsque les sulfates et les carbonates sont associés au calcium, ils deviennent presque insolubles (AUBERT, 1978).

## **8.2. Mobilité des sels**

Les sels dans le sol peuvent se déplacer d'un horizon à un autre sous l'action de divers facteurs. Les sels les plus solubles sont généralement les plus mobiles mais leur mobilité dépend : des états physiques de l'eau du sol, du gradient de température existant dans ce sol, et de sa texture (AUBERT, 1978).

## **9. Mesures de la salinité**

### **9.1. La conductivité électrique**

La salinité d'un sol se mesure par la conductivité électrique (CE) d'un extrait de la pâte saturée. Le « US Salinity Laboratory Staff » en 1954 a proposé le seuil de 4 dS/m pour définir un sol salin (ESSINGTON, 2004). Dans les années 70, on reconnaissait que la distinction entre un sol non salin et un sol salin est intimement rattachée à la tolérance aux sels des plantes considérées. On peut distinguer deux grands groupes de sols affectés par l'excès de sels :

- les sols salins : ont un excès de sels solubles de toutes sortes, excès suffisants pour affecter la production végétale sans affecter les propriétés physiques.
- les sols sodiques : ont un niveau de saturation du complexe adsorbant par du Na<sup>+</sup> suffisant pour affecter la structure du sol et la production végétale (CHURCHMAN et al., 1993 ; NAIDU & RENGASAMY, 1993 ; SUMNER, 1993 ; KEREN, 2000 ; LEVY, 2000 ; BRADY & WEIL, 2002 ; ESSINGTON, 2004).

### **9.2. Sels totaux dissous**

Historiquement, la salinité du sol ou de l'eau a été évaluée en déterminant la quantité totale de sels dissous dans la solution (TDS). On la réalisait en faisant évaporer l'eau jusqu'à faire précipiter les sels dont le poids est ensuite déterminé. L'extraction des sels dans le sol s'effectue par ESSINGTON, 2004 :

- Extrait 1:5 : Détermination de la salinité dans un filtrat d'une suspension de sol dans l'eau dans un ratio sol:eau de 1:5. Mais elle donne des valeurs élevées car elle cause la dissolution de CaCO<sub>3</sub> et du gypse (CaSO<sub>4</sub>, 2H<sub>2</sub>O).

- Extrait de la pâte saturée: Détermination de la salinité dans un extrait (filtré) de la pâte saturée. C'est la méthode la plus appropriée du fait que cette humidité est la plus proche de celles rencontrées sous les conditions au champ. Mais elle est fastidieuse comparée aux autres extraits plus dilués.

## 10. Répartition et importance des sols salés

Les sols salés occupent une superficie de 950 millions d'hectares (ZID et GRIGNON, 1991; HASAN, 1995). Il a été estimé que 20% des 275 millions d'hectares des terres irriguées (FLOWERS et FLOWERS, 2005) et 15% (227 millions d'hectares) des terres cultivables sont affectés par la salinité (MUNNS, 2002).

En Afrique du nord et au Moyen-Orient, elle couvre près de 15 millions d'hectares, dont 15% sont dépourvus de toute végétation (LE HOUEROU, 1986). Quinze millions d'hectares de terres agricoles sont touchées par une salinité croissante des sols au Maghreb, au Moyen-Orient (BEN AHMED *et al.*, 1996). Ainsi, en Tunisie, les sols salés couvrent environ 10% de la superficie globale du pays, soit à peu près 25% de la surface totale des sols cultivables (BEN AHMED *et al.*, 2008). En Egypte, 35% des aires cultivées sont salinisées, 90% d'entre elles souffrent d'engorgement (MAINGUET, 2003).

En Algérie les zones semi-arides et arides couvrent près de 95% du territoire (BENKHELIF *et al.*, 1999). Les sols salés sont très répandus dans les régions arides, représentant environ 25% de la surface (HALITIM, 1988) soit 3,2 millions d'hectares (HAMDY, 1999).

## 11. Mise en valeur des sols salés

Une bonne utilisation agricole des sols salés nécessite (GIRARD *et al.*, 2005). :

- ✓ L'élimination des excès en sels (lixiviation) et la suppression de la source de sodium (drainage de la nappe salée). Ces pratiques seront d'autant plus aisées que le sol est perméable et que l'eau (pluie, irrigation) est abondante et de bonne qualité.
- ✓ L'utilisation des plantes résistantes à la salinité.
- ✓ La reconstitution de la fertilité par des amendements qui enrichissent les argiles en calcium échangeable.

## 12. Salinité de l'eau d'irrigation

L'eau d'irrigation contient un mélange de sels dont la présence est naturelle. Les sols irrigués avec cette eau contiendront un mélange semblable caractérisé par une concentration en sel plus élevée.

### 12.1. Evaluation de la qualité de l'eau d'irrigation

La teneur totale en sels est le seul critère le plus important pour évaluer la qualité de l'eau d'irrigation. Cette teneur peut être exprimée en termes de conductivité électrique ou en ppm ou  $\text{még.l}^{-1}$ . L'excès de sel augmente la pression osmotique de l'eau du sol et provoque des conditions qui empêchent les racines d'absorber l'eau (COUTURE, 2006). La

concentration totale est importante car la plupart des cultures répondent à la concentration ionique totale du milieu de croissance (effet osmotique) plutôt qu'à un ion spécifique. Généralement, une augmentation de la teneur en sels dans l'eau d'irrigation résultera d'une augmentation de la salinité de la solution du sol. La vitesse et le degré de cette augmentation dépendront du :

- lessivage, c'est à dire la quantité d'eau apportée par irrigation ou par des pluies en excès des besoins de la culture et l'efficacité du lessivage;
- la composition ionique de l'eau d'irrigation et la tendance de quelques ions, tels que  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{HCO}_3^-$  et  $\text{SO}_4^{2-}$ , à précipiter après l'extraction de l'eau du sol; et des propriétés physiques du sol telles que l'infiltration, les caractéristiques hydriques et le drainage (COUTURE, 2006).

### 12.2. Classification de l'eau d'irrigation

La classification des eaux d'irrigation, tien compte des conditions d'utilisation de ces eaux et des caractéristiques du sol telle que le taux d'infiltration, le drainage ainsi que la tolérance des cultures (DURAND, 1983). Le diagramme de l'U.S.S.L.(1954) modifié par DURAND (1958) en ajoutant une cinquième classe de salinité, s'avère le plus pratique pour les eaux Algériennes.

Le diagramme de l'U.S.S.L.(1954) modifié par DURAND(1958) est établi essentiellement sur la base des observations réalisées en Afrique du nord, cette classification suppose des conditions correctes de cultures, un bon drainage et des sols suffisamment perméables (Annexe 14). Ainsi que ce diagramme se base sur le paramètre de salinité de l'eau (C.E. à 25°C) et le danger d'alcalinisation des sols exprimé par le S.A.R.

D'après DURAND (1958), la salinité de l'eau (C.E.e) permet de déterminer cinq classes d'eau d'après la relation entre la conductivité électrique à 25°C de l'eau et le danger de salinisation du sol :

**C1** : C.E. à 25°C < 0,25 dS/m : eaux non salines, utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des terrains avec peu de chances d'apparition de salinité dans le sol.

**C2** : C.E. à 25°C comprise entre 0,25 et 0,75 dS/m : eaux à salinité moyenne, utilisables avec un léger lessivage.

**C3** : C.E. à 25°C comprise entre 0,75 et 2,25 dS/m : eaux à forte salinité, inutilisables même avec un bon drainage ; il faut des pratiques spéciales de contrôle de salinité, et seules les plantes tolérantes qui peuvent être cultivées.

**C4** : C.E. à 25°C comprise entre 2,25 et 5 dS/m : eaux à très forte salinité, inutilisables normalement pour l'irrigation ; exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et avec une dose d'irrigation en excès pour assurer un fort lessivage du sol. Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels.

**C5** : C.E. à 25°C >5 dS/m : eaux à salinité excessive, inutilisables sauf sur sable drainé et pour des cultures très tolérantes comme le palmier dattier.

En fonction du risque d'alcalinisation des sols quatre classes ont été distinguées par l'U.S.S.L.(1954), ces classes ne sont pas délimitées par des valeurs absolues mais par des droites à pente négatives en fonction de l'accroissement de la salinité. Donc cette classification tient aussi compte non seulement du S.A.R mais aussi de la quantité totale des sels dissous dans l'eau.

**S1** : S.A.R. de 0 à 10 : eaux faiblement sodiques, utilisables pour l'irrigation de presque tous les sols avec peu de danger d'alcalinisation bien que certains cultures sensibles au sodium puissent être gênées (avocatier).

**S2** : S.A.R. de 10 à 18 : eaux moyennement sodiques, le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine et a forte capacité d'échange. Ces eaux sont utilisables sur les sols à texture grossière ou en présence de gypse.

**S3** : S.A.R. de 18 à 26 : eaux fortement sodiques, pouvant provoquer l'apparition d'une alcalinité dangereuse dans la plupart des sols, leur emploi exigera la mise en oeuvre d'un aménagement spéciale ; bon drainage, fort lessivage, addition de matières organiques.

**S4** : S.A.R. de 26 à plus de 30 : eaux très fortement sodiques, le danger d'alcalinisation est très fort, de telles eaux sont impropres à l'irrigation sauf si leur salinité est faible et permet l'addition de calcium soluble ou si le sol en contient suffisamment.



Tableau II 1. Les classes de l'eau d'irrigation (DURAND, 1958)

Classe	Qualité	Interprétation
C1 – S1	<i>Bonne qualité</i>	Précaution avec les plantes sensibles
C1 – S2 C2 – S1	<i>Qualité moyenne à bonne</i>	A utiliser avec précaution dans les sols lourds mal drainés et pour les plantes sensibles (arbres fruitières).
C2 – S2 C1 – S3 C3 – S1	<i>Qualité moyenne à médiocre</i>	A utiliser avec précaution. Nécessite de drainage avec doses de lessivage et/ou apports de gypse
C1 – S4 C2 – S3 C3 – S2 C4 – S1	<i>Qualité médiocre à mauvaise</i>	Exclure les plante sensibles et les sols lourds. Utilisable avec beaucoup de précautions dans les sols légers, bien drainés avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.
C2 – S1 S2 – C4 C3 – S3	<i>Qualité mauvaise</i>	A utiliser, avec beaucoup de précautions que dans les sols légers et bien drainés et pour des plantes résistantes. Risque élevés. Lessivage et apports de gypse indispensable
C3 – S4 C4 – S3	<i>Qualité très mauvaise</i>	A utiliser que dans des circonstances exceptionnelles
C4 – S4	<i>Déconseiller pour l'irrigation</i>	
C5 – S1 C5 – S2 C5 – S3 C5 – S4	<i>Très déconseillée pour l'irrigation</i>	

### 13. Terres irriguées en Algérie

Les terres potentiellement irrigables s'élèvent à 1154000 ha (hors Sahara) dont 607000 ha facilement irrigables et 547000 ha irrigables, moyennant des travaux. Les superficies concernées par la grande hydraulique, essentiellement les périmètres irrigués varient entre 50 et 90000 ha, celles relatives à la moyenne et petite hydraulique vont de 230 à 260000 ha dont 3 % desservies par les retenues collinaires, 42 % par les puits, 20 % par les forages, 3 % par les sources et 8 % au fil de l'eau. Par ailleurs, sur un total de 512700 ha irrigués (ANONYME, 1993), les quatre wilayas du Sud s'accaparent 30 % de la SAU irriguée. La wilaya de Biskra occupe la première place avec 13,24%, suivie de la Wilaya de M'sila avec 5,64% puis la

Wilaya d'Adrar avec 5,54%, et celle d'El Oued avec 5,3%. Ce sont particulièrement ces zones d'irrigation qui nécessitent une rénovation de leur technique d'irrigation (HALILAT, 2004).

#### **14. Terres irriguées au Sahara algérien**

Pour tout le Sahara algérien, l'agriculture irriguée aurait dépassé en 1998 les 150.000 ha, répartis sur 60.000 ha de palmiers dattiers, 30.000 de maraîchage et 60.000 ha de céréales. Pour la zone exploitant les eaux du continental intercalaire (C.I) et du continental terminal (C.T), la superficie actuellement irriguée est de l'ordre de 100.000 ha. L'évolution de la consommation en eau pour l'irrigation des périmètres irrigués n'a pas été linéaire du fait des changements de stratégies intervenues au cours des trente dernières années (HALILAT, 2004).

#### **15. Besoins en eau des cultures**

Dans un premier temps, la détermination des besoins en eau d'une culture nécessite la connaissance de divers paramètres concernant aussi bien la plante elle-même que les données climatiques ou pédologiques de la région. Les données climatiques donneront les indications nécessaires concernant les besoins en eau de la culture. Les paramètres pédologiques permettront d'estimer la réserve en eau utile du sol. Les données culturelles préciseront la réserve en eau facilement utilisable par la plante. (ZELLA, 2012)

A l'aide des différents résultats obtenus, il sera relativement aisé de déterminer par la suite les quantités d'eau d'irrigation nécessaires au bon développement de la plante.

La connaissance des besoins en eau des cultures tient compte des notions suivantes (GOUNY, 1976) :

##### **15.1. Evapotranspiration**

L'évaporation est le processus par lequel de l'eau passe de l'état liquide ou solide, à l'état gazeux par un transfert d'énergie thermique. La transpiration est le processus physiologique naturel par lequel l'eau stockée sous forme d'humidité du sol est extraite par les racines des plantes, passe à travers leur corps et est évaporée par les stomates de leurs feuilles. Elle est associée à la croissance des plantes (GUEORGUIEV *et al.*, 1980).

On appelle évapotranspiration (ET) les pertes totales d'eau d'un couvert végétal. C'est la perte d'eau sous forme de vapeur, par évaporation de l'eau du sol, de la rosée, de l'eau de pluie interceptée par les surfaces ainsi que de la transpiration de la plante. Ce terme peut s'exprimer pour la période considérée soit en unité de masse ou de volume par unité de surface, soit en équivalent en hauteur d'eau. Ces dernières sont fonction de trois paramètres à

savoir : le développement de la végétation, la réserve d'eau du sol, le climat (rayonnement, chaleur de l'atmosphère, vent). L'évaporation intégrant ces trois facteurs se résume en trois différentes structures: l'évapotranspiration potentielle (ETP), l'évapotranspiration réelle (ETR), l'évapotranspiration maximale (ETM) (GUEORGUIEV *et al.*, 1980).

### 15.2. Evapotranspiration potentielle

L'évapotranspiration potentielle (ETP) est définie comme l'évapotranspiration d'un couvert végétal continu suffisamment alimenté en eau (ZELLA, 2012).

L'évapotranspiration potentielle (ETP) peut être définie comme étant la quantité maximale d'eau susceptible d'être évaporée dans des conditions climatiques données par une surface d'eau libre, ou un couvert végétal pour lequel l'eau n'est pas un facteur limitant. La valeur de l'ETP est évaluée en fonction d'un bilan d'énergie d'une atmosphère définie, en utilisant les données climatiques fournies par les stations météorologiques (ZELLA, 2012).

### 15.3. Evapotranspiration maximale

C'est l'évapotranspiration d'une culture spécifique dans des conditions de densité et de fertilisation du sol optimales, culture croissante sur un sol bien alimenté en eau et placée dans les conditions adventives négligeables et des conditions climatiques de la région considérée. Elle est liée à l'ETP de référence par la relation suivante:

$$ETM = K_c \cdot ETP$$

**K<sub>c</sub>**: ce coefficient varie avec le type de culture, le stade végétatif, et les conditions climatiques (VESCHAMBRE et VAYSSE, 1980), il est généralement inférieur à **1**. Selon (VESCHAMBRE et VAYSSE, 1980 in ZELLA, 2012 et DUBOST, 1994) dans une palmeraie, la phase la moins critique est celle du repos hivernal des arbres, de Novembre à Janvier, voire Février. Le K<sub>c</sub> est égale à 0,6 pour l'hiver, 0,8 pour le Printemps et 1 pour l'été.

**Tableau II 2:** Valeurs du coefficient (K<sub>c</sub>) pour le palmier dattier (DOORENBOS et PRUITT, 1977)

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Juill	Aout	Sépt	Oct	Nov	Déc
K <sub>c</sub>	0,80	0,85	0,90	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00	0,90	0,85	0,85	0,80

#### 15.4. Evapotranspiration réelle

L'évapotranspiration réelle (ETR) peut être définie comme étant la réponse, en termes de vapeur d'eau, d'un milieu donné à la demande exercée par l'évapotranspiration potentielle, compte tenu de la quantité d'eau disponible; la valeur limite n'est plus ici l'énergie, mais l'eau disponible. ETR peut être supérieure, égale ou inférieure à l'ETM. L'ETR à l'intérieur de l'oasis manifeste une grande variabilité due soit aux effets de bordure soit à une hétérogénéité de l'insolation au sol d'un point à un autre (MEZNI, 1999)

#### 16. Evaluation des besoins en eau des cultures

La détermination des besoins en eau des cultures implique la détermination de l'ETP. Il existe différentes formules de calcul de l'ETP et le choix dépendra des données météorologiques existantes (OLLIER et POIREE, 1983). Il y'a plusieurs méthodes d'évaluation de l'ETP comme les formules empirique (indirectes) et les méthodes directes.

##### 16.1. Méthodes indirectes

L'évaluation s'effectue par les formules empiriques. Elles sont basées sur des données climatiques, on cite: formule de THORNTHWAITE (1948), formule de BLANEY et CRIDDLE (1950), formule de BOUCHET (1963) et formule de TURC (1961). Sur le bilan énergétique on cite: formule de PENMAN (1984) et MONTEITH (1956).

##### 16.2. Méthodes directes

C'est la méthode la plus simple pour approcher la demande climatique d'une culture donnée, pour une période donnée qui sera estimée selon la relation suivante:

$$ETP = K_b \cdot E_{bac}$$

Où  $E_{bac}$  : évaporation de l'eau du bac (mm)

$K_b$  : coefficient du bac tenant compte: de l'humidité, de la vitesse du vent et de la distance du bac par rapport à la végétation environnante.

Parmi les bacs utilisés fréquemment, le bac "Classe A" et le bac "Colorado" :

- **Bac « classe A »** : Ce type est constitué d'un cylindre métallique de 121,9 cm de diamètre et de 25,4 cm de hauteur de norme internationale. L'eau dans ce cylindre maintient une épaisseur de 17,5 à 20 cm. Le cylindre est supporté par un caillebotis à

15 cm du sol. Le caillebotis doit permettre une bonne aération sous le bac. Ce bac universellement répandu ne satisfait que très partiellement l'hydrologue car, du fait de sa disposition par rapport au sol, il est très sensible aux variations de température, son inertie thermique étant faible ; La différence entre les deux mesures ou prélèvements représente la quantité d'eau perdue par évaporation, en tenant compte des quantités d'eau ajoutées par les intensités de pluie (BOUTOUTAOU, 2011 ; CHARLES ,1975).

- **Bac Colorado** : Le bac Colorado est de forme carrée, de 92,5 cm de côté, et d'une profondeur de 45,7 à 91,44 cm. Il est enterré de telle façon que le rebord soit à 4 pouces (10,26 cm) au-dessus du sol. L'eau affleure sensiblement au niveau du sol. Il est enterré de telle façon que le niveau de l'eau et celui du sol soient à 10 cm du rebord. Il est peint en gris neutre mat.

### 17. Besoins en eau des palmiers dattier

Le palmier dattier peut vivre en atmosphère sèche, pourvu que les besoins en eau au niveau des racines soient satisfaits (PEYRON, 2000). Le palmier dattier est localisé dans les zones arides et semi-arides chaudes, possédant des ressources importantes en eau, pour qu'il puisse satisfaire ses besoins en eau au niveau des racines.

L'irrigation rationnelle des palmeraies a pour but d'assurer pendant toute l'année, et surtout pendant l'été, saison durant laquelle les exigences sont les plus grandes, les quantités d'eau nécessaires à une évolution normale des arbres et à l'élaboration d'une bonne récolte (SIMONNEAU et AUBERT, 1963)

D'après TOUTAIN, 1979, les besoins en eau du palmier dattier dépendent de:

- La nature et la texture du sol.
- La qualité de l'eau fournie.
- La densité de plantation.
- L'âge de la plantation.
- La présence ou non d'une nappe phréatique.
- La présence ou non de culture sous-jacentes.
- Les conditions climatiques, c'est-à-dire l'aridité et les variations saisonnières.

Les besoins hydriques du palmier dattier varient selon la situation géographique des oasis dans les pays producteurs de dattes. Le palmier dattier a besoin d'environ 115 à 306 m<sup>3</sup> d'eau par an. En Algérie, pour une densité de plantation de 130 palmiers par hectare, les besoins en eau varient entre 21344 et 22750 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> (JUS, 1900 in DJERBI, 1994 ; HUSSEIN et al., 1979). Cependant, dans les pays où les oasis présentent 120 palmiers par

hectare, les besoins en eau varient de 13800 à 36720 m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> aux U.S.A. (NIXON, 1959), et de 24640 à 36500 en Tunisie (UNESCO, 1970 in DJERBI, 1994).

Selon DJERBI (1994), les besoins en eau du palmier dattier en Algérie ont été estimés par plusieurs chercheurs en fonction de la densité de plantation par hectare. Les besoins en eau sont estimés à Oued Righ, pour 129 palmiers par hectare, de 33927 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup> (GAUTIER, 1935 in DADDI BOUHOUN, 2010), et de 21960 à 26040 m<sup>3</sup>. ha<sup>-1</sup>.an<sup>-1</sup>, pour 120 palmiers par hectare (WERTHEIMER, 1957).

REME (1935), a déterminé que sur 175 m<sup>3</sup> d'eau apportés au palmier par an, celui-ci absorbe réellement 87 m<sup>3</sup> d'eau par an. 50,4 % des eaux qui restent sont nécessaires à la lixiviation des sels dans les sols. Les sels de ces derniers, en provenance de l'eau d'irrigation et de la nappe phréatique superficielle, s'accumulent par remontée capillaire dans les horizons superficiels des sols.

### 18. Relation entre l'évaporation et la salinité

Une augmentation de la teneur en sel de 1% environ diminue l'évaporation de 1% suite à la diminution de pression de vapeur dans l'eau salée. Un constat similaire peut être dressé pour d'autres substances en solution puisque la dissolution d'un produit entraîne une diminution de la pression de vapeur. Cette baisse de pression est directement proportionnelle à la concentration de la substance en solution (MUSY, 2004).

L'évaporation, passage de l'eau d'un état liquide à un état gazeux et une des phases du cycle de l'eau, est un phénomène à la fois de diffusion, énergétique et climatique. Elle se réalise à partir de la neige et de la glace et c'est la plus faible, à partir des sols nus qui est fonction de la teneur en eau du sol, de sa capillarité et de sa couleur et albédo et elle est, dans ce cas, la cause de l'assèchement à peu près total des couches superficielles et à partir des nappes d'eau libre qui est fonction en plus des éléments météorologiques tels que : l'insolation (quantité de chaleur), la température de l'air et de l'eau, l'humidité, la pression atmosphérique et le vent ; des éléments physiques tels que : la profondeur et l'étendue de la surface aquatique et la salinité de ses eaux (MUSY, 2004).

### 19. Techniques d'irrigation

D'après OLLIER et POIREE (1983) les différentes techniques d'arrosage peuvent être rangées en cinq classes, que l'on nomme les cinq « systèmes d'arrosage »:

- **Irrigation par ruissellement** : L'eau distribuée par les rigoles, ruisselle sur le sol et s'y infiltre verticalement (OLLIER et POIREE, 1983)

- **Irrigation par submersion (par planche) :** Cette méthode consiste à laisser l'eau s'écouler en nappe le long d'une bande de terre, délimitée entre les rangées d'arbres et dans le sens de la pente par de petites digues. C'est le mode d'irrigation le plus ancien et le plus répandu dans le monde (RIEUL, 1993) Les planches peuvent être longues ou courtes (DJERBI, 1994). Pour faire couler l'eau sur de grandes planches, il faut niveler parfaitement et disposer d'un débit suffisant. Lorsqu'on laisse l'eau entrer sur la planche à partir du canal d'amenée, l'eau imbibe d'abord la partie amont de l'élément, et ce n'est qu'au bout d'un certain temps que l'aval commence à en bénéficier. Les dimensions et la forme des planches sont fonction du type du sol, du débit du courant d'eau, de la pente du terrain, de la dose d'arrosage et d'un certain nombre de facteurs, tels que les pratiques culturales et la taille de l'exploitation (BROUWER, 1990). Elles mesurent généralement 2 à 3 mètre de large et 100 à 400 mètre de long avec une pente de 1,25 à 6% : les planches peuvent être coupées dans le sens de la largeur par des ados (DJERBI, 1994). La pente des planches doit être uniforme, avec un minimum de 0,05 % pour faciliter le drainage, et un maximum de 2 % pour éviter l'érosion (BROUWER, 1990). Cette système a des avantages pour la culture comme : \*adapté pour les systèmes à plusieurs étages de végétation ; leur nivellement est facile ; et l'utilisation possible de faible débit. (RENEVOT et al, 2010)
- **Irrigation par infiltration :** L'eau ne ruisselle pas à la surface du sol, elle coule dans des fossés, rigoles ou raies et pénètre par infiltration latérale jusqu'aux racines des plantes. Parfois, dans ce cas, on combine l'irrigation et le drainage, mais cela seulement dans un nombre très limité de cas particuliers.
- **Irrigation par aspersion :** L'eau parvient alors aux cultures d'une façon qui imite la chute naturelle de la pluie grâce à l'utilisation de divers appareils de projection alimentés en eau sous pressions (OLLIER et POIREE, 1983).
- **Irrigation localisée ou micro irrigation :** Cette technique vise à humidifier une certaine partie du sol (bulbe humide) dans laquelle se trouvent la majorité des racines, la couche superficielle du sol étant pratiquement à l'état sec, mise à part l'endroit où tombe la goutte. L'eau est distribuée ponctuellement grâce à des goutteurs branchés sur des rampes d'alimentation. Un débit convenable (2 à 10 l/h) est fourni pendant une certaine période sous une faible pression (1 à 2 bars). L'irrigation au goutte à goutte est mise au point pour faciliter la tâche des agriculteurs à résoudre le problème de la

salinité et de l'économie de l'eau ainsi que de résoudre les problèmes de main d'œuvre. De même, une meilleure gestion de l'eau et une bonne production peuvent être atteintes à condition qu'un bon dimensionnement et une bonne installation soient correctement établis (RAES DIRK, 2000).

## **20. Le drainage**

Le drainage est l'opération qui consiste à favoriser artificiellement l'évacuation de l'eau gravitaire présente dans la macro-porosité du sol à la suite des précipitations.

Les palmeraies irriguées avec des eaux présentant une salinité élevée doivent être nécessairement drainées, afin que l'accumulation du sel dans le sol ne rende celui-ci, à la longue, stérile (MUNIER, 1973).

PEYRON(2000) considère que, pour des eaux d'irrigation d'une teneur en sels inférieure à 7g/l, il faut installer un drain toutes les deux rangées de palmiers. Pour des eaux d'irrigation d'une teneur en sels supérieure à 9g/l, c'est dans chaque rangée qu'il faut un drain. Selon le même auteur, un système de drainage fonctionnel et efficace doit fournir aux palmiers une profondeur de sol aéré de 1,20m sur l'ensemble de la surface cultivée.

## **21. Différents types de drainage**

### **21.1. Drainage souterrain**

Le drainage souterrain est une technique d'assainissement qui a pour but d'évacuer l'eau gravitaire du sol et d'abaisser la nappe phréatique à un niveau optimal pour la croissance des plantes. Il permet (SAVOIE, 2010):

- de travailler le sol dans de meilleures conditions ;
- d'améliorer la structure du sol ;
- de développer un meilleur système racinaire des plantes ;
- une meilleure assimilation des engrais par les plantes ;
- d'ensemencer plus tôt au printemps ;
- de récolter dans de bonnes conditions et d'améliorer l'efficacité des machineries.

### **21.2. Drainage de surface**

Le drainage de surface vise plutôt à éliminer toutes accumulations d'eau à la surface ainsi que l'écoulement hypodermique dans un délai raisonnable pour les plantes (moins de 24 heures). Il a aussi comme objectifs (SAVOIE, 2010):

- de répartir uniformément les précipitations et favoriser leur infiltration, pour apporter l'eau utile aux plantes.



- d'évacuer l'eau de ruissellement et hypodermique, par des pentes adéquates vers les structures hydro-agricoles (réseau hydraulique), sans toutefois causer l'érosion.
- d'éliminer les petites dépressions et irrégularités de la surface du sol qui créent des zones humides néfastes aux cultures, récupérer des surfaces non productives.
- causer le moins d'inconvénients aux opérations culturales et à la machinerie agricole.
- permettre l'entrée plus rapide et améliorer les conditions de récolte au champ.
- augmenter les rendements des cultures.

A yellow scroll graphic with a black outline, featuring three rolled-up ends. The text is centered on the scroll.

Deuxième Partie

Etude expérimentale



# Chapitre III

Matériels et méthodes

### *Chapitre III. Matériels et méthodes*

#### **1. Matériels d'études**

##### **1.1. Choix de la zone d'étude**

Nous avons choisi de réaliser notre travail de recherche dans la cuvette de Ouargla, vue les problèmes enregistrés dans cette vallée de salinisation par remontée des eaux phréatiques et la mauvaise gestion de l'irrigation-drainage. La détermination de la dose de lessivage reste primordiale comme objectif dans notre étude à fin de remédier au problème de salinisation dans cette région.

##### **1.2. Station d'étude**

###### **1.2.1. Choix de la station d'étude**

Le choix de la station d'étude a été porté sur l'exploitation agricole de l'université située au fond de la cuvette de Ouargla, vue l'existence d'une infrastructure hydro-agricole phoenicicole permettant la réalisation d'un dispositif expérimental d'irrigation-drainage en fonction de la thématique développée. En plus la station présente une hétérogénéité d'obstacle hydrique phréatique, mécanique de croûtes et saline hydro-édaphique. Cette dernière est nécessaire pour étudié le lessivage des sels dans des conditions hydro-édaphiques variables.

Notre dispositif expérimental d'étude de l'irrigation-drainage a été installé dans deux sous-stations choisi présentent des conditions hydro-édaphiques variables (DADDI BOUHOUN, 2010)

###### **1.2.2. Présentation de la station d'étude**

###### **1.2.2.1. Historique**

L'exploitation agricole de l'université de Ouargla (ex : I.T.A.S) à été crée en 1959, par le service colonial pour la mise en valeur, sous l'appellation de périmètre de "GARETCHEMIA". Elle est située au sud-ouest d'Ouargla. Durant la première phase de la révolution agraire, le périmètre est passé en groupes de mise en valeur (G.M.V). En 1979, l'exploitation a été confiée à l'Institut Technologique d'Agriculture Saharienne (I.T.A.S). En 1992 l'exploitation est passée à l'Institut Nationale Supérieur d'Agronomie Saharienne (I.N.F.S.A.S). En 1997 l'exploitation à été confiée à centre universitaire. Et actuellement l'exploitation a été passée à l'université d'Ouargla.

### 1.2.2.2. Localisation de l'exploitation

L'exploitation est située au sud-ouest de la ville d'Ouargla, à six kilomètres environ du centre ville. Elle se présente sous forme d'un glacis d'une grande homogénéité topographique. Elle se trouve dans une zone peu élevée, à la bordure d'un chott. Le dénivelé topographique entre le chott et l'exploitation est d'environ deux mètres. Ses coordonnées sont les suivantes (UKMO, 2013) :

- Latitude : 31°,57' Nord.
- Longitude : 5°,20' Est.
- Les altitudes sont comprises entre 132.5 et 134.0 m

### 1.2.2.3. Plan de l'exploitation

L'exploitation s'étend sur une superficie théorique totale de 32 ha, dont 16 hectares sont aménagée et répartie en quatre secteurs à savoir : A, B, C. et D. Chaque secteur est de 3.6 hectares divisé en deux demi-secteurs chacun de 1.8 hectares, le reste de la surface est occupé par les pistes et les drains. Le reste des secteurs E, F, G et H correspondant à l'extension non exploité (Photo1). Actuellement, une partie de superficie a été attribué au pole universitaire<sup>3</sup>.



**Photo III 1.** Photo satellitaire de l'exploitation de l'université (image Google Earth, 2015)

### 1.3. Infrastructure hydro-agricole

#### 1.3.1. Système d'irrigation

Deux forages sont existents à l'exploitation agricole de l'université (UKMO, 2015), de types (Photo. III 2 et 3) :

- Sénonien : c'est le forage le plus ancien, réalisé en 1959, il est légèrement artésien, situé après le secteur A, au nord-est du secteur B1, équipé d'une pompe électrique centrifugeuse, ayant une profondeur de 188,8 m et un débit de 40 l/s.
- Miopliocène : situé au nord-est du secteur A1, réalisé en 1986, avec une profondeur de 68 m, un débit de 18 l/s, et une température de 18 °C.



**Photo III 2.** Forage du Miopliocène



**Photo III 3.** Forage du Sénonien.

#### 1.3.2. Système de Drainage

Le réseau de drainage de l'exploitation a été réalisé en 1980, par une entreprise non spécialisée. Il est constitué de sous-drains à ciel ouvert, avec une direction Nord-Sud, débouchant sur un collecteur principal (direction Est-Ouest) qui divise les secteurs A, B, C, D, E et F en deux demi-secteur, qui évacue les eaux de drainage vers le chott de Mékhadma. L'ensemble des drains sont dans un état d'ensablement.



**Photo III 4.** L'état du réseau de drainage de l'exploitation

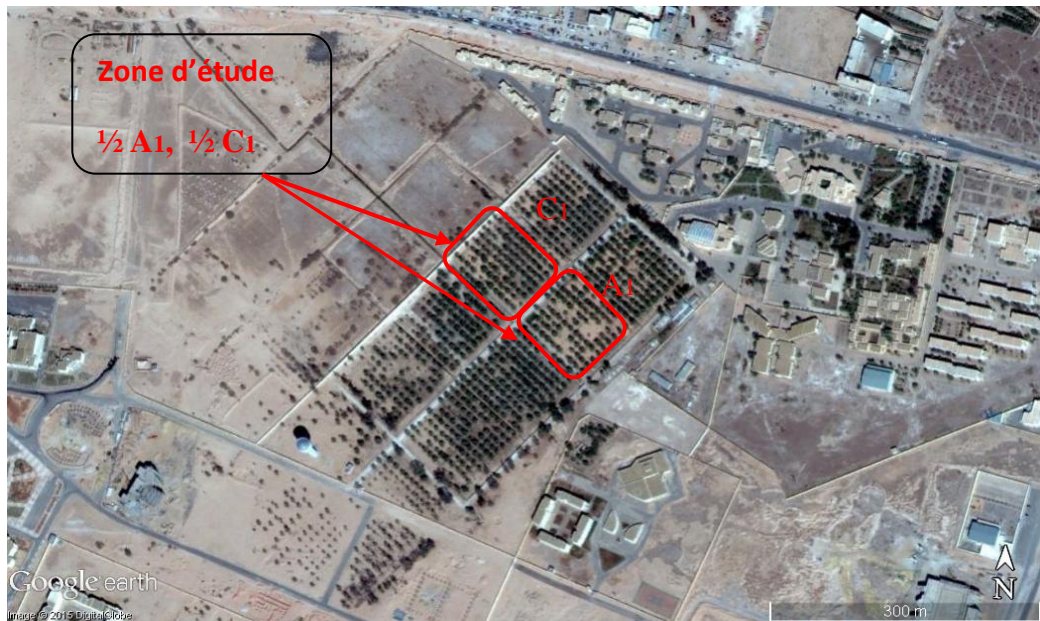
L'ensemble des drains sont envahis par les mauvaises herbes (tamarix, phragmites), la végétation hydrophile est très bien développée à l'intérieur des drains (Photo III 4)

### 1.3.3. Système de culture

L'exploitation est conduite de façon traditionnelle, utilisant les amendements organiques et peu d'engrais chimiques. Elle est bien organisée, avec un écartement entre palmiers dattiers de 9 m. L'effectif théorique est de 122 palmiers par hectare et réel de 88 palmiers par hectare. Il y a aussi des cultures sous jacentes, de types fourragers et maraîchers dans quelques demi-secteurs.

### 1.4. Présentation des sous-stations d'étude

L'exploitation est structurée en secteurs A, B, C, D où nous avons choisi d'installer notre dispositif expérimentale dans les demi-secteurs A1 et C1 bien entretenu, de dénivellation et de conditions hydro-édaphiques variables. Ils sont situés proche du bassin d'irrigation (irriguées par le même forage) et du réseau de drainage qui est nécessaire pour l'installation de notre système d'irrigation.



**Photo III 5.** Situation des sites d'étude à l'exploitation



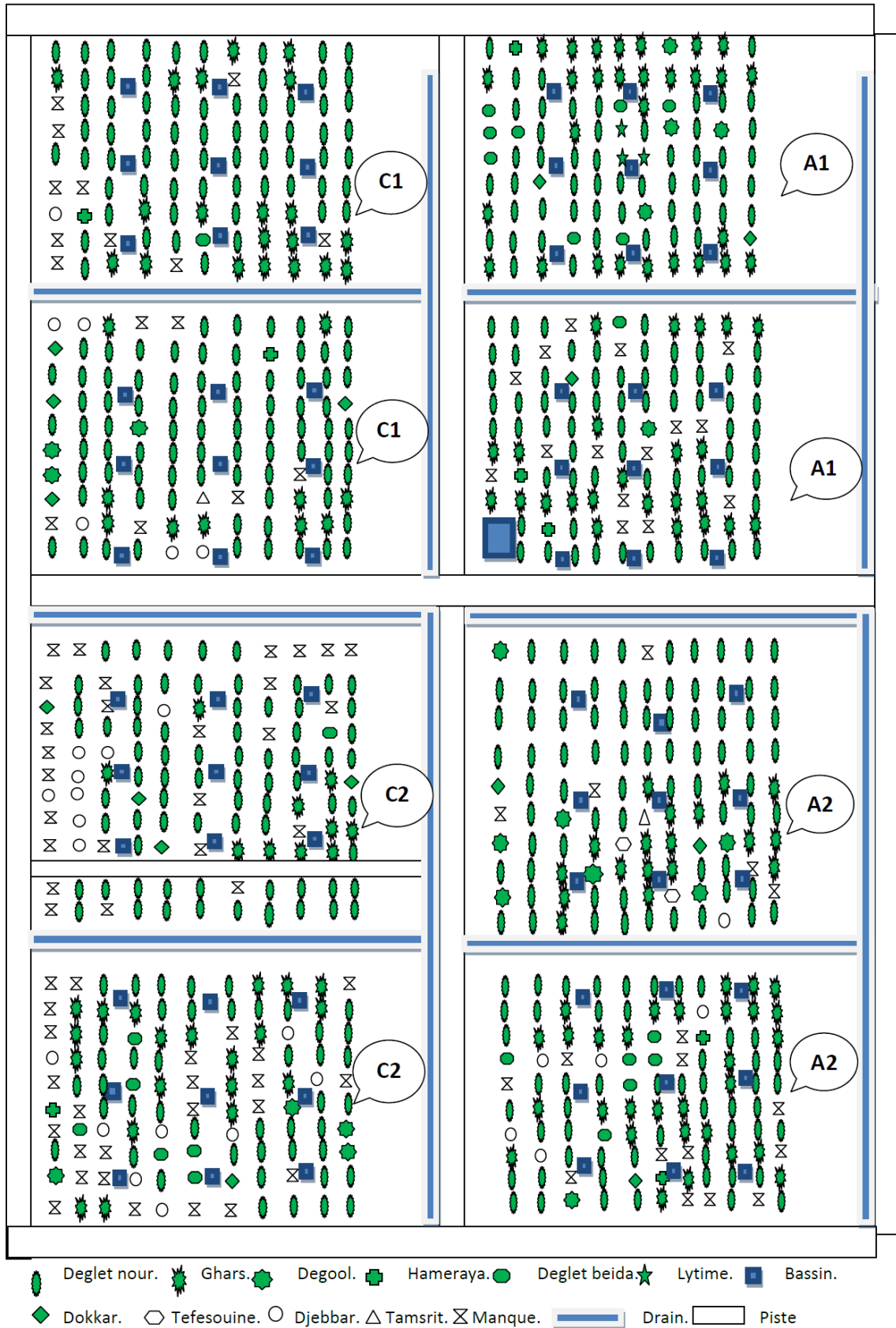


Figure III 1. Schéma représente l'exploitation de L' ITAS

## 2. Méthodes d'étude

### 2.1. Approche méthodologique

Ce travail de recherche consiste à étudier le lessivage des sels dans les sols salés par rapport aux contraintes hydro-édaphiques existantes. Notre approche méthodologique va apprécier premièrement l'effet de la conduite de l'irrigation-drainage pratiqué en palmeraie sur la salinisation des sols, puis proposer par expérimentation une conduite irrigation optimisant le lessivage des sels. Cette étude est réalisée en plusieurs étapes (Fig. V 1):

1. **Première étape** : étudier les contraintes hydro-édaphiques pour l'irrigation-drainage afin de déterminer les potentialités initiales de lessivage des sels en palmeraie par :
  - a. L'étude des caractéristiques hydro-édaphiques ;
  - b. L'étude de la variabilité spatiale des contraintes hydro-édaphiques et leurs impacts sur l'enracinement;
2. **Deuxième étape** : étude expérimentale d'optimisation du lessivage par conduite contrôlée de l'irrigation qui vis à :
  - a. Déterminer les paramètres d'irrigation et varier la dose de lessivage dans la conduite de l'irrigation ;
  - b. Etude l'effet de la conduites d'irrigation sur le lessivage des sels.
3. **Troisième étape** : proposer par rapport aux contraintes hydro-édaphiques existantes la meilleure approche d'irrigation qui permet le meilleur lessivage des sels dans les sols étudiés de la cuvette de Ouargla.

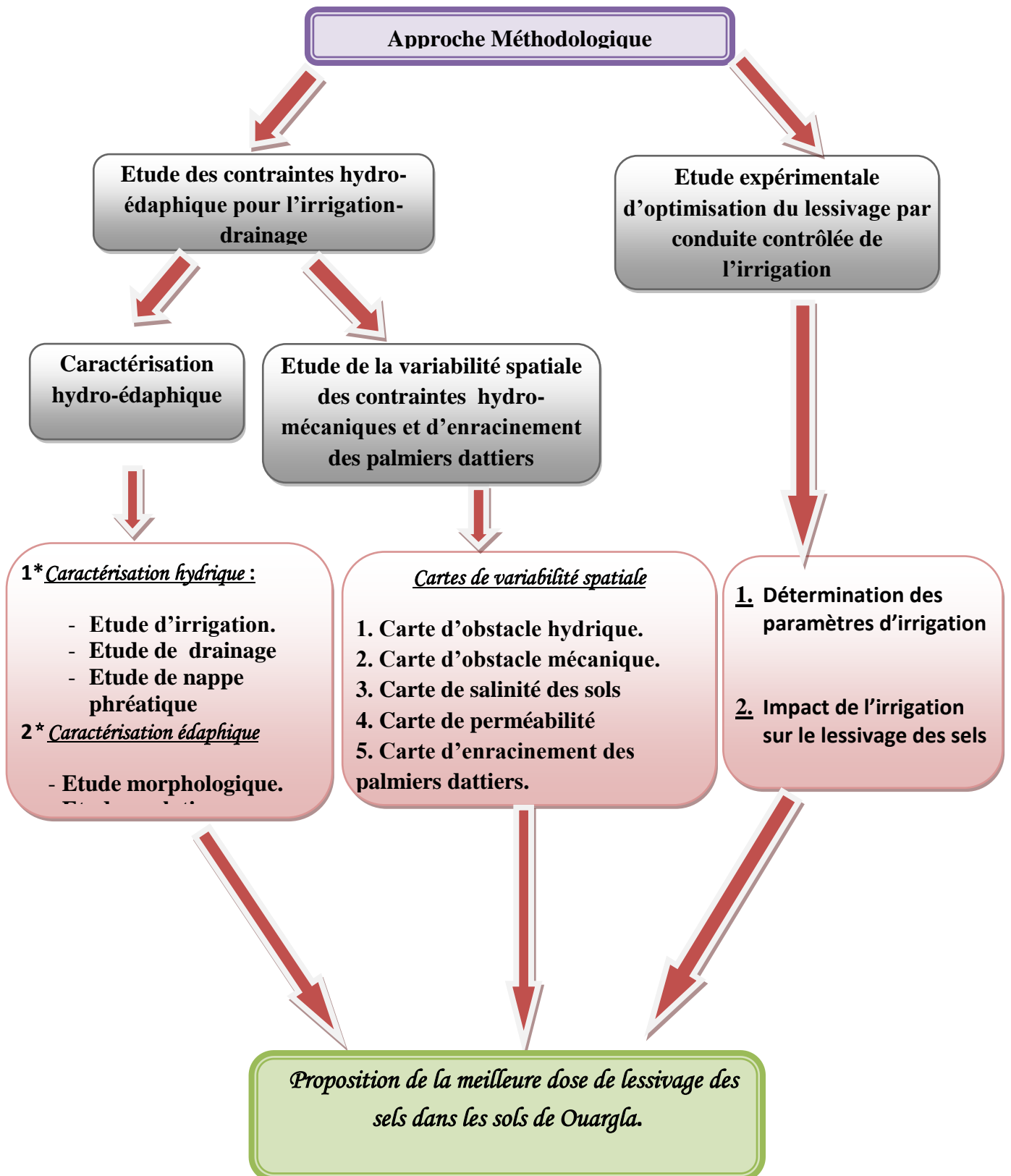


Figure III 2. Approche méthodologique de l'étude

## 2.1.1. Etude des contraintes hydro-édaphiques pour l'irrigation-drainage

### 2.1.1.1. Caractérisation hydro-édaphique

La caractérisation hydro-édaphique consiste à étudier la gestion de l'irrigation-drainage, la qualité des eaux d'irrigation et de drainage ainsi que le niveau et la qualité des eaux phréatiques et les propriétés des sols.

#### A. Caractérisation hydrique

Dans le but d'une caractérisation hydrique dans la zone d'étude, nous avons réalisé une campagne d'échantillonnage durant le mois de janvier 2015. La caractérisation hydrique consiste à étudier l'irrigation-drainage et la nappe phréatique. Dans la première étude nous avons fait une enquête sur le mode de gestion de l'irrigation-drainage (les paramètres d'irrigation et le fonctionnement). Aussi, déterminer la qualité des eaux d'irrigation et de drainage.

Les principaux paramètres de caractérisation d'une eau ou un extrait aqueux sont le degré de salinité (la conductivité électrique), le potentiel Hydrogène (pH), la charge saline (R.S), la sodicité (SAR) (SERVANT, 1978), le faciès chimique et la classification des eaux (DURAND, 1958). D'après SERVANT (1978), la salinité est ordinairement exprimée par la conductivité électrique en  $\text{dS.m}^{-1}$  à  $25^\circ\text{C}$ . La sodicité d'une eau traduit par l'augmentation de la proportion de sodium échangeable (ARAGUES, 1983), quand elle est mise en contact prolongé avec le sol : irrigation, inondation, et remontée de nappe. Le paramètre le plus utilisé pour déterminer la sodicité est le S.A.R (DURAND, 1958). Le faciès chimique représente la/les anion(s) et cation(s) prédominant dans l'eau ou dans la solution du sol, représenté dans un diagramme nommé le diagramme de PIPER. Ce diagramme est divisé en deux triangles de classification l'un pour le faciès cationique et l'autre pour le faciès anionique, à partir des deux faciès nous déterminons le faciès global dont la nomination anionique précède toujours celle cationique.

Dans l'étude de la nappe phréatique nous avons déterminé la profondeur statique des eaux (P.n.) par une sonde électrique dans les profils des sols de 1,5 m de profondeur suivi d'un sondage manuel à la tarière de 1,5 m à l'intérieur des profils pour atteindre 3 m de profondeur (Fig.IV 1, 2). Les eaux sont prélevées par un tuyau pour effectuer les analyses au laboratoire sur l'alcalinité (pH) et le degré de salinité (Conductivité électrique), le résidu sec et le faciès chimique (le bilan ionique cationique ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) et anionique ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )).



**Photo III 6 :** prélèvement des eaux de la nappe phréatique



**Photo III 7.** Niveau de la nappe phréatique dans le profil du sol

### **B. Caractérisation édaphique**

La caractérisation édaphique est effectuée dans six profils de sols, trois dans chaque demi-secteur A1 et C1 (Photo IV 3). Nous avons réalisé une étude morphologique et analytique des sols. Cette étape agro-pédologique est indispensable pour déterminer les potentialités hydriques des sols et détecter les contraintes existantes pour la conduite de l'irrigation- drainage.

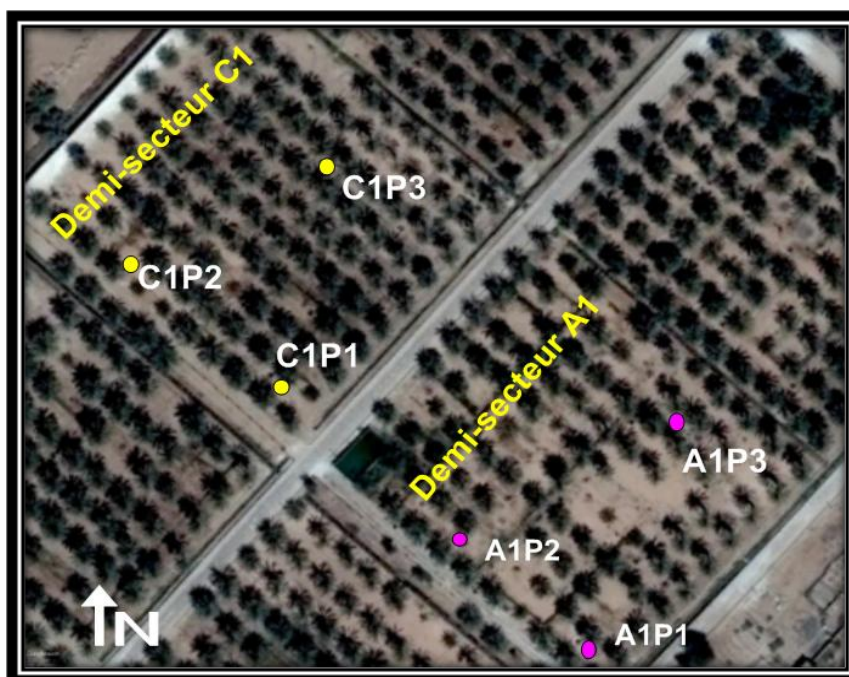


Photo III 8. Localisation des profils du sol

### B.1. Étude morphologique des sols

L'étude morphologique des sols a été réalisée dans des profils de 1,5 m de profondeur proches des palmiers dattiers. Elle consiste à faire une description des horizons pour déterminer certaines caractéristiques principales. Ces paramètres ont été choisis en fonction de leur importance dans la description morphologique des sols et l'évaluation de leurs qualités selon plusieurs manuels (EDMONDS et al., 1998 ; U.S.D.A., 1999 ; VAN GOOL et MOORE, 1999 ; MILFORD et al., 2001). Ces caractéristiques sont de type :

1. **Physique** : le nombre et la profondeur des horizons, la couleur par la charte de MUNSELL, et apprécier la texture par le touché, ainsi la présence des éléments grossiers, le type de structure, la compaction, la cimentation et notamment la profondeur d'obstacle mécanique de croûtes gypso-calcaire (P.c.) ;
2. **Chimique** : la présence des sels soluble par le goutter et la formes des accumulations des peu solubles gypso-calcaire, par l'observation, le toucher et le test d'effervescence à l'HCl ;
3. **Biochimique** : la présence de matière organique ;
4. **Biologique** : la présence d'activité biologique et la profondeur d'enracinement (P.r.) des palmiers dattiers.

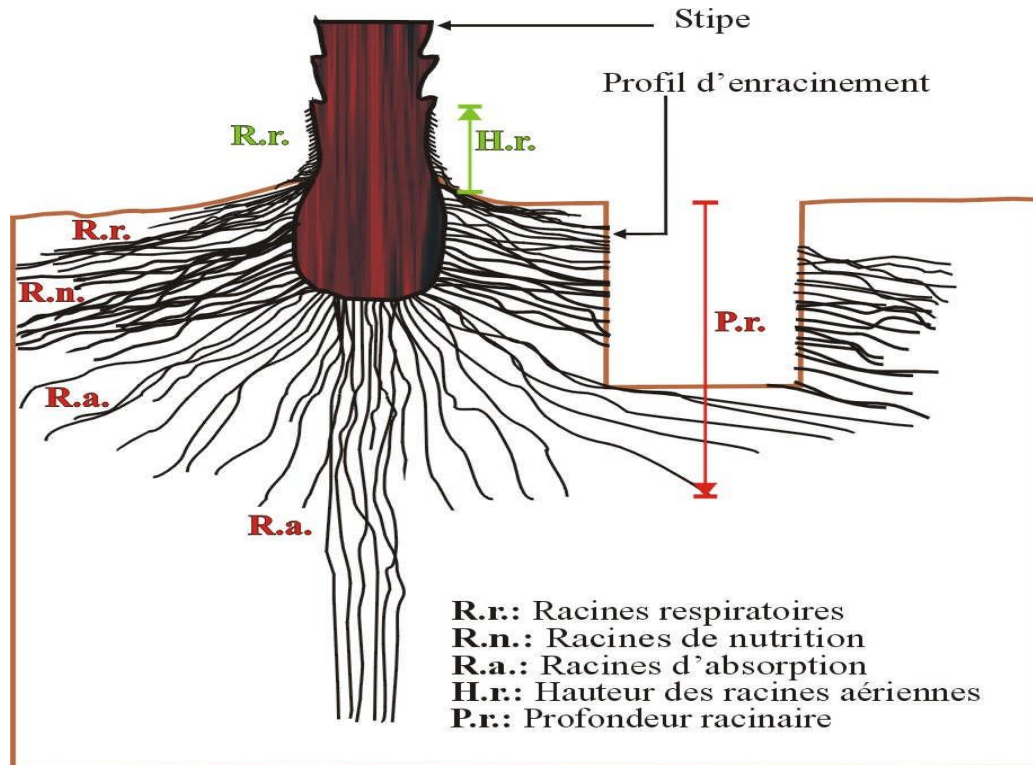


Figure III 3. Profil de sol proche du palmier dattier (DADDI BOUHOUN, 2010)

## B.2. Étude analytique des sols

L'étude analytique consiste à mesurer certaines propriétés de type :

1. **Physiques** : nous avons mesurées les paramètres de texture, de densité apparente ( $D_{app}$ ), l'humidité pondérale du sol ( $H$ ), l'humidité au point de flétrissement ( $H_{pf}$ ) et l'humidité à la capacité de rétention ( $H_{cr}$ ).
2. **Chimique** : taux de calcaire ( $CaCO_3$ ), taux de gypse ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), Carbone organique (M.O), le bilan ionique cationique ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ ,  $Na^+$ ) et anionique ( $Cl^-$ ,  $HCO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ).
3. **Physico-chimiques** : le degré d'Alcalinité ( $pH_{e1:5}$ ), le degré de salinité ( $C.E_{e1:5}$ ) et la charge saline en résidu sec (R.s)



-A-

-B-

**Photo III 9.** Enfoncement des cylindres (B) et prélèvement des échantillons dans les profils (A).

#### 2.1.1.2. Variabilité spatiale des contraintes hydro-édaphiques

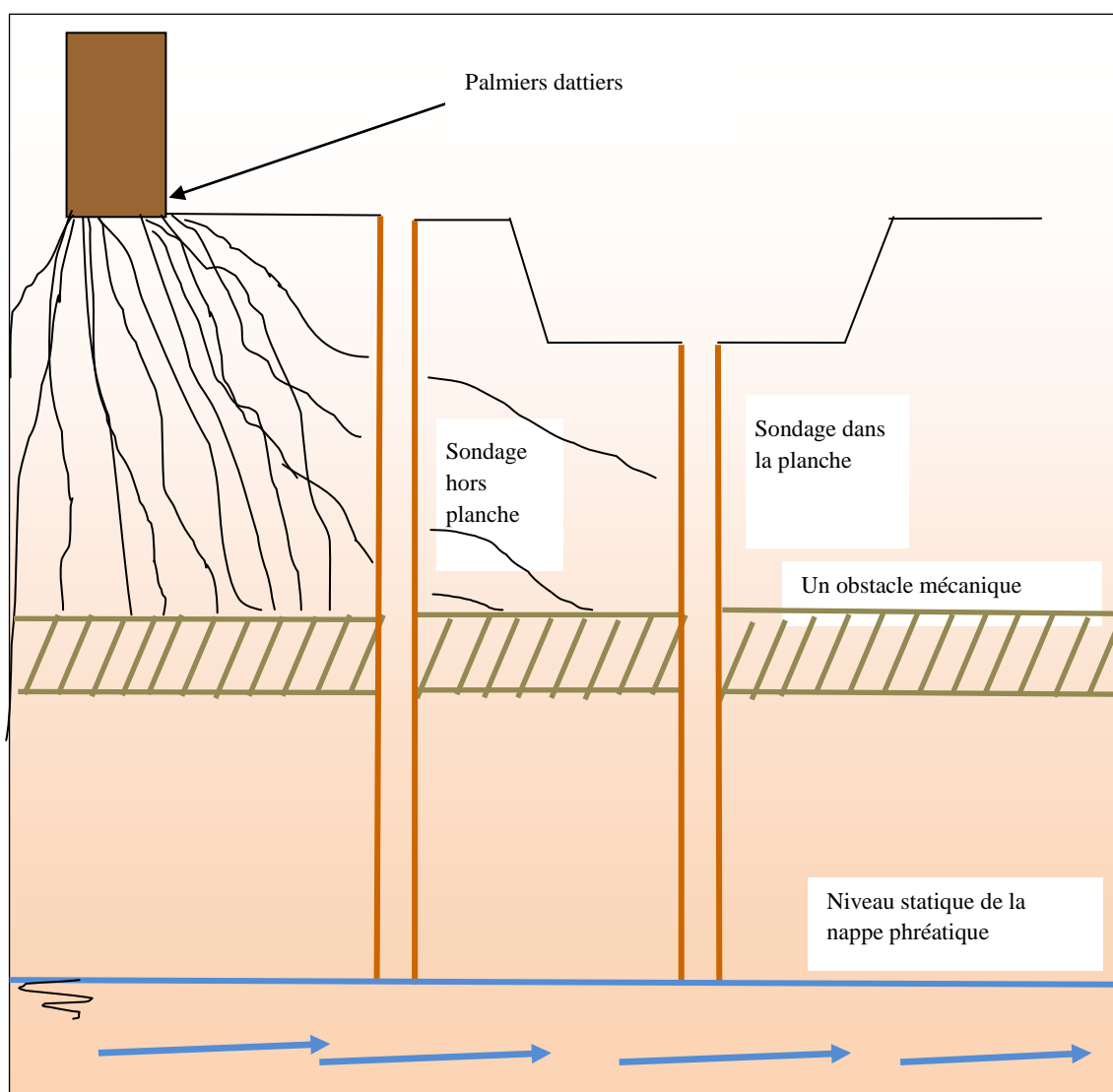
La caractérisation des profils des sols a permis de détecter des contraintes hydro-édaphiques peuvent conditionner le lessivage des sels. Vu le nombre limité des profils, ces constatations ne peuvent être généralisées pour l'ensemble de la surface des stations d'étude. Pour cela, une étude de variabilité spatiale s'impose.

Nos observations dans les profils et celles des études antérieures dans la cuvette de Ouargla (HAMDJ AISSA, 2000) et dans l'exploitation de l'université de Ouargla (DADDI BOUHOUN, 2010) nous ont conduit à étudier la variabilité spatiale des paramètres conditionnant la dynamique des sels par lessivage dans les sols. Les contraintes étudiées sont de types hydriques de niveau et de salinité des nappes phréatiques, édaphique à savoir les contraintes mécaniques de croûte gypso-calcaire, saline et alcaline de sols ainsi que l'impact de ces contraintes sur la vitesse d'infiltration des eaux d'irrigation dans les sols. D'après ABDALLAH (1984), cette dernière reste déterminante dans la dynamique des sels ou leur lessivage.

L'étude de la variation spatiale des contraintes hydriques de nappes phréatiques a nécessité la réalisation de sondages hors planches à l'aide d'une tarière de 150 cm, distants de 1 m des troncs des palmiers dattiers selon la méthodologie décrite par Baize et Jabiol (1995).

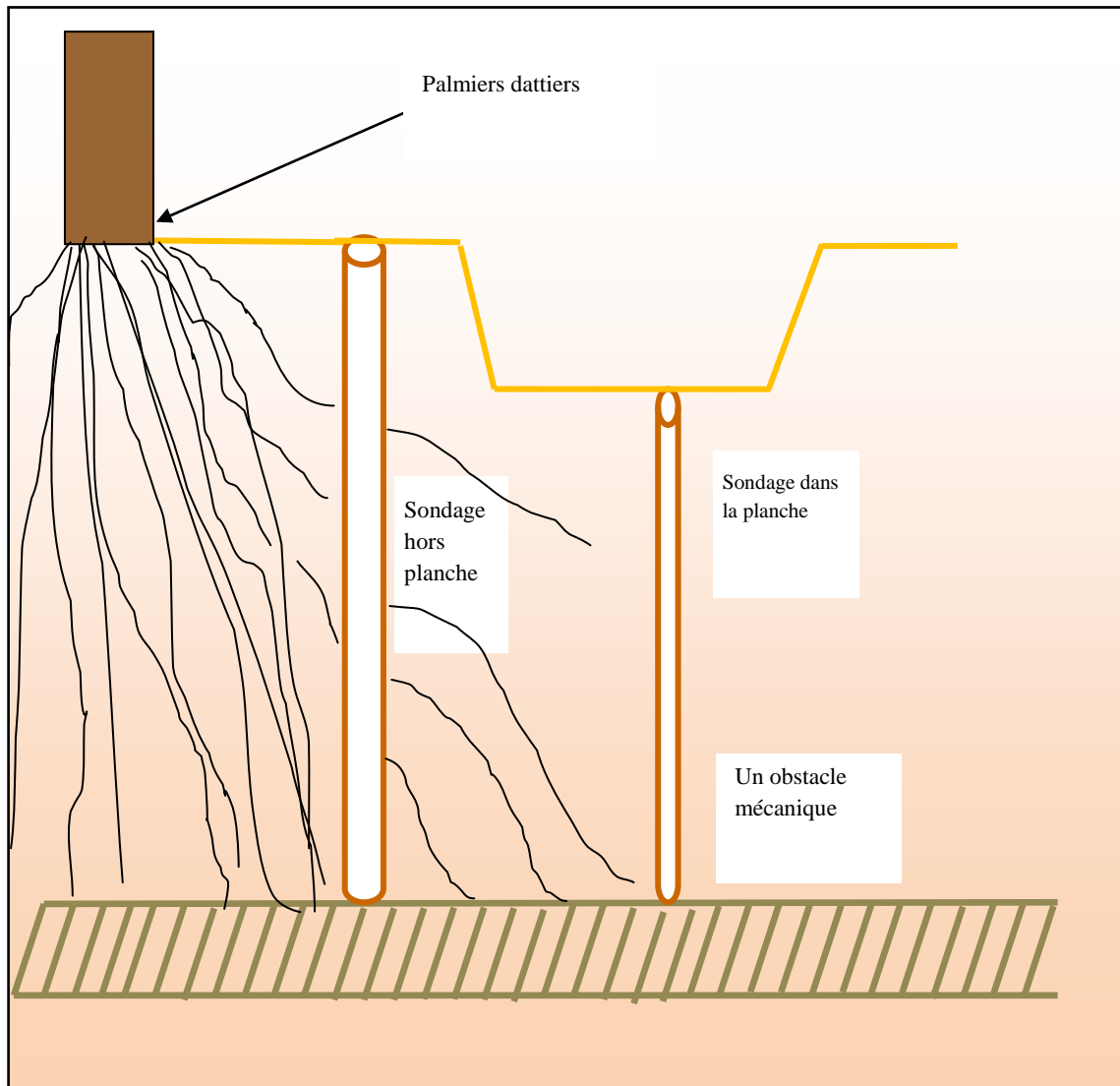


Ces derniers vont constitués des piézomètres hors zone d'irrigation (Fig. IV 3). Cette étude est réalisée pendant les mois de janvier et février 2015.



**Figure III 4.** Sondage d'estimation le niveau statique de la nappe phréatique

L'étude de la variation spatiale des contraintes mécaniques consiste à mesurer le niveau supérieur des obstacles mécaniques de croûtes gypso-calcaire par sondages dans et hors planches à l'aide d'une tarière face aux troncs des palmiers dattiers (Photo IV 5, 6), parallèlement aux mesures de niveaux des nappes phréatiques. Nous avons effectué 2 à 3 sondages dans les planches et de même hors planches selon la dimension des planches et le nombre des palmiers dattiers (Fig. IV 4). La réalisation de cette étude est faite pendant les mois de janvier et février 2015.



**Figure III 5.** Sondage pour estimer le niveau supérieur de la croûte.

L'étude de la variation spatiale des contraintes salines et alcalines des sols consiste à mesurer le niveau de salinité et d'alcalinité dans les horizons situés au-dessus du niveau supérieur des croûtes gypso-calcaire, parallèlement aux sondages des obstacles mécaniques. La profondeur maximum de mesure de salinité a été fixée à 50 cm dans les planches (Fig.11) qui correspond à celle recommandée dans le réservoir utile des sols pour l'irrigation des arbres fruitiers (OLLIER et al., 1983). Cette profondeur va nous permettre d'estimer le pouvoir lessivant de l'irrigation traditionnel par submersion.



**Photo III 10.** Sondage hydro-édaphique dans et hors planches.



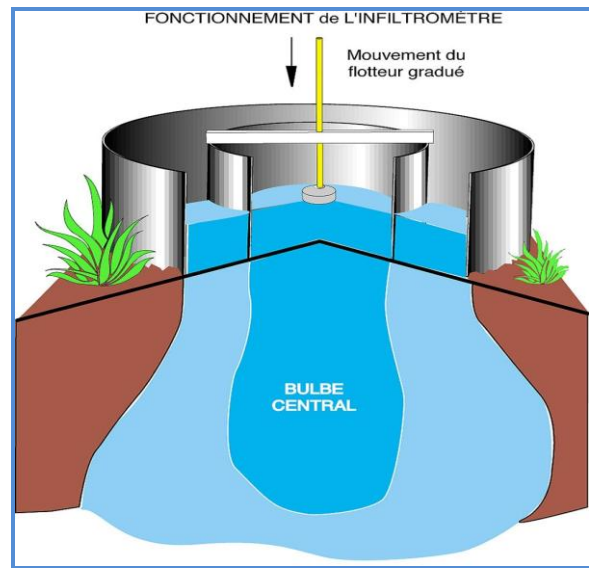
**Photo III 11.** Prélèvements d'échantillons de sols.

L'étude de la variation spatiale de la perméabilité des sols a été effectuée dans les planches d'irrigation pour apprécier l'infiltration par rapport aux contraintes existantes de nappes phréatiques, de croûtes et de salinité. La technique de mesure consiste à utiliser la méthode de doubles anneaux (Photo IV 7). Cette méthode consiste à placer deux cylindres de volumes différents sur le sol nivelé, le petit est placé à l'intérieur du grand. L'intervalle entre les deux est rempli d'eau à la moitié pour empêcher le déplacement latéral de l'eau contenue dans le petit cylindre qui sera entièrement rempli. La hauteur de l'infiltration est lue sur le

flotteur pendant un temps donné par le chronomètre. Cette méthode a été appliquée de deux à trois points dans chaque planche. Cette étude est réalisée pendant le mois de mai à juin 2015.



**Photo III 12.** Mesure de perméabilité



**Figure III 6.** Principe de doubles anneaux

L'ensemble des points de mesures au niveau des profils et des sondages sont localisés géographiquement par GPS (GARMIN map26Csx) pour nous permettre de tracer des cartes de variabilités spatiales par le logiciel de SURFER, à savoir :

1. Carte de variabilité spatiale d'obstacle hydrique de nappes phréatiques ;
2. Carte de variabilité spatiale d'obstacle mécanique de croûtes ;
3. Carte de variabilité spatiale de la salinité des sols ;
4. Carte de variabilité spatiale de la perméabilité des sols.

### 2.1.1.3. Impact des contraintes hydro-édaphique sur l'enracinement

A fin d'étudier l'effet des contraintes hydromécaniques sur l'enracinement des palmiers dattiers, nous avons fait des cartes de variabilité spatiale d'enracinement.

L'étude de la variation spatiale de l'enracinement des palmiers dattiers a nécessité la réalisation de sondages hors planches à l'aide d'une tarière de 150 cm, distants de 1 m des troncs des palmiers dattiers parallèlement aux sondages des nappes phréatiques.

### 2.1.2. Estimation de la meilleure conduite d'irrigation

Nous allons déterminer les paramètres d'irrigation en faisant varier la fraction de lessivage de 0 à 100% selon le FAO (Bulletin FAO N°29). Et aussi estimer les pertes d'eau par évaporation pour valoriser la dynamique des sels par remontée capillaire (Bulletin FAO N°56 ; CLEMENT et al, 2007 ; BOUTOUTAOU et al, 2012).

### 2.1.2.1 Préparation des planches et techniques d'irrigation

Dans le cadre de l'aménagement de deux demi-secteurs, on a préparés les planches d'irrigation (désherbage, dimensionnement et le mode d'amené d'eau).

Les herbes représentent un obstacle pour le ruissellement des eaux d'irrigation dans les planches. Pour cela un désherbage est nécessaire pour éliminer tout empêchement de l'écoulement des eaux. Un grand effort a été fait à l'aide d'une pelle et un râteau pour venir à bout de l'envahissement des planches par les mauvaises herbes.

L'aménagement des planches d'irrigation nécessite l'ajustement des longueurs, largeurs et profondeurs de chaque planche. Pour l'apport d'eau on a utilisé un tuyau flexible de 60mm de diamètre et 100m de longueur, reliant au grand bassin d'irrigation.



-A-

-B-

Photo III 13. Planches d'irrigation Avant (A) et après (B) aménagement.



Photo III 14. Irrigation des planches.

### 2.1.2.2. Détermination des paramètres d'irrigation

Les constatations antérieures à l'exploitation (DADDI BOUHOUN, 2010) et notre résultats de caractérisation, nous a conduit de proposer un pilotage d'irrigation.

L'amélioration de la gestion sera déterminée en fonction des caractéristiques hydriques des sols, des niveaux des obstacles mécaniques de croûtes, hydrique de nappes phréatiques et d'enracinement, et aussi la salinité des eaux d'irrigation à l'exploitation. L'amélioration de la gestion actuelle de l'irrigation par submersion nécessite l'estimation des besoins en eau de la culture principale de palmier dattier (ETM) et les paramètres théoriques de l'irrigation.

#### A. Besoins en eau des palmiers dattiers

Nous avons calculé l'évapotranspiration potentielle (E.T.P) mois par mois par la formule de TURC 1961 (OLLIER et POIREE, 1983). Cette relation améliorée de Turc à été déterminée sur une base expérimentale en Algérie, intégrant la température et l'humidité de l'air et l'insolation relative et la radiation globale. (BOUTELDJAOUI et al., 2011)

Si Hr > 50%, On a :

$$ETP = 0,40 \frac{T}{T + 15} (Ig + 50)$$

Si Hr < 50%, On a :

$$ETP = 0,40 \frac{T}{T + 15} (Ig + 50) \left(1 + \frac{(50 - Hr)}{70}\right)$$

Avec :

T : température mensuelle moyenne (°C)

Ig : la radiation globale (Cal/cm<sup>2</sup>/j)

Hr : l'humidité mensuelle moyenne (%)

Après avoir calculé par l'E.T.P, on a obtenu les besoins des cultures pour chaque mois par l'application d'un coefficient culturale (Kc) multiplicatif (VESCHAMBRE et VAYSSE, 1980). Ce dernier est fonction de la nature des cultures pour chaque station expérimentale.

$$ETM = ETP \times Kc$$

Ces besoins des cultures correspondent à une évapotranspiration maximale (E.T.M) du végétale s'il ne manquait jamais d'eau, se qui devrait théoriquement ce produits lorsqu'il y a

irrigation (DOORENBOS et al. 1986 in DADDI BOUHOUN 1997). Le coefficient cultural du palmier dattier est de 0,60 en hiver et 0,80 automne et 1 en été. (ZELLA, 2012).

### B. Paramètres théoriques de l'irrigation de submersion

Les paramètres théoriques de l'irrigation de submersion déterminés sont la réserve utile (R.U), la réserve facilement utilisable (R.F.U) ou dose pratique (Dp), la fraction de lessivage (LF), la fréquence d'irrigation (N) et le tour d'eau (T). Ils sont estimés comme suit :

- **Réserve utile (RU)** : C'est la dose maximale (Dm) ou la quantité d'eau qu'il faudra apporter a chaque irrigation pour rechargé le réservoir du sol a un taux d'humidité proche de la capacité de rétention et sur une profondeur variable selon la culture (OLLIER et POIREE, 1983);

Le potentiel étudié est calculé pour chaque horizon par la formule :

$$RU = \frac{(H_{cr} - H_{pf}) \times D_{app} \times Z}{100}$$

Où :

H<sub>cr</sub> : humidité pondérale a la capacité de rétention (%) ;

H<sub>pf</sub> : humidité pondérale au point de flétrissement permanent (%) ;

D<sub>a</sub> : densité apparente (g.cm<sup>-3</sup>);

Z : profondeur concerné (mm) ; elle est en générale de 500 mm pour l'arboriculture (OLLIER et POIREE, 1983). Le maintien de ce niveau de profondeur dans les calculs va être déterminé par l'étude de la variabilité spatiale des contraintes hydrique (niveau de la nappe phréatique), mécanique de croute gypso-calcaire, ainsi que l'observation du niveau d'enracinement. Tous cela fond nous permettre de choisir la profondeur de réservoir d'eau d'irrigation dans les sols.

- **Réserve facilement utilisable ou dose pratique (Dp)pp** : Elle exprime la fraction de l'eau utilisable facilement accessible à la plante (BAIZE, 1988). Cette R.F.U est variable en fonction du type de sol. Elle est estimée généralement à 1/2 de R.U. pour les sols argileux et limoneux et de 2/3 de la R.U pour les sols sableux (POIREE et OLLIER, 1971):

$$RFU (mm) = f(RU) = \frac{1}{2} \text{ à } \frac{2}{3} RU$$

Où :

f : tient compte du climat en faisant intervenir la vitesse de dessèchement du sol et sa structure). Le coefficient (f) étant souvent difficile à évaluer, on adopte généralement la valeur moyenne 2/3 pour les sols sableux (CHAMAYOU et al., 1989).

- **Fréquence d'irrigation (N)** : Elle représente le nombre d'irrigation (N) qu'il y aura lieu de donner au cours d'un mois, c'est le rapport entre les besoins de pointe par mois de la culture E.T.M. et la dose pratique RFU (OLLIER et POIREE, 1983) :

$$N = \frac{ETM}{Dp}$$

Où :  $D_r$  : est la dose réelle qui correspond à l'ajustement de N à la valeur entière immédiatement supérieure.

- **Tour d'eau (T)** : Le tour d'eau est le temps entre deux irrigations, où (n) est le nombre de jour du mois (OLLIER et POIREE, 1983)

$$T = \frac{n}{N}$$

D'après MARLET et al (2007), une réduction de la durée du tour d'eau d'irrigation pourrait conduire à une augmentation du volume d'eau utilisée par la plante aux dépens de la fraction de lessivage, et donc à un risque d'augmentation de la salinité de la nappe et des sols.

- **Fraction de lessivage (LF)** : En culture irriguée, l'objectif de lessivage est d'éliminer les sels qui se sont accumulés sous l'effet de l'évapotranspiration dans la partie du sol exploitée par les racines (sels préexistants ou apportés par les eaux d'irrigation).

La fraction de lessivage nous permet d'ajouter une dose d'irrigation suffisante pour assurer la lixiviation des sels solubles et de permettre un rendement relatif de 90%.

Connaissant la conductivité de l'eau d'irrigation, on peut alors déterminer la fraction lessivante qui maintient dans le profil cette conductivité reconnue tolérable (VALLES et al, 1983).

Nous avons donc une relation entre la conductivité de l'eau d'irrigation  $CE_i$ , la conductivité d'extrait saturé moyenne sur la zone racinaire CE, et la fraction lessivante L.F.

Cette relation n'étant pas inversible, (AYERS et WESTCOT, 1988 et RHOADES, 1971) a proposé une formule approchée :



$$L.F \% = \frac{C.E.w}{5(C.E.e.) - C.E.w.} \times 100$$

Où :

L.F. : besoin de lessivage minéral nécessaire pour lutter contre la salinité.

C.E.w. : Conductivité électrique de l'eau d'irrigation (2,85 dS.m<sup>-1</sup>).

C.E.e. : Conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée du sol correspondant à une culture ayant subi une diminution de rendement à 10 %, et qui est de 6,8 dS.m<sup>-1</sup> pour le palmier dattier (MAAS et al., 1977 et AYERS et al., 1988) (Annexe1)

Ce qui nous donne une dose de lessivage D<sub>f</sub> par la relation :

$$D_f = D_r \times (1 + LF)$$

- **Débit d'arrosage** : Le débit d'arrosage (l/s) à la tête du planche est estimé en utilisant un récipient d'un volume connu (l) et un chronomètre (s).

$$Q = V / t$$

- **Taux de lixiviation et d'accumulation** : Les sels solubles ont tendance à diminuer ou à se lixivier par les irrigations et à augmenter ou à s'accumuler entre celles-ci. Nous avons estimé les taux d'accumulation et de lixiviation des sels solubles par les formules (1 et 2) suivantes (DADDI BOUHOUN, 2006):

$$L\% = \frac{C.E.1av - C.E.nap}{C.E.1av} \times 100 \quad \dots\dots(1)$$

L% : taux de lixiviation des sels solubles par l'irrigation.

C.E.1av (dS / m): C.E. avant la dernière irrigation du mois considéré

C.Enap (dS / m): C.E. après la dernière irrigation du mois considéré ou des mois qui suivent

$$A\% = \frac{C.E.nap - C.E.1ap}{C.E.1ap} \times 100 \quad \dots\dots (2)$$

A% : taux d'accumulation des sels solubles entre les irrigations.

C ;E1ap (dS / m): C.E. après la dernière irrigation du mois considéré

C ;Ena (dS / m): C.E. avant la dernière irrigation du ou des mois qui suivent

### 2.1.2.3. Détermination des paramètres climatologiques

Le paramètre d'évaporation est le plus déterminant par rapport aux autres paramètres climatiques. Son rôle conditionne les disponibilités en eau, et les besoins dont l'exploitant est intimement lié. Connaissance du bilan hydrique est l'un des outils le plus fiable pour le pilotage et la réussite en agriculture Saharienne.

L'évapotranspiration, composante essentielle du bilan hydrologique, permet de comprendre les mécanismes régissant les relations eaux de surface /eaux souterraines (XU, 2005). D'autre part, l'étude de ce paramètre présente un grand intérêt pour l'évaluation des besoins en eau d'irrigation et celle de la fluctuation des niveaux piézométriques des nappes phréatiques, suite à des changements climatiques (HAMADI et CHIRAZ, 2003).

L'influence des ETP sur les cultures a un impact direct sur la rationalité de mise en oeuvre des irrigations (ULLMAN, 1985) surtout du point de vue doses, et fréquences (BNEDER, 1992).

L'évapotranspiration a été estimée sur la palmeraie de l'exploitation de l'ITAS, par un ensemble des méthodes physiques sur une série des données climatiques (température, l'humidité relative, la précipitation, la vitesse du vent et l'évaporation bac Colorado), pendant la période d'irrigation. L'évapotranspiration dépend essentiellement de la température, mais aussi du vent et de l'humidité atmosphériques par des relations plus complexes. On a mesuré l'évapotranspiration avec une méthode directe et la comparé avec une méthode indirecte (formule de BOUTOUTAOU). :

#### A. Méthode directe

Le phénomène de l'évaporation à partir de bac d'évaporation (Photo. VI 10 A) nécessite une station météorologique. Les appareils suivants complètent l'équipement de notre station évaporimétrique:

- un anémomètre : pour mesurer la vitesse du vent qu'il est une partie essentielle et intégrante du calcul de l'évaporation. Le rôle du vent dans l'atmosphère c'est qu'il remplace les masses d'air humides en tenant la surface évaporante par des masses d'air sèches. l'augmentation de l'évaporation s'explique par l'augmentation de la vitesse du vent, et de la grande sécheresse (PEGUY, 1970)
- thermomètre à maxima et minima: pour mesurer la température de l'air. La quantité d'eau évaporée est influencée par les variations de la température. Le pouvoir

é vaporant de l'air augmente avec l'élévation de la température (SAINIH et al, 1998). La température de l'air doit être mesurée à deux mètres au-dessus de la surface de l'eau.

- un hygromètre : pour mesurer l'humidité de l'air. Les mesures sont effectuées au même endroit que les mesures de la température. L'humidité est un paramètre climatique très important par rapport aux autres paramètres – ceci s'explique par le fait, qu'il est impératif à avoir un équilibre de vapeur d'eau entre la surface évaporant, et celle de l'air qui l'entoure.
- Un abri météorologique : désigne un boîtier utilisé en météorologie pour protéger les instruments de mesure contre les précipitations ainsi que les radiations directes de chaleur de sources extérieures, tout en continuant à permettre la libre circulation de l'air autour de ces instruments de mesure. Conçu pour accueillir divers instruments de mesure. l'abri permettra de créer, autant que possible, un environnement uniforme en relation avec l'air extérieur. A fin de la difficulté d'obtenir un abri météorologique originale, on a fabriqué nous même un abri à l'aide du carton à l'intérieur et du polystyrène à l'extérieur (Photo VI 10 B). Les normes fixées par l'Organisation météorologique mondiale (OMM) imposent que les thermomètres soient placés à une hauteur comprise entre 1,25 et 2 mètres au-dessus du sol. Pour cela on a attaché notre abri qui contient tous les instruments à l'aide d'un fil de fer, et on le soulevé à 2 m de terre.



-(A)-



-(B)-

**Photo III 15.** Bac colorado (A) et abri météorologique (B).

## B. Méthode indirecte

On a calculé l'évapotranspiration par la formule de BOUTOUTAOU :

Généralement, le choix d'une méthode de calcul d'une caractéristique hydrologique est lié à la disponibilité des données de mesure ou d'observation exigée par la méthode choisie. Parfois les données de quelques éléments météorologiques sont manquantes.

L'évaporation du plan d'eau dans ce cas peut-être déterminée à partir du déficit de saturation de l'air « D » (BOUTOUTAOU D., 1995) : Pour le Sud de l'Algérie : (zones arides et semi-arides)

$$E = 0.403 n D^{0.73} (1 + 0.39 V)$$

E – évaporation du plan d'eau, mm;

n - nombre de jours du mois considéré (n =30 ou 31 selon le mois pour les calculs mensuels et n = 1 pour les calculs journaliers) ;

V- vitesse du vent, (moyenne mensuelle) m/s ;

D – déficit de saturation de l'air, mb (millibars), donné par la relation suivante :

$$D = 0.0632 (H-100) e^{0.0632 (t)}$$

H – moyenne mensuelle de l'humidité de l'air, % ;

t – moyenne mensuelle de la température de l'air °C

## 2.2. Méthodes d'analyse

Nous allons présenter dans cette partie les méthodes de différentes analyses effectuées sur les eaux et les sols.

### 2.2.1. Méthodes d'analyse des eaux

Ces analyses ont été effectuées dans le laboratoire de l'Algérienne des eaux ADE de la wilaya de Ouargla. Les méthodes d'analyse utilisées au cours de notre expérimentation sont (RODIER et al., 2005):

- 1. Degré de salinité:** permet de mesurer la conductivité (C.E) à 25°C. il a été déterminé selon les protocoles de l'AFNOR (° NF T 90- 008 et NF EN 27888) en utilisant un conductimètre (HANNA INSTRUMENT HI 8733).
- 2. pH :** mesuré au pH mètre (HANNA 8424) (Annexe I) (AFNOR, 1999).
- 3. Charge saline:** elle estimer par la détermination par le résidu sec (R.S.) représente le poids de sels solubles par litre d'eau, séché à 110° C. (DURAND, 1958) ;
- 4. Faciès chimique:** Les analyses ont été effectuées au laboratoire selon les techniques standard (Rodier, 1984). Le faciès chimique déterminé par le bilan ionique

cationique ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) et anionique ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^-$ ) et présenter dans le diagramme de PIPER.

#### 4.1. Bilan cationique

pour  $\text{Mg}^{2+}$  et  $\text{Ca}^{2+}$ , on a utilisé la méthode de titrage molaire des ions de calcium et de magnésium avec une solution de sel désodique de l'acide éthylène diamine tétra acétique (EDTA) à pH10. Le noir ériochrome, qui donne une couleur rouge foncée ou violette en présence des ions calcium et magnésium, est utilisé comme indicateur.

Pour les cations ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) : les dosages sont réalisés par spectrophotomètre d'émission atomique (photomètre à flamme).

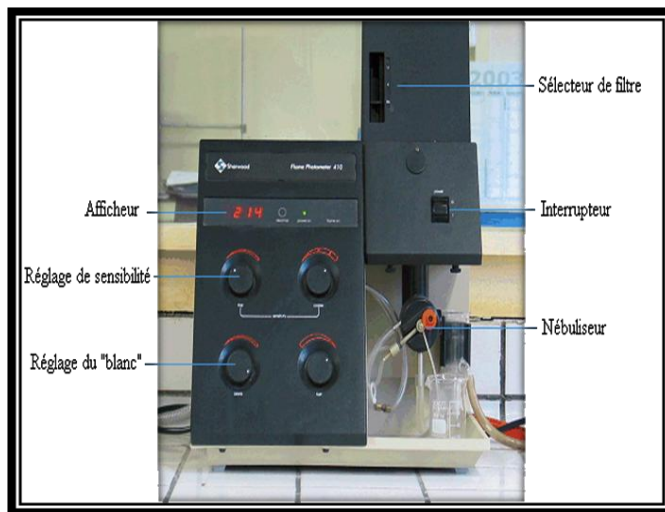


Photo III 16. Spectrophotomètre à flamme



Photo III 17. Dosage de calcium  $\text{Ca}^{2+}$  et de magnésium  $\text{Mg}^{2+}$ .

## 4.2. Le bilan anionique :

### 4.2.1 Dosage du chlorure

La méthode magnétométrique de MOHR est représentée ici : le chlore est dosé par titrimétrie, il est précipité par du nitrate d'argent en présence de chromate de potassium  $K_2CrO_4$  qui a été ajouté comme indicateur. La fin de la réaction est indiquée par l'apparition d'un précipité rouge de chromate d'argent. (AFNOR, 1999).

### 4.2.2 Dosage des carbonates et bicarbonates

Détermination des volumes successifs d'acide fort en solution diluée nécessaire pour neutraliser, aux niveaux de  $pH = 8.3$  et  $4.3$ , le volume d'eau à analyser. La première détermination sert à calculer le titre alcalimétrique (TA), la seconde à calculer le titre alcalimétrique complet (TAC). En présence d'indicateurs, la fin de la réaction est indiquée par un changement de couleur, soit un virage.

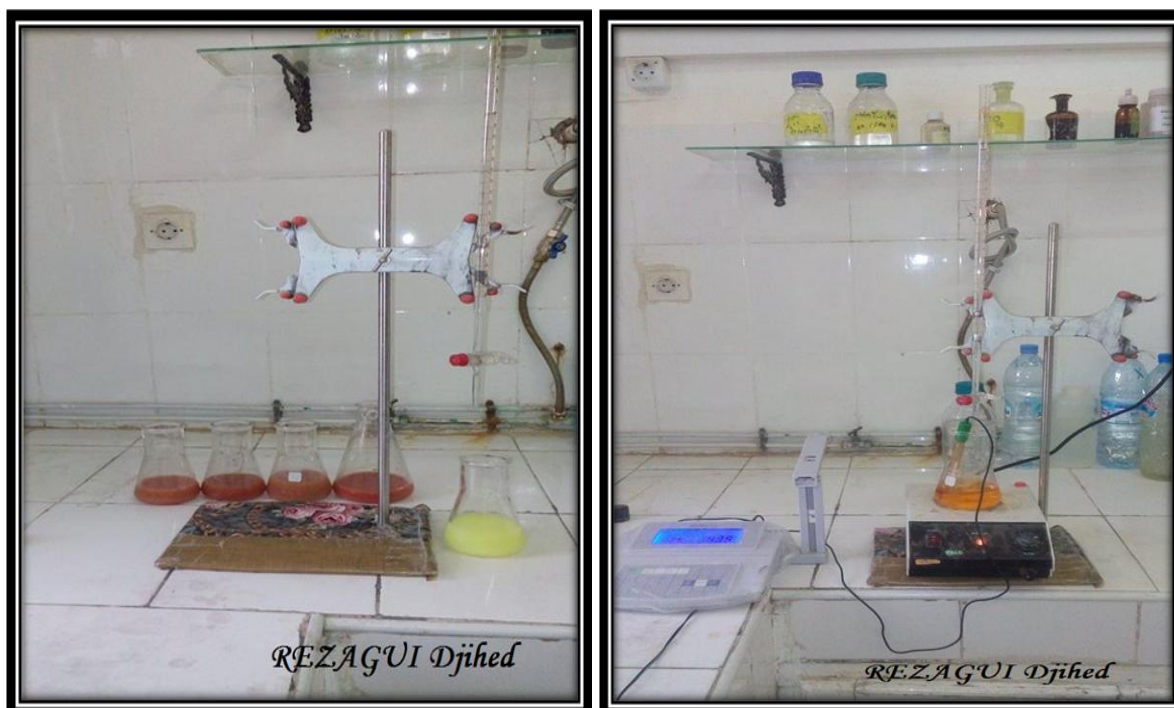


Photo III 18. Dosage de chlore et bicarbonate.

### 4.2.3. Dosage des sulfates

Les sulfates sont dosés par méthode gravimétrique au  $BaCl_2$  qui consiste à précipiter les ions  $SO_4^{2-}$  sous forme de sulfate de Baryum ( $BaSO_4$ ) en présence de  $BaCl_2$  à 10% (AFNOR, 1999).



Photo III 19. Dosage de sulfate par le spectrophotomètre atomique.

### 5. Sodicité et classification des eaux

L'estimation de la sodicité des eaux par le calcul du rapport d'adsorption du sodium (ARAGUES, 1983) ou sodium adsorption ratio

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

Où toutes les concentrations sont exprimées en  $\text{m}\text{éq} \cdot \text{l}^{-1}$ .

Pour la classification des eaux on adopte généralement le diagramme de RIVERSIDE qui tient compte des deux critères principaux : conductivité électrique et S.A.R. On voit qu'il est basé sur un tableau à double entrée.

- ✓ Une échelle horizontale, traduisant les risques de salinisation, exprimée par la conductivité en  $\text{mS} \cdot \text{cm}^{-1}$  ;
- ✓ Une échelle verticale où sont portées les valeurs du S.A.R exprimant les risques d'alcalinisation du sol par l'eau.

#### 2.2.2. Méthodes d'analyses des sols

Les méthodes d'analyses des sols utilisées au cours de nos travaux de recherches sont (AUBERT, 1978) :

**2.2.2.1. Degré de salinité:** permet de mesurer la conductivité électrique (C.E) à  $25^\circ\text{C}$ . il a été déterminé selon les protocoles NF ISO11256 en utilisant un conductimètre (HANNA INSTRUMENT HI 8733), qui estime la concentration des sels dissous dans

un extrait sol/eau distillée de rapport de 1/5. Cette analyse a été effectuée dans les laboratoires Etude et contrôle LEC de la wilaya de Ouargla.

**2.2.2.2. pH :** il est mesuré sur la fraction du sol <2 mm non broyée, séché à l'aire libre, effectué sur un extrait 1/5 de (eau / sol), selon les protocoles NF X 31-117. Le pH est mesuré dans le surnageant après agitation pendant 20 minutes à 1 heure et décantation. Il permet d'estimer le degré d'alcalinité des sols par l'utilisation d'un pH-mètre. ) (AFNOR, 1999).

**2.2.2.3. Résidu sec (R.s.) :** il nous permet d'estimer la charge saline en gramme par litre des eaux (extrait de sol 1 :5) après leur filtration et leur séchage dans l'étuve à 105°C (NF T90-029).

**2.2.2.4. S.A.R :** L'estimation de la sodicité des sols par le calcul du rapport d'adsorption du sodium (S.A.R).

**2.2.2.5. Densité apparente ( $D_{app}$ ) :** est estimée par la méthode du cylindre. Elle représente le rapport entre la masse sèche du sol et le volume apparent (Photo IV 15 ). Cette analyse a été effectuée dans les laboratoires de pédologie de l'université de Ouargla.



**Photo III 20.** Mesure de la densité apparente sur terrain et au laboratoire.

**2.2.2.6. Humidités :** est la quantité d'eau contenue dans un sol. Nous avons mesuré l'humidité parallèlement avec la densité apparente à 70° C l'humidité des horizons des profils (H). La température de séchage a été choisie à cause de la richesse des sols de Ouargla en gypse (HAMDI AÏSSA, 2001). Elle représente le seuil maximum



recommandé pour mesurer l'humidité des sols riches en gypse, car si on utilise 105 °C, il y aura extraction de l'eau de constitution du gypse (VEILLEFON, 1979). Nous avons mesuré aussi par la méthode de presse à plaque, avec l'appareil de RICHARD (Photo IV 16), l'humidité à la capacité de rétention en eau (Hcr) et celle du point de flétrissement (Hpf). Le point de flétrissement permanent est fixé, par les pédologues, à un potentiel constant pF 4,2 (BRUAND ET AL, 2004). Les teneurs en eau ont donc été mesurées après que les échantillons ont été équilibrés à ce potentiel (GOBAT ET AL, 2010).



**Photo III 21.** Mesure de l'humidité par l'appareil de RICHARD au laboratoire.

**2.2.2.7. Calcaire total ( $\text{CaCO}_3$ ) :** sa présence est déterminée sans quantification sur le terrain par le test d'effervescence à HCl. Il est quantifié au laboratoire par la méthode volumétrique au calcimètre de BERNARD, c'est-à-dire par mesure du volume de  $\text{CO}_2$  dégagé, suite à l'action de l'acide chlorhydrique HCl sur le sol (AUBERT, 1978).

**2.2.2.8. Gypse ( $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ ) :** Chimiquement il est composé de sulfate de calcium hydraté, ayant comme formule :  $\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$ . (COUTINET, 1965). Le gypse est dosé par la méthode de MOHR(BS) (1979), par calcination au four. L'analyse passe par plusieurs étapes: séchage, tamisage, ébullition avec présence de HCl et  $\text{BaCl}_2$ , refroidissement, la précipitation, la filtration, la calcination et le pesage des sulfates.



**Photo III 22.** Dosage de gypse.

**2.2.2.9. Dosage de matière organique (M.O.) :** le carbone organique (C) a été dosé par la méthode ANNE (AUBERT, 1970). Cette méthode consiste à oxyder le carbone organique par du bichromate de potassium avec excès en milieu sulfurique, la quantité réduite est en principe proportionnelle à la teneur en carbone organique. L'excès de bichromate de potassium est titré par une solution de sel de MOHR, en présence de diphénylamine dont la couleur passe du bleu foncé au bleu vert. Le taux de la matière organique est déduit en multipliant celui du carbone organique par 1,7.

**2.2.2.10. Texture :** A cause de l'absence de la méthode de la pipette de Robinson, on a déterminé la texture des sols des profiles (de chaque horizon) par la méthode de Sédimentométrie. Cette méthode qui s'effectue sur une prise de terre fine (éléments  $\leq 2$  mm), à pour but de déterminer le pourcentage des différentes fractions minérales constituant les agrégats (application de la loi de STOKES, loi de sédimentation des particules dans un liquide). Les résultats d'une analyse granulométrique se présentent d'une courbe nommée courbe granulométrique.



**Photo III 23.** Détermination de la texture par la méthode de sédimentation.

#### 2.2.2.11. Bilan ionique

On a déterminé le bilan ionique (cationique ( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ) et anionique ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ )) pour l'extrait 1:5 par la même méthode que les analyse ioniques des eaux.

A yellow scroll graphic with a black outline, featuring a vertical strip on the left side and a small circular detail at the top right corner. The text is written in a black, handwritten-style font.

Troisième Partie  
Résultats et discussions



Chapitre IV.

Caractérisation hydro-édaphique

## *Chapitre IV. Contraintes hydro-édaphiques dans les stations d'étude*

L'étude des contraintes hydro-édaphique consiste à étudier la gestion d'irrigation-drainage, la qualité des eaux d'irrigation et de drainage ainsi que le niveau et la qualité des eaux phréatique et les propriétés des sols. Les résultats de l'étude des secteurs phoenicoles A1 et C1 de l'exploitation, montrent une variation des conditions hydro-édaphiques.

### **1. Caractérisation hydriques**

#### **1.1. Etude de l'irrigation**

##### **1.1.1. Gestion traditionnelle de l'irrigation**

Le forage exploité en irrigation dans le demi-secteur A1 et C1 est de type Sénonien. Ce forage tombe souvent en panne à cause du vieillissement de l'équipement hydraulique des puits et dans ces conditions le temps de fonctionnement reste insuffisant pour assurer les besoins en eaux d'irrigation.

Le système d'irrigation est traditionnel de submersion en planches de dimensions variables de 10 à 26 m de longueur et 0,35 à 0,55 m de largeur et de gestion non conforme aux normes modernes de contrôle (Photo V 1).

Le réseau d'irrigation est constitué de conduites enterrées vétustes. Il est subdivisé en réseau primaire, secondaire et tertiaire, présentant les problèmes d'effondrement et l'ensablement au niveau de quelques canalisations endommagées et certaines vannes non fonctionnelles.

La canalisation primaire de forage assure l'alimentation du grand bassin qui assure l'accumulation et la distribution des eaux d'irrigation, il a une capacité de 150 m<sup>3</sup>. Les canalisations secondaires sont des conduites en PVC enterrées de 15 cm de diamètre, garantissent le transport d'eaux du grand bassin vers les sous bassins, dont un grand nombre sont en état d'arrêt. Ces derniers distribuent l'eau vers les planches d'irrigation qui représentent le réseau tertiaire.



**Photo IV 1.** Dimensions des planches d'irrigation traditionnelle

L'apport des eaux d'irrigation est aléatoire dans les parcelles dépendant du seul jugement de l'irrigateur qui suit le temps de remplissage des planches d'irrigation.

La dose est variable estimé de  $263,52 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{j}$ , Sur cette base, une plantation régulière d'un hectare installée  $9\text{m}\times 9\text{m}$  (122 palmiers / ha) reçoit environ  $21082 \text{ m}^3$  d'eau par an.

La fréquence d'irrigation est 4 fois par mois en hiver et en printemps, 8 fois par mois en été et en automne. L'évaluation approximative des apports annuels d'eaux montre qu'ils sont insuffisants pour couvrir les besoins en eaux des palmiers dattiers.

En Algérie, pour une densité de plantation de 130 palmiers par hectare, les besoins en eau varient entre  $21344$  et  $22750 \text{ m}^3 / \text{ha} / \text{an}$  (JUS, 1900 in DJERBI, 1994 ; HUSSEIN et al., 1979). À Oued Rhir, pour 129 palmiers / ha, de  $33927 \text{ m}^3 / \text{ha} / \text{an}$  (GAUTIER, 1935 in DADDI BOUHOUN, 2010), et de  $21960$  à  $26040 \text{ m}^3 / \text{ha} / \text{an}$ , pour 120 palmiers / ha (WERTHEIMER, 1957).

Les apports sont insuffisants et aussi l'absence d'un calendrier d'irrigation ne permet pas d'assurer les besoins en eaux conformément aux phases de croissances du palmier dattier.



**Photo IV 2.** Grand bassin d'irrigation à l'exploitation



**Photo IV 3.** Sous-basins d'irrigation traditionnelle

Les études antérieures à l'exploitation montrent une dégradation hydro-édaphique due à la mauvaise gestion d'irrigation qui a contribué à la salinisation et la remontée des eaux phréatiques (DADDI BOUHOUN, 2010).

Les conséquences du mauvais fonctionnement des drains sont la remontée des eaux phréatiques, la salinisation et les accumulations gypseuses dans les sols de l'exploitation



(DADDI BOUHOUN, 2010)

### 1.1.2. Qualités de l'eau d'irrigation

Les principaux paramètres de caractérisation des eaux sont le degré de salinité exprimé par la conductivité électrique (C.E.<sub>i</sub>), le pH<sub>i</sub>, la charge saline (R.s.<sub>i</sub>), la sodicité (SAR<sub>i</sub>) et le faciès chimique. L'étude de la qualité des eaux d'irrigation utilisé dans les demi-secteurs A1 et C1 montre que :

- **Degré de salinité :** La C.E.<sub>i</sub> des eaux d'irrigation du Sénonien est de 3,58 dS.m<sup>-1</sup>. Selon l'échelle DURAND (1958), les eaux sont très fortement salées de classe C4 (Annexe2).
- **pH des eaux :** D'après l'échelle GAUCHER (1968), le pH<sub>i</sub> des eaux est alcalin de 7,78 (Annexe9).
- **Charge saline:** Le résidu sec R.s.<sub>i</sub> est de 2,37g.l<sup>-1</sup>. Il exprime une classe d'eau fortement salée (Annexe 3).
- **Faciès chimique:** La représentation des résultats chimiques des eaux d'irrigations de l'exploitation sur le diagramme de Piper (Fig. V 1) montre un faciès équilibré sulfatée-carbonaté-chlorurée et sodique-calcique-magnésien.
- **Classification des eaux :** L'eau d'irrigation a une faible alcalinité présente un SAR de 5,64 (SERVANT, 1966 ; annexe 4). Elles appartiennent à la classe S2 du diagramme de RIVERSIDE. En associant la salinité dans ce dernier, les eaux sont de classe C4S2 qui leur confie une qualité médiocre à mauvaise (DURAND, 1958).

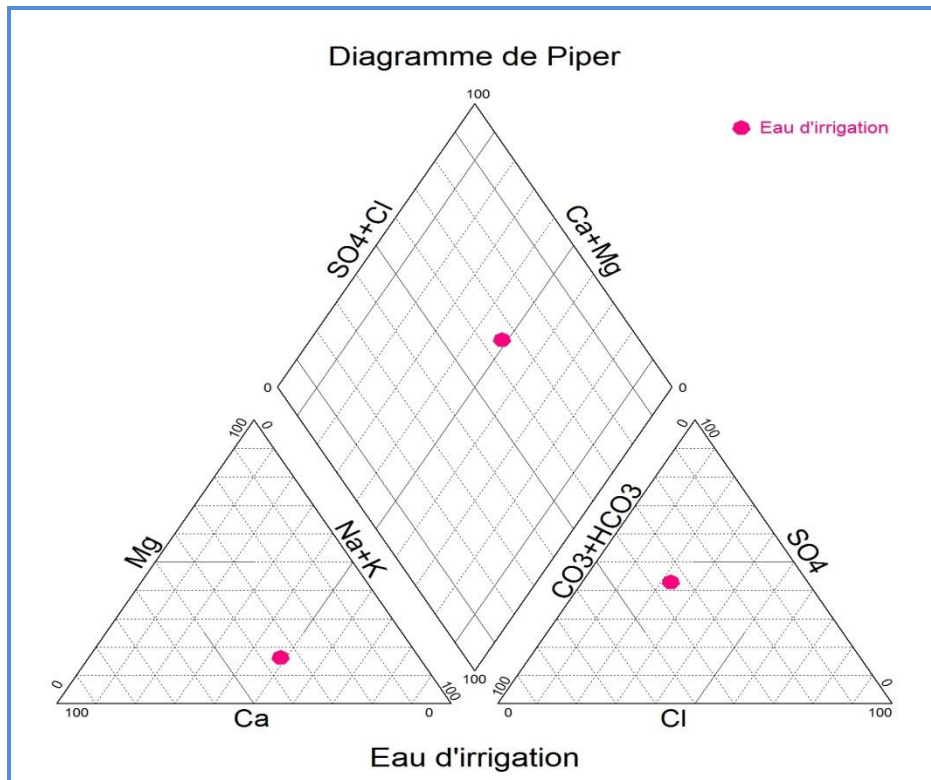


Figure IV 1. Représentation des eaux d'irrigation sur le diagramme de Piper

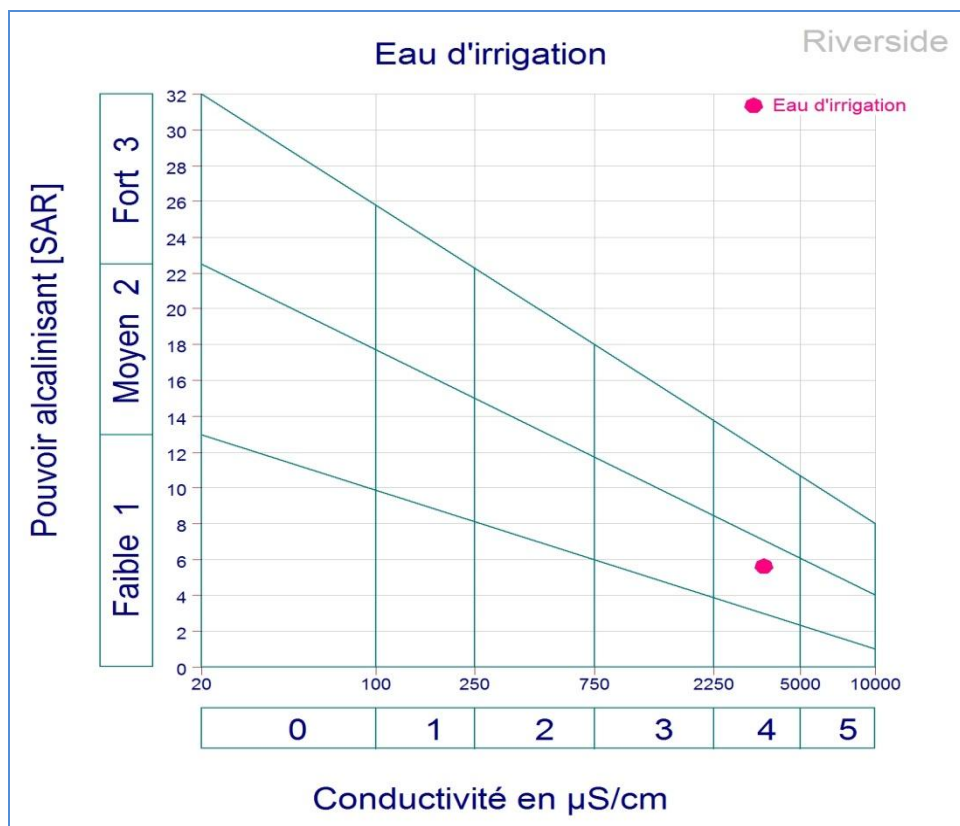
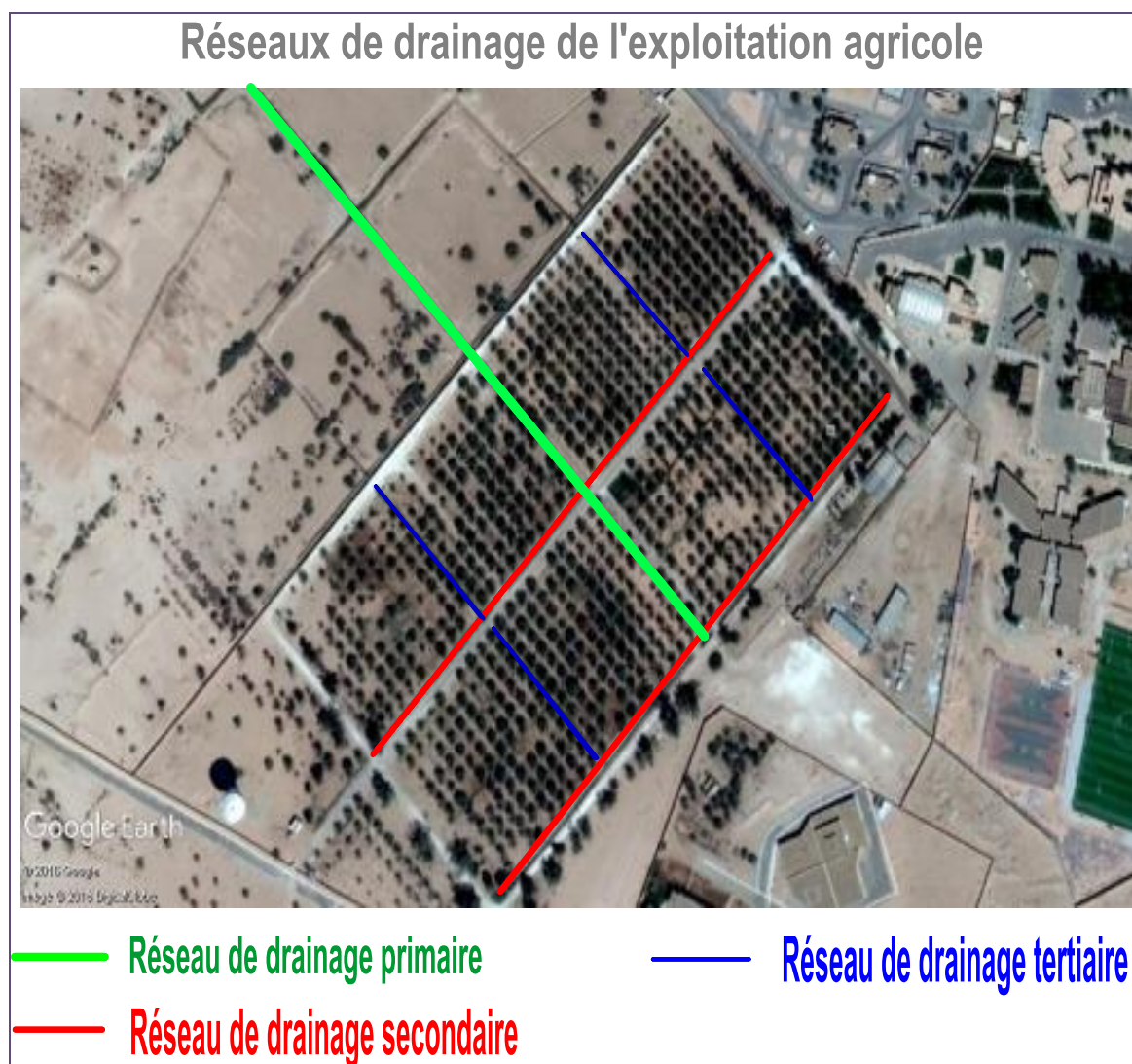


Figure IV 2. Classifications des eaux d'irrigation sur le diagramme de RIVERSIDE.

## 1.2. Etude du drainage

### 1.2.1 Réseau de drainage

Le réseau de drainage de l'exploitation est à ciel ouvert, couvrant les demi-secteurs A1 et C1. Il est constitué des drains primaires, secondaires et tertiaires, débouchant dans le collecteur principal connecté à la station de pompage qui ramène les eaux vers la station d'épuration puis sebkhat Oum Erraneb (Photo V 4).



**Photo IV 4.** Réseau de drainage de l'exploitation agricole.

Les dimensions des canaux primaires sont de 1,4 à 2,5 m de largeur et de 1 à 1,3 m de profondeur, 200m de longueur. Les canaux secondaires sont de 1,4 à 2 m de largeur et de 1 à 1,2 m de profondeur, 170 m de longueur et ceux des canaux tertiaire de 1 à 1,4 m de largeur et de 1,3 m de profondeur, et de 100 m de longueur.

L'étude de DUBOST (1991), préconise pour les oasis du Sahara Nord-Est algérien un niveau de drainage variable entre 1,3 et 1,5 m de profondeur, peut réduire la remontée des eaux, l'engorgement et la salinisation (TURNER et WARD, 2002).

Les parois des canaux sont constituées à la base de sol. Actuellement, ils sont soutenus par des murs de pierres pour limiter les effondrements (Photo V 5). Ces travaux ne sont pas réalisés à base d'étude où la pente des drains n'est pas conforme à la topographie actuelle de l'exploitation, ce qui gêne l'évacuation des eaux.



-A-

-B-

**Photo IV 5** Drain à paroi de sol (A) et à paroi de pierre (B)

L'écoulement des eaux dans le réseau de drainage est interrompu dans plusieurs endroits, favorisant la stagnation des eaux. Les causes sont multiples comme l'obstruction des canaux par l'effondrement des sols de parois de drains, non renforcés par les pierres, l'ensablement, la faible pente au fond des drains vers l'exutoire. Aussi, l'envahissement des drains par les hydro-halophytes (phragmites, tamarix, et autres), limitant l'écoulement et indiquant une absence d'entretien quotidien des drains.



-A-

-B-

**Photo IV 6.** Etat des drains primaire (A) et secondaire (B) à l'exploitation**Photo IV 7.** Topographie des drains

Le système de drainage actuel fonctionne donc mal. Il y a aussi un risque de colmatage des murs de soutien des drains par précipitation de gypse, vu la fluctuation de nappe phréatique qui favorise les accumulations gypseuses (DADDI BOUHOUN, 2010).

Cette situation risque de réduire la perméabilité des murs, le remplissage des drains, l'évacuation des eaux de drainage et aboutira à la remontée de la nappe phréatique. Les conséquences précitées sont alarmantes et nécessitent confirmation par suivi du fonctionnement des drains.

**1.2.2. Qualités de l'eau de drainage :** pour étudier la qualité des eaux de drainage on a mesuré la salinité globale exprimée en conductivité électrique (C.E.<sub>d</sub>) et la charge saline (R.s.<sub>d</sub>), le danger d'alcalinisation exprimé en (pH.<sub>d</sub>) et le SAR.<sub>d</sub>, le faciès chimique. Les résultats montrent ce qui suit :

### 1.2.2.1. Salinité globale

- **Degré de salinité :** les mesures montrent que ces eaux ont une salinité excessive selon l'échelle DURAND (1958). La C.E.<sub>d</sub> est de l'ordre de 8,32 dS.m<sup>-1</sup> et 4,34 dS.m<sup>-1</sup> pour les eaux du demi- secteur A1 et C1.
- **Charge saline :** les eaux de drainage est très faiblement à faiblement salées. Le résidu sec R.s.<sub>d</sub> est de l'ordre de 7,4 g.l<sup>-1</sup> et 3,9 g.l<sup>-1</sup> excessivement pour les eaux du demi- secteur A1 et C1.

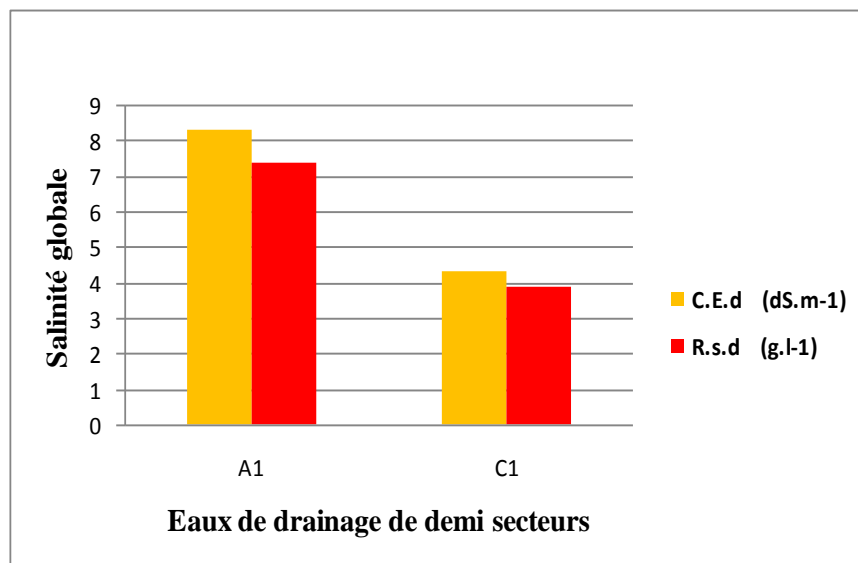
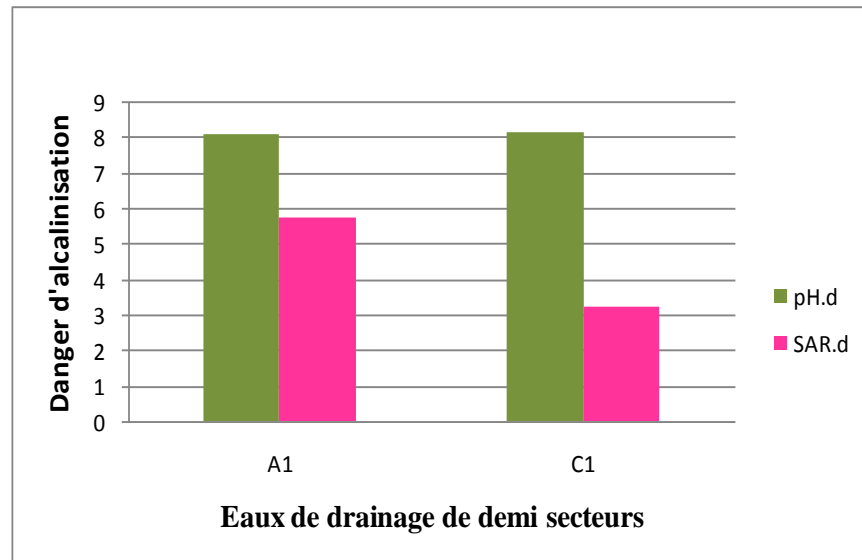


Figure IV 3. Salinité globale des eaux de drainage des deux demi secteur

### 1.2.2.2. Danger d'alcalinisation

- **pH.<sub>d</sub> :** les mesures montrent que les eaux sont alcalines selon l'échelle GAUCHER (1968). Le pH<sub>d</sub> est de l'ordre de 8,14 et 8,2 pour les eaux du demi-secteur A1 et C1.
- **SAR.<sub>d</sub> :** les eaux de drainage de demi-secteur A1 et C1 sont classées respectivement à S2 et S1, ces eaux sont faiblement à moyennement alcalines, le SAR est égal à 5,75 dans le demi-secteur A1 et 3,21 dans C1.

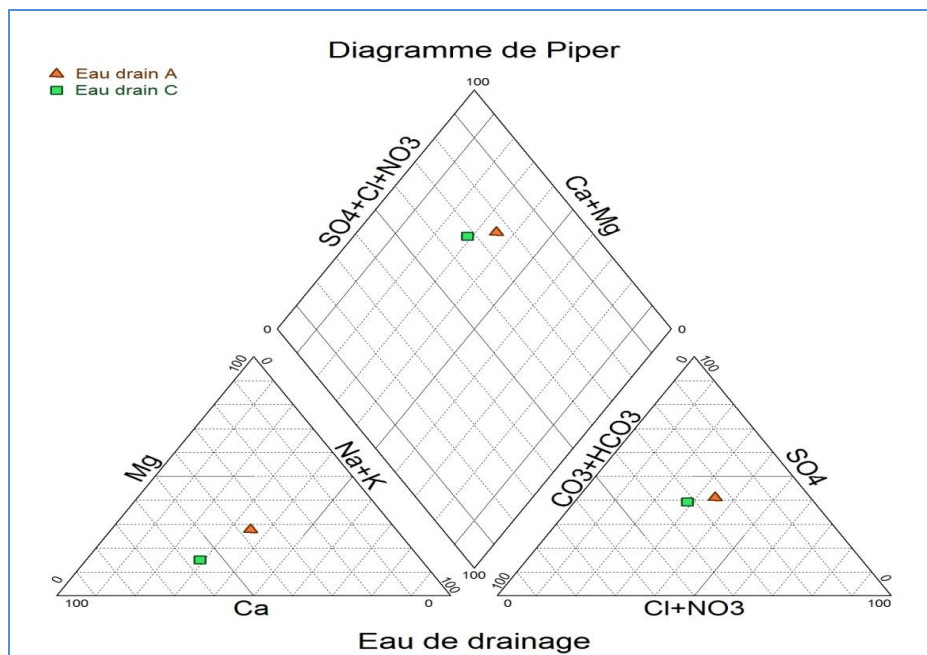


**Figure IV 4.** Danger d'alcalinisation des eaux de drainage des deux demi secteur

### 1.2.2.3. Faciès chimiques et classification des eaux

La représentation des résultats chimiques des eaux de drainage de l'exploitation sur le diagramme de Piper (figure suivante) montre que le chimisme des eaux analysées est caractérisé par :

- Les eaux de drainage de A1 ont un faciès équilibré sulfaté-chloruré-carbonaté et calcique-sodique- magnésien ;
- Les eaux de drainage de C1 ont un faciès équilibré sulfaté carbonaté chloruré calcique.



**Figure IV 5 .** Représentation des eaux de drainage sur le diagramme de PIPER

### 1.3. Etude de la nappe phréatique

#### 1.3.1. Profondeur de la nappe phréatique

Nous avons estimé à l'intérieur des différents profils, le niveau statique de la nappe phréatique par rapport à la surface du sol parallèlement avec les prélèvements des eaux phréatiques, en faisant des trous avec la tarière de 150 cm et en mesurant le niveau de la nappe. Les résultats se présentent dans la figure suivante :

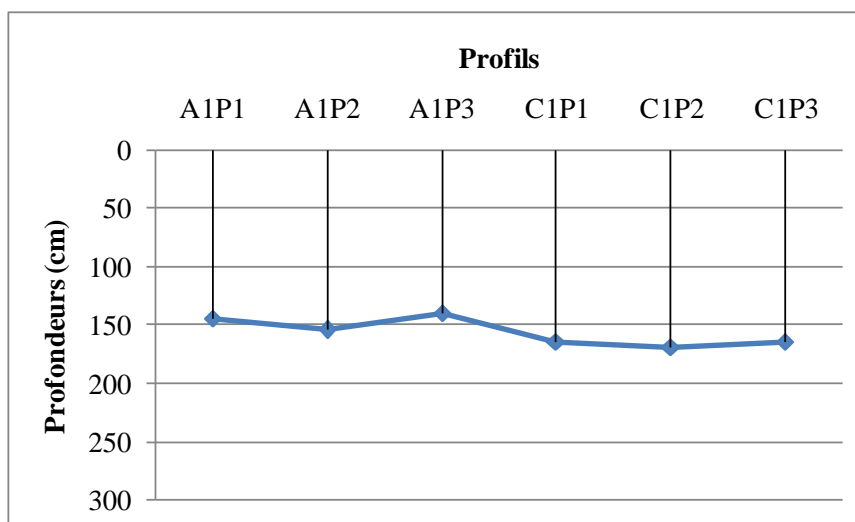


Figure IV 6. Niveau des eaux phréatiques des profils étudiés

Les résultats montrent que le niveau statique des nappes phréatiques est souvent proche de la surface avec une profondeur enregistrée comprise entre 140 et 170. Dans le demi-secteur A1 la nappe est superficielle inférieure à 150 cm, mais dans le demi-secteur C1 est peu profonde supérieure à 150cm.

#### 1.3.2 Qualités des eaux phréatiques

Pour étudier la qualité des eaux de nappe phréatique on a mesuré la salinité globale exprimée en conductivité électrique ( $C.E_n$ ) et la charge saline ( $R.s_n$ ), le danger d'Alcalinisation exprimé en ( $pH_n$ ) et le  $SAR_n$ , le faciès chimique. Les résultats montrent ce qui suit :

##### 1.3.2.1. Salinité globale

- **Degré de salinité :** En se basant sur la classification des eaux de U.S.S.L. (1954), modifié par DURAND (1958), les mesures de la conductivité électrique  $C.E_n$  des eaux phréatique montrent que ces eaux «excessivement salées» varie en fonction des secteurs. La  $C.E_n$  oscille entre 17,31 et 23,50  $dS.m^{-1}$  pour les eaux du demi- secteur A1 et entre 9,19 et 15,31  $dS.m^{-1}$  pour les eaux de C1;
- **Résidu sec :** Le résidu sec  $R.s_n$  est entre 14,95 et 19,8  $g.l^{-1}$  pour les eaux du demi-secteur A1 et entre 7,31 et 12,38  $g.l^{-1}$  pour les eaux de C1.



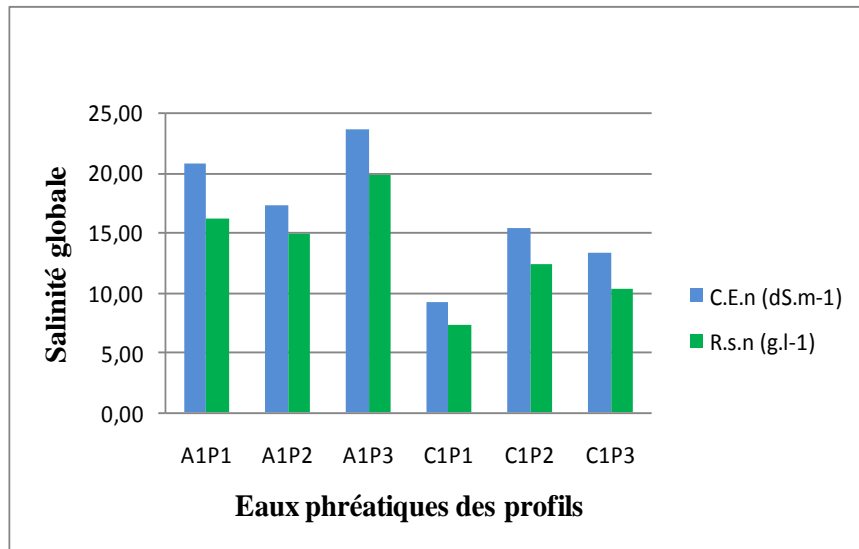


Figure IV 7. Salinité globale des eaux phréatiques.

### 1.3.2.2. Danger d'alcalinisation

- **pH<sub>n</sub>** : Les mesures du pH<sub>n</sub> montrent que les eaux sont entre 7,47 et 7,90 donc ces eaux sont alcalins GAUCHER (1968) ;
- **Classification des eaux** : pour les eaux phréatiques de demi-secteur A1 le SAR<sub>n</sub> est entre 10,09 et 16,18 ces eaux sont classées à S2 moyennement sodique, le SAR<sub>n</sub> est entre 4,55 et 8,91 pour les eaux phréatiques de C1 donc le danger d'alcalinisation est faible ces eaux sont classées à S1 selon la classification de DURAND (1958).

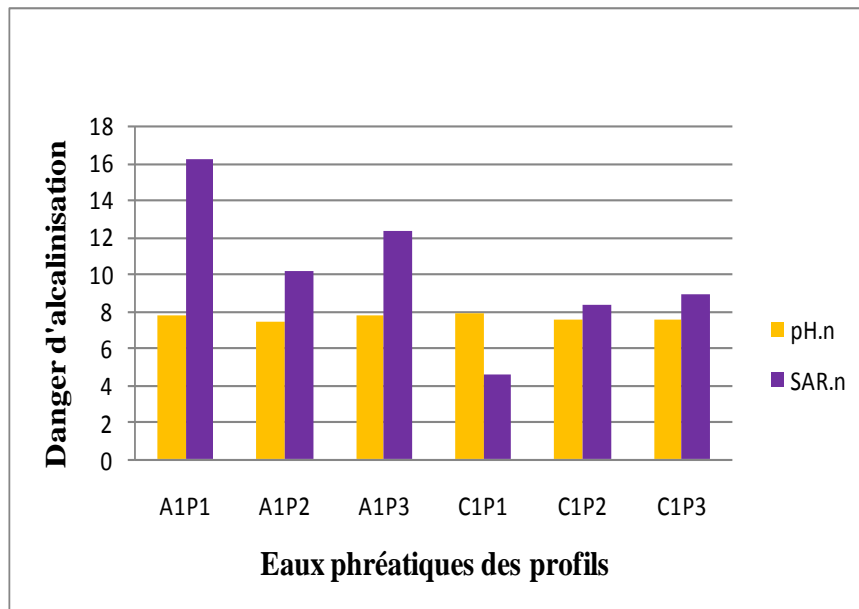


Figure IV 8. Danger d'alcalinisation des eaux phréatiques

### 1.3.2.3. Faciès chimique des eaux phréatiques

La représentation des résultats chimiques des eaux phréatiques sur le diagramme de Piper (figure suivante) montre que :

- L'eau phréatique du profil A1P1 est équilibré chloruré carbonaté sulfaté et de dominance sodique ;
- Les eaux des profils A1P2, A1P3, C1P1, C1P2 sont équilibrées en cations et en anions mais avec des proportions variables ;
- L'eau phréatique du profil C1P3 est sulfatée et équilibre sodique magnésien calcique.

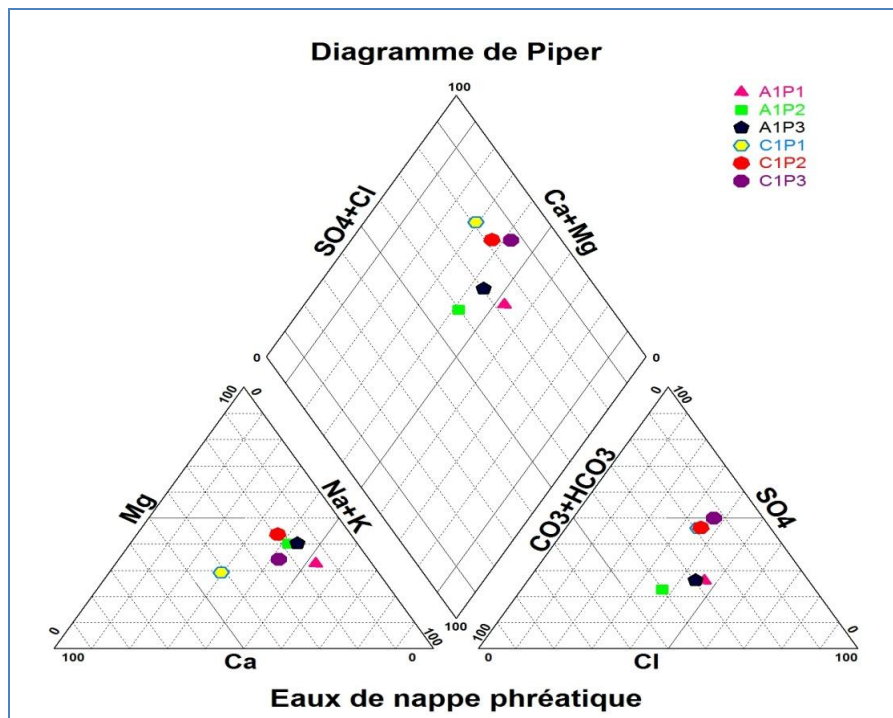


Figure IV 9. Faciès chimiques des eaux de nappe phréatique

#### Relation ente l'évolution des paramètres étudiés

L'analyse de la corrélation totale entre les paramètres étudiés: conductivité électrique (C.E.<sub>n</sub>), résidu sec (R.S.<sub>n</sub>), la sodicité (S.A.R.<sub>n</sub>) et le niveau des eaux phréatiques (P.<sub>n</sub>).

L'analyse a montré que la conductivité électrique des eaux phréatique (C.E.<sub>n</sub>) est en corrélation significative avec le résidu sec (R.S.<sub>n</sub>) le coefficient est égale à  $R=0,99$ , avec la sodicité (S.A.R.<sub>n</sub>)  $R=0,87$ , et avec le niveau de la nappe (P.<sub>n</sub>)  $R=0,87$ , ce qui montre que l'évolution du (R.S.<sub>n</sub>), le (S.A.R.<sub>n</sub>) et (P.<sub>n</sub>) est étroitement liée à l'évolution de de la salinité des eaux phréatiques (Fig V 10, 11, 12)

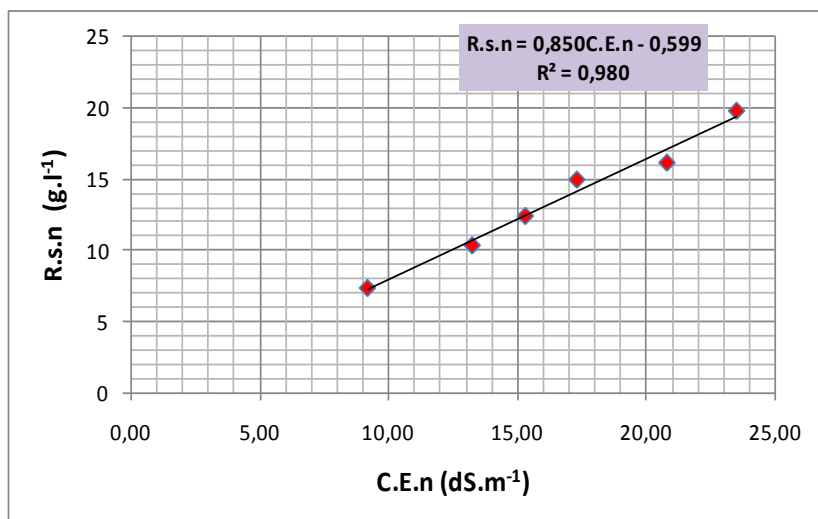


Figure IV 10. Relation entre le degré de salinité et le résidu sec des eaux phréatiques.

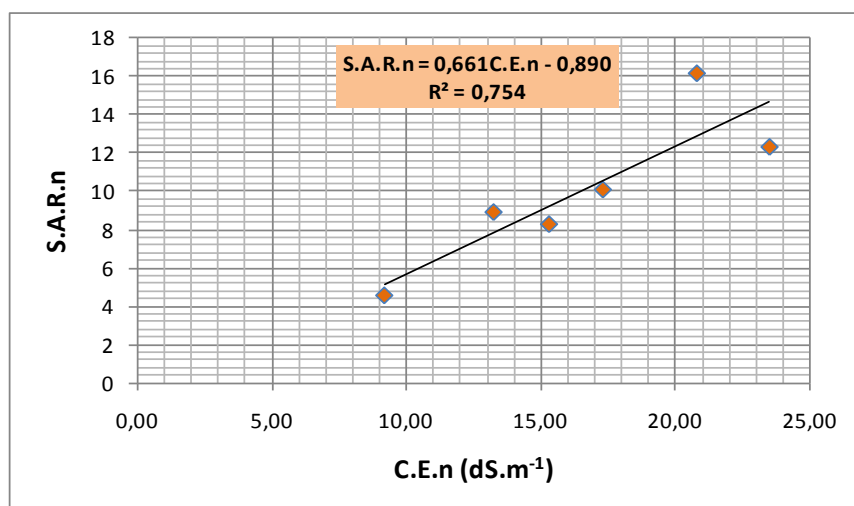


Figure IV 11. Relation entre le degré de salinité et la sodicité des eaux phréatiques.

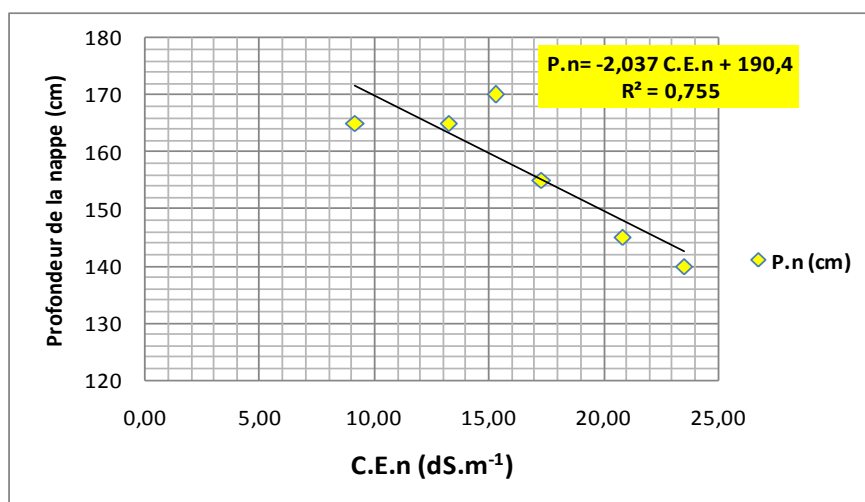


Figure IV 12. Relation entre le degré de salinité et la Profondeurs des eaux phréatiques.

#### 1.4. Discussions

Selon DAOUD et HALITIM, 1994, la minéralisation des deux grandes nappes : CT et CI varié de 2 à 8 g.l<sup>-1</sup>, cette donnée approuve nos résultats.

Les eaux d'irrigation présentent une forte salinité de classe C4 avec un pH alcalin. Elles sont classées comme des eaux très déconseillées pour l'irrigation; exceptionnellement, elles peuvent être utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage et avec une dose d'irrigation en excès pour assurer un fort lessivage du sol.

Les plantes cultivées devront être très tolérantes aux sels (DURAND, 1958). Ces eaux pouvant produire un stress salin, et une toxicité sodique pour les cultures (VAN HOOR, 1972), suivie d'une réduction des rendements qui a une relation rectiligne avec la salinité des eaux d'irrigation (FRENKEL, 1985). SNOUSSI et HALITIM (1998) ont trouvé que le ralentissement de croissance des plantes est dû à l'effet direct de la salinité des solutions.

Les valeurs extrêmes de salinité des eaux d'irrigation enregistrées sont capables de réduire le rendement relatif de 50 % pour les arbres moyennement tolérants et de 25 % pour le palmier dattier, en nappe phréatique profonde (MAAS et HOFFMAN, 1977). Selon RHOADES et al., (1992), l'excès de salinité dans la rhizosphère a un effet nocif sur la croissance des cultures.

L'excès des eaux d'irrigation en ions spécifiques comme le sodium et le chlore présente un effet double sur la plante: une toxicité due aux ions Na<sup>+</sup> et Cl<sup>-</sup> (GOUNY, 1973 ; AYERS et WESTCOT, 1988) et une déficience en potassium et en magnésium due à Na<sup>+</sup> et Ca<sup>2+</sup> (BERNSTEIN et al., 1974)

Le mauvais drainage de l'exploitation favorise la saturation des couches superficielle des sols et limite ainsi le niveau d'infiltration des eaux d'irrigation, engendrant un état d'hydromorphie (DADDI BOUHOUN, 2010).

Au vu des résultats, notre étude montre que la nappe phréatique dans notre zone est une nappe qui caractérisée par une salinité excessive dans les deux demi-secteurs. Elle a dépassée la limite standard du seuil de salinité, estimée à 3 dS.m<sup>-1</sup> par AYERS et WESTCOT (1976). Selon (DUBOST et MOGDATT, 2002), (MASMOUDI, 2003), les eaux de nappes phréatiques sont toujours très salées avec plus de 4 à 5 g.l<sup>-1</sup> de résidus sec et bien souvent trois fois plus ce qui approuve nos résultats. Ainsi que l'étude des données établies par l'A.N.R.H durant des campagnes de l'année 2007 jusqu'à 2013 dans la cuvette de Ouargla conforte aussi

nos résultats de classification de ces eaux à l'exploitation. Aussi, nous avons la même constatation par d'autres travaux de recherche réalisés par DADDI BOUHOUNE (2010) ; HAMDY AISSA (2001) ; DJIDEL (2008) ; NEZLI (2004) ; TABOUCHE et ACHOUR, 2004 ; IDDER, 2007. Les eaux phréatiques sont dans l'ensemble dégradées avec des niveaux de salinité différents.

La richesse des eaux phréatiques dans la palmeraie étudiée en ions sulfatés, chlorurés, en sodium et en calcium, peut présenter aussi des effets néfastes sur la phoeniciculture et les cultures sous-jacentes.

La remontée de ces eaux chargées en sels, peut avoir des effets néfastes sur les végétaux au contact de leurs systèmes racinaires. Ils produisent une hydro-halomorphie qui aboutit à une pourriture racinaire par anoxie et à une mauvaise alimentation hydrique et minérale par stress salin pour les palmiers dattiers. Cette situation affecte directement le rendement en dattes (DADDI BOUHOUN, 2010). Selon DUBOST (1991) et EDMONDS et al. (1998), ces eaux peuvent limiter la croissance du palmier dattier.

La nappe phréatique, qui imprègne le matériau pédologique, se situe à faible profondeur sous la surface du sol, et joue, par son caractère fortement salin, un rôle très important dans le phénomène de salinisation des sols. Cette nappe se comporte alors, sous l'effet des remontées capillaires et de l'évaporation, comme un véritable réservoir de diffusion de sels à travers tout le profil pédologique.

Cette salinité est le résultat d'une mauvaise gestion de l'irrigation et le mauvais fonctionnement du réseau de drainage, où cette situation a conduit à la remontée de la nappe phréatique (DUBOST et al., 1983 ; DUBOST, 1991 ; SAKER, 2000 ; HAMDY-AÏSSA, 2001). Aussi la topographie très plane de la cuvette de Ouargla conjuguée à un manque d'exutoire naturel. Cette situation est aggravée par l'irrigation non contrôlée des palmeraies. (KHADRAOUI ., 2010).

## 2. Caractérisation édaphique

La caractérisation édaphique est nécessaire pour comprendre la fonction hydro-halomorphe, conditionnant la conduite de l'irrigation-drainage à l'exploitation. Les résultats montrent une variabilité dans les caractérisations morphologiques et analytiques des sols dans les demi-secteurs A1 et C1.

### 2.1. Etude morphologique

#### 2.1.1. Sols du demi-secteur A1

Les trois profils du demi-secteur A1 à l'exploitation de l'université présentent les critères environnementaux suivants :

- Topographie : Plane, légère pente (<1%) ;
- Culture : Palmier dattier ;
- Date de description :
  - Profil A1P1 : 02-12-2014 ;
  - Profil A1P2 : 10-12-2014 ;
  - Profil A1P3 : 09-02-2015.

Les caractéristiques morphologiques détaillées des profils sont présente comme suite :

##### 2.1.1.1. Caractéristique morphologique du profil A1P1 :

**a. H1 (0-24cm) :** couleur à l'état humide 7.5 YR6/8 (reddish yellow), très friable, apport sableux, à structure particulaire, horizon sec très poreux, absence d'effervescence à l'HCl, homogène, non cimenté, non compact, a texture sableuse, pas de racine, transition nette et régulière.

**b. H2 (24 – 58cm) :** couleur à l'état humide 5 YR 4/6 (yellowish red), frais, riche en racine de palmier, meuble, forte effervescence à l'HCl, sableux, peu compact, peu cimenté, structure fragmentaire grenue, moyennement poreux, transition irrégulière.

**c. H3 (58 – 80cm) :** couleur à l'état humide 7.5 YR5/8 (strong brown), frais, moyen à peu compacte, sablo-limoneux, à structure fragmentaire grenue, abondant par les racines, fort d'effervescence à l'HCl, croûte gypseuse, faible porosité, texture transition nette et régulière.

**d. H4 (80 – 146cm) :** couleur à l'état humide 7,5 YR 6/4 (light Brown), compact, humide, sablo-limoneux, à structure grenue, peu cimenté, encroûtement gypseux, pas de racines, meuble, forte effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.

e. **H5 (> 146cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 4/6 (yellowish red), non compact, humide, sablo-limoneux, à structure grenue plus grossier = 2 à 3mm, pas de racines, pas d'effervescence à l'HCl, encroûtement gypseux, transition nette et régulière.



Photo IV 8. Profil A1P1

#### 2.1.1.2. Caractéristique morphologique du profil A1P2 :

a. **H1 (0 – 10cm)** : couleur à l'état humide 7.5 YR 6/8 (reddish yellow), très friable, apport sableux, sableux, à structure particulaire, pas d'effervescence à l'HCl, très poreux, non ciment, pas de racine, transition nette et régulière.

b. **H2 (10 – 36cm)** : couleur à l'état humide 7,5 YR 5/4 (Brown), frais, meuble, moyen effervescence à l'HCl, transition régulière, peu compact, peu cimenté, sablo-limoneux, structure particulaire, moyennement poreuse

c. **H3 (36 – 60cm)** : couleur à l'état humide 7,5 YR 6/8 (reddish yellow), frais, meuble, peu compact, sablo-limoneux, à structure fragmentaire, abondant par les racines, faible effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.

d. **H4 (60 – 94cm)** : couleur à l'état humide 7,5 YR 7/4 (pink), très compact, frais, à structure fragmentaire, pas de racines, forte d'effervescence à l'HCl, croûte gypseuse, transition nette et régulière, ciment, sablo-limoneux, faible porosité.

e. **H5 (94 – 150cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 4/6 (yellowish red), compact, structure fragmentaire, ciment, sablo-limoneux, pas de racines, pas d'effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.



Photo IV 9. Profil A1P2

### 2.1.1.3. Caractéristique morphologique du profil A1P3 :

- a. **H1 (0 – 18cm)** : couleur à l'état humide 7.5 YR6/8 (reddish yellow), très friable, sec, pas de racine, non cimenté, non compact, sableux, très poreux, couche d'apport sableux, à structure particulaire, pas d'effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.
- b. **H2 (18 – 50cm)** : couleur à l'état humide 7,5 YR 4/6 (strong Brown), frais, forte effervescence à l'HCl, faible racine, transition régulière, peu compact, peu ciment, sablo-limoneux, structure particulaire, moyennement poreuse.
- c. **H3 (50 – 76cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 5/6 (yellowish red), frais, meuble, non compact, non cimenté, sableux, à structure particulaire, abondant par les racines, moyen effervescence à l'HCl, encroûtement gypseux, moyen de porosité, transition nette et régulière.
- d. **H4 (76 – 93cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 6/4 (light reddish brown), compact, humide, meuble, sablo-limoneux, à structure fragmentaire, faible de racines, moyen effervescence à l'HCl, croûte gypseuse, transition nette et régulière.
- e. **H5 (93 – 119cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 6/4 (light reddish brown), très compact et dur, humide, ciment, sablo-limoneux, à structure massive, pas de racines, pas d'effervescence à l'HCl, transition nette et régulière, faible porosité.



**f. H6 (>119cm)** : couleur à l'état humide 7,5 YR 4/4 (Brown), très compact, saturé en eau, ciment, faible porosité, sablo-limoneux, à structure massive, pas de racines, pas d'effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.



Photo IV 10. Profil A1P3

### 2.1.2 Sols du demi-secteur C1

Les trois profils du demi-secteur C1 à l'exploitation de l'université présentent les critères environnementaux suivants :

- Topographie : Plane, légère pente (<1%) ;
- Culture : Palmier dattier ;
- Date de description des profils C1P1, C1P2 et C1P3 : le 09-02-2015.

Les caractéristiques morphologiques détaillées des profils sont présente comme suite :

#### 2.1.2.1. Caractéristique morphologique du profil C1P1 :

**a. H1 (0 –10cm)** : couleur à l'état humide 7.5 YR6/8 (reddish yellow), très friable, sableux, à structure particulaire, pas d'effervescence à l'HCl, pas de racine, non compact, non cimenté, transition nette et régulière.

**b. H2 (10 – 28cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 4/6 (yellowish red), meuble, moyen effervescence à l'HCl, transition irrégulière, peu compact, peu cimenté, sablo-limoneux, structure fragmentaire, moyennement poreuse, pas de racine

- c. H3 (28 – 53cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 4/6 (yellowish red), frais, peu compact, peu cimenté, sablo-limoneux, à structure fragmentaire, faible de racine, faible effervescence à l'HCl, transition nette et régulière, moyen de porosité, friable.
- d. H4 (53 – 70cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 5/4 (reddish Brown), peu compact, frais, peu ciment, sablo-limoneux, structure fragmentaire, abondant par les racines, moyen effervescence à l'HCl, transition irrégulière, poreux ou il ya des racines
- e. H5 (70 -90cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 5/4 (reddish Brown), compact, frais, cimenté, sablo-limoneux, structure fragmentaire, pas de racines, croûte gypseuse, moyen effervescence à l'HCl, transition nette et régulière,
- f. H6 (>90cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 4/6 (yellowish red), compact, cimenté, sablo-limoneux, structure fragmentaire, pas de racines, pas d'effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.



Photo IV 11. Profil C1P1

#### 2.1.2.2. Caractéristique morphologique du profil C1P2 :

- a. H1 (0 – 5cm)** : couleur à l'état humide 7.5 YR6/8 (reddish yellow), très friable, non compact, non cimenté, sableux, structure particulaire, pas d'effervescence à l'HCl, transition nette et régulière, pas de racine, sec.
- b. H2 (5 – 40cm)** : couleur à l'état humide 7,5 YR 4/6 (strong Brown), meuble, moyen effervescence à l'HCl, transition régulière, peu compact, peu ciment, sablo-

limoneux, structure fragmentaire grenue, moyennement poreuse

**c. H3 (40 – 64cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 6/4 (light reddish Brown), frais, peu compact, peu ciment, sablo-limoneux, structure fragmentaire, abondant par les racines, moyen d'effervescence à l'HCl, transition nette et régulière, faible porosité

**d. H4 (64 – 80cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 5/4 (reddish Brown), peu compact, peu ciment, frais, sablo-limoneux, structure fragmentaire, faible racines, moyen effervescence à l'HCl, transition nette et régulière,

**e. H5 (80-100cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 5/4 (reddish Brown), compact, cimenté, sablo-limoneux, croûte gypseuse, structure fragmentaire, pas de racines, pas d'effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.

**f. H6 (>100cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 4/6 (yellowish red), compact, cimenté, sablo-limoneux, structure fragmentaire, pas de racines, pas d'effervescence à l'HCl, transition nette et régulière, faible porosité.

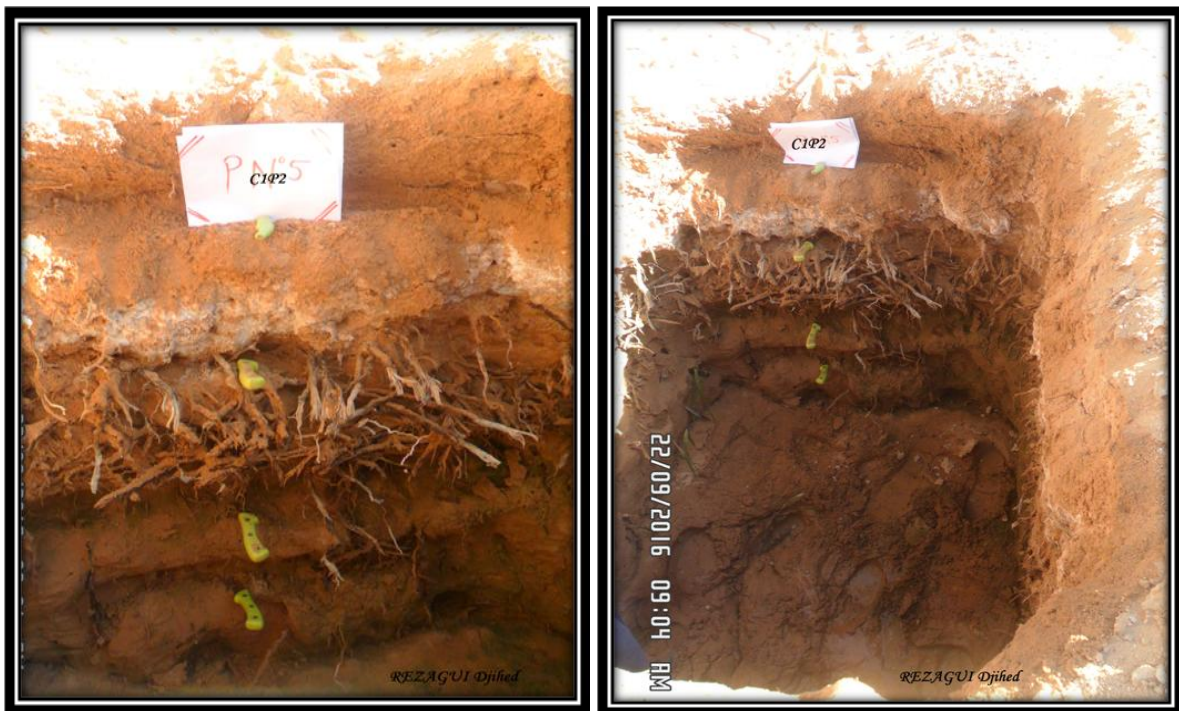


Photo IV 12. Profil C1P2

### 2.1.2.3. Caractéristique morphologique du profil C1P3 :

**a. H1 (0 – 10cm)** : couleur à l'état humide 7.5 YR6/8 (reddish yellow), très friable, sableux, structure particulière, très poreux, friable, non compact, non cimenté, pas de racine, faible effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.

**b. H2 (10-28cm)** : couleur à l'état humide 7,5 YR 4/6 (strong Brown), meuble, moyen effervescence à l'HCl, transition régulière, peu compact, peu ciment, sablo-

limoneux, structure fragmentaire, moyennement poreux.

**c. H3 (28-47cm)** : couleur à l'état humide 7,5 YR 5/6 (strong Brown), frais, peu compact, peu cimenté, sablo-limoneux, structure fragmentaire grenue, abondant par les racines, moyen effervescence à l'HCl, transition nette et régulière, faible porosité.

**d. H4 (47-80cm)** : couleur à l'état humide 7,5 YR 5/6 (strong Brown), peu compact, peu cimenté, sablo-limoneux, à structure fragmentaire, pas de racines, forte effervescence à l'HCl, transition nette et régulière,

**e. H5 (80-120cm)** : couleur à l'état humide 5 YR 5/6 (yellowish red), peu compact, peu cimenté, meuble, frais, sablo-limoneux, structure fragmentaire, pas de racines, moyen effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.

**f. H6 (>120cm)** : couleur à l'état sec 7,5 YR 8/1 (white), peu compact, cimenté, frais, meuble, structure fragmentaire, pas de racines, forte effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.



**Photo IV 13.** Profil C1P3

### 2.1.3 Discussions

L'étude morphologique des sols du demi-secteur A1 et C1 montre certaines différences entre les profils du sol. En générale, le nombre des horizons varie de 5 à 6 d'épaisseurs (5 à 66 cm) et de nature variables. Cela montre que les sols sont hétérogènes. La couleur des horizons à l'état humide varie entre 5 et 7.5 YR. La surface des profils est constituée d'apport sableux de couleur rouge jaunâtre. La description morphologique montre

une texture sableuse à sablo-limoneuse, une structure particulière à massive dans les croûtes, pauvre à moyennement calcaire, riche en accumulations gypseuses de formes variables allant de cristaux à croûte. La couche exploitée par les racines est peu profonde à cause de la présence de croûte gypseuse qui constitue un obstacle mécanique pour les racines à des profondeurs variables, est très compact et peu poreux. Le fond des profils présente une humidité élevée, devenant notamment saturé en contact de la nappe phréatique dans le demi-secteur A1.

La caractérisation morphologique des demi-secteurs A1 et C1 dans l'exploitation de l'université montre plusieurs contraintes potentiels de types édaphique.

## 2.2. Etude analytique

### 2.2.1 Sols du demi-secteur A1

Les résultats analytiques montrent que les profils des sols dans le demi-secteur A1, présentent une variabilité dans les horizons, au niveau des propriétés physiques (Humidité, Densité apparente), physico-chimiques (pH, Conductivité électrique, RS), chimiques (gypse, calcaire) et biochimiques (Matière organique) et aussi le faciès chimiques.

- **Propriétés physico-chimique :**

Les représentations des résultats montrent que tous les profils présentent des horizons de salinités variables entre très salés à extrêmement salés selon AUBERT (1978) ( $2,47 \text{ dS.m}^{-1} \leq \text{C.E.}_{e1:5} \leq 12,53 \text{ dS.m}^{-1}$ ) dans le profil A1P1 et ( $5,17 \text{ dS.m}^{-1} \leq \text{C.E.}_{e1:5} \leq 11,47 \text{ dS.m}^{-1}$ ) dans A1P2 et ( $2,64 \text{ dS.m}^{-1} \leq \text{C.E.}_{e1:5} \leq 6,96 \text{ dS.m}^{-1}$ ) dans A1P3.

Tous les horizons sont neutre à alcalin selon SOLTNER (1989) ( $7,62 \leq \text{pH}_{e1:5} \leq 7,9$ ) dans le profil A1P1, ( $7,55 \leq \text{pH}_{e1:5} \leq 7,9$ ) dans le profil A1P2, ( $7,23 \leq \text{pH}_{e1:5} \leq 7,88$ ) dans le profil A1P3.

Le résidu sec  $\text{R.s.}_{e1:5}$  est varié entre 2,49 et 9,7  $\text{g.l}^{-1}$  dans le profil A1P1 et ( $3,43 \text{ g.l}^{-1} \leq \text{R.s.}_{e1:5} \leq 7,97 \text{ g.l}^{-1}$ ) dans A1P2 et ( $2,40 \text{ g.l}^{-1} \leq \text{R.s.}_{e1:5} \leq 19,85 \text{ g.l}^{-1}$ ) dans A1P3.

Le danger d'alcalinisation est varié entre non et moyennement alcalin ( $0,22 \leq \text{S.A.R.}_{e1:5} \leq 9,55$ ) dans le profil A1P1 et ( $1,02 \leq \text{S.A.R.} \leq 8,76$ ) dans le profil A1P2 et ( $0,12 \leq \text{S.A.R.}_{e1:5} \leq 3,41$ ) dans le profil A1P3.

Selon SERVANT (1975), on peut caractériser nos profils comme suit :

- le profil A1P1 est de type D, il est caractérisé par une salinité qui augmente avec la profondeur ;

- le profil A1P2 est caractérisé par une salinité ascendante, le maximum de salinité se situant dans les 20 cm superficiels avec des valeurs très élevées par rapport aux horizons sous jacents, donc il est de type A ;
- Le profil A1P3 est caractérisé par l'existence d'un maximum de salinité bien différencié, apparaissant dans la partie moyenne du profil, ce profil est de type B.

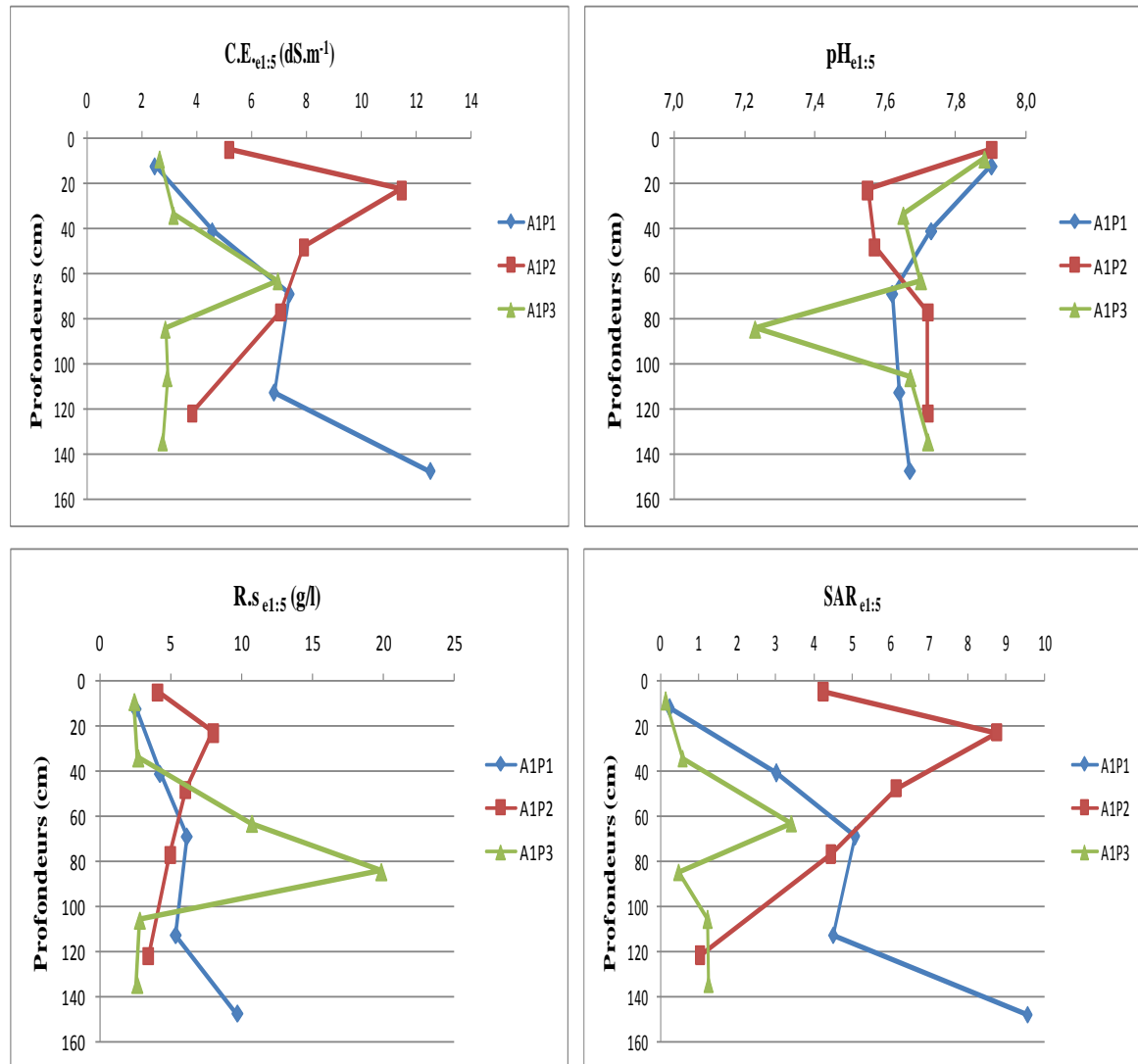


Figure IV 13. Propriétés physico-chimiques des profils des sols dans le demi-secteur A1

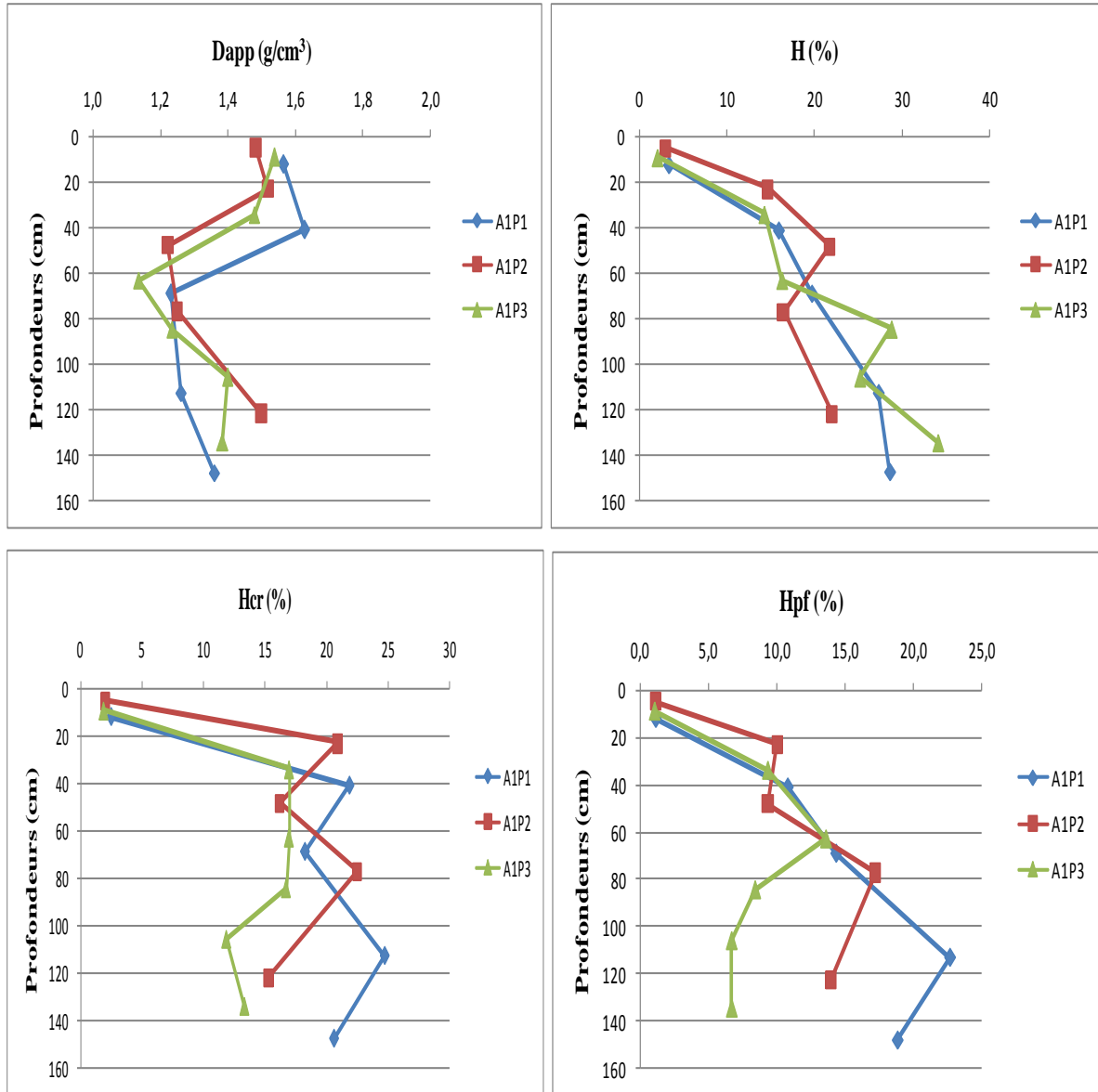
• **Propriétés hydro-mécaniques :**

L'humidité des sols augmente en se rapprochant de la nappe phréatique. Pour les profils A1P1, A1P2 et A1P3 elles sont respectivement entre ( $3,40 \% \leq H \leq 28,63 \%$ ) ( $3,01 \% \leq H \leq 21,98 \%$ ) et ( $2,07 \% \leq H \leq 34,16 \%$ ).

Les potentialités de rétention sont variables ( $2,46\% \leq Hcr \leq 24,75 \%$ ) pour A1P1, ( $1,99\% \leq Hcr \leq 22,51 \%$ ) pour A1P2, ( $1,83\% \leq Hcr \leq 16,98 \%$ ) pour A1P3.

Les humidités au point de flétrissement sont entre ( $1,16\% \leq H_{pf} \leq 22,67\%$ ) pour le profil A1P1 ( $1,1\% \leq H_{pf} \leq 17,21\%$ ) pour A1P2 et ( $1,07\% \leq H_{pf} \leq 13,62\%$ ) pour A1P3.

La densité apparente de chaque horizon est variable ( $1,23 \text{ g.cm}^{-3} \leq Da \leq 1,56 \text{ g.cm}^{-3}$ ) pour A1P1 ( $1,22 \text{ g.cm}^{-3} \leq Da \leq 1,52 \text{ g.cm}^{-3}$ ) pour A1P2 ( $1,14 \text{ g.cm}^{-3} \leq Da \leq 1,54 \text{ g.cm}^{-3}$ ) pour A1P3, elle est liée à la texture et la forme des accumulations gypseuses.



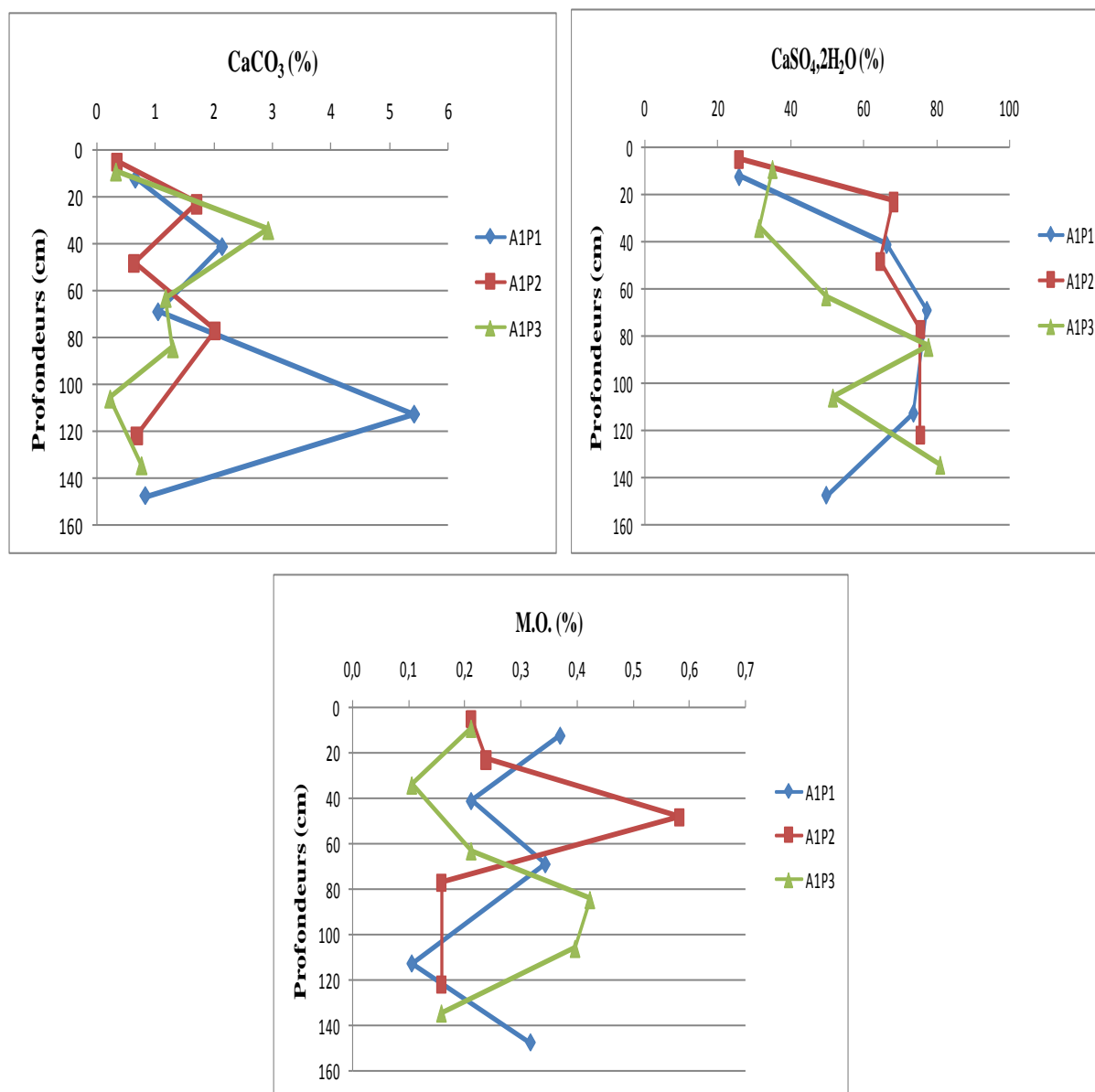
**Figure IV 14.** Propriétés hydro-mécaniques des profils des sols de demi-secteur A1

• **Propriétés chimique et biochimique :**

Les sols des profils représentent une teneur très élevée en gypse. Elle augmente avec l'importance des formes d'accumulation surtout au niveau des croûtes et encroûtements et horizons profonds avec l'élévation du niveau de la nappe phréatique ( $25,79\% \leq \text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O} \leq 77,38\%$ ) pour le profil A1P1, ( $25,79\% \leq \text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O} \leq 75,53\%$ ) pour A1P2, ( $31,32\% \leq \text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O} \leq 81,06\%$ ) pour A1P3.

Les teneurs nulles à modérément en calcaire sont ( $0,66 \% \leq \text{CaCO}_3 \leq 5,42 \%$ ) ( $0,34 \% \leq \text{CaCO}_3 \leq 2,02 \%$ ) ( $0,22 \% \leq \text{CaCO}_3 \leq 2,91 \%$ ) respectivement pour les profils A1P1 A1P2 A1P3 selon BAIZE (1988).

Les sols de demi secteur A1 sont très pauvre en matière organique, elle est estimée entre 0,11 % et 0,37 % pour A1P1, 0,16 % et 0,58 % pour A1P2, 0,11 % et 0,42 % pour A1P3 (I.T.A, 1975).



**Figure IV 15.** Caractéristiques organiques et en sels peu solubles des profils des sols de A1

- **Le faciès chimique :**

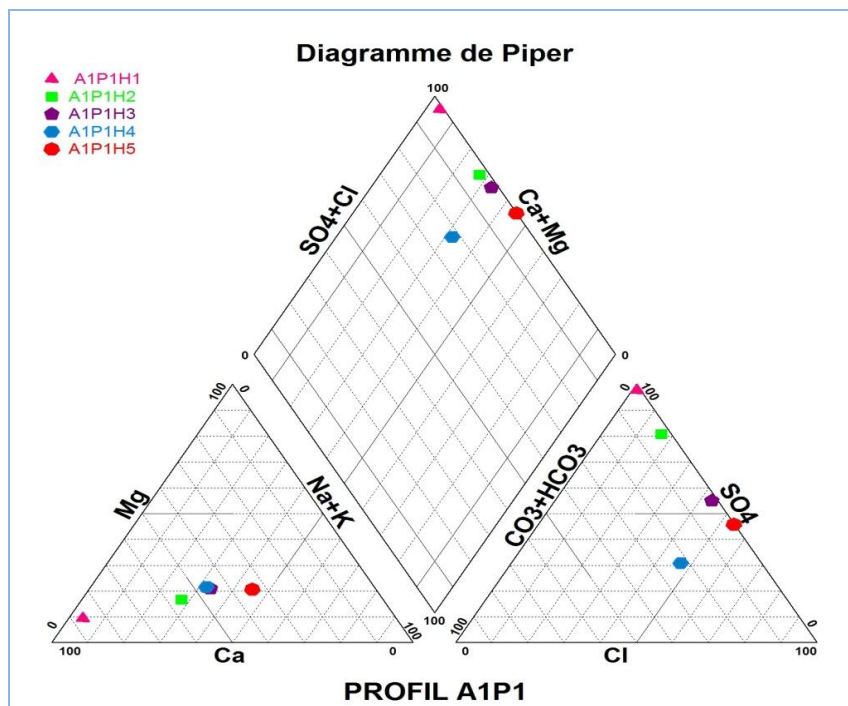
La représentation des résultats du faciès chimiques des sols des profils sur le diagramme de Piper (figure suivante) montre que :

Pour le Profil A1P1 :

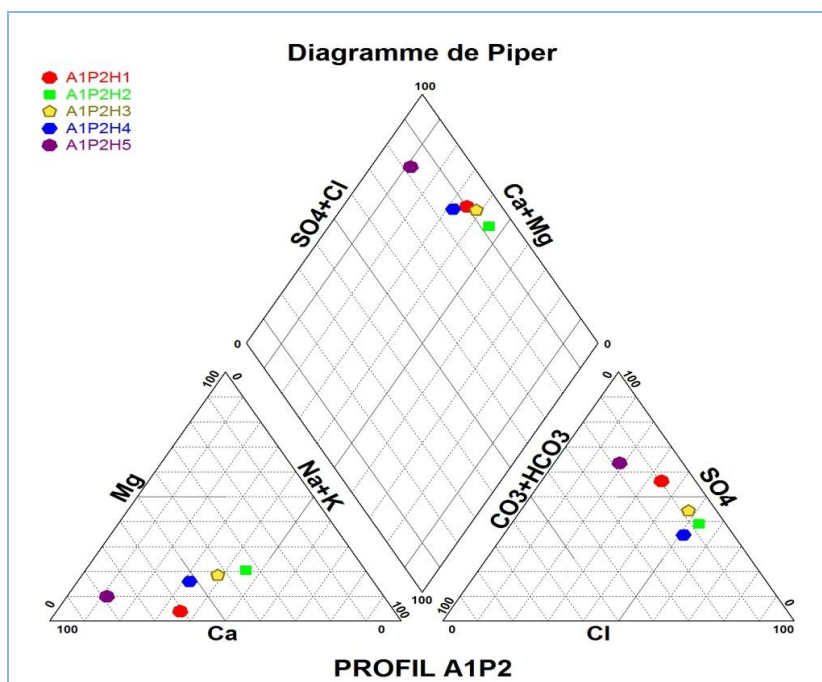
- les horizons H1, H2 sont sulfaté-calcaire ;



- L'horizon H3 est sulfaté équilibré calcique-sodique-magnésien ;
- L'horizon H4 a un faciès équilibré chloruré sulfaté carbonaté calcique sodique magnésien ;
- L'horizon H5 est chloruré équilibré sodique-calcique-magnésien.



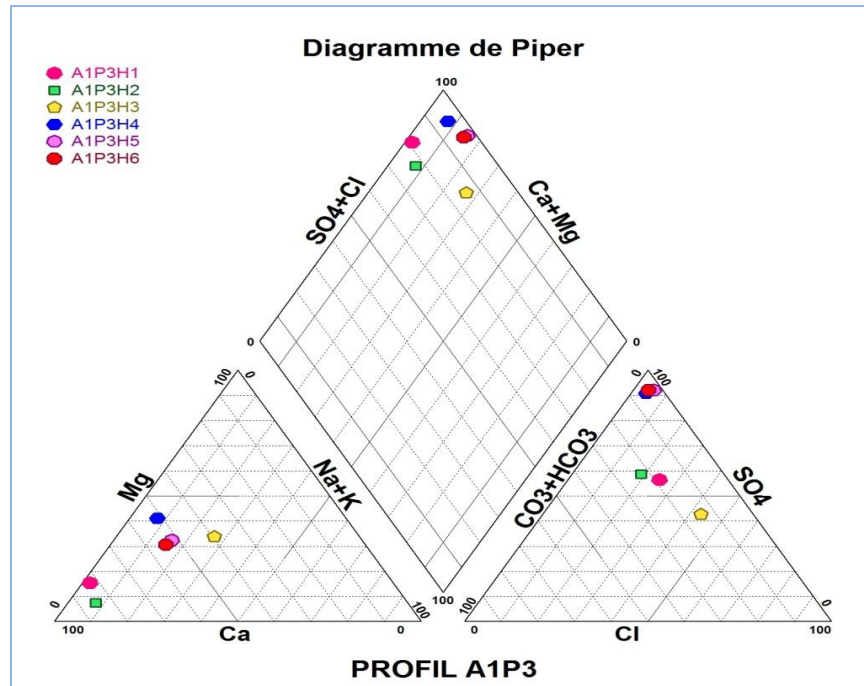
**Figure IV 16.** Faciès chimiques de profil de sols A1P1.



**Figure IV 17.** Faciès chimiques de profil de sols A1P2

Pour le Profil A1P2 :

- Les horizons H1 et H5 sont sulfaté calcique.
- L'horizon H2 est chloruré équilibré sodique-calcique ;
- L'horizon H3 est équilibré chloruré-sulfaté et calcique-sodique ;
- L'horizon H4 est chloruré calcique



**Figure IV 18.** Faciès chimiques de profil A1P3 de sols de demi-secteur A1

Pour le Profil A1P3 :

- les horizons H1, H2, H4, H5, H6 ont un faciès sulfaté calcique ;
- L'horizon H3 est équilibré chloruré sulfaté carbonaté calcique magnésien sodique.
- Texture

On a déterminé la texture des sols des profils (de chaque horizon) par la méthode de tamisage et la méthode de Sédimentométrie.

L'analyse granulométrique montrent que tous les sols des profils du demi-secteur A1 ont une texture sableuse à sableux-limoneuse.

Dans cette parcelle, le pourcentage de sable fin et le sable grossier est compris entre  $28\% \leq Sf \leq 70\%$  en moyenne de 31,2% et  $12\% \leq Sg \leq 56\%$  en moyenne de 46%. La fraction limoneuse montre des valeurs comprises entre 0% et 37% en moyenne de 22,4% pour le profil A1P1.  $18\% \leq Sf \leq 47\%$  en moyenne de 36% et  $15\% \leq Sg \leq 66\%$  en moyenne de 39,4%, la fraction limoneuse est entre  $0\% \leq L \leq 30\%$  en moyenne de 12% pour le profil A1P2.  $35\% \leq Sf \leq 60\%$  en moyenne de 45,8% et  $34\% \leq Sg \leq 63\%$  en moyenne de 42,2% et la fraction limoneuse est entre  $0\% \leq L \leq 30\%$  en moyenne de 6,4% pour le profil A1P3.

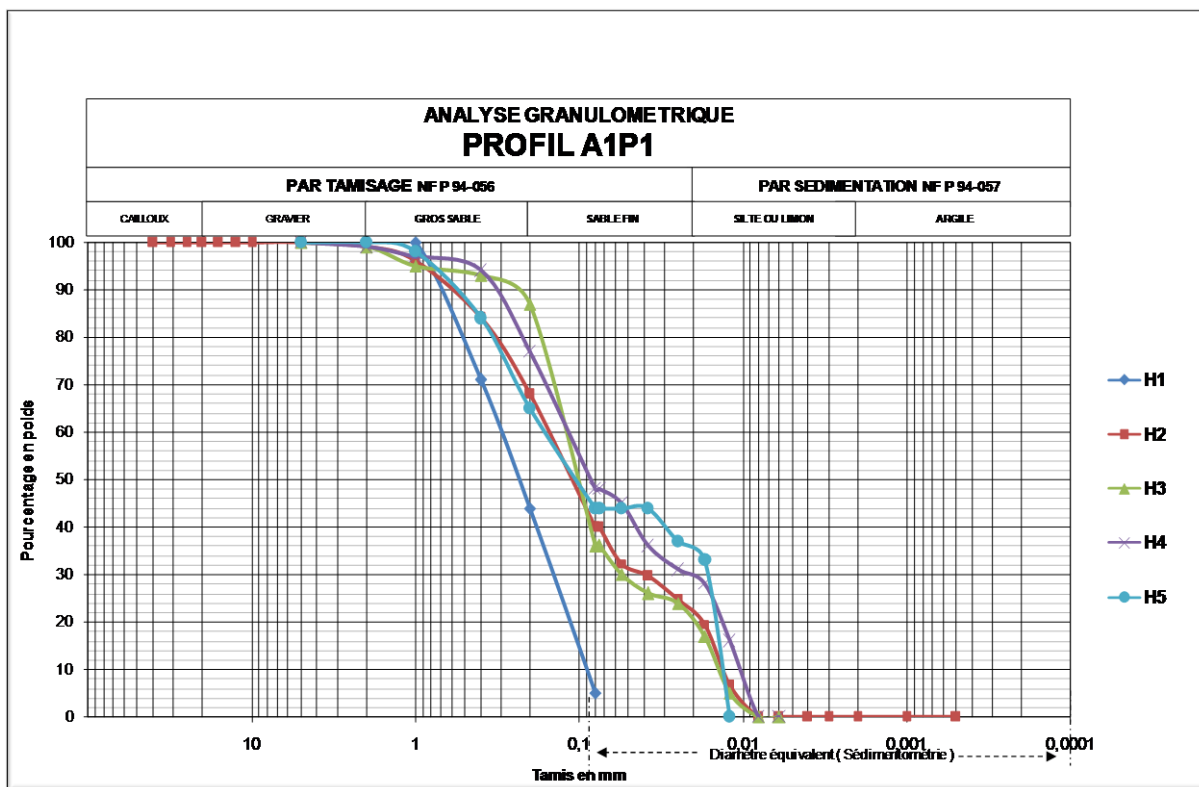


Figure IV 19. Courbe granulométrique des horizons du profil A1P1

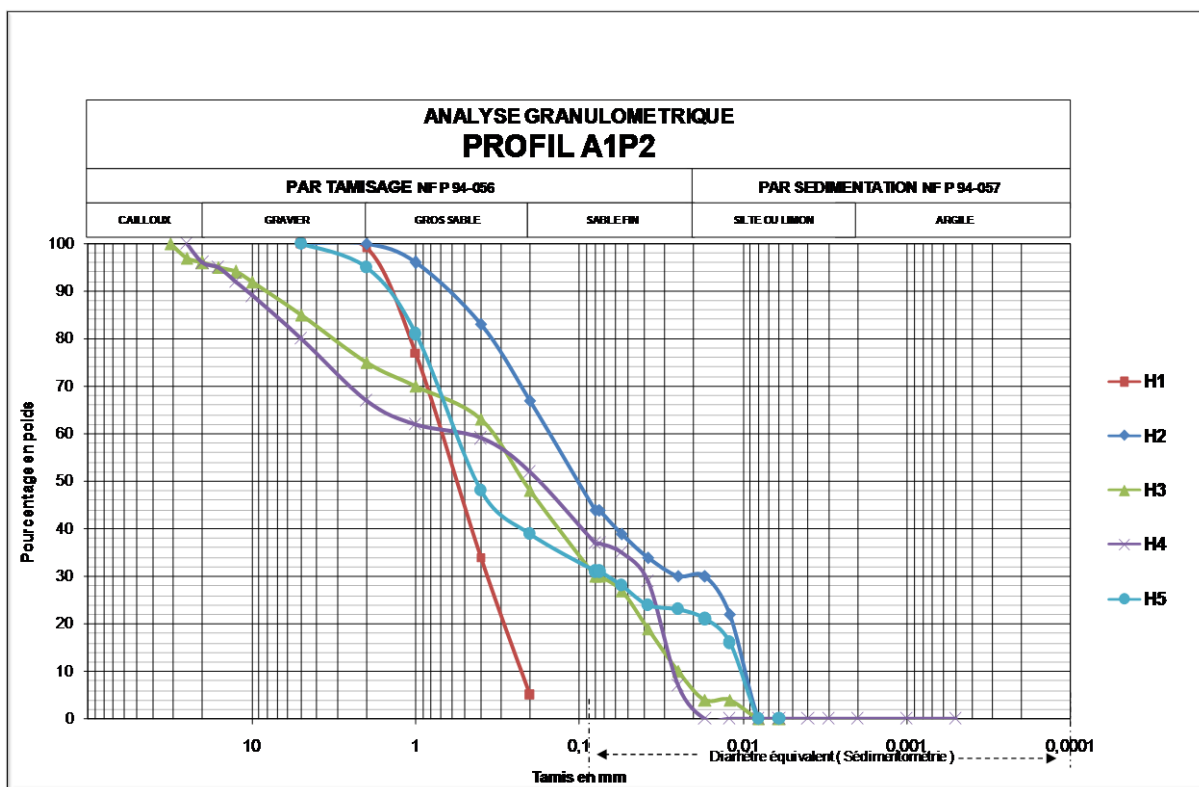


Figure IV 20. Courbe granulométrique des horizons du profil A1P2

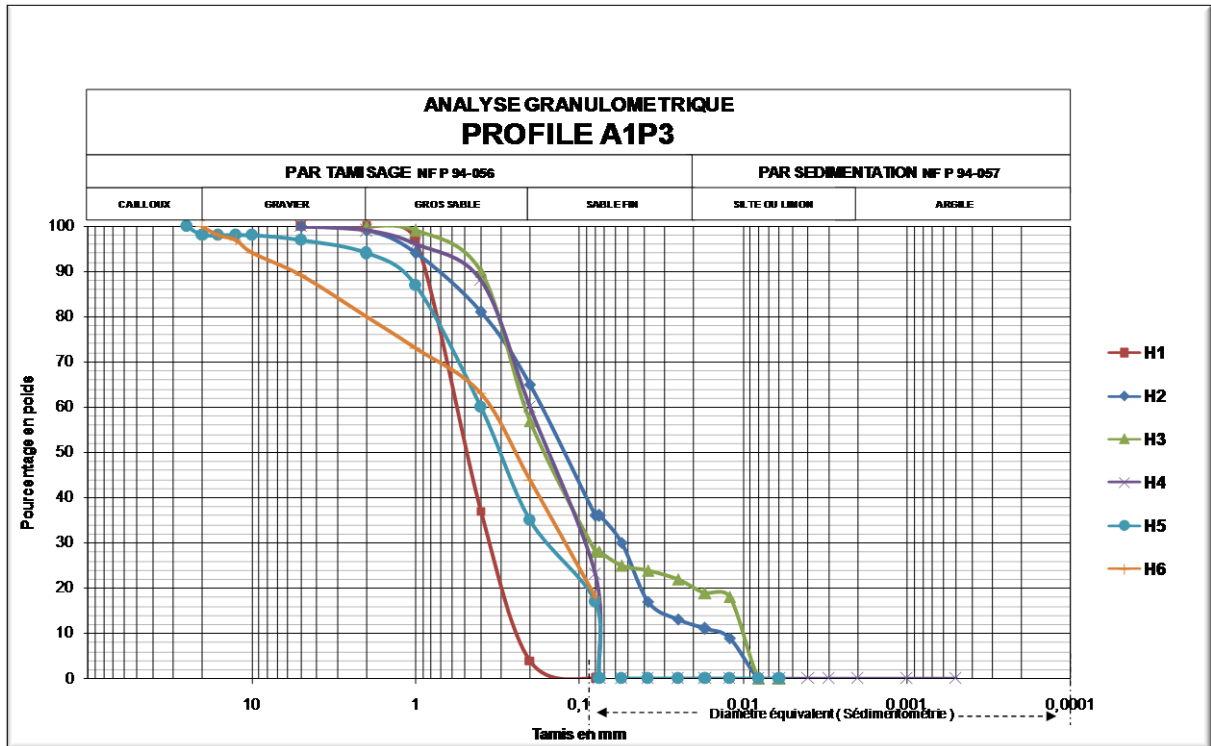


Figure IV 21. Courbe granulométrique des horizons du profil A1P3

### 2.2.2 Sols du demi-secteur C1

Les résultats des analyses du sol des profils du demi-secteur C1 montrent une différence entre les profils et aussi entre les horizons (Annexe II et Fig. 8).

Les résultats analytiques montrent que les profils des sols dans le demi-secteur C1, présentent une variabilité dans les horizons, au niveau des paramètres étudiés : Humidité, Hcr, Hpf, Densité apparente, pH, Conductivité électrique, Résidu sec, Gypse, Calcaire et Matière organique et aussi le bilan ionique.

- **Propriétés physico-chimiques :**

Les représentations des résultats montrent que tous les profils présentent des horizons de salinités variables entre très salés à extrêmement salés ( $3,26 \text{ dS.m}^{-1} \leq \text{C.E.}_{e1:5} \leq 10,1 \text{ dS.m}^{-1}$ ) dans le profil C1P1 et ( $3,93 \text{ dS.m}^{-1} \leq \text{C.E.}_{e1:5} \leq 10,55 \text{ dS.m}^{-1}$ ) dans C1P2 et ( $3,17 \text{ dS.m}^{-1} \leq \text{C.E.}_{e1:5} \leq 9,79 \text{ dS.m}^{-1}$ ) dans C1P3.

Tous les horizons sont alcalins ( $7,5 \leq \text{pH}_{e1:5} \leq 7,9$ ) dans le profil C1P1, ( $7,66 \leq \text{pH}_{e1:5} \leq 7,81$ ) dans le profil C1P2, ( $7,42 \leq \text{pH}_{e1:5} \leq 7,78$ ) dans le profil C1P3.

Le résidu sec  $\text{R.s.}_{e1:5}$  est varié entre 2,93 et 7,14  $\text{g.l}^{-1}$  dans le profil C1P1 et ( $3,03 \text{ g.l}^{-1} \leq \text{R.s.}_{e1:5} \leq 7,80 \text{ g.l}^{-1}$ ) dans C1P2 et ( $1,52 \text{ g.l}^{-1} \leq \text{R.s.}_{e1:5} \leq 7,00 \text{ g.l}^{-1}$ ) dans C1P3.

Le danger d'alcalinisation est varié entre non et moyennement sodique ( $1,11 \leq \text{S.A.R.}_{e1:5} \leq 6,40$ ) dans le profil C1P1 et ( $1,02 \leq \text{S.A.R.} \leq 6,46$ ) dans le profil C1P2 et ( $0,56 \leq \text{S.A.R.}_{e1:5} \leq 6,31$ ) dans le profil C1P3.

Selon SERVANT (1975), on peut caractériser nos profils comme suit :

- Le profil C1P1 est caractérisé par l'existence d'un maximum de salinité bien différencié, apparaissant dans la partie moyenne du profil, ce profil est de type **B**.
- le profil C1P2 est caractérisé par une salinité qui augmente avec la profondeur donc il est de type **D** ;
- Le profil C1P3 est caractérisé par une salinité ascendante, le maximum de salinité se situant dans les 20 cm superficiels avec des valeurs très élevées par rapport aux horizons sous-jacents, donc il est de type **A**.

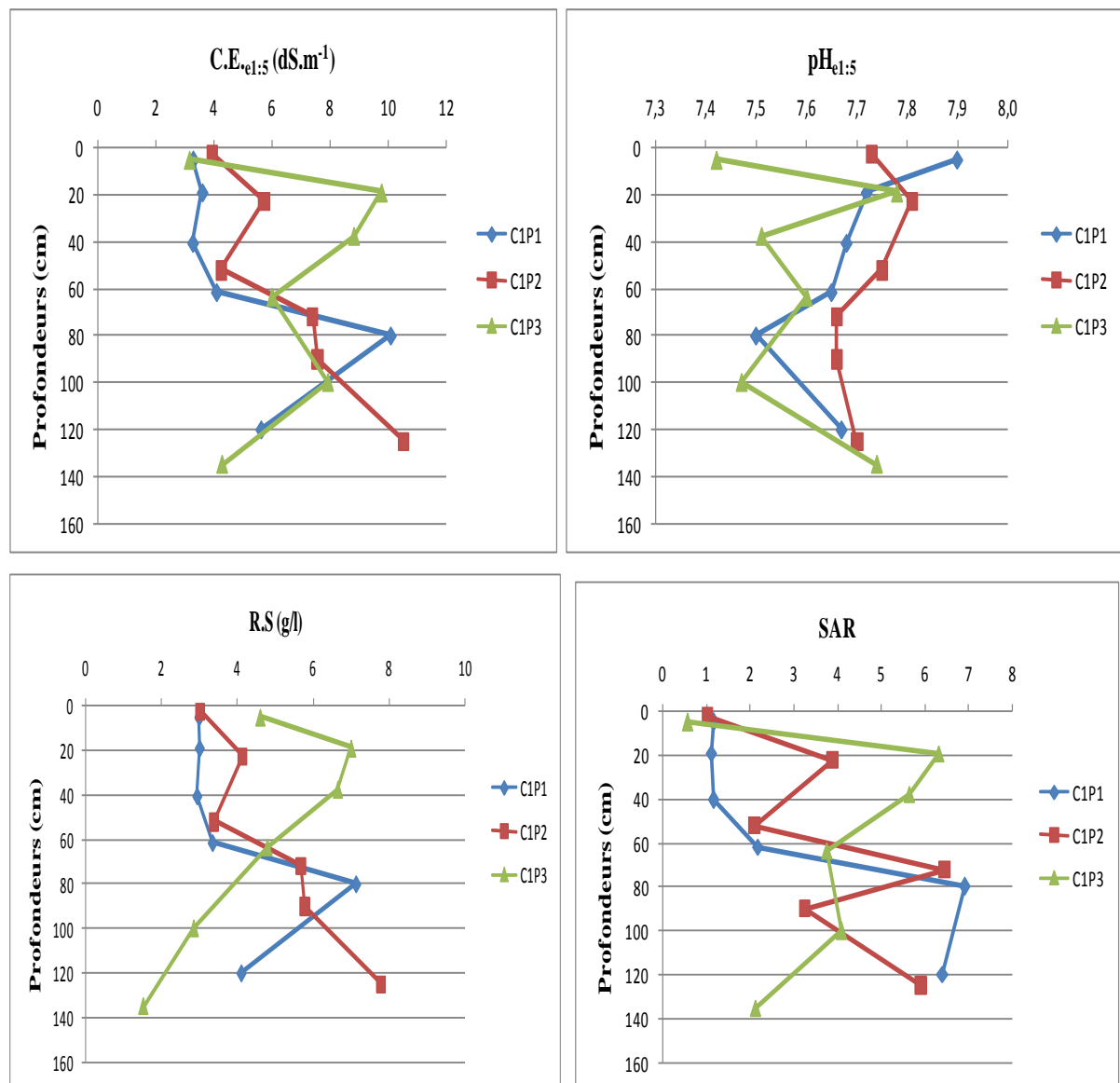


Figure IV 22. Propriétés des profils des sols de demi-secteur C1

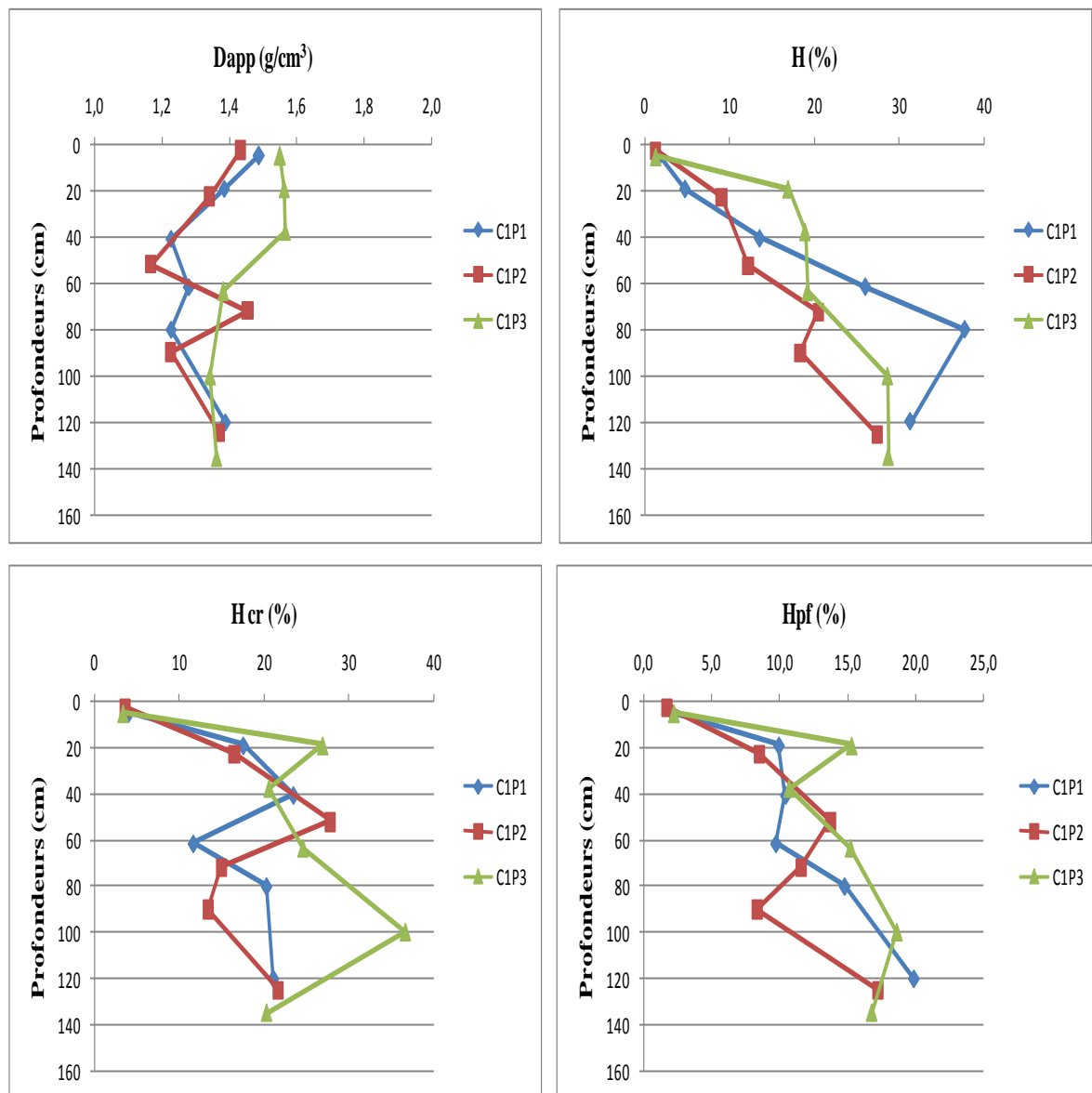
- **Propriétés hydro-mécanique :**

L'humidité des sols augmente en se rapprochant de la nappe phréatique. Pour les profils C1P1, C1P2 et C1P3 elles est respectivement entre ( $1,63 \% \leq H \leq 37,80 \%$ ) ( $1,24 \% \leq H \leq 27,34 \%$ ) et ( $1,24 \% \leq H \leq 28,74 \%$ ) ;

Les potentialités de rétention sont variables ( $4,04\% \leq Hcr \leq 23,44 \%$ ) pour C1P1, ( $3,56\% \leq Hcr \leq 27,81 \%$ ) pour C1P2, ( $3,35\% \leq Hcr \leq 36,68 \%$ ) pour C1P3 ;

Les humidités au point de flétrissement sont ( $2,1\% \leq Hpf \leq 19,89 \%$ ) pour le profil C1P1 ( $1,68 \% \leq Hpf \leq 17,22 \%$ ) pour C1P2 et ( $2,23 \% \leq Hpf \leq 18,63 \%$ ) pour C1P3 ;

La densité apparente est variable d'un horizon à un autre ( $1,23 \text{ g.cm}^{-3} \leq Da \leq 1,49 \text{ g.cm}^{-3}$ ) pour C1P1 ( $1,17 \text{ g.cm}^{-3} \leq Da \leq 1,51 \text{ g.cm}^{-3}$ ) pour C1P2 ( $1,34 \text{ g.cm}^{-3} \leq Da \leq 1,56 \text{ g.cm}^{-3}$ ) pour C1P3, elle est liée à la texture et la forme des accumulations gypseuses.



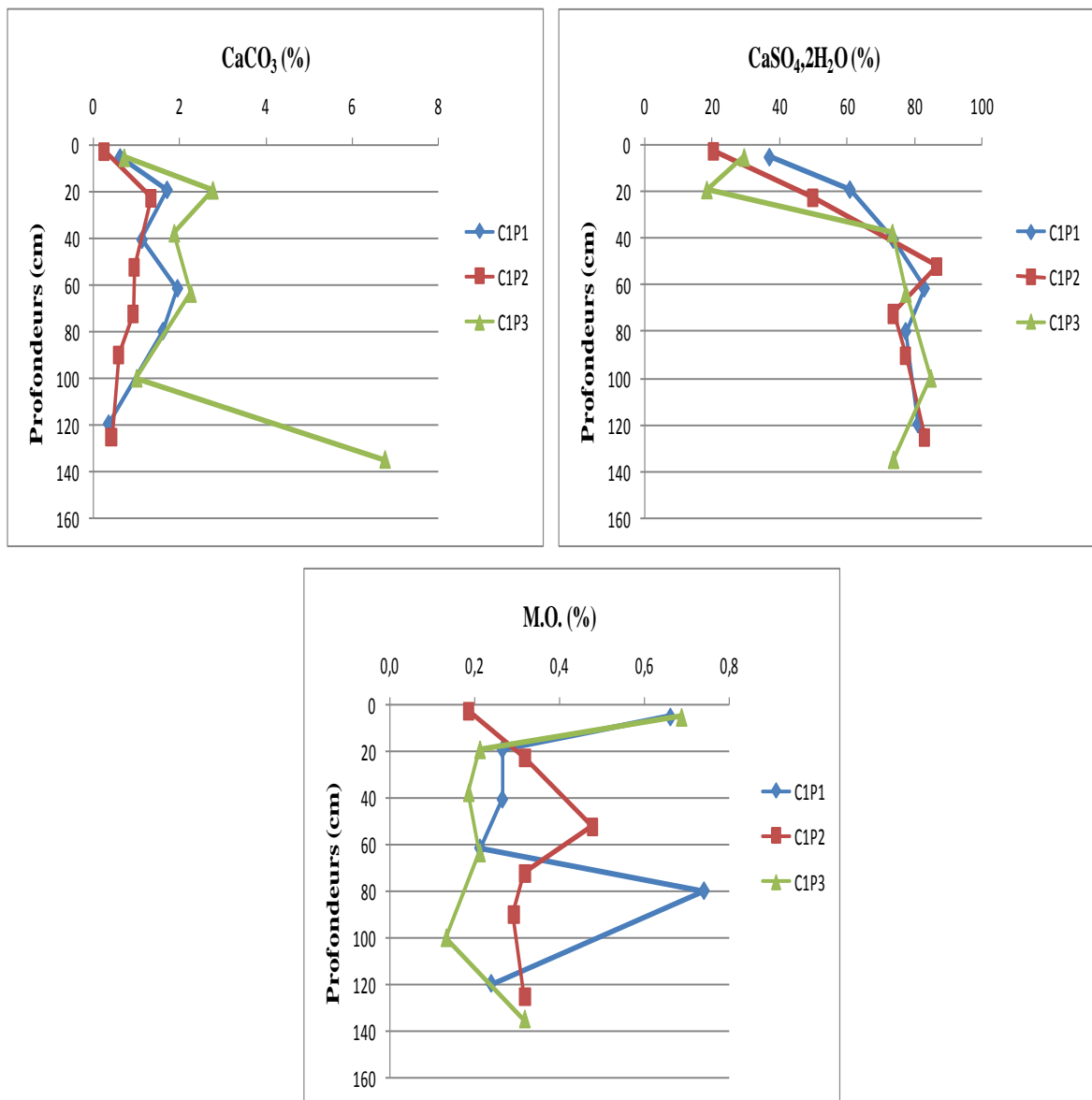
**Figure IV 23.** Propriétés hydro-mécaniques des profils des sols de demi-secteur C1

- **Propriétés chimique et biochimique :**

Les sols des profils représentent une teneur très élevée en gypse. Elle augmente avec l'importance des formes d'accumulation surtout au niveau des croûtes et encroûtements et horizons profonds avec l'élévation du niveau de la nappe phréatique ( $36,85 \% \leq \text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O} \leq 82,90 \%$ ) pour le profil C1P1, ( $20,27 \% \leq \text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O} \leq 86,59 \%$ ) pour C1P2, ( $18,42 \% \leq \text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O} \leq 84,75 \%$ ) pour C1P3.

Selon BAIZE (1988), les teneurs peu à modérément en calcaire sont ( $0,34 \% \leq \text{CaCO}_3 \leq 1,94 \%$ ) ( $0,24 \% \leq \text{CaCO}_3 \leq 1,34 \%$ ) ( $0,70 \% \leq \text{CaCO}_3 \leq 6,78 \%$ ) respectivement pour les profils C1P1, C1P2 et C1P3.

Les sols de demi-secteur C1 sont très pauvres en matière organique, elle est estimée entre 0,21 % et 0,66 % pour C1P1, 0,19 % et 0,48 % pour C1P2, 0,13 % et 0,69 % pour C1P3.



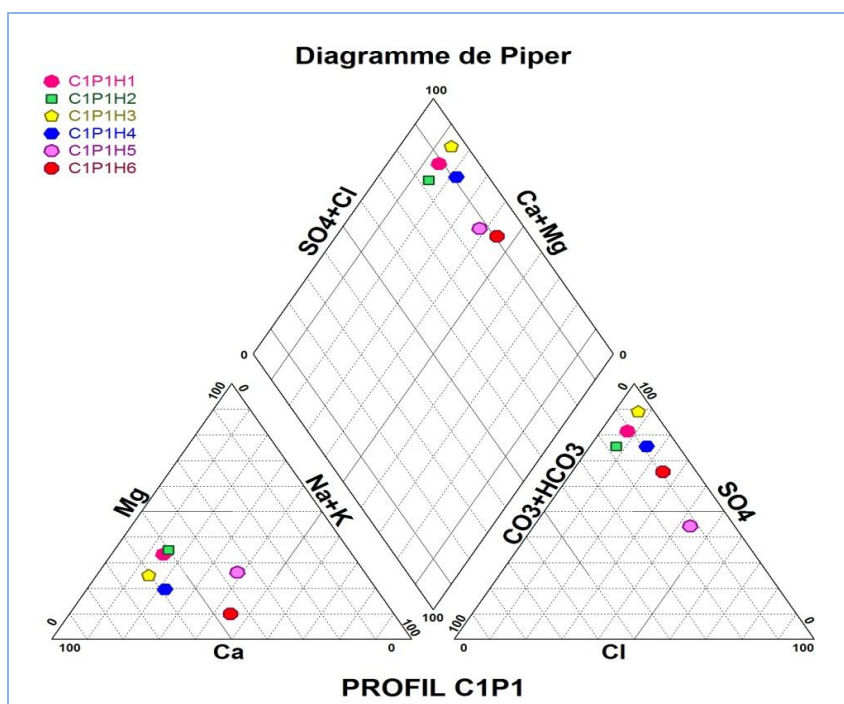
**Figure IV 24.** Les propriétés chimiques et biochimiques des profils des sols de A1

- **Faciès chimique :**

La représentation des résultats chimiques des sols des profils sur le diagramme de Piper (figure suivante) montre que :

Dans le profil C1P1 :

- le sulfate est l'anion dominant pour les horizons H1, H2, H3, H4, H6.
- Le calcium est le cation dominant pour les horizons H1, H2, H3, H4.
- L'horizon H5 est équilibré sulfaté chloruré sodique calcique.
- L'horizon H6 est équilibré en cation.



**Figure IV 25.** Faciès chimiques de profil de sols C1P1.

Dans le Profil C1P2 :

- le sulfate est l'anion dominant pour les horizons H1, H2, H3, H4, H6 ;
- Le chlorure est le cation dominant pour l'horizon H5 ;
- Le calcium est le cation dominant pour les horizons H1, H2, H3 ;
- Les horizons H4, H5, H6 sont équilibrés en cations.



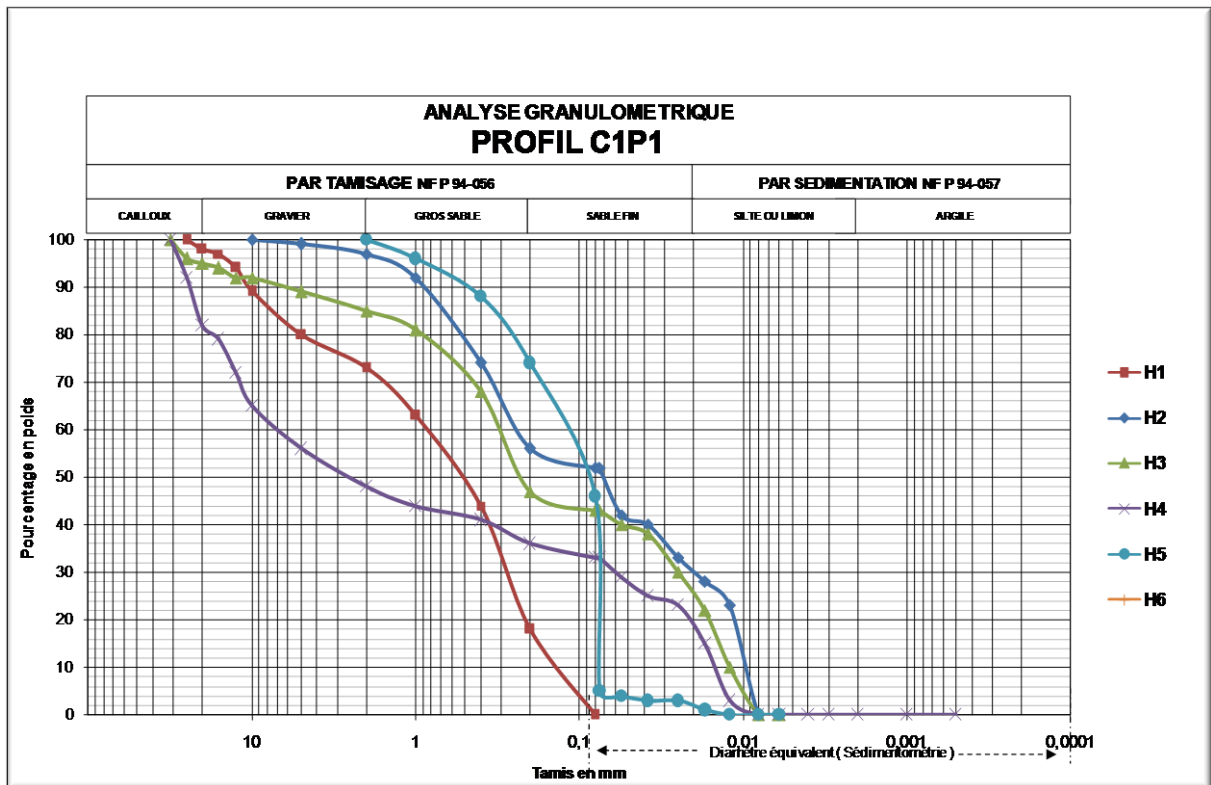


- **Texture**

On a déterminé la texture des sols des profils (de chaque horizon) par la méthode de tamisage et la méthode de Sédimentométrie.

L'analyse granulométrique montre que les sols des profils du demi-secteur C1 ont une texture sableuse à sablo-limoneuse.

Dans cette parcelle, le pourcentage de sable fin et le sable grossier est compris entre  $21\% \leq S_f \leq 71\%$  en moyenne de 36% et  $12\% \leq S_g \leq 63\%$  en moyenne de 36%. La fraction limoneuse montre des valeurs comprises entre 0% et 30% en moyenne de 13,4% pour le profil C1P1.  $30\% \leq S_f \leq 49\%$  en moyenne de 38,8% et  $36\% \leq S_g \leq 68\%$  en moyenne de 36,3%, la fraction limoneuse est entre  $0\% \leq L \leq 28\%$  en moyenne de 13,7% pour le profil C1P2.  $20\% \leq S_f \leq 45\%$  en moyenne de 35,2% et  $28\% \leq S_g \leq 69\%$  en moyenne de 45,2% et la fraction limoneuse est entre  $0\% \leq L \leq 37\%$  en moyenne de 16,3% pour le profil A1P3.



**Figure IV 28.** Courbe granulométrique des horizons du profil C1P1.

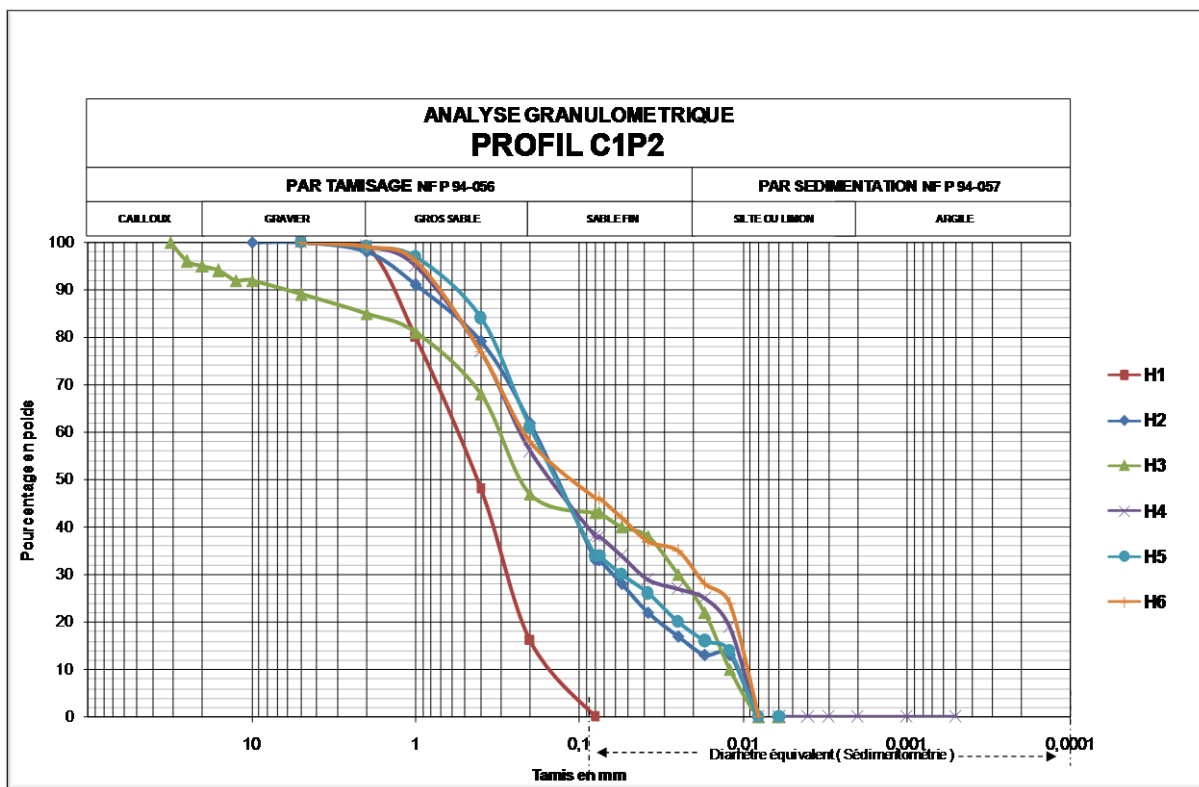


Figure IV 29. Courbe granulométrique des horizons du profil C1P2

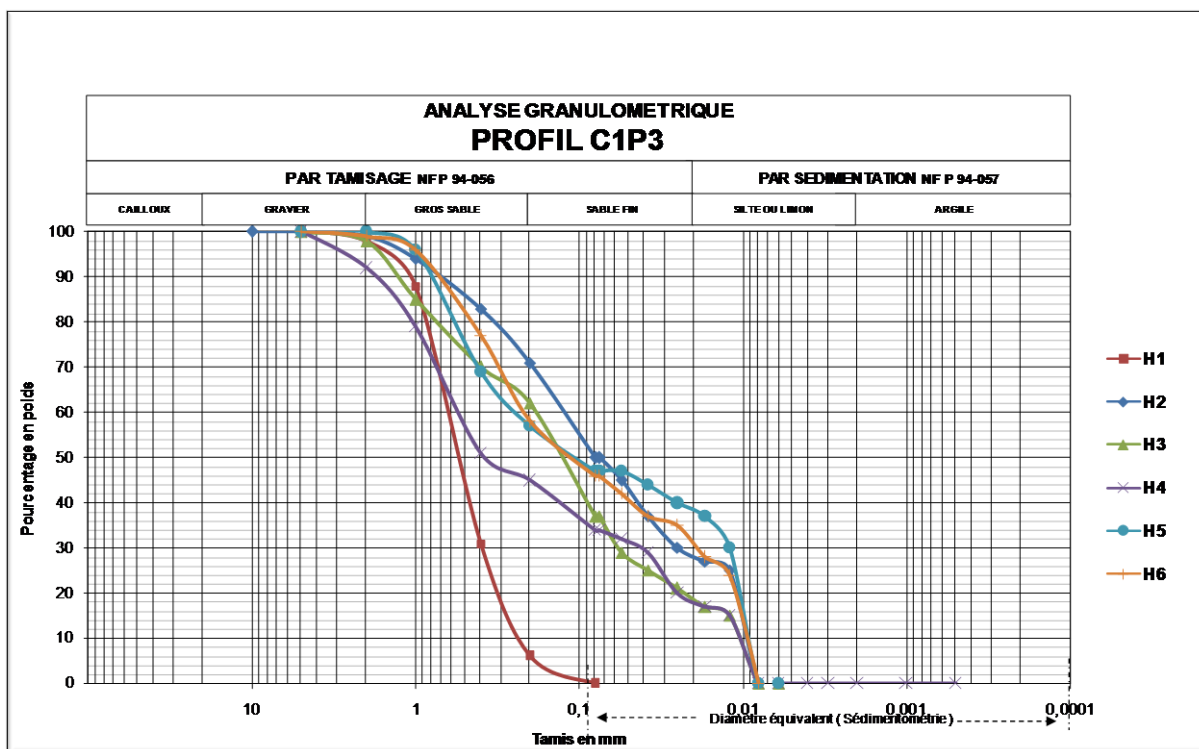


Figure IV 30. Courbe granulométrique des horizons du profil C1P3

### 2.2.3 Discussions :

Les représentations des résultats montrent que tous les profils présentent des horizons de salinités variables entre très salés à extrêmement salés, où cette salinité est engendrée par celle de la nappe phréatique, l'eau d'irrigation et par l'évaporation. Elle augmente avec le niveau des eaux phréatiques. Les sels ont tendance à s'accumuler en surface des sols par remontée capillaire à cause de l'évapotranspiration et à s'accumuler en profondeur des profils par l'effet lixiviant des eaux d'irrigation. Le pH du sol dans les deux stations d'étude oscille de neutre à alcalin, avec des variations spatiales. Le résidu sec et la sodicité S.A.R augmente parallèlement avec la salinité des sols.

L'humidité des sols augmente en se rapprochant de la nappe phréatique, ainsi que les potentialités de rétention et les humidités au point de flétrissement sont variables.

Les teneurs en calcaire pour les deux demi-secteurs sont nulles à modérément.

Les sols des profils représentent une teneur très élevée en gypse. Elle augmente avec l'importance des formes d'accumulation surtout au niveau des croûtes et encroûtements et horizons profonds avec l'élévation du niveau de la nappe phréatique. La forme cristallisée du gypse se trouve dans les deux parcelles au niveau des horizons moyens, mais elle est plus accentuée à la parcelle C1, où cette cristallisation se trouve autour de quelques racines de palmier dattier.

La texture du sol est en totalité sableuse à sablo-limoneuse. Les valeurs de la densité apparente sont presque semblables, avec une structure particulière à massive très compact au niveau des croûtes gypseuses où sa densité apparente est égale  $1,23 \text{ g.cm}^{-3}$  dans les deux demi-secteurs A1 et C1.

Malgré la granulométrie est dite que la texture est sableuse à sablo-limoneuse qui favorise l'infiltration, mais des fois elle est associée à des accumulations des sels peu solubles (calcaire, gypse) et solubles ( $\text{Na}^+$ ) qui réduisent la perméabilité des eaux d'irrigation.

La matière organique présente un effet favorable sur le sol (U.S.S.L., 1954), améliore sa structure et agit ainsi contre l'effet du sodium (GOLDBERG et al., 1988 ; MALLOHI et JACQUIN, 1988 ; MALLOHI, 1989). La pauvreté organique des sols de Ouargla (HAMDI AÏSSA, 2001) ne favorise pas la structuration des sols.

### **3. Conclusion**

A la lumière des résultats obtenus, l'exploitation de l'université est caractérisée par un mode d'irrigation traditionnel de submersion, se trouvant dans un état de fonctionnement médiocre et peu reluisant. Aussi, un grand nombre de bassins se trouve dans un état d'arrêt.

La caractérisation hydro-édaphique des demi-secteurs A1 et C1 dans l'exploitation de l'université inhérente aux signes de dégradation de l'environnement et montre plusieurs contraintes potentiels de types hydrique et édaphique.

Les milieux hydro-édaphiques changent principalement avec le niveau de la nappe phréatique et la morphologie des accumulations gypso-calcaires dans les profils. La compacité de ces derniers augmente avec l'importance de ces accumulations.

Les sols sont irrigués avec des eaux chargées en sels qui sont déconseillées pour l'irrigation, avec une gestion aléatoire. La pratique des doses, fréquences et calendrier d'irrigation n'est pas basé sur une étude prenant en compte les conditions environnementales de sol-eau-climat, non conformes aux normes des besoins en eau des cultures et du lessivage des sels.

Le réseau de drainage semble non fonctionnel et mal entretenu, à cause du manque d'entretien des drains. Ces derniers présentent des accumulations de sable et des mauvaises herbes avec un mauvais dimensionnement à travers une faible pente et des drains peu profonds. Cette situation empêche l'écoulement des eaux de drainage d'une manière correcte. Elle a favorisé l'engorgement des eaux, la formation des croûtes gypseuses, ainsi que la salinisation par les eaux phréatiques.

La mauvaise gestion d'irrigations-drainage, la présence d'une nappe phréatique à faible profondeur, et le dysfonctionnement du réseau drainage ont provoqué des impacts défavorables sur la dégradation des sols. Ils sont devenus hydro-halomorphes et alcalins et non favorable au développement des palmiers dattiers. En effet, la remontée des eaux de la nappe phréatique salée, prédominante dans la cuvette de Ouargla, favorisent la saturation en eau, la dynamique ascendante des sels solubles et leur accumulation ainsi que la formation des obstacles mécaniques de croûtes gypseuses. Celles-ci gênent l'enracinement des palmiers dattiers et la lixiviation des sels solubles.

L'étude morpho-analytique des sols montre aussi une hétérogénéité édaphique, de texture sableuse à sablo-limoneuse, de structure particulière à massive, très compact au niveau des croûtes gypseuses. Les sols sont pauvres en calcaire et en matière organique.

La salinité des eaux phréatiques dépasse la limite supérieure de tolérance du palmier dattier en conditions de sols sableux, pouvant conduire en mauvaises conditions de drainage à

une augmentation de la concentration des sels toxiques, la diminution de la croissance et des rendements des palmiers dattiers.

La caractérisation hydro-édaphique nous a permis d'estimer certains paramètres physiques et physico-chimiques nécessaires pour le pilotage de l'irrigation-drainage, comme la salinité des eaux d'irrigation, la profondeur des nappes phréatiques et des croûtes, les potentialités de rétention en eau des sols et leur point de flétrissement.

Enfin, il ressort sur la base de ces observations la présence de contraintes hydrique et édaphique importante. Il reste à évaluer leur répartition spatiale pour les prendre en considération dans les recommandations de pilotage d'irrigation-drainage.

## Chapitre V

variabilité spatiale des contraintes  
hydro-édaphiques et d'enracinement

---

## Chapitre V. Variabilité spatiale des contraintes hydro-édaphiques et d'enracinement

La caractérisation des profils des sols est insuffisante pour la généralisation des résultats à toutes les parcelles étudiées vu le nombre limité des profils. Pour cela, une étude de variabilité spatiale s'impose.

Nous avons essayé dans ce chapitre, d'étudier la variabilité spatiale des contraintes hydro-édaphique conditionnant la dynamique des sels par lessivage dans les sols qui sont détectées dans la caractérisation hydro-édaphiques de l'exploitation. Aussi, étudier l'impact de ces contraintes environnementales sur la variabilité spatiale de l'enracinement des palmiers dattiers.

L'étude de la variabilité spatiale des contraintes hydro-édaphiques, consiste à apprécier le niveau des contraintes dans les demi-secteurs A1 et C1, à savoir :

1. L'hydromorphie par remontée des eaux phréatiques ;
2. L'obstacle mécanique de croûtes gypseuses ;
3. L'halomorphie et l'alcalinité au niveau des sols ;
4. La perméabilité de sol.

### 1. Variabilité spatiale des eaux phréatiques

#### 1.1. Niveau statique

Le sondage des eaux phréatiques jusqu'à 1,5 m nous a permis de détecter la nappe phréatiques sauf dans le demi secteur A1. Toutefois, les résultats obtenus à la caractérisation hydriques, au niveau des profils nous permis d'estimer la répartition générale des eaux phréatiques.

D'après EDMONDS *et al.*, (1998), les niveaux statiques des eaux phréatiques sont évaluées en trois groupes en fonction de leurs actions limitatives sur l'enracinement des arbustes et des arbres : sévère, modéré et insignifiant, avec les groupes de profondeurs respectives : 0-45,7 cm, 45,7- 91,4 cm et supérieurs à 91,4.

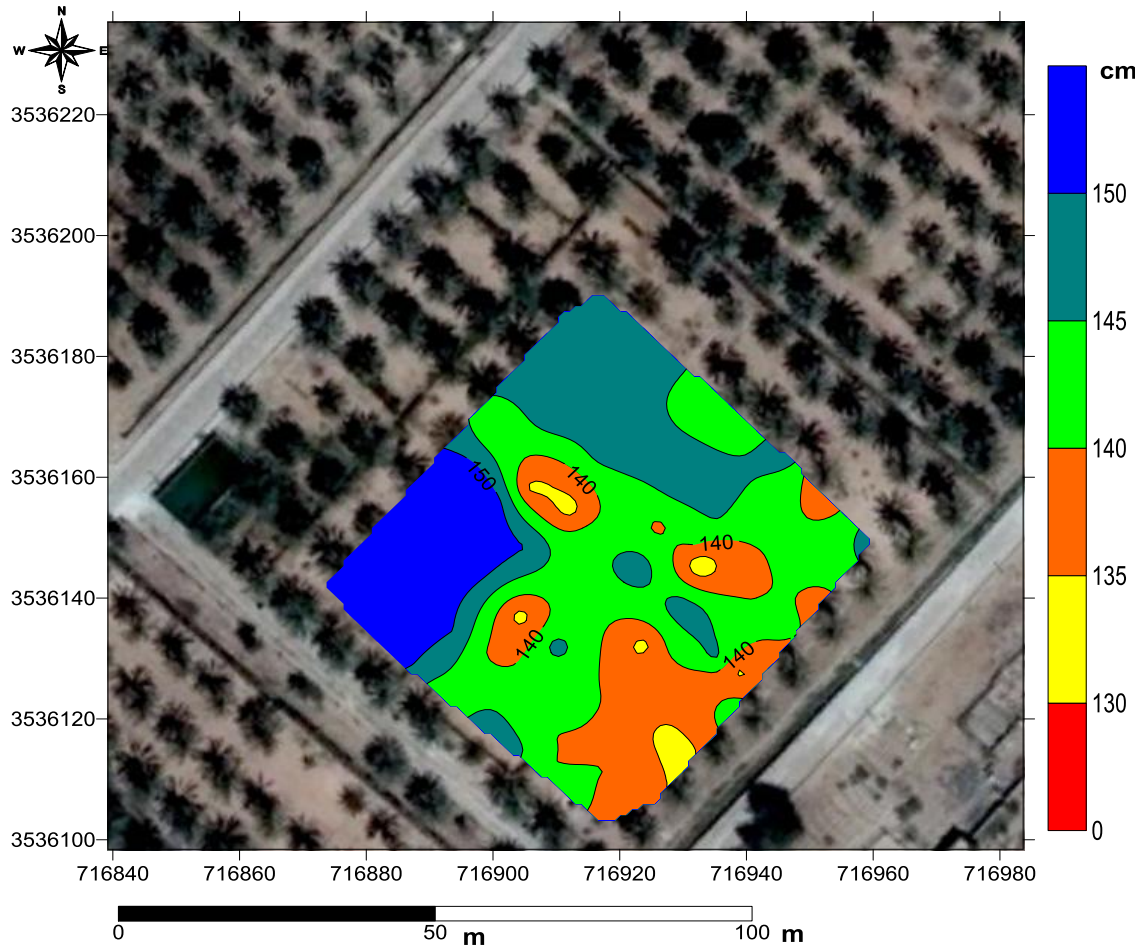
Selon DADDI BOUHOUN (2010), l'action limitative racinaire et de rendements des palmiers dattiers dépend des biotopes oasiens. Il propose une classification de performance racinaire dans les biotopes oasiens où l'action limitative des nappes et des croûtes sur l'enracinement est : sévère, modérée et insignifiante correspondant à trois groupes de profondeur : superficielle, moyenne et profonde, avec les groupes de profondeurs respectives : 0-1,5 m, 1,5 à 3 m et supérieures à 3 m.



Au vu des résultats, notre étude de caractérisation et de variabilité spatiale montre que le niveau statique des nappes phréatiques est variable à l'exploitation, avec une profondeur enregistrée comprise entre 130 cm et 170 cm (Fig. IV 1). Le niveau des eaux semble plus superficiel dans le demi-secteur A1 par rapport au C1, compris entre 130 cm et 155 cm à A1, et supérieur à 150 cm dans C1. Donc notre palmeraie présente une nappe superficielle et moyennement profonde avec une action sévère à modéré sur la croissance des palmiers.

Le mauvais drainage favorise la remontée des eaux phréatiques et limite ainsi le niveau d'infiltration des eaux d'irrigation, engendrant un état d'hydromorphie. D'après l'étude de caractérisation des contraintes hydro-édaphique, les eaux phréatiques de l'exploitation sont excessivement salées varie en fonction des secteurs, cette salinité dépasse la limite supérieure de tolérance du palmier dattier en conditions de sols sableux (DURAND, 1958), pouvant conduire en mauvaises conditions de drainage à une augmentation de la concentration des sels toxiques, la diminution de la croissance et des rendements des palmiers dattiers ((MONCIERO, 1954 ; WEEKS, 1957) in DADDI BOUHOUN, 2010 ; FURR, 1975).

La présence de ces eaux phréatiques superficielles combinées avec les eaux d'irrigation salées peuvent entraîner l'enrichissement du sol en sodium (SERVANT, 1970), d'où le processus d'alcalinisation (ISRAELSEN et HANSEN, 1965 ; PUPISKY et SHAINBERG, 1979 ; AGASSI et al., 1981), avec ses conséquences éventuelles sur les propriétés du sol: la dispersion des argiles (MCNEAL et COLEMAN, 1966 ; YOUSAF et al., 1987), la dégradation de la structure (U.S.S.L., 1954 ; AUBERT, 1983 ; HALITIM et al., 1984), la perte de perméabilité (ZARTMAN et GICHURU, 1984) et l'asphyxie du milieu (CHEVERRY, 1972).



**Figure V.1.** Variabilité spatiale de niveau statique des eaux phréatiques de demi-secteur A1

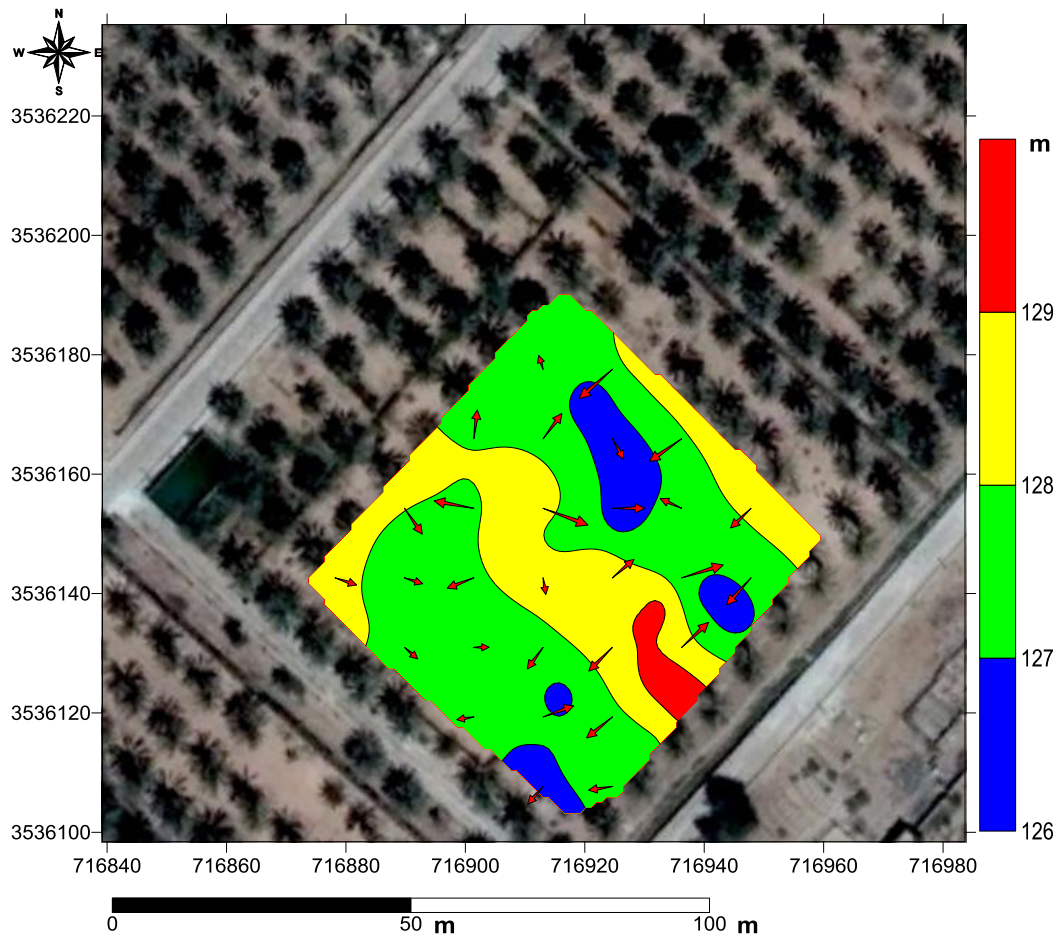
### 1.2. Niveau piézométrique

L'étude de niveau piézométrique est conditionnée par l'altitude et le niveau statique. La carte de la variabilité spatiale de niveau piézométrique réalisée à l'exploitation montre que le niveau à la palmeraie varie entre 126,6 et 129,6 m. Nous remarquons que la zone Est de la palmeraie est la zone la moins affectée par la remontée de la nappe phréatique avec les altitudes les plus élevées comprises entre 129 m et 129,6 m. BONNARD et GARDEL (2004) et DJIDEL (2008) rapportent que les zones dans lesquelles la nappe phréatique est la plus profonde, sont situées à des points hauts de la topographie, à savoir le Sud-Ouest d'Ouargla, Sud de Oum Raneb et versants Nord-est de N'Goussa.

On constate à partir de la carte que l'écoulement de la nappe phréatique s'effectue selon deux directions (Fig. 24) :

1. vers le Sud de demi-secteur A1 où existe un drain principal.
2. vers le Nord-est en direction du drain tertiaire.
3. vers l'intérieur de demi-secteur en zone de dépression ce qui favorise l'engorgement des sols en eaux.

Selon CHULLI et BEN DHIA (2003), la salinité des eaux phréatiques augmente en suivant le sens de l'écoulement de la nappe.



**Figure V 2.** Niveau piézométrique des nappes phréatiques dans le demi-secteur A1

## 2. Variabilité spatiale des obstacles mécaniques

L'étude a révélé que les deux demi-secteurs de la palmeraie présente des obstacles de croûtes de types gypseuses. Cette dernière semble plus superficielle dans A1 par rapport au C1.

D'après DADDI BOUHOUN (2010), les profondeurs sont évaluées en trois groupes en fonction de leurs actions limitatives: sévère, modérée et insignifiante avec les groupes de profondeurs respectives : 0-1,5 m, 1,5 à 3 m et supérieures à 3 m, correspondant à trois groupes : superficielle, moyenne et profonde.

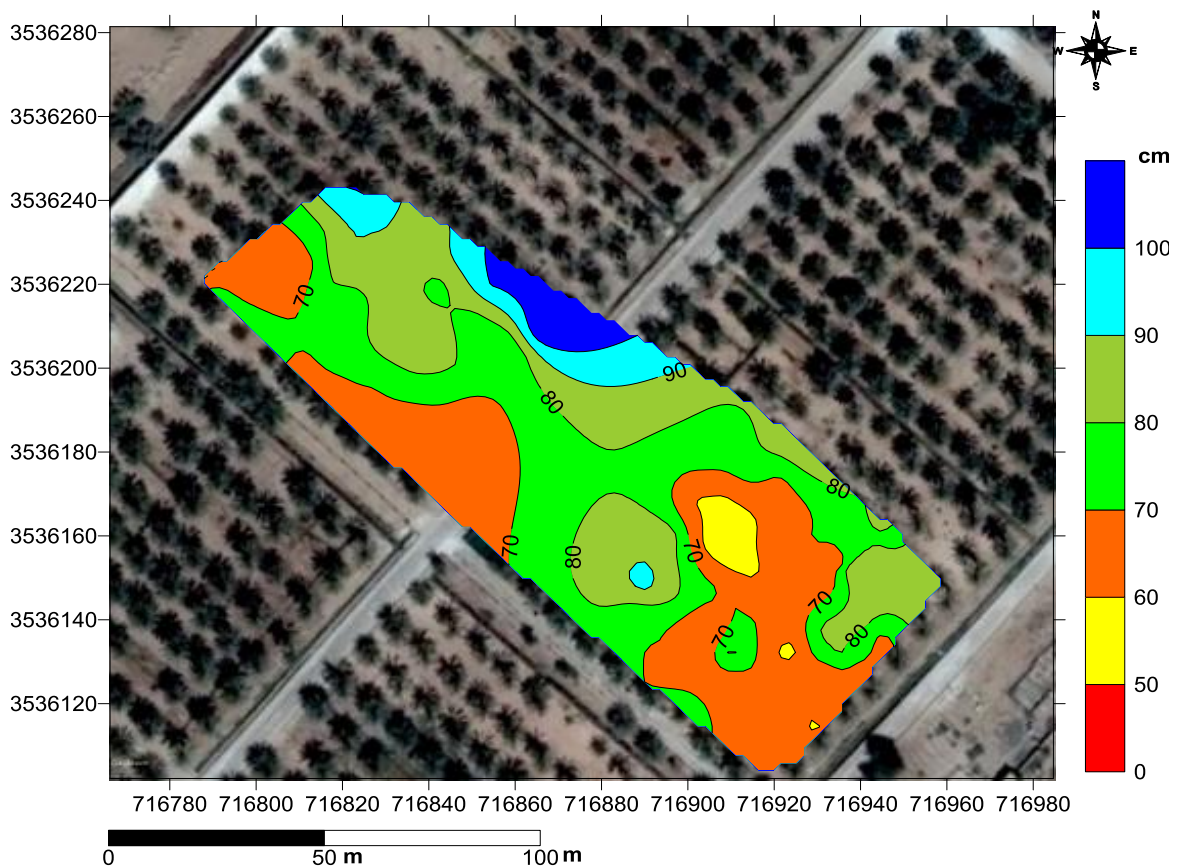
Les résultats de notre étude montrent que les croûtes ont une profondeur comprise entre 53 et 90 cm dans le demi-secteur A1 avec un effet sévère où la nappe est superficielle. Cependant dans le demi-secteur C1 où la nappe est moyennement profonde, le niveau de la croûte comprises entre 55 et 112 cm, qui peuvent aussi limiter sévèrement la croissance des

palmiers et créent un stress hydro-salin et mécanique en palmeraie, contribuant à la diminution des rendements et aboutissant à long terme à la dégradation de la palmeraie.

Connus depuis plus longtemps (DURAND 1949, DESSUS 1955, LE HOUEROU 1960, NOVIKOFF 1961), les croûtes gypseuses liés à l'évaporation d'une nappe phréatique salée à faible profondeur.

La remontée des eaux phréatique est à l'origine des formations gypseuses dans la cuvette de Ouargla et à l'exploitation de l'université (DADDI BOUHOUN, 2010).

La présence d'obstacles mécaniques de croûtes limite la dynamique descendante des eaux d'irrigation en profondeur et favorisent au même temps la dynamique ascendante des eaux par évapotranspiration.

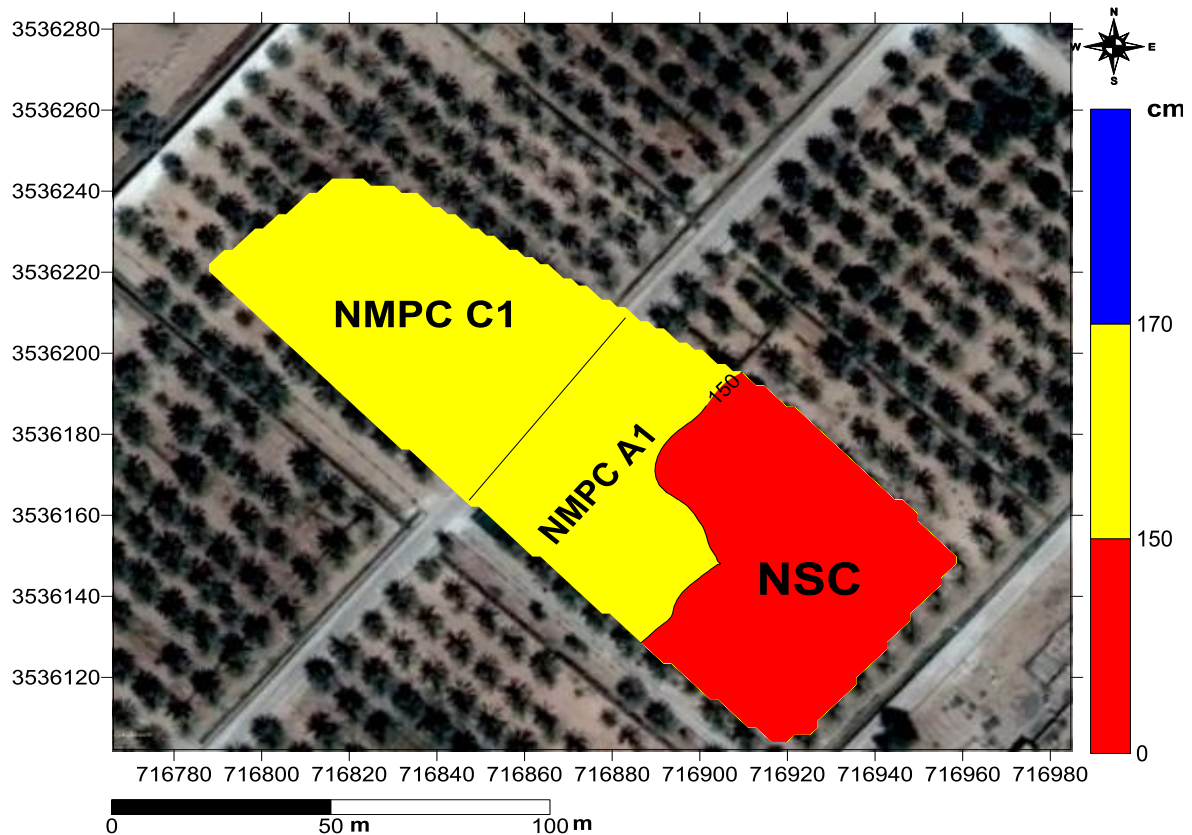


**Figure V 3.** Variabilité spatiale d'obstacle mécanique dans les demi-secteurs A1 et C1

L'étude des deux demi secteurs A1 et C1 montre que les conditions hydro-édaphiques varient entre les secteurs. Nous avons observé deux types de zones dans la palmeraie de l'exploitation (Fig. VI 4). Elles présentent des milieux différents par le niveau de la nappe phréatique et la présence de croûtes gypseuses:

**1. Biotope 1 :** Zones de nappes superficielles-croûtes (NSC) ;

**2. Biotope 2 :** Zones de nappes moyennement profondes-croûtes (NMPC).



**Figure V 4.** Biotopes existants dans les demi-secteurs A1 et C1.

### 3. Variabilité spatiale de la salinité et de l'alcalinité des sols

Les sols salés sont caractérisés généralement par des propriétés physiques, chimiques, et biologiques défavorables à la croissance des végétaux. Les sols de l'exploitation présentent une salinité variable. Les sols sont salés à extrêmement salés, selon l'échelle de SERVANT (1975) et AUBERT (1978), elle semble moins élevée dans le demi-secteur A1 par rapport au C1, à cause que ce dernier manque d'irrigation. La C.E.e.1:5 comprise respectivement entre 1,62 et 8,59  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ , et entre 2,87 et 8,89  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  (Fig.IV.5). La majorité des échantillons de sols sont très salés. Les croûtes créent un obstacle pour l'infiltration des eaux d'irrigation salées, ce qui augmente leur salinité, la remontée capillaire des eaux, et ainsi l'accumulation des sels à la surface des sols.

La majorité des sols sont alcalins, le pH est compris entre 7,43 et 8,41 dans A1, et entre 7,54 et 8,33 dans C1.

Le calage des cartes de variabilité des eaux phréatiques et des obstacles mécaniques de croûtes, indique une dégradation hydro-mécanique et halomorphe des sols de l'exploitation de

l'université Ouargla. D'après DADDI BOUHOUN (2010), les obstacles hydriques de nappes phréatiques et mécaniques de croûtes gypseuses augmentent l'hydro-halomorphie dans les sols. Aussi que l'évaporation dans cette région favorise les accumulations salines (DADDI BOUHOUN et BRINIS, 2006).

L'effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la salinité des sols augmente en présence des croûtes gypseuses (DADDI BOUHOUN, 2010). Ce qui indique que les croûtes empêchent l'écoulement des eaux d'irrigation et favorise la remontée des sels à partir des eaux phréatiques vers la surface des sols. Ainsi les accumulations salines augmentent avec la diminution de la profondeur des croûtes gypseuses (Fig. IV 4). Ainsi que le mauvais drainage favorise la saturation des couches superficielle des sols et limite ainsi le niveau d'infiltration des eaux d'irrigation, engendrant un état d'hydromorphie. L'hydromorphie aussi est produite par la remontée des eaux phréatiques (DADDI BOUHOUN, 2010)

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. (KATERJI, 1995). L'effet principal de la salinité est l'augmentation du potentiel osmotique suite à l'augmentation de la salure dans ce qui résulte une réduction de la disponibilité en eau pour les cultures (SCHLEIFF, 1979) et en conséquence la croissance des plantes sera touchée (BERTRAND, 1981).

La présence d'une nappe superficielle, source supplémentaire de salinité, engendre l'augmentation de la salinité près de la surface du sol, au lieu de croître avec la profondeur. Dans telles conditions, la salinisation risque d'être excessive à cause de l'effet combiné produit par l'eau d'irrigation et l'eau de nappe chargée en sels avec le mauvais fonctionnement de drainage.

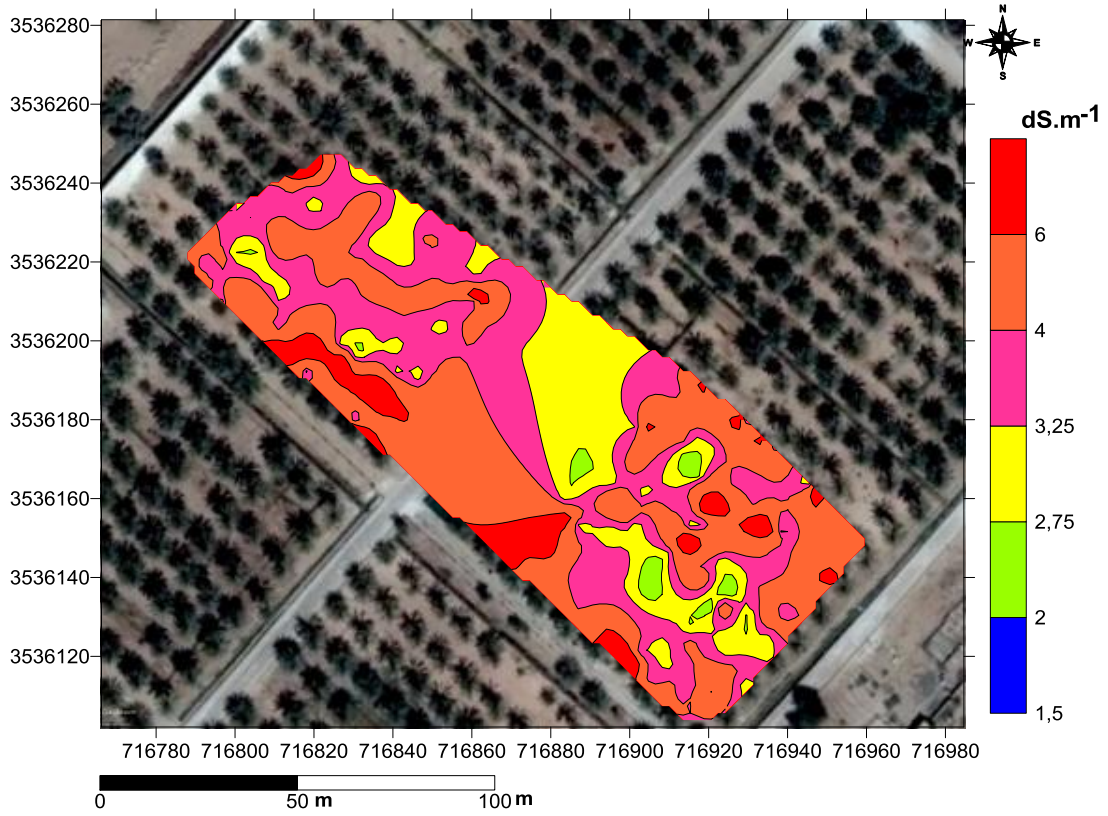


Figure V 5. Variabilité spatiale de la salinité des sols dans les demi-secteurs A1 et C1

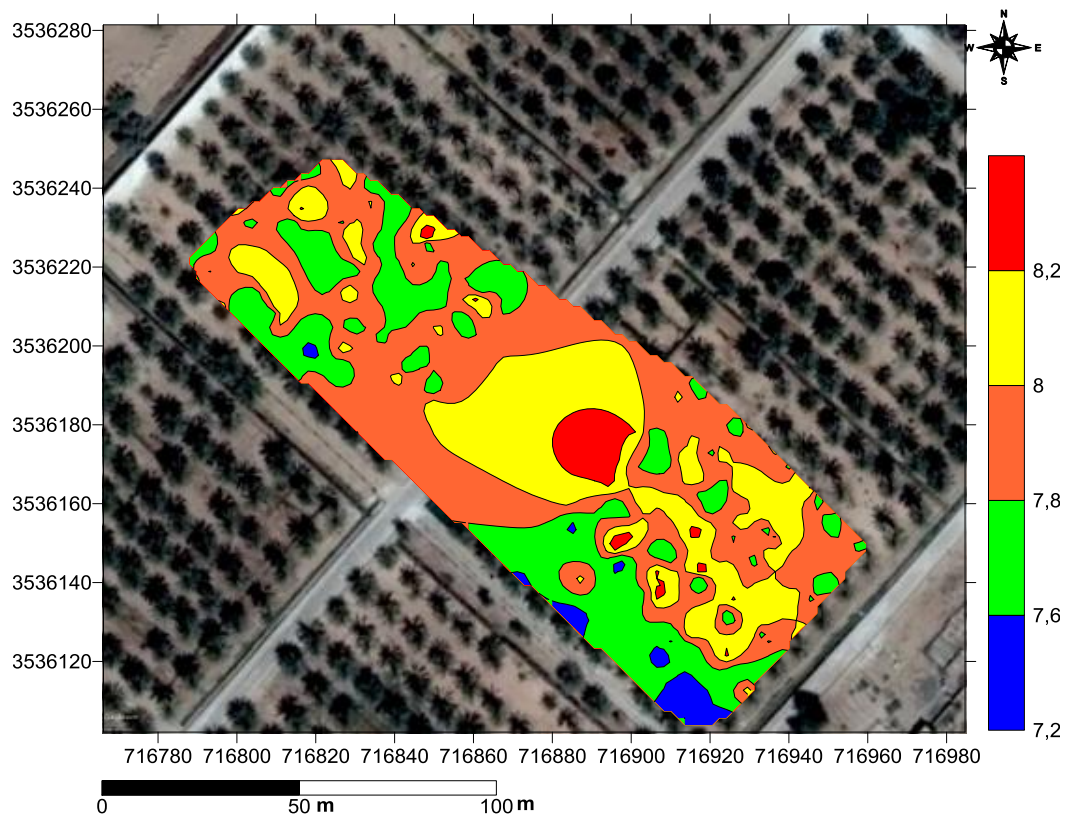


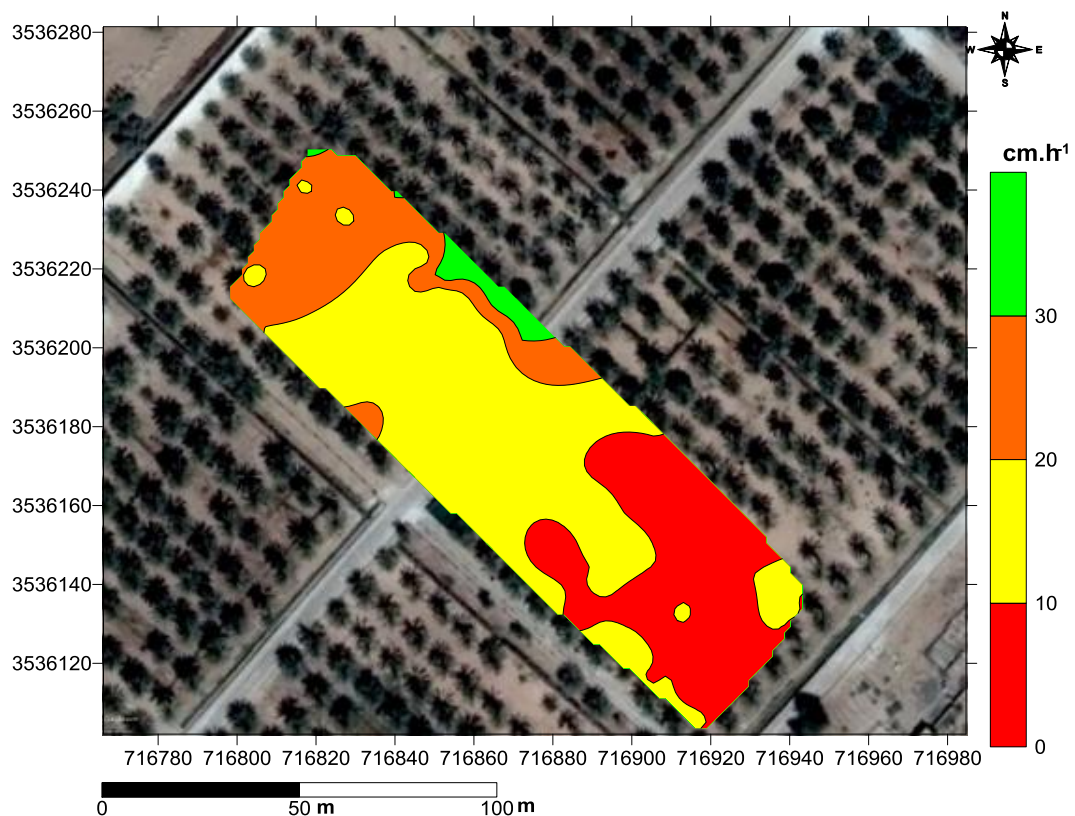
Figure V 6. Variabilité spatiale de l'alcalinité des sols dans les demi-secteurs A1 et C1

#### 4. Variabilité spatiale de la perméabilité des sols

L'étude comprend une reconnaissance du sol visant à définir la capacité d'infiltration pour chaque demi-secteur.

Les résultats de la variabilité spatiale de la perméabilité des sols dans les deux parcelles d'étude, montre que les sols de demi-secteur A1 sont peu perméable par rapport au C1. Le biotope NSC présente une faible perméabilité par rapport au biotope NMPC, elle comprises respectivement entre 4,14 à 15  $\text{cm.h}^{-1}$  et 11,25 à 36  $\text{cm.h}^{-1}$ . Malgré la texture est en dominance sableuse mais la perméabilité est subit à l'existence des formations gypseuse. Plus la croûte est proche à la surface plus la perméabilité est diminuée. Donc on constate que les contraintes hydro-édaphiques ont un effet néfaste sur la morphologie des sols notamment sur la perméabilité.

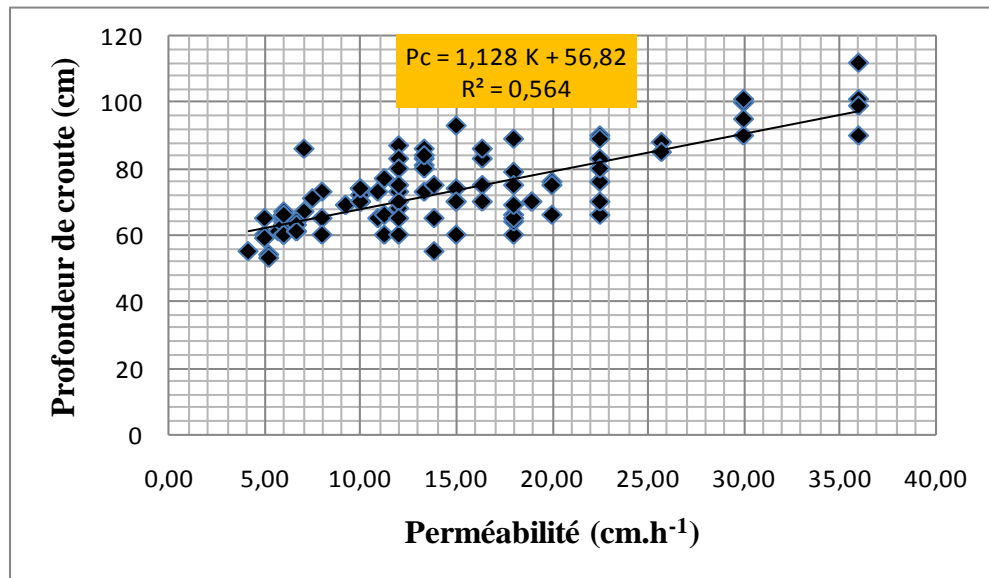
La présence d'obstacles mécaniques de croûtes limite la dynamique descendante des eaux d'irrigation et diminue la perméabilité des sols. (POUGET, 1968)



**Figure V 7.** Variabilité spatiale de la perméabilité des sols dans les demi-secteurs A1 et C1



L'analyse de la corrélation totale a montré que la perméabilité est en corrélation significative avec la profondeur du croûte, le coefficient est égale  $R = 0,75$  ce qui montre que l'évolution de la perméabilité est étroitement liée à l'évolution de la profondeur du croûte (Fig. VI 8)



**Figure V 8.** Relation entre la perméabilité des sols et la profondeur de la croûte.

### 5. Impact des contraintes hydro-édaphique sur l'enracinement

L'étude de la profondeur d'enracinement du palmier dattier à 1 m du tronc a montré que la plupart des parcelles étudiées présentent un enracinement superficiel selon la classification de DADDI BOUHOUN (2010). Compris entre 107 et 143 cm de profondeur dans le demi-secteur A1 et entre 101 et 147 cm dans C1 (Fig. VI 9).

L'étude montre une dégradation importante des conditions hydro-édaphiques par la salinité des sols, le niveau des eaux phréatiques et des croûtes gypseuses. Cette dégradation semble avoir un effet sur la profondeur du système racinaire des palmiers dattiers.

Les obstacles hydriques de nappes phréatiques et mécaniques de croûtes dans les sols limitent le niveau d'enracinement chez les palmiers dattiers, et engendre une asphyxie, une pourriture et une déformation morphologique racinaire (DADDI BOUHOUN, 2010). Les conditions hydro-halomorphes et la présence de croûtes constituent des facteurs limitant pour la croissance racinaire des palmiers dattiers (ARSHAD et al., 1996).

Les observations de sondage et dans les profils révèlent que l'enracinement des palmiers dattiers est limité sévèrement par les croûtes et sévèrement à modérément par la nappe. Cependant, on constate que la profondeur racinaire diminue considérablement quand

---

elle est soumise à la résistance mécanique des croûtes combinées aux conditions hydro-halomorphes, en présence de nappes phréatiques superficielles. La remontée de ces eaux chargées en sels, peut avoir des effets néfastes sur les végétaux au contact de leurs systèmes racinaires. Ils produisent une hydro-halomorphie qui aboutit à une pourriture racinaire par anoxie et à une mauvaise alimentation hydrique et minérale par stress salin pour les palmiers dattiers. Cette situation affecte directement le rendement en dattes (DADDI BOUHOUN, 2010).

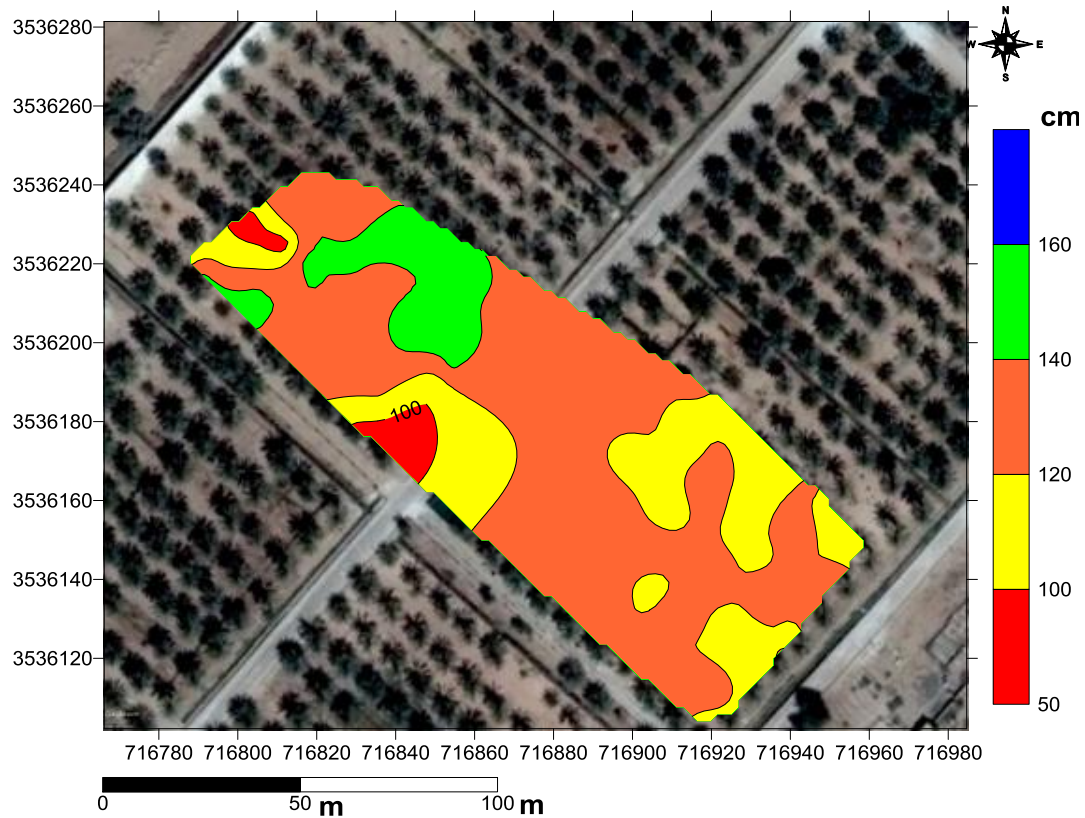
A la lumière des résultats obtenus, nous pouvons considérer que le niveau élevé des eaux phréatiques salées et des croûtes gypso-calcaires dans la cuvette de Ouargla constituent des obstacles physiques et chimiques qui changent la morphologie des sols et limitent le développement racinaire du palmier dattier en profondeur des sols. Les formations gypseuses de nappes phréatiques constituent dans l'oasis de Ouargla un facteur limitant pour la croissance des palmiers dattiers (POUGET, 1968). La densité d'occupation racinaire décroît très rapidement quand la densité apparente augmente et la perméabilité diminue. (CHARREAU et NICOU, 1971).

Le calage des cartes de variabilité des eaux phréatiques et des obstacles mécaniques de croûtes semble indiquer un impact négatif des obstacles hydro-mécanique sur l'enracinement à l'exploitation de l'université. Nous avons constaté qu'au-delà de 50 cm de profondeur dans les sols ces obstacles constituent un problème pour l'enracinement et l'infiltration des eaux.

Une étude menée par TRON *et al.*, (2014) sur l'effet des fluctuations de la nappe d'eau sur la distribution des racines phreatophytic, montre que lorsque la nappe est superficielle, les racines se développent moins en profondeur afin d'éviter le manque d'oxygène.

Au fur et à mesure que la teneur en sel augmente, l'eau du sol est de moins en moins disponible pour les plantes à cause de la diminution du potentiel osmotique. Il résulte une perturbation de leur état hydrique et de leur croissance et de leur rendement. Selon FURR (1975), la production du palmier dattier chute considérablement, atteignant 5 kg / palmier, dans les sols très salés où le niveau des eaux phréatiques est proche de la surface du sol.

La salinisation des sols en zones de nappes superficielles et moyennement profondes à cause des conditions hydro-halomorphes engendre un stress hydro-salin. Les rendements en dattes chez les palmiers dattiers risquent de diminuer lorsqu'il y a une quantité excessive de sels solubles dans le sol, particulièrement la Déglet Nour (MUNIER, 1973).



**Figure V 9.** Variabilité spatiale de l'enracinement dans les demi-secteurs A1 et C1

Les contraintes hydro-édaphiques présentent des impacts sur la performance des palmeraies (SAKER et DADDI BOUHOUN, 2006b ; DADDI BOUHOUN et al., 2009 ; DADDI BOUHOUN, 2010 ; DADDI BOUHOUN et al., 2011).

La croûte a un effet primordial sur la morphologie racinaire ainsi que sur le développement vertical du système racinaire. La croûte peu dure est pénétrable par les racines mais avec difficultés (DURAND, 1963 ; BUREAU et ROEDERER, 1961; POUGET, 1968). Les systèmes racinaires des plantes en zones de nappes phréatiques moyennement profondes ne peuvent pas facilement pénétrer les horizons massifs durcis. En outre, l'eau est principalement confinée dans la zone au-dessus de l'horizon massif, de sorte que le modèle géométrique de la croissance racinaire change. Les racines, cherchant l'eau, tendent à se prolonger latéralement, en favorisant le développement des réseaux secondaires horizontaux de racines (ESTEBAN et KLAPPA, 1983 ; ALONSO-ZARZA et al., 1989).

Pratiquement, les formations gypseuses de nappes constituent un facteur limitant très important, en particulier pour les cultures arbustives, telles que la phoeniculture. Elles bloquent parfois brutalement l'accroissement en profondeur des racines qui viennent s'écraser sur un véritable banc gréseux (DURAND, 1959 ; POUGET, 1968). Les croûtes gypseuses sont

compactes et peu poreuses. Les racines du palmier pénètrent difficilement ces croûtes à cause de leur résistance mécanique.

La croissance racinaire en profondeur du sol diminue, et l'enracinement prend une orientation latérale. La remontée de la nappe phréatique aggrave encore plus la situation, car la zone racinaire s'appauvrit en oxygène, ce qui produit l'asphyxie et la pourriture racinaire. Selon CALLOT et al. (1982), le développement racinaire des plantes n'est pas lié seulement à la porosité des sols, mais aussi à l'humidité et à la résistance du sol à la pénétration.

D'après WENT et DARLEY (1953), la description des racines des palmiers a montré que la profondeur racinaire en contact de la nappe phréatique ne dépasse pas 2,2 m, et l'allongement latéral augmente pour atteindre 8,3 m. Le développement vertical des racines est freiné par le niveau élevé des nappes et compensé par l'allongement latéral des racines (SIMMONS, 1926).

Le mauvais drainage des eaux salées de la nappe augmente la concentration des sels dans la solution du sol; celle-ci devient toxique et incompatible avec une végétation normale du palmier dattier (MONCIERO, 1954 in DADDI BOUHOUN, 2010). L'absorption des eaux phréatiques par les arbres, dans les régions semi-arides et arides, provoque l'augmentation de la salinité des sols dans la zone racinaire (KHANZADA et al., 1998). Le contact des racines avec les eaux phréatiques très salées, provoque la chute des rendements, le drainage devient dans ces conditions primordial (WEEKS, 1957 in DADDI BOUHOUN, 2010 ; FURR, 1975). Pour parer à toutes ces difficultés, il faut maintenir le plan d'eau au-dessous du niveau d'enracinement du palmier dattier (DUBOST, 1991).

## **6. Conclusion**

L'étude la variabilité spatiale des contraintes hydro-édaphique et leur impact sur la variabilité spatiale de l'enracinement des palmiers dattiers, nous indique que les problèmes de dégradation hydro-édaphique sont généraliser dans l'ensemble des demi-secteurs A1 et C1.

Les résultats de l'étude des deux demi-secteurs de l'exploitation montrent une dégradation de son environnement hydro-édaphique, notamment une halomorphie d'irrigation ou associée à des obstacles mécaniques de croûtes gypso-salines, et une hydro-halomorphie de nappes superficielles. L'étude montre également que la formation et le niveau des croûtes sont liés à la fluctuation des nappes phréatiques.

Le niveau médiocre de drainage semble favorise la saturation des sols et limite ainsi l'infiltration des eaux d'irrigation, ce qui produit un état d'hydromorphie dans les sols.

L'étude des deux demi secteurs A1 et C1 dans cette phase expérimentale montre que les conditions hydro-édaphiques varient entre les secteurs. Les résultats montrent des relations entre les paramètres hydro-édaphiques, de nappes phréatiques, de croûtes gypseuses et de salinité des sols, et aussi la profondeur d'enracinement. Nous avons observé deux types de zones dans la palmeraie de l'exploitation. Elles présentent deux biotope différents par le niveau de la nappe phréatique et la présence ou l'absence de croûtes gypseuses : un biotope de croûtes-nappes moyennement profondes et un autre de croûtes-nappes superficielles.

Les sols de l'exploitation agricole présentant des degrés de salinités variables dus aux contraintes hydro-mécaniques, et probablement à la conduite culturale et la gestion de l'irrigation-drainage. La salinité dans les sols de croûtes-nappes moyennement profondes est supérieure à celle des sols croûtes-nappes superficielles à cause de perturbation d'irrigation par les agriculteurs. Le demi-secteur A1 souffre de problèmes de remontée de la nappe, à cause de la mauvaise gestion de l'irrigation et du drainage. Il semble que les croûtes diminuent l'infiltration des eaux d'irrigation salées, et la remontée capillaire des eaux par évaporation, augmentant l'accumulation des sels à la surface des sols.

Les obstacles hydriques de nappes phréatiques et mécaniques de croûtes gypseuses augmentent l'hydro-halomorphie dans les sols et limitent l'enracinement des palmiers dattiers. Les conditions des sols deviennent non favorables au développement de l'enracinement et à l'alimentation hydrique à partir d'une profondeur de sols de 50 cm. Celle-ci est sera donc recommander dans le calcule des paramètres d'irrigation.

## Chapitre VI

Estimation de la meilleure  
conduite d'irrigation

## *Chapitre VI. Estimation de la meilleure conduite d'irrigation*

La gestion de l'eau est un facteur de la production agricole, présentant un impact majeur sur le rendement des cultures, notamment la phoeniciculture où le manque d'eau ou son excès peut s'avérer néfaste pour les plantes. A partir de la caractérisation hydro-édaphique et les problèmes de gestion d'irrigation-drainage nous avons essayé d'améliorer la gestion actuelle de l'irrigation par l'estimation des besoins en eau de la culture principale de palmier dattier et les paramètres théoriques de l'irrigation.

### **1. Détermination des paramètres d'irrigation**

A partir des constatations antérieures à l'exploitation (DADDI BOUHOUN, 2010) et sur la base des résultats de notre étude de caractérisation, on a proposé un pilotage d'irrigation à expérimenter sur le terrain.

Le pilotage d'irrigation par submersion contrôlé dans les demi-secteurs A1 et C1, doit tenir compte d'estimer les besoins en eau des palmiers dattiers (ETP, ETM), de calculer les paramètres théoriques de l'irrigation de submersion (RU, RFU, Dr, N, LF, Df).

#### **1.1. Besoin en eau des palmiers dattiers**

Les besoins en eau des cultures correspondent à l'évapotranspiration maximale (E.T.M.) du végétal qui ne devra pas avoir un manque d'eau, ce qui va théoriquement se produire lors de l'irrigation (Young, 1995 ; Czarnes et al, 2000 ; Whalley et al., 2005). Nous avons calculé l'E.T.P par la formule de TURC pour Ouargla ainsi que l'ETM. Les valeurs obtenues représentent une période annuelle moyenne, entre 2006 et 2015 (Tabl. VII 1 )

D'une manière générale, les valeurs des ETP déterminent la fréquence des irrigations (OLLIER et POIREE, 1983). Plus l'ETP est grande (MAI, Juin, Juillet, Août), plus les fréquences d'irrigation se font en conséquence (DUBOST, 1992).

**Tableau VI 1.** Estimation des besoins en eau des palmiers dattiers à Ouargla

Mois	ETP (mm)	Kc	ETM (mm)
Janvier	86,20	0,60	51,72
Février	148,98	0,60	89,39
Mars	175,66	0,80	140,52
Avril	222,25	0,80	177,80
Mai	257,97	0,80	206,37
Juin	280,48	1,00	280,48
Juillet	283,81	1,00	283,81
Août	261,90	1,00	261,90
Septembre	221,20	0,80	176,96
Octobre	171,00	0,80	136,80
Novembre	133,87	0,80	107,10
Décembre	83,73	0,60	50,24

Dans le cas des ETP est importante, les sols salins nécessitent des lessivages saisonniers permanant qui évaluent une perte des sels néfastes excédentaires (DUTIL, 1960). Ce qui demande une réflexion très approfondie sur la conception des systèmes de drainage (DAESHINER ,1985).

## 1.2. Préparation des planches et techniques d'irrigation

Les planches d'irrigation ont des dimensions variables pour les deux demi-secteurs. La surface est variée de  $8,19 \pm 1,07 \text{ m}^2$  à  $9,70 \pm 0,33 \text{ m}^2$  dans A1 et  $6,97 \pm 2,39 \text{ m}^2$  à  $9,69 \pm 2,40 \text{ m}^2$  dans C1.



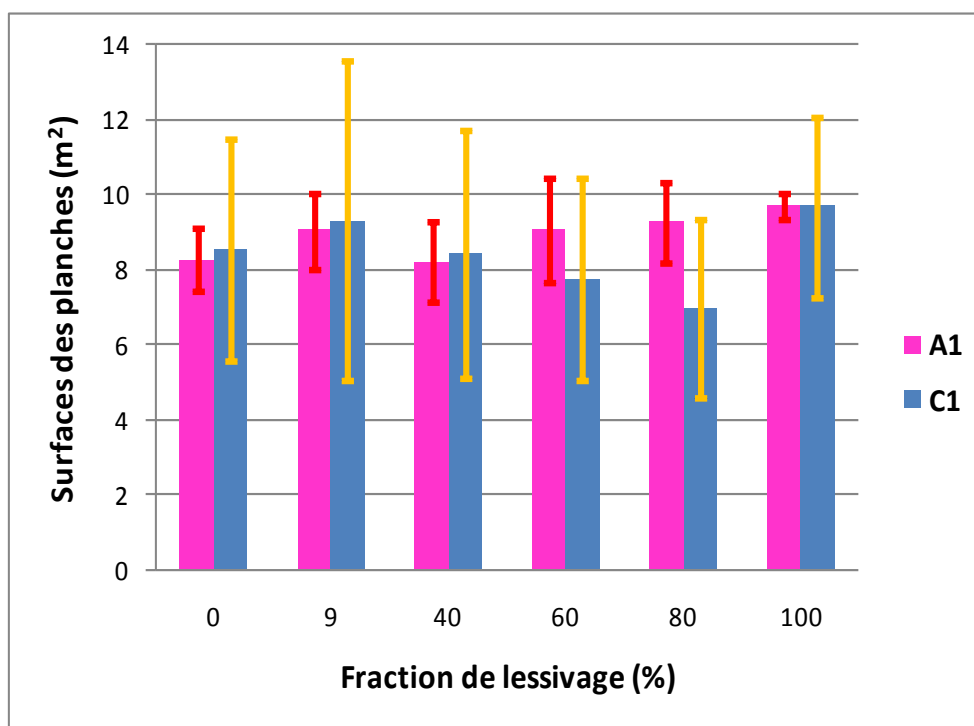


Figure VI 1. Surface des planches d'irrigation des demi-secteurs A1 et C1

### 1.3. Paramètres théoriques de l'irrigation de submersion

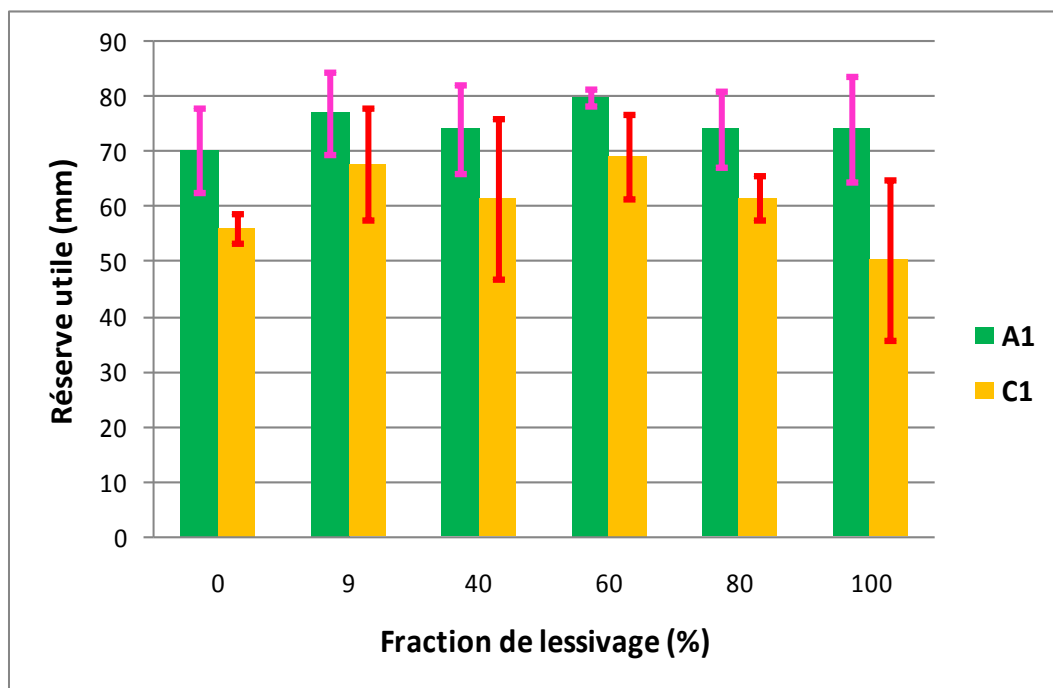
Afin d'estimer les paramètres théoriques de l'irrigation de submersion on a déterminés pour chaque planche les caractéristiques hydriques des sols (humidité à la capacité de rétention et au point de flétrissement) et de compacité des sols (densité apparente), permettant la détermination de la réserve utile « RU » (Bruand et Coquet, 2010), la réserve facilement utilisable « RFU » (TURNER, 1986).

#### 1.3.1. Réserve utile

L'étude de la relation entre la variation spatiale des contraintes mécanique de croûtes, hydrique de nappes phréatiques et celle d'enracinement des palmiers dattiers, nous a conduite à identifier un seuil critique de profondeur estimé à 50 cm. Au-delà duquel les problèmes d'engorgement et de diminution d'infiltration risquent d'apparaître à cause des obstacles hydro-mécaniques. Afin d'éviter ces contraintes, nous avons choisi la profondeur racinaire 50 cm pour le calcul de la réserve utile des sols. Celle-ci correspond à celle recommander par (DADDI BOUHOUN, 1997).

La réserve utile est variable d'un horizon à un autre, d'une planche à une autre, d'un secteur à un autre.

Pour les sols de demi-secteur A1 la valeur moyenne de la réserve utile est compris entre  $70,46 \pm 7,68$  mm et  $79,96 \pm 1,58$  mm, cependant elle est entre  $50,34 \pm 14,74$  mm et  $69,25 \pm 7,63$  mm pour le demi secteur C1. Le détail est illustré dans les figures suivantes :

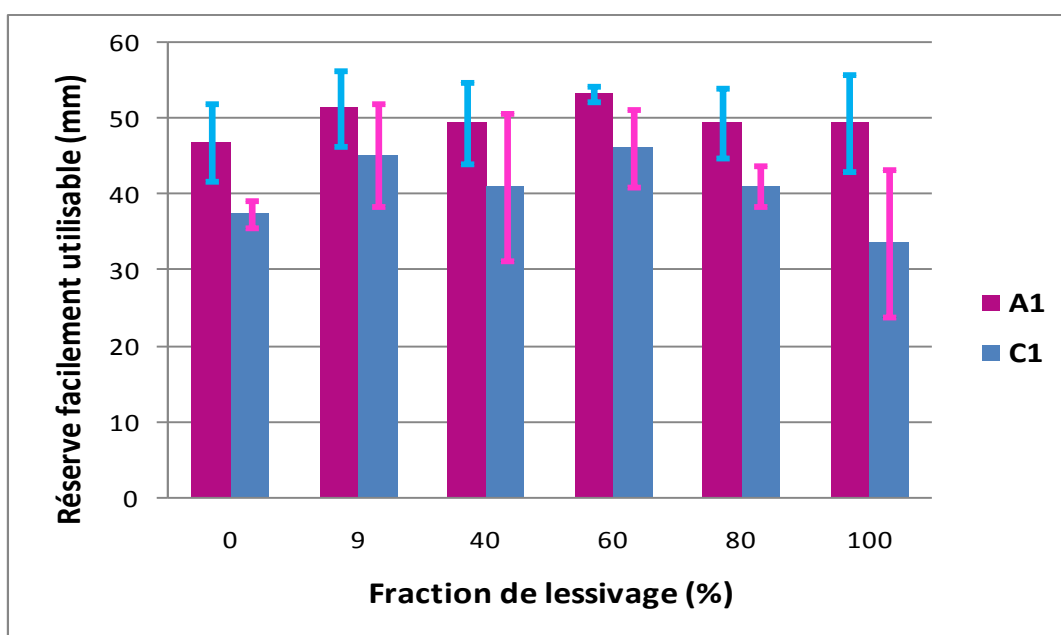


**Figure VI 2.** Réserve utile des sols des demi-secteurs A1 et C1.

Nous avons montré, dans les graphes précédents, que la RU pouvait varier de façon significative, à la fois en fonction des traitements.

### 1.3.2. Réserve facilement utilisable

La réserve facilement utilisable (Dose pratique) des sols est variable d'un demi-secteur à un autre. Pour les sols de demi-secteur A1 la valeur moyenne de La réserve facilement utilisable est compris entre  $46,97 \pm 5,12$  mm et  $53,31 \pm 1,05$  mm, cependant elle est entre  $33,56 \pm 9,82$  mm et  $46,17 \pm 5,09$  mm pour le demi secteur C1.



**Figure VI 3.** Réserve facilement utilisable des sols des demi-secteurs A1 et C1

### 1.3.3 Fréquence d'irrigation

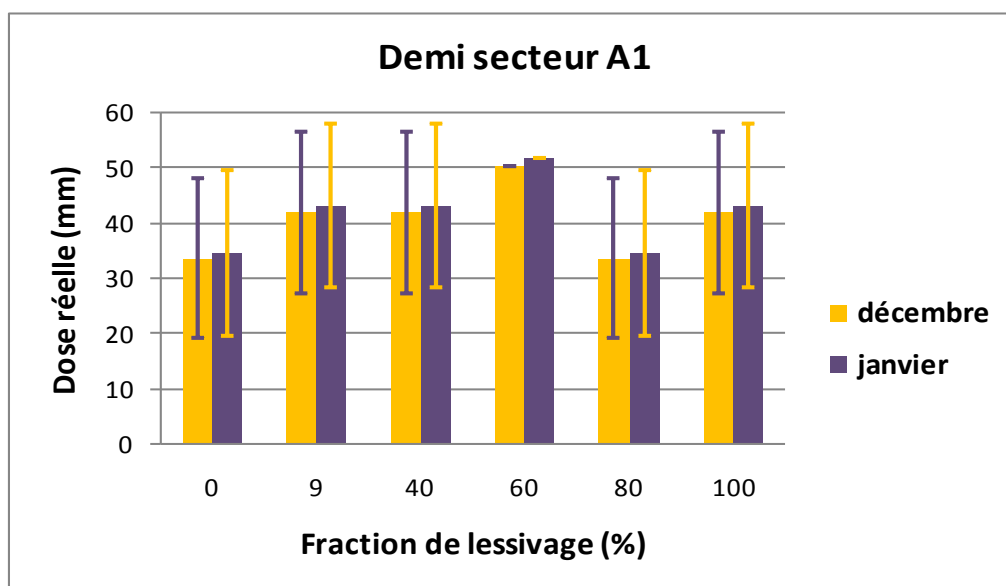
Le facteur fréquence (N) est d'ordre qualitatif car il introduit un calendrier d'irrigation en fonction des données climatiques.

Le calendrier mensuel d'irrigation établi dans les demi-secteurs montre des fréquences, des doses réelles et des tours d'eau variables selon les saisons. La fréquence d'irrigation est comprise entre 1 et 7 pour le demi-secteur A1 et entre 1 et 12 pour C1. Nous avons travaillé dans deux mois (décembre 2015 et janvier 2016). Pour cette durée d'expérimentation le nombre d'irrigation varie de 1 à 2 fois par mois.

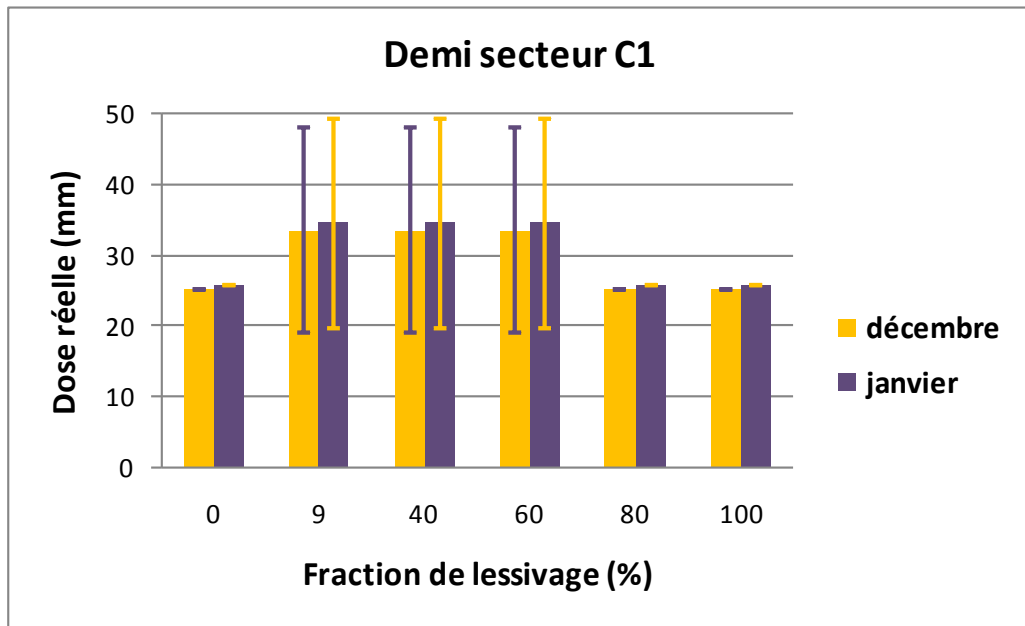
### 1.3.4. Fractions et doses de lessivage

L'irrigation avec des eaux salées nécessite l'apport d'une fraction d'eau supplémentaire pour lessiver les sels ou fraction de lessivage. La dose d'irrigation a un caractère quantitatif qui inclut une part d'eau destinée à lessiver les sels.

A partir du calcul des paramètres d'irrigation nous recommandons une dose pratique, ajusté de 9 % de fraction de lessivage ( $LF=0,09$ ), de chaque demi-secteur A1 et C1. On a varié la dose de lessivage pour estimer la meilleure dose qui permet d'obtenir un meilleur lessivage ( $Lf=0\%$ ,  $Lf_c=9\%$ ,  $Lf=40\%$ ,  $Lf=60\%$ ,  $Lf=80\%$ ,  $Lf=100\%$ ). Les doses réelles sont comprises entre  $33,49 \pm 14,5$  mm et 51,72mm pour le demi-secteur A1 et de 25,12 mm et  $33,49 \pm 14,5$  mm pour le demi-secteur C1.



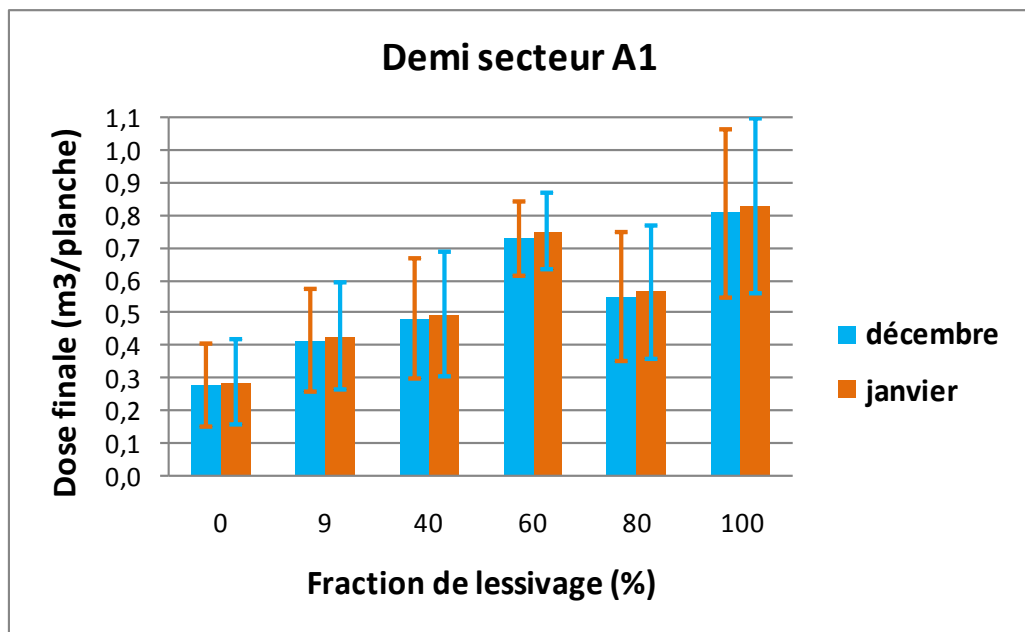
**Figure VI 4.** Doses réelles pour chaque fraction de lessivage de demi-secteur A1



**Figure VI 5.** Doses réelles pour chaque fraction de lessivage de demi-secteur C1.

Les doses finales de lessivage ( $D_f$ ) pour le demi-secteur A1 compris entre 0,18 et 0,96  $m^3 \cdot ha^{-1}$  pour le mois de Décembre et entre 0,19 et 0,99  $m^3 \cdot ha^{-1}$  pour Janvier.

Les doses finales de lessivage  $D_f$  compris entre 0,13 et 0,81  $m^3 \cdot ha^{-1}$  pour le mois de Décembre et entre 0,13 et 0,83  $m^3 \cdot ha^{-1}$  pour Janvier Pour le demi-secteur C1.



**Figure VI 6.** Doses finales pour chaque fraction de lessivage de demi-secteur A1

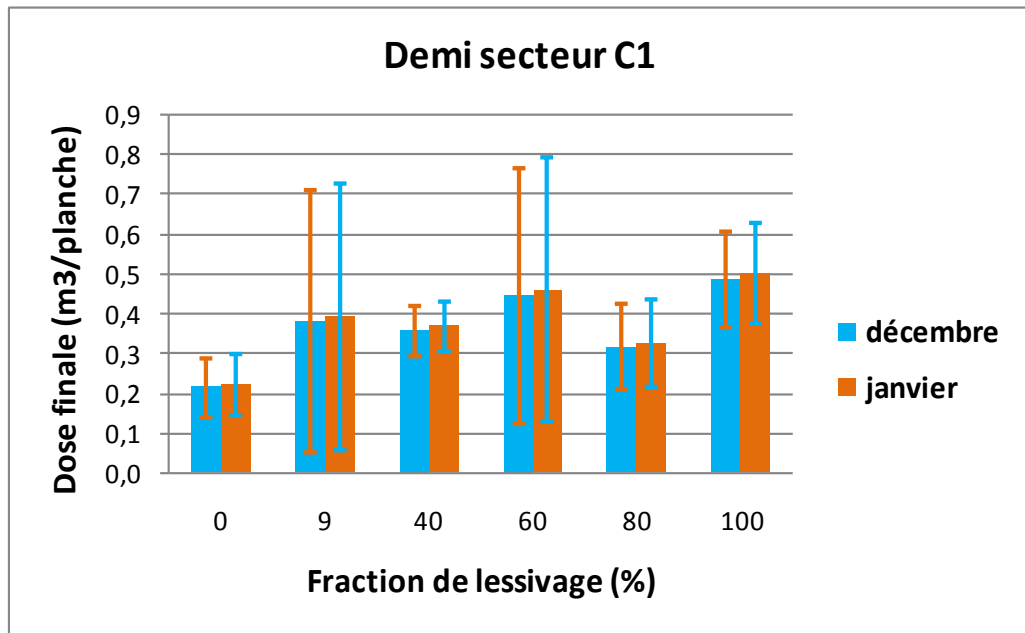


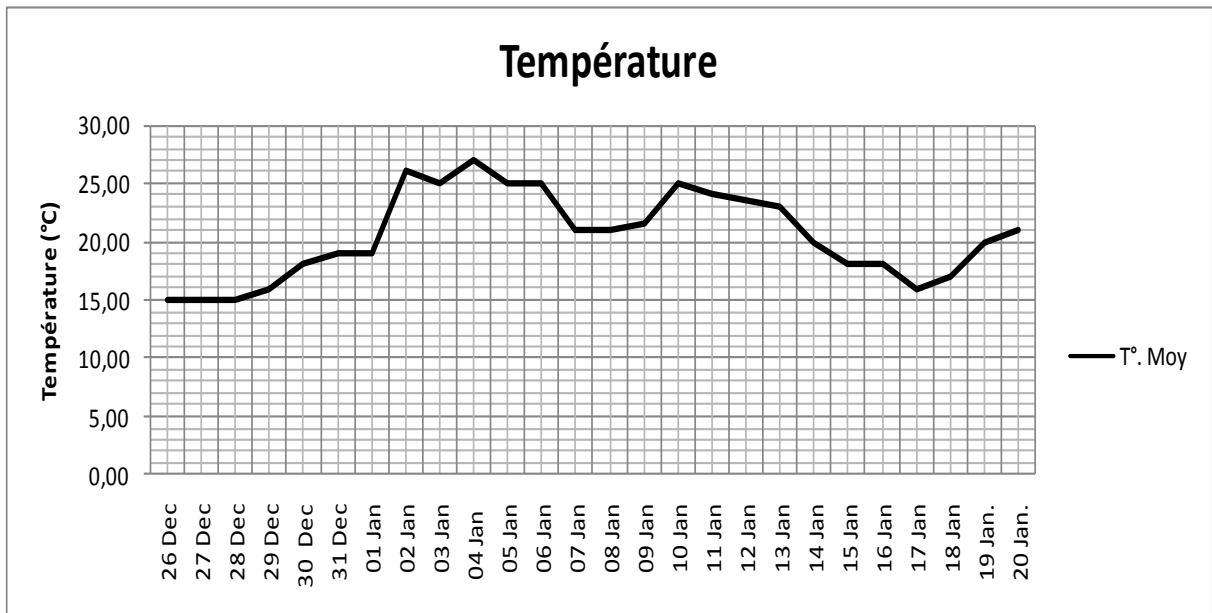
Figure VI 7. Doses finales pour chaque fraction de lessivage de demi-secteur C1

## 2. Détermination des paramètres climatologiques

On a mesuré l'évapotranspiration avec une méthode directe et la comparé avec une méthode indirecte (formule de BOUTOUTAOU). Pour le calcul de l'ETP avec la formule indirecte, il nécessite de mesurer les paramètres suivants :

### 2.1. La température de l'aire

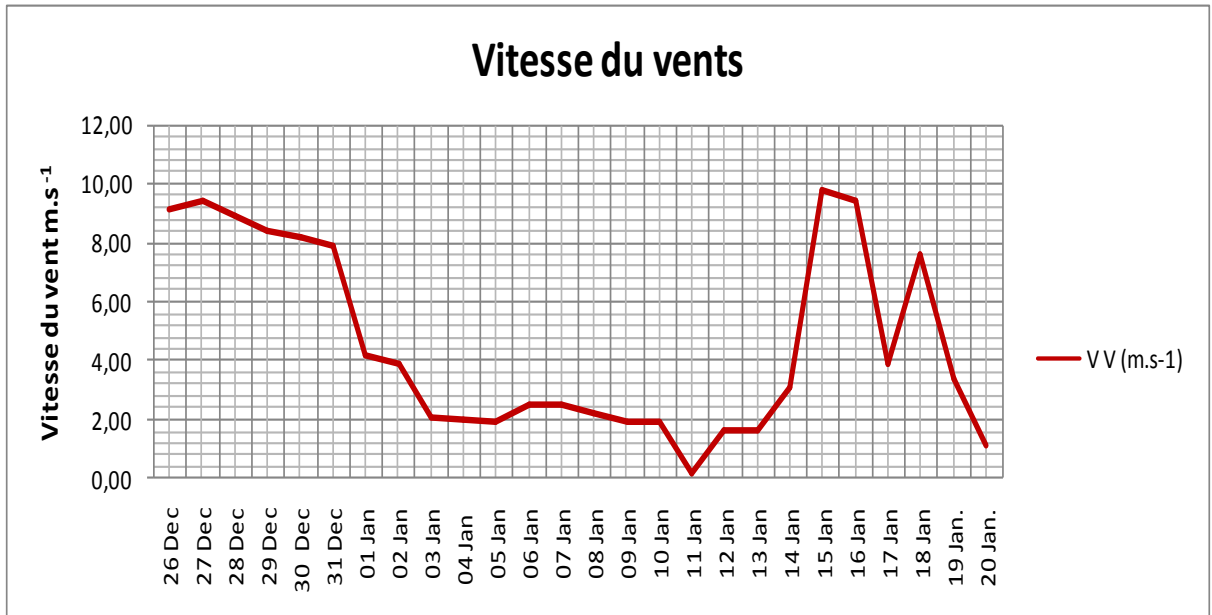
Nous constatons que durant la période de notre essai, la température varie d'un jour à un autre, tantôt croissante tantôt décroissante. Elle varie entre un minimum de 15.3°C et un maximum de 25° avec une moyenne journalière de 20.5°C.



**Figure VI 8.** Variation Journalière de la température de l'aire.

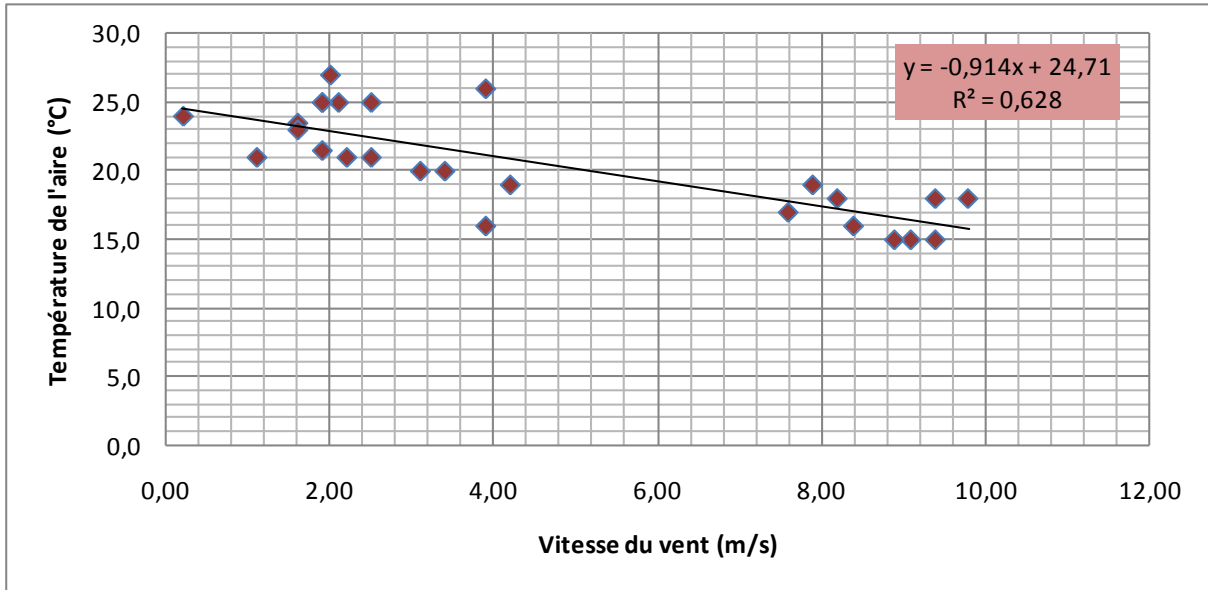
## 2.2. Vitesse du vent

Nous constatons aussi que pendant la période de notre essai, la vitesse du vent varie d'un jour à un autre, entre un minimum de  $0.2 \text{ m.s}^{-1}$  et un maximum de  $9,4 \text{ m.s}^{-1}$ .



**Figure VI 9 .** Variation Journalière de la vitesse du vent.

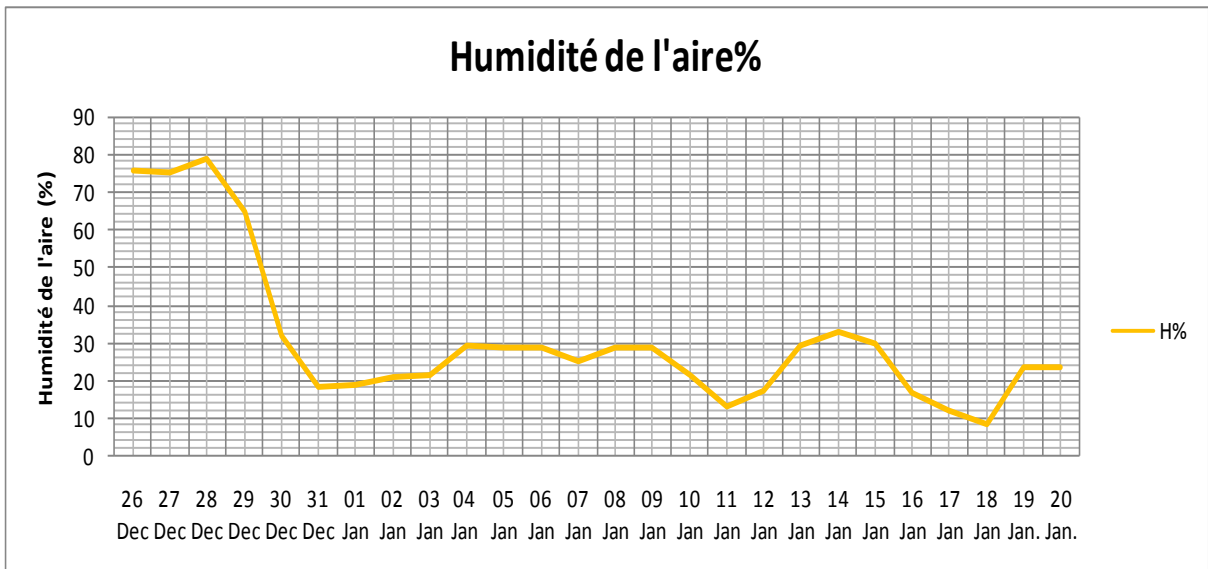
L'analyse de la corrélation totale entre la vitesse du vent ( $\text{m.s}^{-1}$ ) et la température de l'air ( $^{\circ}\text{C}$ ), a montré que la vitesse du vent est en corrélation significative avec la température le coefficient est égale à  $R=0,79$  (Fig VII 10).



**Figure VI 10.** Relation entre la température et la vitesse du vent.

### 2.3. Humidité de l'aire

Le graphique montre que l'humidité relative de l'air enregistrée durant les jours de notre expérimentation est variée entre une valeur maximale de 79% et une valeur minimale de 09%, avec une moyenne journalière de 30.9%.

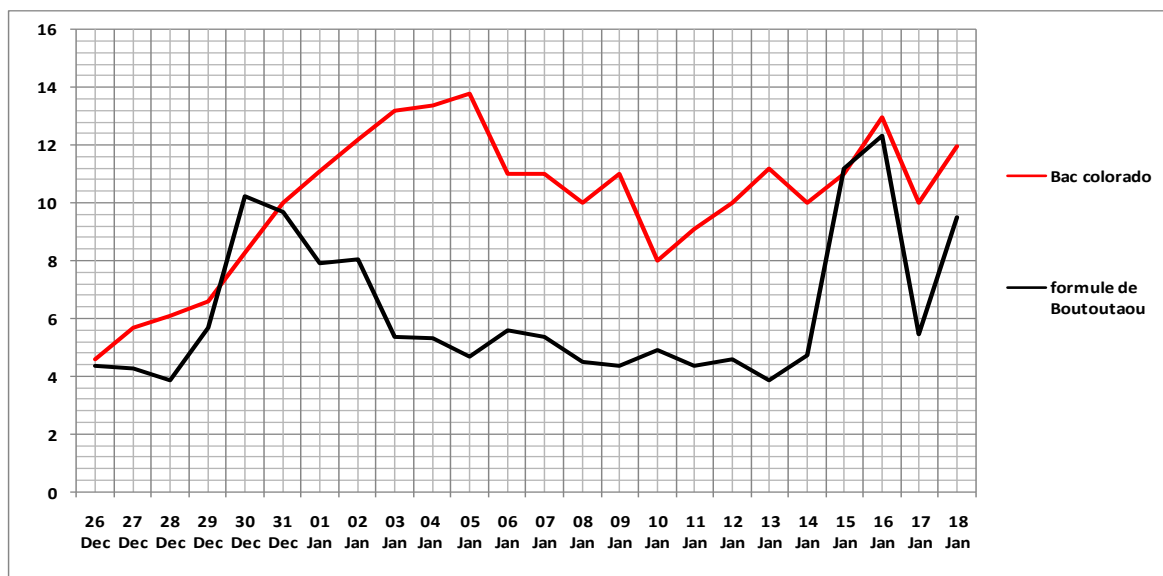


**Figure VI 11 .** Variation Journalière de l'humidité de l'aire.

## 2.4. Evapotranspiration

Les données entre l'ETP mesuré et l'ETP calculé par la formule de BOUTOUTAOU sont presque identique.

Les valeurs de L'ETP journalière mesuré à l'exploitation agricole dans la période d'essai ont été comprises entre 5 mm et 14 mm avec une valeur moyenne journalière de 10 mm. L'ETP calculé est varié entre 4mm et 12mm.



**Figure VI 12.** Variation journalière de l'ETP pendant la période d'irrigation.

## 3. Conclusion

L'amélioration de la gestion actuelle de l'irrigation par submersion nécessite le calcul des paramètres d'irrigation (besoins en eau des palmiers dattiers (ETM), réserve utile (R.U), réserve facilement utilisable (R.F.U), fraction de lessivage (LF), dose de lessivage (Df), la fréquence d'irrigation (N) et le tour d'eau (T)).

Dans l'ensemble, les recommandations visent à mettre en valeur les sols dégradés de l'exploitation. Elles ont comme objectif de lutter contre la salinité, alcalinité, l'hydromorphie, les obstacles mécaniques de croûtes et aussi à améliorer leur potentiel hydrique et de fertilité.

Il faut améliorer la conduite culturale en favorisant l'infiltration des eaux, la lixiviation des sels et l'enracinement des palmiers dattiers par le travail profond des sols et l'élimination des obstacles mécaniques de croûtes gypseuses.



A partir de la caractérisation hydro-édaphique et l'étude de la relation entre la variation spatiale des contraintes mécanique de croûtes, hydrique de nappes phréatiques et celle d'enracinement des palmiers dattiers, ainsi que les problèmes de gestion d'irrigation-drainage nous avons essayé d'améliorer la gestion actuelle de l'irrigation par l'estimation des besoins en eau de la culture principale de palmier dattier et les paramètres théoriques de l'irrigation. Nous avons identifié un seuil critique de profondeur estimé à 50 cm. Au-delà duquel les problèmes d'engorgement et de diminution d'infiltration risquent d'apparaître à cause des obstacles hydro-mécaniques. Afin d'éviter ces contraintes, nous avons choisi la profondeur racinaire 50 cm pour le calcul de la réserve utile des sols.

L'application de notre approche d'irrigation, adapté aux conditions des sols, reste une première phase dans une bonne conduite d'irrigation. Toutefois, l'efficacité de celle-ci reste à confirmer par expérimentation, notamment son pouvoir de lixiviation.

## Chapitre VII

Effet de l'irrigation sur le  
lessivage des sels

## Chapitre VII. Effet d'irrigation sur lessivage des sels

Nous allons essayer dans ce chapitre, d'étudier la variabilité spatiale de la salinité et l'alcalinité et l'humidité relative du demi-secteur A1 et C1 avant et après irrigation.

### 1. Variabilité spatiale de la salinité et l'alcalinité après irrigation

Le suivi de l'évolution de la salinité dans les parcelles a été réalisé à une courte durée pendant l'hiver (Décembre, Janvier). Nous avons prélevé des échantillons du sol dans les horizons de 50 cm 24 heures, 07 jours, 14 jours après la première irrigation, 24 heure après la deuxième irrigation. Le prélèvement des échantillons après 24 heures de l'irrigation est pour but d'assurer un bon ressuyage du sol. Ainsi que le prélèvement de 7<sup>ème</sup> jours et 14<sup>ème</sup> jours est pour but de suivre l'évolution de la salinité et l'alcalinité entre deux irrigations en fonction des traitements.

#### 1.1. Evolution de la salinité et d'alcalinité après la 1<sup>ère</sup> irrigation

La carte de salinité des sols établie à partir des résultats relatifs à la conductivité électrique, indique que la salinité après 24h de l'irrigation à l'exploitation varie de 2,36 à 4,34 dS.m<sup>-1</sup> dans le demi-secteur A1 et de 2,58 à 12,71 dS.m<sup>-1</sup> dans C1, correspondant au niveau « très fortement salé » à « hyper salé » SERVANT (1975).

Le calage des cartes de variabilité spatiales de la salinité indique que la majorité des sols de demi-secteurs A1 et C1 ont une salinité excessive, compris entre 2,75 et 4 dS. m<sup>-1</sup> (Fig. VIII 1).

Dans le demi-secteur C1 où la salinité est supérieure à 4 et atteint jusqu'à 12,71 dS.m<sup>-1</sup>, où la croûte est superficielle entre 60 et 80 cm, Il est clair que les accumulations salines sont d'origine des eaux d'irrigation. L'effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la salinité des sols augmente en présence des croûtes gypseuses (DADDI BOUHOUN, 2010).

Après l'irrigation, une élévation du pH a été remarquée, dans tous les planches dus aux fortes évapotranspirations, où la remontée capillaire était plus importante que la Lixiviation (Fig. VIII 2). Le sol passe d'alcalin à très alcalin ( $7,55 \leq \text{pH}_{\text{e}1:5} \leq 8,12$ ) pour A1 et ( $7,82 \leq \text{pH}_{\text{e}1:5} \leq 8,09$ ) pour C1, il reste alcalin à l'horizon avant croûte.

Le calage des cartes de variabilité spatiales de la salinité indique que la majorité des sols ont un pH entre 7,8 et 8.



Figure VII 1. Variabilité spatiale de la salinité des sols après (24h) d'irrigation



Figure VII 2. Variabilité spatiale de l'alcalinité des sols après (24h) d'irrigation.

## 1.2. Evolution de la salinité après 07 jours

La carte de la salinité des sols établies, indique que la salinité augmente après le 07<sup>ème</sup> jours de l'irrigation varie de 2,37 à 4,84 dS.m<sup>-1</sup> dans le demi-secteur A1 et de 2,73 à 18,60 dS.m<sup>-1</sup> dans C1, correspondant selon SERVANT (1975) au niveau « très fortement salé » à « hyper salé » (Fig. VIII 3). L'augmentation de la salinité est liée à l'évaporation qui provoque une accumulation des sels.

Après le 7<sup>ème</sup> jours de l'irrigation, le pH a augmenté (Fig. VIII 4) due à la remontée capillaire des sels alcalinisants, issues de la nappe phréatique. Les sols de demi-secteurs sont des sols Alcalins à très alcalins avec un pH compris entre 7,77 et 8,28 dans A1 et entre 7,83 et 8,18 dans C1.

Le calage des cartes de variabilité spatiales de la salinité indique que la majorité des sols ont un pH entre 7,8 et 8.

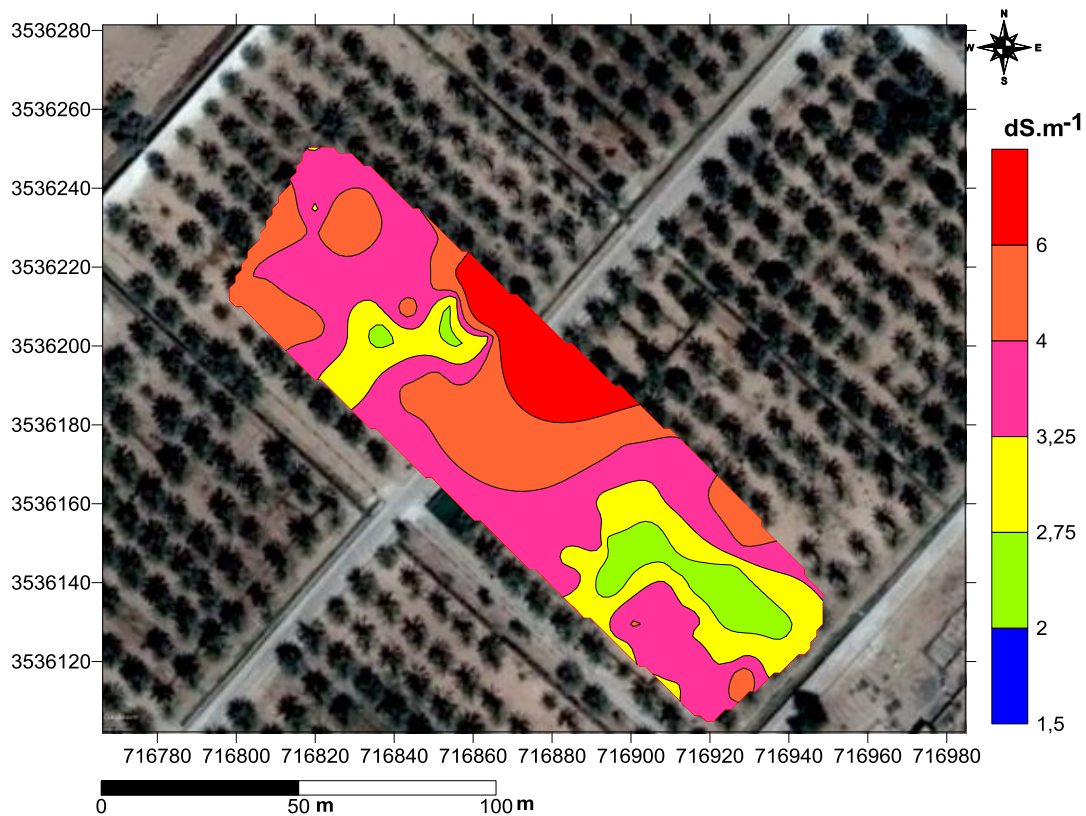
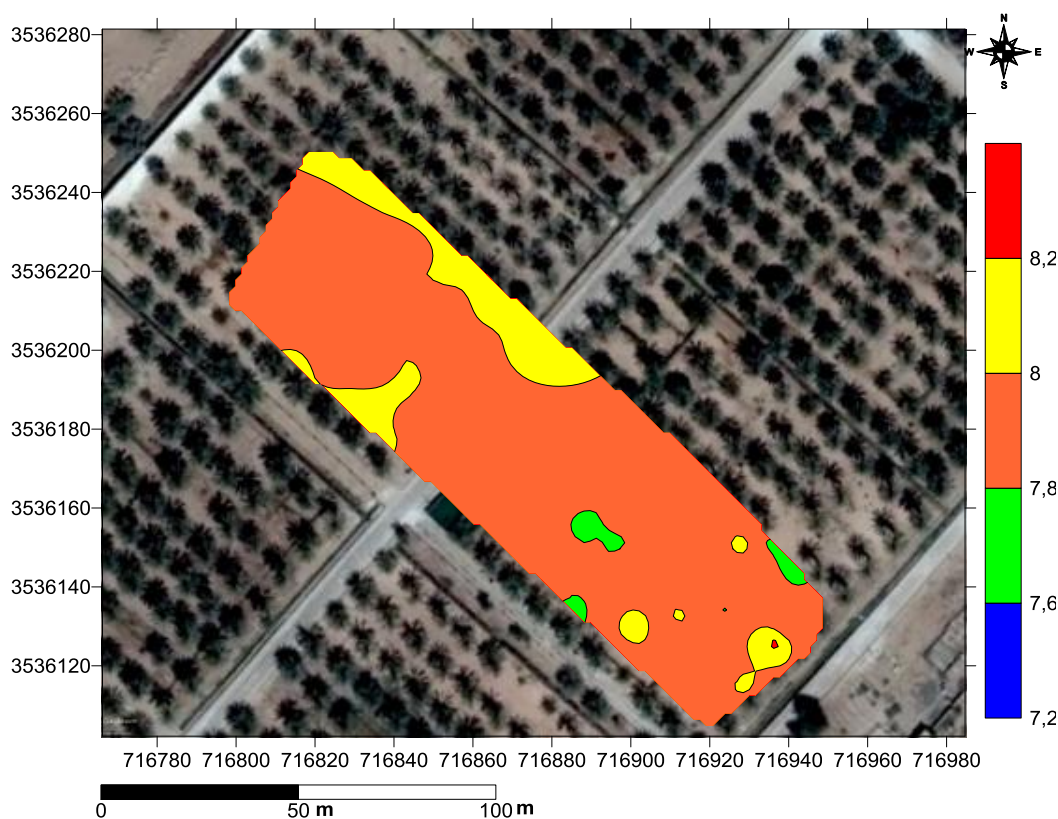


Figure VII 3. Variabilité spatiale de la salinité des sols après irrigation (7 jours)



**Figure VII 4.** Variabilité spatiale de l'alcalinité des sols après (07 jours) d'irrigation.

### 1.3. Evolution de la salinité après 14 jours

La carte de salinité des sols établie, indique que la salinité augmente après 14 jours de l'irrigation, due à la remontée capillaire des sels issues de la nappe phréatique. Elle varie de 2,38 à 5,28  $\text{dS.m}^{-1}$  dans le demi-secteur A1 et de 2,73 à 18,60  $\text{dS.m}^{-1}$  dans C1, correspondant au niveau « très fortement salé » à « hyper salé » SERVANT (1975).

Le calage des cartes de variabilité spatiales de la salinité indique que la majorité des sols de demi-secteurs A1 et C1 ont une salinité excessive, compris entre 2,75 et 4  $\text{dS. m}^{-1}$  (Fig. VIII 5).

Nous avons remarqué une élévation du pH dans le 14<sup>ème</sup> jours d'irrigation (Fig. VIII 6), due à l'accumulation et la remontée capillaire des sels alcalinisants provenant de la nappe phréatique. Les sols de demi-secteurs sont des sols Alcalins à très alcalins avec un pH compris entre 7,78 et 8,28 dans A1 et entre 7,86 et 8,28 dans C1.

Le calage des cartes de variabilité spatiales de la salinité indique que la majorité des sols ont un pH entre 7,8 et 8.



Figure VII 5. Variabilité spatiale de la salinité des sols après irrigation (14 jours)

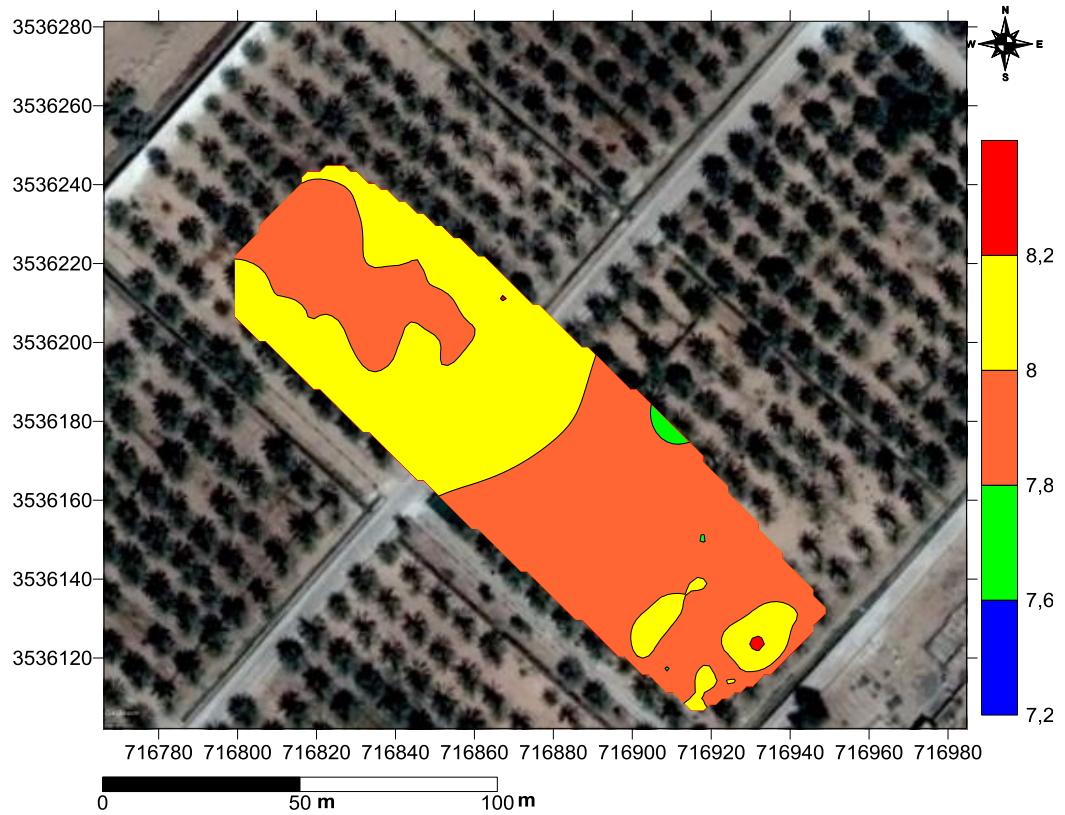


Figure VII 6. Variabilité spatiale de l'alcalinité des sols après (14 jours) d'irrigation.

#### 1.4. Evolution de la salinité après la deuxième irrigation

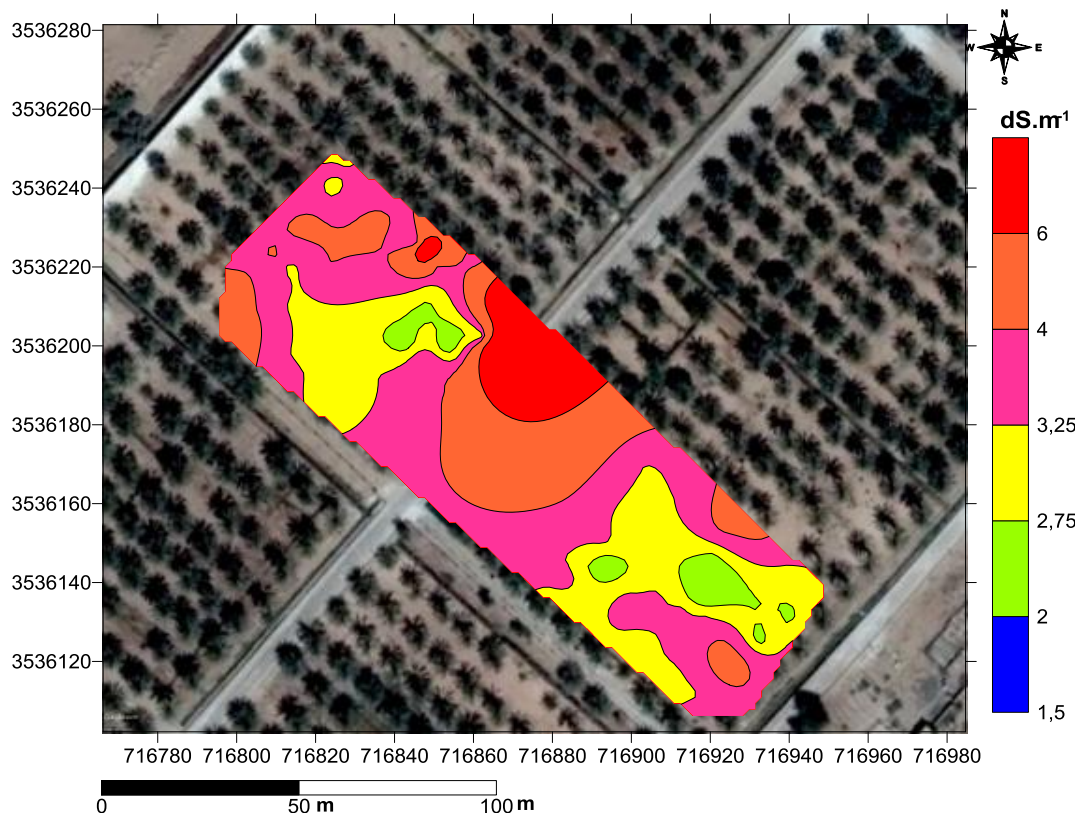
La carte de salinité des sols après 24 heures de la deuxième irrigation, indique que la salinité de la majorité des sols diminue par rapport à l'avant irrigation (14<sup>ème</sup> jours). Cette diminution due à la lixiviation descendante des sels. Elle varie de 2,34 à 4,66 dS.m<sup>-1</sup> dans le demi-secteur A1 et de 2,66 à 10,01 dS.m<sup>-1</sup> dans C1, correspondant au niveau « très fortement salé » à « hyper salé » SERVANT (1975).

Le calage des cartes de variabilité spatiales de la salinité indique que la majorité des sols de demi-secteurs A1 et C1 ont une salinité excessive, compris entre 2,75 et 4 dS. m<sup>-1</sup> (Fig. VIII 7).

Après La deuxième irrigation, une diminution du pH dû à la lixiviation des sels alcalisants par les eaux d'irrigation (Fig. VIII 8). L'alcalinité des sols augmente en fonction du profondeur, dont que l'horizon avant croûte a subit une augmentation du pH dû à l'accumulation des sels lixiviés.

Les sols de demi-secteurs sont des sols Alcalins à très alcalins avec un pH compris entre 7,72 et 8,24 dans A1 et entre 7,80 et 8,19 dans C1.

Le calage des cartes de variabilité spatiales de la salinité indique que la majorité des sols ont un pH entre 7,8 et 8.







**Figure VII 8.** Variabilité spatiale de l'alcalinité des sols après la deuxième d'irrigation.

## 2. Impact de lessivage sur l'évolution de la salinité

Le suivi de l'évolution de la salinité dans les deux parcelles a été réalisé dans une période hivernale. Nous avons mesuré les effets de lessivage avec une eau salées ( $CE=3,58$   $dS.m^{-1}$ ) sur la salinité des sols, on utilisant des doses d'irrigations différentes (LF=0%, 9%, 40%, 60%, 80%, 100%) combinées à deux irrigations.

L'étude de l'évolution de la salinité des sols dans les deux demi-secteurs entre deux irrigations, montre une variation de la salinité au cours de l'essai, avant et après les irrigations (Fig. VIII 9, 10). La comparaison de la variation de la salinité au cours d'irrigation au niveau des deux parcelles, montre que la salinité diminue entre début (avant irrigation) et fin d'essai (après la 2<sup>ème</sup> irrigation). Les doses de 0% et 40% de demi-secteur A1, 60% et 100% de demi-secteur C1, permet d'entraîner les sels, cette diminution est à cause de la dynamique ascendante par lessivage.

Les valeurs moyennes de la salinité les plus élevés ont été enregistrées pour la haute fraction de 100% pour le demi-secteur A1, l'apport d'eau excessif favorise la remontée de la nappe phréatique, provoquant une accumulation des sels. Cependant la salinité augmente entre les deux irrigations. Cette augmentation provoquant par l'accumulation des sels qui a été

enregistrée pendant le 7<sup>ème</sup> et le 14<sup>ème</sup> jour, cela est peut expliquer par la remontée capillaire des sels de la nappe phréatique à travers l'évapotranspiration qui été en moyenne de  $10 \pm 2,6$  mm/j pendant la période d'irrigation, ce qui réduit l'efficacité de la lixiviation et favorise l'accumulation des sels entre les irrigations.

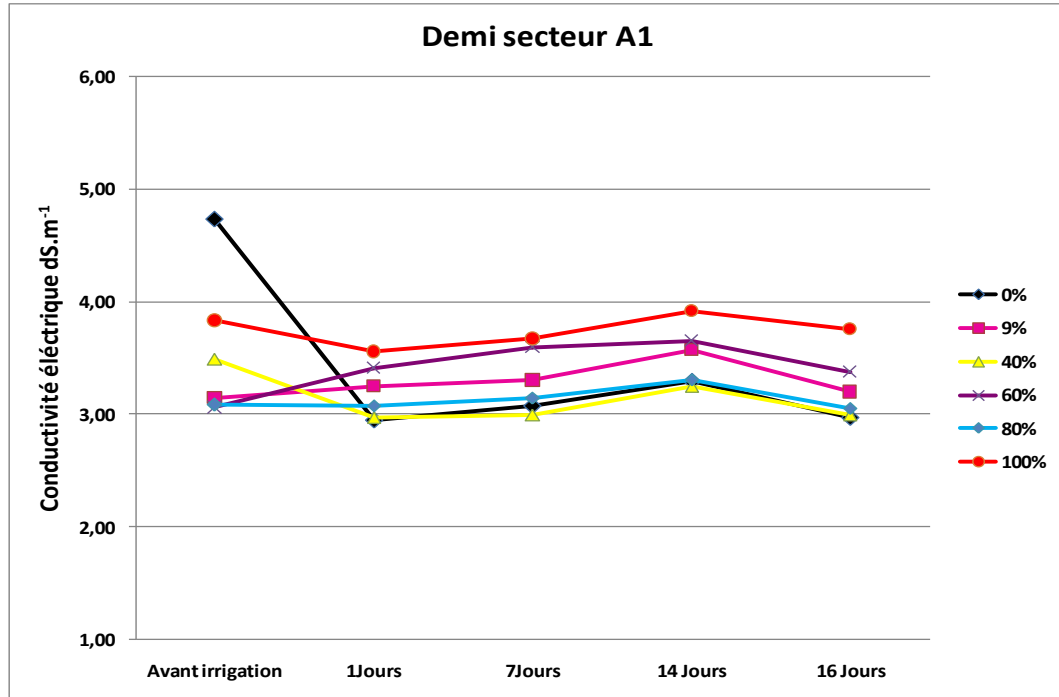


Figure VII 9. Salinité des sols des fractions de lessivage dans le demi-secteur A1.

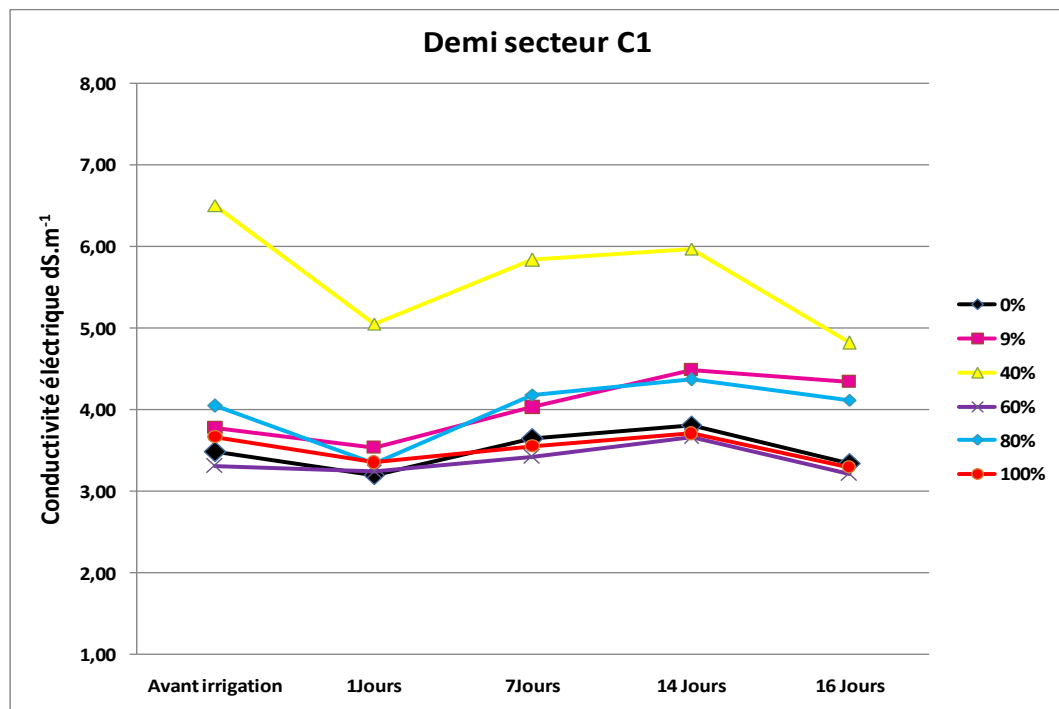


Figure VII 10. Salinité des sols des fractions de lessivage dans le demi-secteur C1.

### 3. Estimation de la salinité selon les biotopes

L'étude de l'évolution de la salinité des sols après les deux irrigations, montre une diminution de la salinité à la fin d'essai.

Pour le biotope NSC de A1, après la première irrigation, la salinité des sols irrigués par les doses de 0% et 40% diminue. La salinité la plus élevée enregistré pour les planches qui ayant subit à la fraction de 100% (Fig. VIII 11). Donc pour le biotope de nappe superficielle, le lessivage devient moins efficace avec l'augmentation de la dose à cause de gonflement de la nappe phréatique et la stagnation des eaux d'irrigation par l'obstacle mécanique. L'accroissement de la dose d'irrigation avec la présence d'une nappe superficielle pourrait conduire à une augmentation du volume d'eau et donc à un risque d'augmentation de la salinité de la nappe et des sols. Pour la deuxième irrigation on a enregistré une diminution légère des sels presque pour toutes les fractions par rapport à la première irrigation sauf pour la dose de 100% (Fig. VIII 12) à cause de l'accumulation des sels.

La classe de salinité n'a pas changé, le sol reste toujours très salés ( $2,97 \pm 0,28 \text{ dS.m}^{-1} \leq C.E_{e\ 1:5} \leq 4,23 \pm 0,11 \text{ dS.m}^{-1}$ ) pour biotope NSC A1.

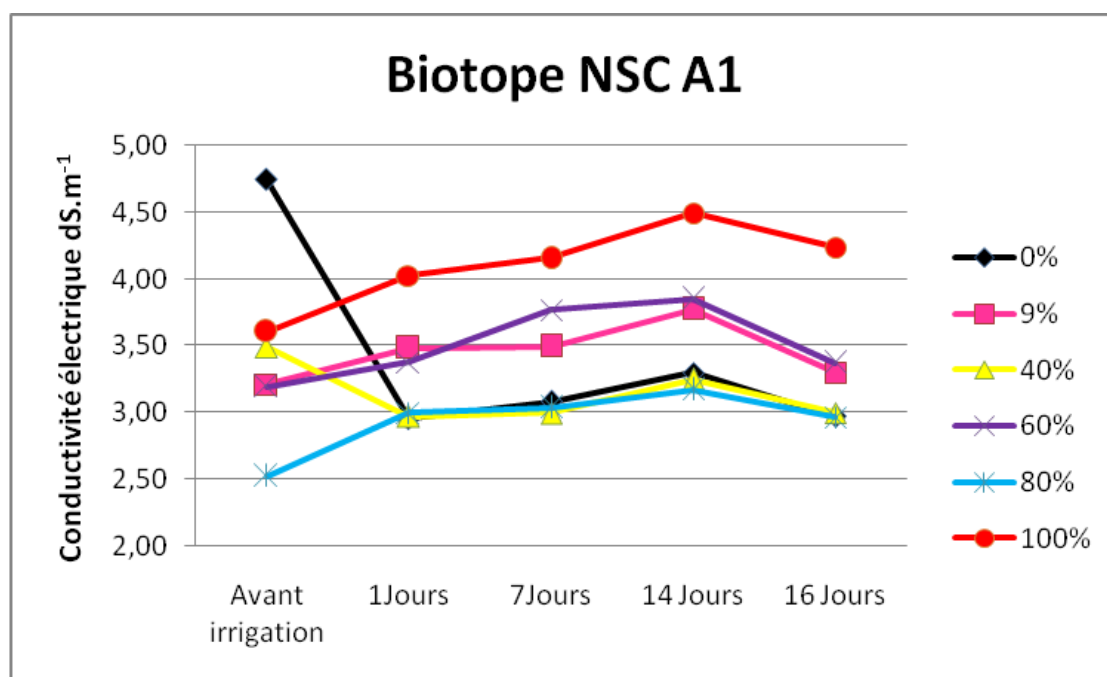
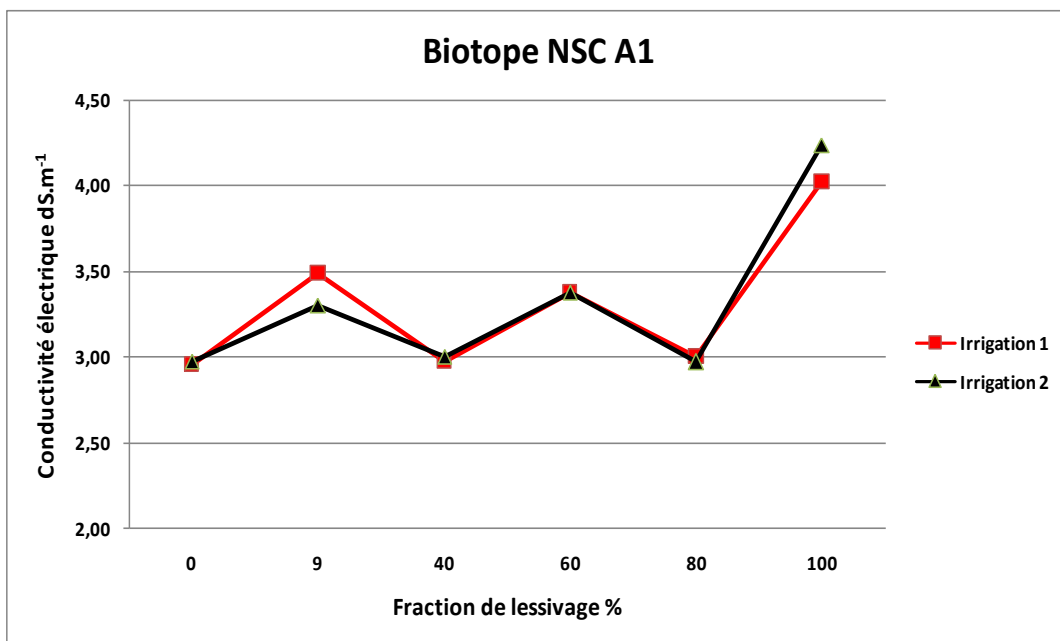
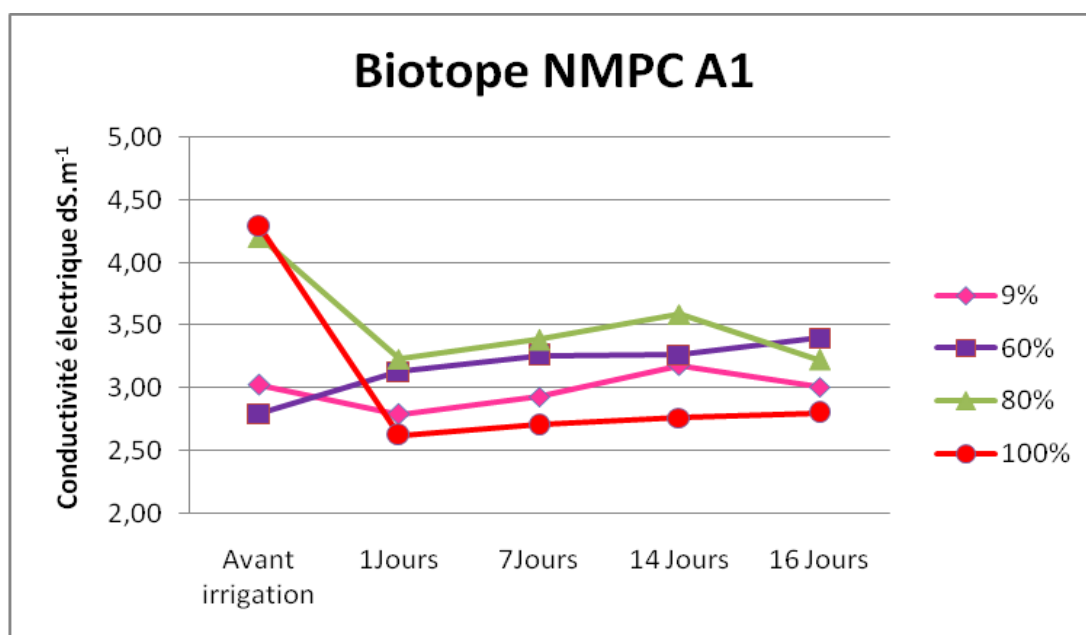


Figure VII 11. Salinité des sols pour le biotope NSC demi-secteur A1

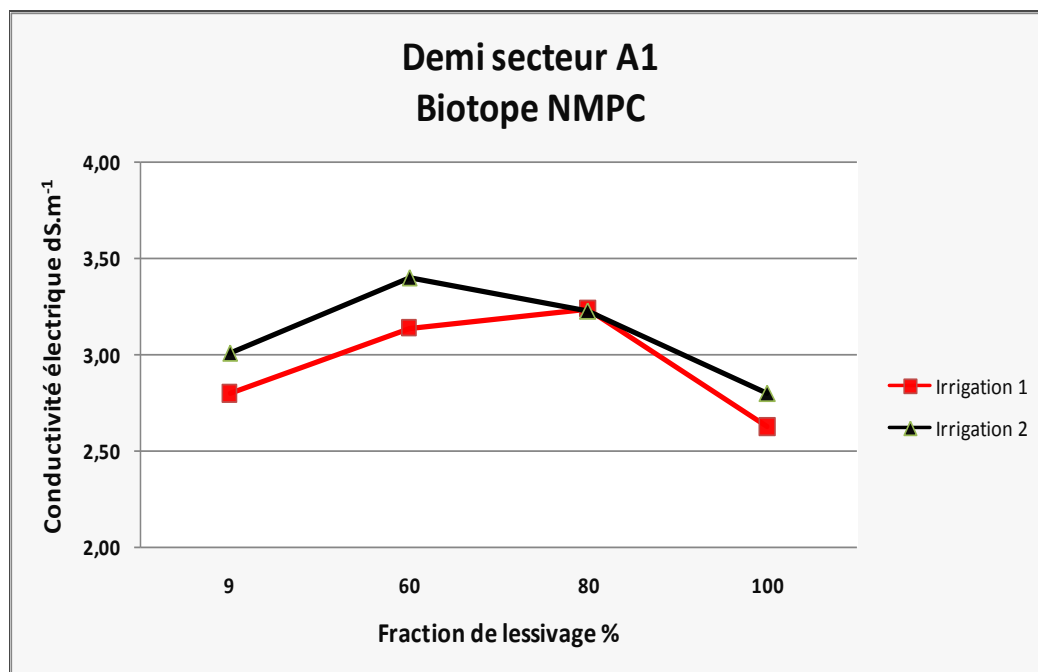


**Figure VII 12.** Salinité des sols entre deux irrigations pour biotope NSC A1.

Pour le biotope NMPC A1, après la première irrigation, les valeurs moyennes de la salinité les plus faibles sont enregistrées pour la fraction de 100% à cause de niveau profond de nappe (Fig. VIII 13) avec une légère augmentation après la deuxième irrigation ce qui confirme le mauvais fonctionnement des drains (Fig. VIII 14). La classe de salinité n'a pas changé, le sol reste toujours très salés ( $2,80 \text{ dS.m}^{-1} \leq C.E_{e 1:5} \leq 3,40 \text{ dS.m}^{-1}$ ) pour biotope NMPC A1.

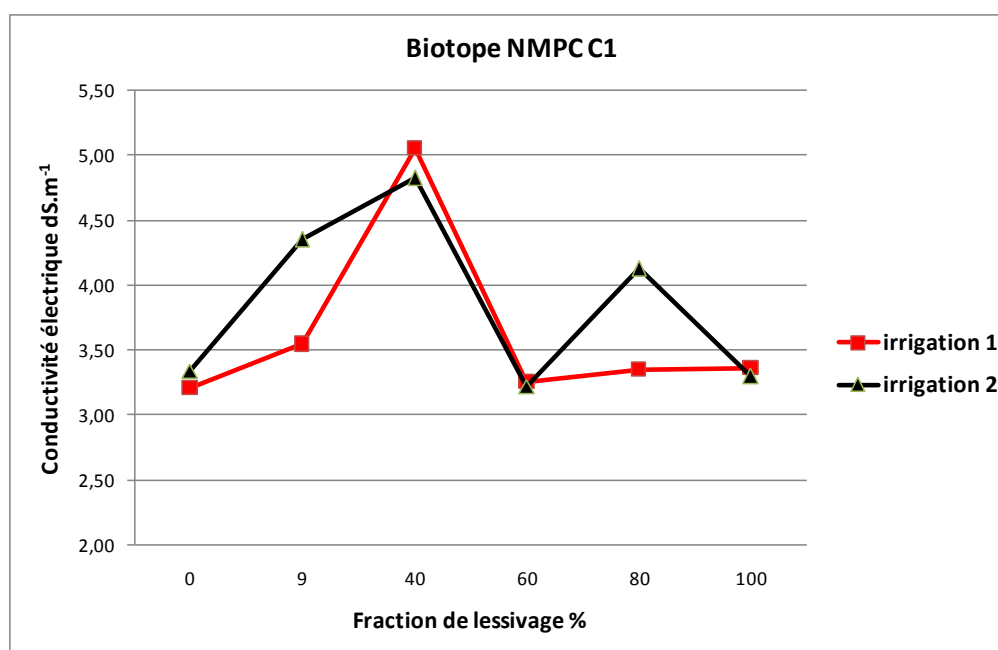


**Figure VII 13.** Salinité des sols pour le biotope NMPC A1.



**Figure VII 14.** Salinité des sols entre deux irrigations pour biotope NMPC A1.

Pour le biotope NMPC C1, après la deuxième irrigation, la salinité est légèrement diminuée pour les fractions de 40, 60 et 100% par rapport à la première irrigation. Cette diminution due à l'entraînement des sels vers la profondeur par les eaux d'irrigation à cause de niveau profond de nappe. La classe de salinité n'a pas changé, le sol reste toujours très salés ( $3,22 \pm 0,46 \text{ dS.m}^{-1} \leq C.E_{e 1:5} \leq 4,82 \pm 3,24 \text{ dS.m}^{-1}$ ).



**Figure VII 15.** Salinité des sols entre deux irrigations pour le biotope NMPC C1

#### 4. Impacte de lessivage et d'accumulation des sels sur la salinité

La salinité a subit une évolution durant la période entre la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> irrigation. La dynamique des sels est caractérisée par une accumulation à cause d'une remontée capillaire (avant les irrigations) favorisé par l'évapotranspiration, et une lixiviation des sels par l'eau d'irrigation (après les irrigations). Les résultats des analyses de suivi de la salinité dans les deux demi-secteurs avant et après la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> irrigation sont représentés comme suit :

##### 4.1. Biotope NSC

Pour le biotope NSC, la dose de lessivage de 0% et 40% montre une salinité assez réduite et un taux moyen de lessivage élevé respectivement de 34% et 14,24% par rapport aux autres fractions (Fig. VIII 14). Ceci montre que ces doses entraînent une baisse salinité et une lixiviation des sels. Par contre pour les fractions de 80% et 100% le taux de lessivage est plus faible, donc la salinité augmente après la 1<sup>ère</sup> irrigation parce qu'il y a une accumulation des sels, à cause de la stagnation des eaux par la croûte gypseuse et le niveau élevé de la nappe phréatique, et le mauvais drainage, ce qui peut affecter nettement les rendements des palmiers.

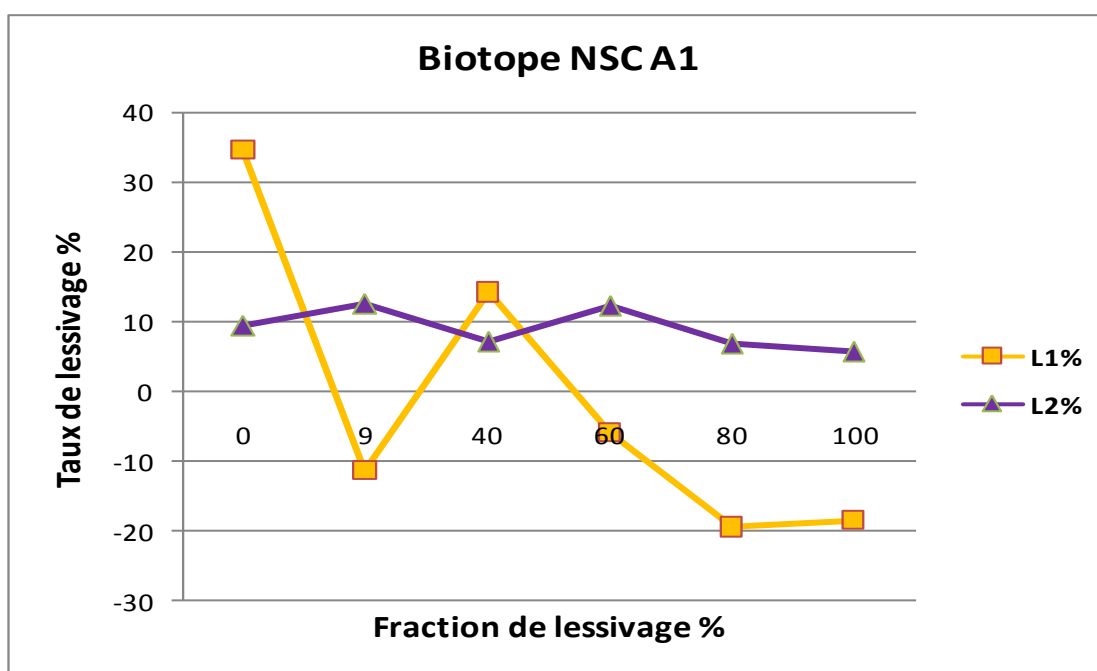
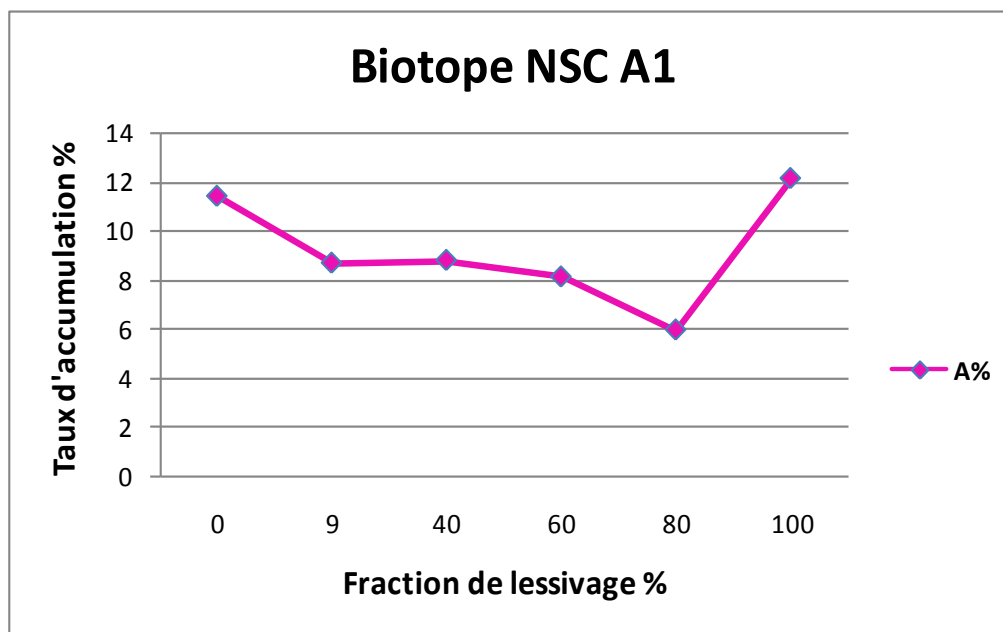


Figure VII 16 . Taux de lessivage biotope NSC A1.



**Figure VII 17 .** Taux d'accumulation des sels biotope NSC A1.

Pour la 1<sup>ère</sup> irrigation, le lessivage diminue quand la fraction augmente à cause de mauvais drainage (Fig. VIII 16). Entre 0% et 40% la dose d'irrigation permet avec le lessivage d'entraîner les sels. La fraction de 9% a un faible taux de lessivage à cause de l'hétérogénéité des milieux (épaisseur des horizons de la croûte et sa dureté). A partir de 40%, la dose d'irrigation est importante qui favorise le gonflement de la nappe et l'accumulation des sels. Donc il est déconseillé de dépasser la dose de 40% dans le cas de NSC pour éviter l'engorgement. Le taux d'accumulation des sels diminue jusqu'à 80% (fig. VIII 17). Donc le lessivage n'est pas conditionné par la fraction mais par le niveau de la nappe.

Pour la deuxième irrigation le lessivage se stabilise avec une légère diminution de 60% à 100%. Ça se confirme que à partir de 80% le taux d'accumulation des sels augmente à cause de l'effet de remontée capillaire des eaux de nappe. Cette diminution est à cause de la dynamique des sels par lessivage. Un faible lessivage c'est-à-dire une faible accumulation.

Le lessivage devient presque constant environ de 10% à cause de niveau de nappe proche à la surface. Avec les irrigations, le lessivage s'améliore à condition d'assurer un bon drainage.

#### 4.2. Biotope NMPC

Par contre, pour le biotope NMPC de demi-secteur A1, les fractions de 80% et 100% assurent un bon taux de lessivage de l'ordre de 23,07 et 38,80% (Fig. VIII 15). Le sol reste toujours très salé ( $2,97 \leq C.E. \leq 3,76 \text{ dS.m}^{-1}$ ) pour A1

Aussi pour le biotope NMPC de demi-secteur C1, la dose de 100% assure un bon taux de lessivage de 8,58% pour la première irrigation (Fig. VIII 16). Le sol reste toujours très salé ( $3,22 \leq C.E. \leq 4,82 \text{ dS.m}^{-1}$ ) pour C1

Pour le biotope NMPC le lessivage devient efficace avec l'augmentation de la fraction avec une diminution de taux d'accumulation des sels à cause de nappe profonde ce qui assure un bon drainage.

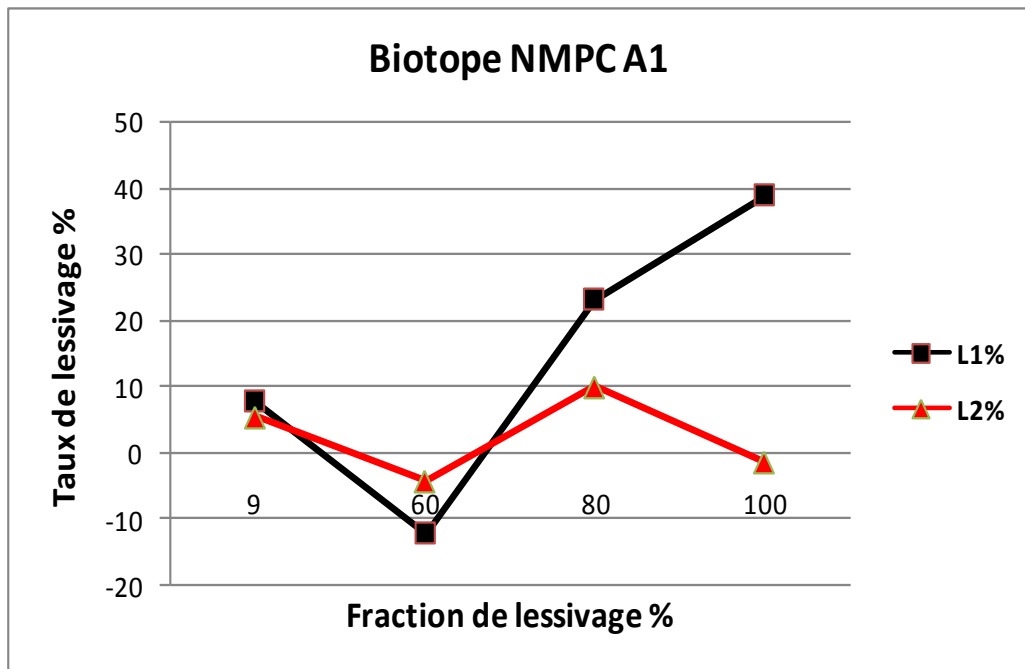
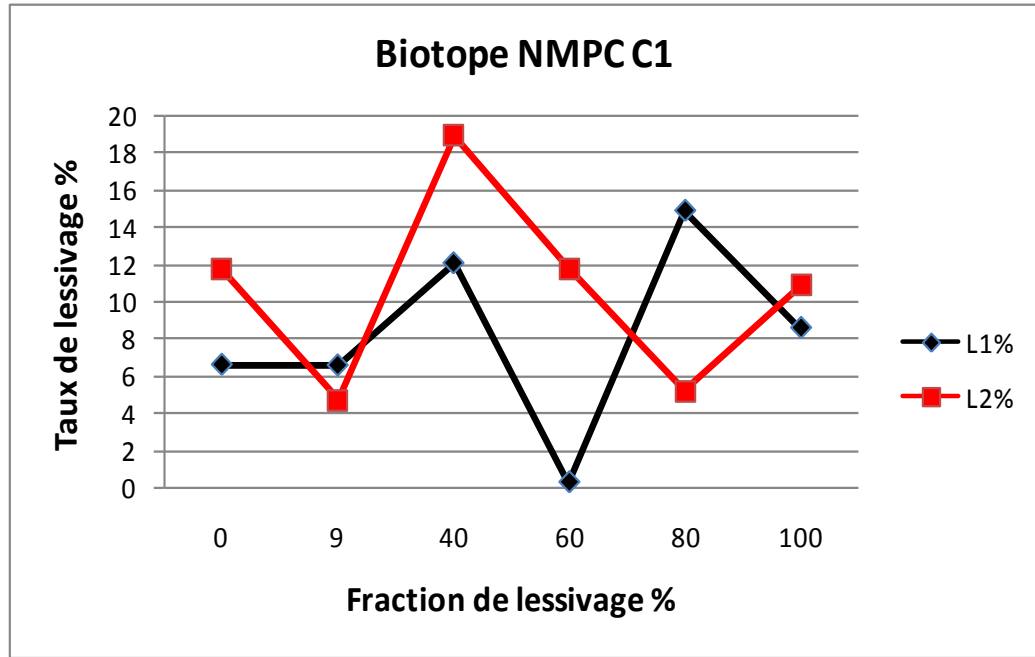


Figure VII 18 . Taux de lessivage pour le biotope NMPC A1.





**Figure VII 19 .** Taux de lessivage des sels pour le biotope NMPC C1.

Le prélèvement qui a été fait dans le 7<sup>ème</sup> et le 14<sup>ème</sup> jour d'irrigation, a montré qu'il y'a une légère augmentation de la salinité dans tous les planches, donc il y a une accumulation des sels entre les deux irrigations, cela est peut expliquer par la remontée capillaire des sels de la nappe phréatique et la profondeur de la croûte.

La valeur moyenne de taux d'accumulation la plus faible pour ce biotope est enregistrée pour la fraction de 100%. Cette diminution est à cause de la dynamique des sels par lessivage. Un fort lessivage c'est-à-dire une faible accumulation.

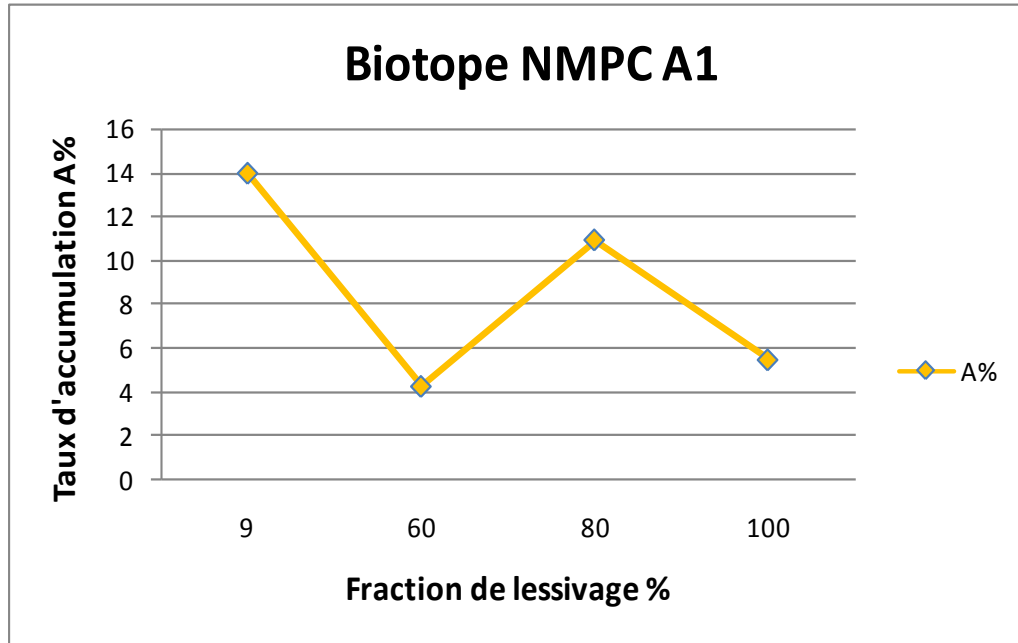


Figure VII 20 . Taux d'accumulation des sels biotope NMPC A1.

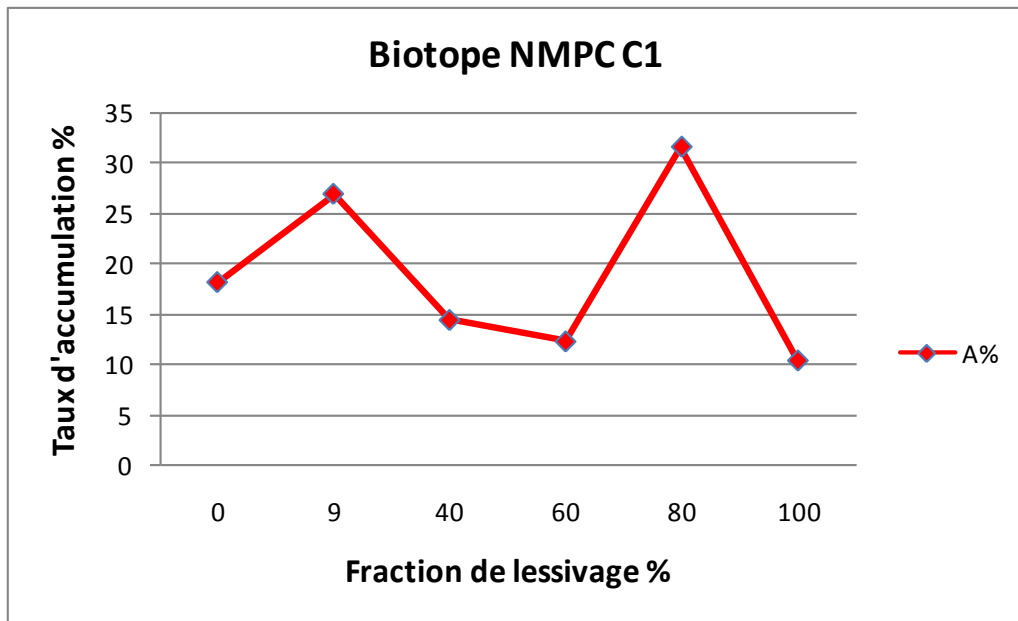


Figure VII 21. Taux d'accumulation des sels pour le biotope biotope NMPC C1.

## 5. Conclusion

La conductivité électrique a diminué dans les hauts horizons, entre la 1<sup>ère</sup> et la 2<sup>ème</sup> irrigation due à la lixiviation des sels par l'eau d'irrigation et qui sont accumulés à l'horizon avant croûte provoquant ainsi une accumulation des sels et une augmentation de la C.E. de cet horizon. Cependant l'influence des doses de lessivage se limite à une certaine couche du sol, en raison de la présence de la nappe phréatique et de la forte demande climatique

Pour le demi-secteur A1 on a observé deux biotopes NSC et NMPC, dans C1 on a un seul biotope qui est NMPC. Pour le biotope NSC on a trouvé que le taux de lessivage est limité à partir la fraction 40% pour la première irrigation, et il se stabilise pour l'irrigation suivante, aussi le taux d'accumulation des sels augmente à partir la fraction de 80%. Cette augmentation et accumulation des sels est à cause de niveau supérieure de la nappe et la croûte. La remontée de niveau des obstacles hydro-mécaniques réduit l'efficacité de lessivage et favorise l'accumulation des sels par le gonflement de la nappe phréatique ce qui conditionné la réussite de lessivage.

Les croûtes gypseuses favorisent la saturation en eau et la dynamique ascendante des sels solubles. Ainsi que la présence d'une nappe superficielle, source supplémentaire de salinité, engendre l'augmentation de la salinité près de la surface du sol, au lieu de croître avec la profondeur. Dans telles conditions, la salinisation risque d'être excessive à cause de l'effet combiné produit par l'eau d'irrigation et l'eau de nappe chargée en sels. Il faut réaliser un contrôle suffisant de la nappe par un drainage.

Pour cela il est recommandé de ne pas dépasser 40% de la fraction pour la première irrigation, et aussi de faire un lessivage progressif pour les autre irrigations.

En revanche pour le biotope NMPC on a eu un bon lessivage à partir de 80% de la dose. Le lessivage devient efficace dans ce biotope avec l'augmentation de la fraction, avec aussi une diminution de taux d'accumulation des sels à cause de nappe profonde ce qui assure un bon drainage. Pour cela, il est intéressant d'augmenter la fraction de lessivage dans le biotope NMPC.

Les résultats a montré qu'il y'a une accumulation des sels entre les deux irrigations, due à la remontée capillaire des sels de la nappe phréatique et la profondeur de la croûte ainsi que la faible perméabilité qui empêche la circulation ascendante des eaux d'irrigation. En

termes pratique si l'écart entre les irrigations est important la salinisation du sol est inévitable même si une forte dose d'eau est apportée.

Pour améliorer le lessivage il faut améliorer le réseau de drainage, pour rentabiliser les fractions de lessivage et éviter le gaspillage d'eau.



Conclusion générale

## *CONCLUSION GÉNÉRALE*

A la lumière des résultats de notre travail de recherche et au terme de cette modeste contribution, nous pouvons conclure que l'exploitation agricole de l'université souffre des problèmes hydro-édaphiques variables, avec une certaine différence entre les demi-secteurs A1 et C1, qui ont conduit à des situations de dégradation variable.

Les eaux d'irrigation sont chargées en sels. La gestion de l'irrigation des sols est aléatoire, ne prend pas en considération les potentialités hydro-édaphiques et les exigences climato-culturelles. Le mauvais drainage montre un réseau non fonctionnel et mal entretenu. Les effets de cette mauvaise conduite d'irrigation-drainage ont produit dans les sols une hydromorphie, une salinisation, une alcalinisation.

L'étude morpho-analytique des sols montre une hétérogénéité édaphique, de texture sableuse à sablo-limoneuse, de structure particulière à massive au niveau des croûtes gypseuses. Les sols sont pauvres en calcaire et en matière organique, présentent une teneur très élevée en gypse, surtout en profondeur. L'humidité des sols augmente vers le fond des profils, près du niveau des nappes phréatiques.

Le faible niveau statique de la nappe phréatique est un facteur limitant pour l'enracinement de l'arboriculture, notamment la phoeniciculture. Il augmente la dégradation des sols par salinisation et accentue le stress salin. L'écoulement des eaux de drainage à l'exploitation dans la carte piézométrique n'est pas efficace vu le niveau statique actuel qui crée un état d'hydromorphie, favorisant l'anoxie racinaire et le stress salin par excès d'eau, particulièrement celle du palmier dattier.

Les croûtes gypseuses formées par la précipitation des sels de la nappe phréatique accentuent le stress des végétaux, particulièrement le stress mécanique par la résistance des croûtes à la pénétration racinaire, et le stress hydro-salin par hydromorphie en nappe superficielle ou par halomorphie en irrigation déficiente. Le niveau superficiel des croûtes limite aussi la fixation des végétaux et leur alimentation minérale et hydrique en cas de déficience d'irrigation, en zone de nappe profonde. Ces contraintes hydro-halomorphes et mécaniques varient dans la palmeraie.

La mauvaise gestion des irrigations, la présence d'une nappe phréatique à faible profondeur, et le dysfonctionnement du réseau drainage ont provoqué des impacts défavorables sur la dégradation des sols et des palmiers dattiers. En effet, la remontée des eaux de la nappe phréatique et leur salinité ont eu des conséquences néfastes, constituant dans

la cuvette de Ouargla, un obstacle physique et chimique par la formation des croûtes gypseuses, et la salinisation des sols qu'elle génère. La salinité des sols irrigués augmente avec la remontée des nappes phréatiques et les obstacles mécaniques de croûtes.

En plus des eaux d'irrigation salées ; l'élévation des eaux phréatiques accompagnée par une augmentation de la salinité globale et de l'alcalinité, provoquant ainsi un stress salin et un déséquilibre de la nutrition et l'asphyxie racinaire des palmiers dattiers et des autres cultures. Les sels doivent être lixiviés pour sauvegarder cet environnement phoenicicole fragile, nécessitant des aménagements hydro-agricoles adaptés. La dégradation des sols peut conduire à la longue, en cas d'absence de drainage, au dépérissement des oasis et à la dégradation de l'environnement phoenicicole.

Les milieux hydro-édaphiques changent principalement avec le niveau de la nappe phréatique et la morphologie des accumulations gypso-calcaires dans les profils. La compacité de ces derniers augmente avec l'importance de ces accumulations.

L'étude de la variabilité spatiale dans l'ensemble des demi-secteurs A1 et C1, nous a confirmé que les contraintes hydriques de nappes phréatiques et mécaniques de croûtes gypseuses augmentent l'hydro-halomorphie dans les sols et limitent l'enracinement des palmiers dattiers. La profondeur critique de ce dernier doit être pris en considération le calcul des paramètres d'irrigation. Nous avons observé deux types de zones dans la palmeraie de l'exploitation. Elles présentent des milieux différents par le niveau de la nappe phréatique et la présence de croûtes gypseuses: Biotope 1 : Zones de nappes superficielles-croûtes (NSC); Biotope 2 : Zones de nappes moyennement profondes-croûtes (NMPC).

D'après les résultats de caractérisation, on a trouvé que la salinité dans les sols de croûtes-nappes profondes est supérieure à celle des sols croûtes-nappes superficielles à cause du manque d'irrigation. Le demi-secteur A1 souffre de problèmes de remontée de la nappe, à cause de la mauvaise gestion de l'irrigation et du drainage. Il semble que les croûtes diminuent l'infiltration des eaux d'irrigation salées, et la remontée capillaire des eaux par évaporation, augmentant l'accumulation des sels à la surface des sols. Mais pour le demi-secteur C1, la présence et l'approfondissement des croûtes réduisent les apports de sels de nappes et favorisent l'accumulation de ceux d'irrigation.

Nous avons déterminé les paramètres d'irrigation en faisant varier la fraction de lessivage de 0% à 100% de la dose réelle. Nous avons aussi estimé les pertes d'eau par l'évaporation pour valoriser la dynamique des sels par remontée capillaire.

D'après les résultats de suivi de la salinité dans deux parcelles différentes, il ressort que la dynamique des sels est influencée par les eaux d'irrigation, la remontée capillaire et l'évapotranspiration. L'étude de la salinité dans les deux demi-secteurs a montré qu'il y a une augmentation entre les irrigations et une diminution après la deuxième irrigation due à la lixiviation des sels par l'eau d'irrigation, avec maintien d'un niveau de salure très salé, et sans changement considérable de l'allure du profil salin.

Le niveau de salinité atteint dans les deux demi-secteur est très élevé, ce qui nécessite une application excessive des doses de lessivage pour l'entraînement des sels en profondeur, et la mise en place d'un bon réseau de drainage permettant de maintenir le niveau de la nappe au-dessous de niveau critique de salinisation. Avec un suivi des opérations de maintenance de réseau de drainage.

Pour le biotope nappe superficielles-croûte, la remonté de niveau des obstacles hydriques de nappe phréatique et mécanique de croûte gypseuse réduit l'efficacité de lessivage et favorise l'accumulation des sels par gonflement de la nappe. Pour ce biotope le lessivage est limité à la fraction de 40%, donc il est déconseillé de dépasser cette fraction pour la première irrigation, mais pour les autres irrigations il est recommander de faire un lessivage progressif.

Pour le biotope de nappe moyennement profonde croûte, il est à vérifier par d'autre travaux l'impact des fractions sur le niveau de salinisation qui reste à tendance positive qui atteint à (2,5 dS.m<sup>-1</sup> de chute de rendement). A partir de suivie nous pouvons déterminer la fraction de lessivage idéal au biotope que le milieu est plus salés comme le demi-secteur C1 de nappe moyennement profonde croûte va nécessite un temps important pour arrivé au seuil de salinité tolérable par les palmiers dattiers.

Donc le lessivage n'est pas conditionner par la fraction de lessivage mais par le niveau des obstacles hydriques. Pour améliorer le lessivage il faut améliorer le drainage pour rentabiliser les fractions de lessivage. En absence de drainage on n'a pas assuré la désalinisation des sols cultivé en palmiers dattiers.

La fraction de lessivage doit être réétudiée par rapport au niveau des croûte et des nappe à fin de déterminer une échelle d'application par biotope en présence d'obstacles



hydro-mécaniques où en leurs absences et par rapport au système de culture et la tolérance de ces dernière aux sels.

Les problèmes de dégradation dans l'exploitation de l'université de Ouargla nous a conduit à proposer certaines recommandations d'aménagement. Nos recommandations de mise en valeur de l'exploitation de l'université de Ouargla, visent à lutter contre la dégradation hydro-édaphique qui risque de produire des stress de types hydrique par excès d'eau, salin-alcalin et mécaniques de croûtes. Les moyens de lutte vont se baser sur l'amélioration de la conduite culturale et la gestion de l'irrigation-drainage.

L'eau salée sera utilisée en plus à l'avenir à cause de développement de la demande de l'eau d'irrigation. Cependant, les eaux salées peuvent être utilisées en irrigation sur certains sols si des pratiques appropriées de gestion sont appliqués

Dans la conduite culturale, nous préconisons d'améliorer des propriétés physiques des sols par le labour profond, le défoncement des croûtes gypseuses. Ce procédé contribuera à augmenter l'infiltration des eaux pour rabattre le niveau de la nappe phréatique et des sels solubles ainsi que la profondeur d'enracinement des palmiers dattiers.

L'amélioration de la gestion de l'irrigation-drainage consiste premièrement à améliorer l'évacuation des eaux de drainage par l'amélioration des propriétés physiques des sols, le fonctionnement du réseau de drainage par un entretien quotidien des drains, par le désherbage et le réajustement des pentes modifiées par l'ensablement.

La solution face à ces problèmes reste le drainage et un bon aménagement de premièrement de l'agrosystème de l'exploitation et deuxièmes de l'écosystème de la cuvette de Ouargla par la plantation d'espèces hydro-halophiles pour réduire la salinité et le niveau de la nappe phréatique.

En deuxième lieu, il faut corriger la gestion actuelle de l'irrigation par l'application de nouvelles doses d'irrigation, ajusté aux conditions environnementale à l'exploitation. Néanmoins, leurs actions sur la lixiviation des sels et le rendement en palmeraie, reste à prouvé par expérimentation à longue terme et plusieurs irrigations. Il faut passer aussi à un système d'irrigation plus économiques comme l'aspersion ou le localisé.

Enfin, cette recherche reste préliminaire à une prochaine étude sur l'évolution de la salinité à l'exploitation et l'efficacité de lessivage à une longue période. Cependant il est souhaitable de poursuivre ce travail dans le but de mieux cerner ce problème, et de préconiser des techniques susceptibles de limiter l'évolution de la salinisation, et la dégradation du sol.

Les informations collectées par les travaux de recherches vont permettre d'améliorer l'itinéraire technique de mise en valeur à l'exploitation et dans les fermes phoenicoles similaires à Ouargla et en zone saharienne. La vulgarisation des résultats de recherches reste indispensable dans toute politique de développement durable de l'agriculture saharienne.



Référence bibliographiques

*REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES*

-A-

ABDALLAH I., 1984: Contribution à la détermination de l'efficacité du lessivage des sols salés (influence de fractionnement de la dose de lessivage). Mémoire d'étude approfondies, université des sciences et techniques de LANGUEDOC MONTPELLIER II.

AGASSI M., SHAINBERG I., MORIN J., 1981 - Effect of electrolyte concentration and soil sodicity on infiltration rate and crust formation. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 45 : 848-851.

AL-KARAKI G N., 2000: Growth, water use efficiency, and sodium and potassium acquisition by tomato cultivars grown under salt stress. *Journal of Plant Nutrition*. Vol. 23, No. 1: 1- 8

ALONSO-ZARZA A. M., SILVA P. G., GOY J. L., ZAZO C., 1989 - Fan-surface dynamics and biogenic calcrete development: Interactions during ultimate phases of fan evolution in the semiarid SE Spain Murcia. *Geomorphology*, 24 : 147-167.

ANONYME, 1993. Recueil des fiches Technique ITDAS Edt El-Oued, Beskra 42p.

A.N.R.H., 1994 - Ressources et qualité chimique des eaux dans la cuvette de Ouargla. Rapport Agence Nationale Ressources Hydrauliques, Ouargla, 15 p.

A.N.R.H., 2000 - Note relative à la remontée des eaux dans la cuvette de Ouargla. Rapport Agence Nationale Ressources Hydrauliques, Ouargla, 8 p.

A.N.R.H., 2001 - Synthèse sur les ressources des eaux de la wilaya de Ouargla. Rapport Agence Nationale Ressources Hydrauliques, Ouargla, 16 p.

A.N.R.H., 2003 - Etude Hydrogéologique de la cuvette de Ouargla (Vallée de Ouargla). Rapport Bornard et Gardel, Agence Nationale Ressources Hydrauliques, Ouargla, 200 p.

A.N.R.H., 2004 - Synthèse sur les ressources des eaux de la wilaya de Ouargla. Rapport Agence Nationale Ressources Hydrauliques, Ouargla, 16 p.

ANTIPOLIS S., 2003: Les cahiers du plan bleu 2. Les menaces sur les sols dans les pays

méditerranéens Etude bibliographique.71 P.

ARSHAD M.A., LOWERY B., GROSSMAN B., 1996 - Physical tests for monitoring soil quality. In: DORAN J.W. and JONES A.J. Methods for assessing soil quality. Soil Sci. Soc. Am. Spec., 49 : 123-142.

ASLOUM H., 1990: Elaboration d'un système de production maraîchère (Tomate, *Lycopersicum esculentum* L.) en culture hors sol pour les régions sahariennes. Utilisation de substrats sableux et d'eaux saumâtres. Thèse de doctorat, développement et amélioration des végétaux, Université de Nice Sophia- Antipolis: 24- 32.

AUBERT G, 1970 : méthode d'analyse de sol. Ed C.R.D.P. Marseille, 189 p.

AUBERT G., 1975 - Les sols sodiques en Afrique du Nord. Ann. I.N.A., Alger, 6 (1) : 185-195.

AUBERT G., 1978: Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales de l'I.N.A El-Harrach, Vol VI, N° 1: 195.

AUBERT G., 1983 - Observations sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques. Cah. O.R.S.T.O.M. Sér. Pédol., 20 (1) : 73-78.

AYERS R.S. et WESTCOT D.W., 1976 - La qualité de l'eau en agriculture. Bull. F.A.O. Irrig. Drain., Rome, 29, 97 p.

AYERS R.S., 1977 - Quality of water for irrigation. J. Irrig. Drainage Div. (ASCE), 103 : 135-154.

AYERS R.S., WESTCOT D.W., 1988 - La qualité de l'eau en agriculture. Bull. F.A.O. Irrig. Drain., 29, Rome, 180 p.

**-B-**

BAATOUR O., M'RAH S., BEN BRAHIM N., BOULESNEM F., LACHAAL M., 2004 : Réponse physiologique de la gesse (*Lathyrus sativus*) à la salinité du milieu. Revue des Régions Arides, Tome 1, No. spécial : 346- 358.

BAIZE D., 1988 - Guide des analyses courantes en pédologie. I.N.R.A., Paris, 172 p.

BAIZE, D. et JABIOL, B., 1995. Guide de description des sols. Ed. AFES-INRA, Paris, 388 p.

BARJANZI A.F., 1973 Gyps iferours soils of Iraq.phd. Thesis.univ.Gent, 199 p.

BELKHODJA M., BIDAI Y., 2004: Réponse des graines d'Atriplex halimus L. à la salinité au stade de la germination. Sécheresse n°4, vol 15, pp 331-334.

BEN AHMED H., MANAA A., ZID E., 2008: Tolérance à la salinité d'une *Poaceae* à cycle court : la sétaire (*Setaria verticillata* L.). Comptes Rendus Biologies, Vol. 331: 164-170.

BEN AHMED H., ZID E., EL GAZZAH C., GRIGNON C., 1996: Croissance et accumulation ionique chez *Atriplex halimus* L. Cahiers d'Agricultures, Vol. 5 : 367-372.

BENCHELLAL A., OUKIL A et BELHADJ-AISSA A., 2009 - Identification et détection par imagerie satellitaire de la dégradation des sols par salinité dans la cuvette de Ouargla, sud de l'Algérie. Journée d'animation scientifique (JAS09) de l'AUF. Alger

BEN NACEUR M., RAHMONE C., SDIRI H., MEDDAHI M.L., SELMI M., 2001: Effet du stress salin sur la germination, la croissance et la production en grains de quelques variétés maghrébines de blé. Secheresse. Vol. 3, 167-174.

BENKHELIF M., ARBAOUI M., BELKHODJA M., 1999: Effets combinés de la salinité et de la bentonite sur la densité racinaire d'une culture de tomate cultivée sur un substrat sableux. Séminaire National sur la Salinisation des terres Agricoles en Algérie, Chlef: 101- 108.

BERNSTEIN L., FRANCOIS L.E., CLARK R.A., 1974 - Interactive effects of salinity and fertility on yields of grains and vegetables. Agron. J., 66 : 412-421.

BERTRAND R., 1981 Sols salsodiques et cultures irriguées avec des eaux salines. Ed. GERDAT – IRAT, 44P.

BNEDER ., 1992 - Hydrogéologie, Mission .n°2. TIPAZA: 25p.

BOLT et al 1978 - International Archive on Occupational Environmental Health 60 (3): 141-4.

BONNARD et GARDEL., 2005 - Etudes d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. 109 p.

BOUAMMAR B., BEKHTI B., 2008 - Le développement de l'économie agricole oasisienne : entre la réhabilitation des anciennes oasis et l'aménagement des nouvelles palmeraies. El-bahith Review. N°06. pp: 19-29.

BOUTELDJAOUI F., BESSENASSE M., GUENDOUA A., 2011 – Etude comparative des différentes méthodes d'estimation de l'évapotranspiration en zones semi-arides (Cas de la région de Djelfa). Revue Nature et technologie. N°07/ Juin 2012. Pages 109 à 116.

BOUTEYRE G., LOYER Y., 2003 - Sols salés eaux saumâtre des régions arides tropicales et méditerranéennes in l'aridité, une contrainte au développement. ORSTOM, Paris.

BOUTOUTAOU D., 2011 - Note sur l'évaporation des plans d'eau (barrage, lac, cours d'eau, chott, sebkha, etc.) En Algérie. 1er Séminaire International sur la Ressource en eau au sahara : Evaluation, Economie et Protection, le 19 et 20 janvier 2011(ouargla). 9p.

BOUTOUTAOU D., SAKER M L., DADDI BOUHOUN M., SAGGAI S. et OULD EL HADJ M D., 2012 - Détermination de l'évaporation des surfaces des plans d'eau pour les conditions climatiques de l'Algérie. Algerian journal of arid environment vol. 2, n° 2, Décembre 2012: 94-101.

BRADY & WEIL 2002 - The nature and properties of soils. 13th edn. Prentice Hall, Upper saddle river, NJ, USA.

BROUWER C. 1990 : Gestion des eaux en irrigation manuel de formation n° 5 méthodes d'irrigation Manuel préparé par Institut international pour l'amélioration et la mise en valeur des terres.

BRUAND A., Coquet Y., 2010. Les sols et le cycle de l'eau. In: "Sols et Environnement", Girard M.C., Walter C., Rémy J.C., Berthelin J., Morel J.L. (eds.), Dunod, Paris, chap. 15, 345-363.

BRUAND A., Duval O., Cousin I., 2004. Estimation des propriétés de rétention en eau des sols à partir de la base de données SOLHYDRO: Une première proposition combinant le type d'horizon, sa texture et sa densité apparente. *Etude et Gestion des Sols*, 11(3), 323-332.

BUREAU P. et ROEDERF,R P. -1961 Contribution à l'étude des sols gypseux de la partie sud du Golfe de Gabès. *Bull. Ass. Fr. Et. Sol.* ,N° spc ,pp.150-176.

**-C-**

CALLOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C., SALSAC L., 1982 - Les interactions sol racine : incidence sur la nutrition minérale. I.N.R.A., Paris, 325 p.

CHAMAYOU H., LEGROS J.P., 1989- les bases physiques, chimiques et minéralogiques de la science du sol. Ed. P.U.F., Paris, 593p.

CHARLES R., 1975- La détermination pratique de l'évaporation . Application à l'Afriques centrale. ORSTOM. Paris: pp 27-67.

CHARREAU C, NICOR., 1971- L'alimentation du profil cultural dans les sols sableux et sablo-argileux de la zone tropicale sèche Ouest africaine et ses incidences agronomiques. *Bulletin agronomique* N° 23. Ed I.R.A.T. Sénégal, 323p.

CHERBUY B., 1991 - Les sols salés et leur réhabilitation. Cemagref, Rennes, 124 p

CHEVERRY C., 1972 - Exemple d'application des travaux de l'U.S. Salinity Laboratory (1963-1968) sur l'alcalinisation des sols soumis à l'action d'eaux bicarbonatées. *Cah. O.R.S.T.O.M., Sér. Pédol.*, 10 (2) : 193-203.

CHEVERRY C., 1995: Comportement des plantes en milieu salé compte rendu de l'ACAD d'AGRIC De France. Action n° 04. *Revu. Bimestrielle*. Vol.81 (2) : 42-46.



CHEVERRY, C. et BOURRIE, G., 1998. La salinisation des sols. "Sol interface fragile". INRA, Paris: 109-127.

CHEVERRY C et ROBERT M., 1998 - La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau : une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays au sud de la méditerranée. Etude et gestion des sols. pp : 217-226

CHULLI C et BEN DHIA H., 2003- Les caractéristiques hydrogéologique de l' aquifère côtière du gabes dans le sud tunisien. Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos. Madrid. ISBN. 84-7840-470-8.

CHURCHMAN G.J., SKJEMSTAD J.O. et OADES J.M. 1993 - Influence of clay minerals and different water regimes. Tree physiology 24: 65-73.

CLEMENT M., PAUL A., JEAN C.C., 2007- Bases techniques de l'irrigation par aspersion: pp 455-457.

CORNET A. et GOUSCOV N., 1952 - Les eaux du Crétacé inférieur continental dans le Sahara algérien. (Nappe dite "Albien"). In: "La géologie et les problèmes de l'eau en Algérie". XIX Congrès Géol. Intern., Alger : 144-171.

CORNET A. 1964 - Introduction à l'hydrogéologie saharienne. Géog. Phys. et Géol. Dyn., vol. VI, fasc. 1 : 5-72.

CÔTE M., 1998 - Des oasis malades de trop d'eau? Sécheresse, 9 (2) : 123 - 130.

CÔTE M., 2011 - A survey of the combined effects of water logging and salinity on fruit yield in the date palm groves of the Wargla basin, Algeria. Fruits. VI.66. N°1. pp : 11 - 24.

COUTURE I., 2006 - Principaux critères pour évaluer la qualité de l'eau en micro-irrigation. Colloque sur l'irrigation « l'eau, source de qualité et de rendement » Québec. 12p.

CZARNES S., HALLETT P.D., BENGOUGH A.G., YOUNG I.M., 2000. Root- and microbial-derived mucilages affect soil structure and water transport. European Journal of Soil Science, 51, 435-443.

**-D-**

DADDI BOUHOUN M., 1997- Contribution a l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne: cas du m'zab. Mém, Mag. Agro, Université de Ouargla. 180p.

DADDI BOUHOUN M., MARLET S., BRINIS L., SAKER M. L., RABIER J. AND CÔTE M., 1998 - Des oasis malades de trop d'eau. Sécheresse. V 9. N°2. pp : 123 – 130.

DADDI BOUHOUN M et BRINIS L., 2006 - Etude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigué gypso-salin : cas d'une palmeraie de la cuvette de Ouargla. Journal Algérien des Région Arides, N° spécial. pp :17-20

DADDI BOUHOUN M., BRINIS L., SAKER M. L., OULD EL HADJ M.D., COTE M. et RABIER J., 2008 - Impact du drainage sur la dégradation des sols et des palmeraies : cas de l'oasis de Ouargla (Sud Est Algérien). Bulletin du GFHN. V 54. pp: 193 - 194.

DADDI BOUHOUN M., BRINIS L., SAKER M. L., CÔTE M. AND RABIER J., 2009 - Effects of hydro-edaphic environment on the rooting of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) Deglet Noor in the Ouargla Basin (south-east algeria). *Ecologia Mediterranea*. V 35. pp : 41 - 48.

DADDI BOUHOUN M., 2010 - Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est algérien).Thèse de Doctorat . Université BADJI Mokhtar, Annaba. 365 p.

DADDI BOUHOUN M., MARLET S., BRINIS L., SAKER M L., RABIER J. and CÔTE M., 2011 - “A survey of the combined effects of waterlogging and salinity on fruit yield in the date palm groves of the Wargla basin, Algeria”, *Fruits*, vol. 66, 11-24.

DADDI BOUHOUN M., SAKER M. L., BOUTOUTAOU D., BRINIS L., KEMASSI A. et OULD EL HADJ M.D., 2012 - Impact des eaux phréatiques sur la salinité et le rendement du palmier dattier à Ouargla. *Algerian journal of arid environment*, V. 2. N° 2. pp : 71 - 77.

DADDI BOUHOUN M., SAKER M L., HACINI M., BOUTOUTAOU D and DIDI OULD EL HADJ M., 2013- the soil degradation in the ouargla basin: a step towards the desertification of the palm plantations (north east sahara algeria), International Journal of Environment & Water, Vol 2, Issue 1, 2013, p:93-98.

DAESHINER M., 1985- Les problèmes agronomiques en culture cotonnière en Iran. Vol 2. Paris :40 p.

DAJOZ, 1982: Précis d'écologie. Ecologie fondamentale et appliquée Ed. Gauthier-Villiers paris. 503 P.

DAOUD Y et HALITIM O., 1994 - Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse. V 5. N° 3. pp : 151 – 160.

DESSUS P., 1955 - Présence et reformation d'un horizon à accumulation gypseuse après défoncement. Sect. Et. Pédolo., Tunis rapport non diffusé,4 p.

DJERBI M., 1994 - Précis de phéniculture. F.A.O., Rome, 192 p.

DJIDEL M., 2008 - Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). Thèse de Doctorat. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA. Faculté des Sciences de la Terre. Département de Géologie. 164 p.

DOORENBOS J., PRUITT W.O., 1975 – les besoins en eau des cultures. Bull d'irrigation et drainage N° 24 , FAO. 198P.

DUBIEF J., 1963 - Le climat du Sahara. Institut de recherche Saharienne. Alger. Tome II, 262 p

DUBOST D., HADDAD D., KAFI A., MAANE H., 1983 .Rapport préliminaire sur les essais d'irrigation localisée du palmier dattier à la station expérimentale de Sidi Mahdi (Touggourt). Bull. Agr. Saha., 5 : 26-60.

DUBOST D. 1986-utilisation des eaux chaudes au Bas Sahara. Bul. Agro. Sah. N°5. ; 7-33.

DUBOST D., 1991 - Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse Doct., Université François Rabelais, Tours, 544 p.

DUBOST D., 1992- Aridité, agriculture et développement : le cas des oasis algériennes .In sécheresse no 2. vol. 3. 85-96.

DUBOST D., 1994 – Pratique de l'irrigation au Sahara. Doc. CIHEAM-IAM Montpellier. 73p.

DUBOST D, MOGDATT G., 2002 La révolution hydraulique dans les oasis impose une nouvelle gestion de l'eau dans les zones urbaines. Méditerranée 3.4, 15 – 20.

DUCHAUFOUR P H., 1977: Pédologie : sol, végétation, environnement. Ed Masson. Paris, 350p.

DURAND JH., 1949.- Etude géologique, hydrologique des croûtes en Algérie. Thèse Ing.Doct .Fac .So .Paris .Gouv. Gén.Algérie. Dir. Serv. Colon.et Hydraul. Serv. Et. So. Pédologie N°1 Alger 209 P.

DURAND J. H. et GUYOT J. 1955- Irrigation des cultures dans l'Oued Righ. Travaux de l'IRS. Tome 13. Univ. D'Alger.

DURAND J.H., 1958 - Les sols irrigables. Etude pédologique. Impr. Imbert, Alger, 191 p.

DURAND J.H., 1959 - Les sols rouges et les croûtes en Algérie. Dir. Hydraul. Equip. rural., Alger, 188 p.

DURAND JH., 1963 - Les croûtes calcaires et gypseuses en Algérie formation et âge. Bull. Soc. Géol. Fr. t .v, pp. 959-968

DUTIL P., SAMI C., 1960- Essai de bilan hydrologique du chott de Ouargla. VI<sup>ème</sup> journée de l'hydraulique. Grenoble: pp. 309-314.

**-E-**

EDMONDS W.J., THOMAS P.J., SIMPSON T.W., BAKER J.C., 1998 - Land judging and soil evaluation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia, 26 p.

ENCYCLOPÉDIE, 2015 - <http://www.larousse.fr>

ESSINGTON M.E., 2004 - Soil and water chemistry, an integrative approach. CRC Press, USA. 553p.

ESTEBAN M., KLAPPA C.F., 1983 - Subaerial exposure environments. In: Scholle, P.A., Bebout, D.G., Moore, C.H. (Eds.), Carbonate Depositional Environments. Amer. Assoc. Petrol Geol. Memoir 33 : 1-96.

**-F-**

FAO, 1976 - water quality for agriculture. Irrigation and drainage paper 29

FAO, 1998- Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Irrigation and drainage 56p.

FLORET C et PONTANIER R., 1984 - Aridité climatique, aridité édaphique, Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques. pp : 265 – 275.

FLOWERS T J., FLOWERS S A., 2005: Why does salinity pose such a difficult problem for plant breeders? Agricultural Water Management. Vol. 78, N°. 1-2: 15- 24.

FRENKEL H. 1985- Ressenement of water quality criteria for irrigation. Ecolog. Studies, 51, 172-173.

FRANÇOIS R. (2008), Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité, Edition DUNOD, Paris, 1152 p.

FURR J.R., 1975 - Water and salinity problems of Abadan Island date gardens. Ann. Rep. Date Growers' Inst., 52 : 14-17.

**-G-**

GAUCHER, 1968, Traité de pédologie agricole, le sol et sa caractéristique agronomique, Ed. Paris.

GAUCHER G., et BURDIN S.J., 1974 - Book Géologie, Géomorphologie Et Hydrologie Des Terrains Sales : Contribution Aux Techniques D'amélioration des Terrains Salés.

GAUCHER G., BURDIN., 1974 - Géologie, géomorphologie et hydrologie des terrains salés, presses, presses Universitaire de France, 230 p.

GIRARD P., PROST J., BASSEREAU P., 2005: Passive or Active Fluctuations in Membranes Containing Proteins Phys. Rev. Lett. 94, 088102: 60-64.

GOBAT J.M., ARAGNO M., MATTHEY W., 2010. Le sol vivant : base de pédologie, biologie des sols. Presses polytechniques et universitaires romandes (PPUR), 3ème édition, 817p.

GOLDBERG S., SUAREZ D.L., GLAUBIG R.A., 1988 - Factors affecting clay dispersion and aggregate stability of arid zone soils. Soil Sci., 146 (5) : 317-325.

GUENDOZ A., REGHIS Z., MOULLA A.S., 1992 - Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. Rapport N° 1, 65 p.

GUEORGUIEV D., ETOLL., 1980-Etude des précédant culturaux en espace irrigué dans de tessaout .Al-auania: 58 p.

**-H-**

HALILAT M.T., 2004 - Effect of Potash and Nitrogen Fertilization on Wheat under Saharan Conditions. IPI regional workshop on Potassium and Fertigation development in West Asia and North Africa; Rabat, Morocco, 24-28 November, 2004. 16p.

HALITIM A., 1973: Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse de 3 eme cycle. Univ de Renne, 176 p.

HALITIM A., ROBERT M., TESSIER D., PROST R., 1984 - Influence des cations échangeables (Na<sup>+</sup>, Ca<sup>++</sup>, Mg<sup>++</sup>) et de la concentration saline sur le comportement physique (rétention en eau, conductivité hydraulique) de la montmorillonite. Agronomie, 4 (5) : 452-459.

HALITIM A., 1988: Sols des régions arides d'Algérie. Office de Publications Universitaires, Alger: 39- 40

HAMADI. H, CHIRAZ. M. 2003. Calcul des besoins en eau des principales cultures

exploitées au nord de la Tunisie : estimation de l'évapotranspiration de référence par différentes formules empiriques (cas des régions de Tunis, Béja et Bizerte). *Revue sécheresse* Volume 14, N° 4 : 257-265.

HAMDY A., 1991 - Fonctionnement actuel et passé de sols du Nord du Sahara (cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique et minéralogique et variabilité spatiale. Thèse Doct., Institut National Agronomique. Paris-Grignon, 310p.

HAMDY A., 1999 - Saline irrigation and management for a sustainable use. In: *Advanced Short Course on Saline Irrigation Proceeding*, Agadir: 152- 227.

HAMDY A., LASRAM M et LACIRGNODA C., 1995: Les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne compte rendu. *Acad. D'agri. De France action* (1).vol 81 (2). Paris. Séance spécialisée du 22 Mars 95, pp : 47- 60.

HAMDY A., 1999 - Saline irrigation and management for a sustainable use. In: *Advanced Short Course on Saline Irrigation Proceeding*, Agadir: 152- 227.

HAMDY A., 1999 - Saline irrigation and management for a sustainable use. In: *Advanced Short Course on Saline Irrigation Proceeding*, Agadir: 152- 227.

HAMDY A., LASRAM M et LACIRGNODA C., 1995: Les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne compte rendu. *Acad. D'agri. De France action* (1).vol 81 (2). Paris. Séance spécialisée du 22 Mars 95, pp : 47- 60.

HAMDY A., LIETH H., MEZHER Z., 1995 - Halophyte performanace under high salinity levelsian overview saline irrigation, halophyte production and utilization. *roject. N° IG. 18. CT.96.55: 20-58.*

HOUARI I M., NEZLI I E et BOUREGAA S., 2014- description géologique et géométrique des formations aquifères de la cuvette de Ouargla, *Algerian journal of arid environment*, vol. 4, n° 1, Juin 2014, p: 12-19.

HULLIN M., 1983 - Cours de drainage. Partie consacrée aux sols salés. Cours polycopié,

Vol. 3, I.N.A., Alger, 139 p.

HUSSEIN F., EL KAHTANI M., WALI Y., 1979 - La culture du palmier et la production de dattes dans le monde arabe et islamique. Impr. Ain Chamss, Ain Chamss, 576 p. (en arabe).

**-I-**

IDDER T., 2005 - Contribution à l'étude des principaux facteurs de dégradation de l'oasis du Ksar de Ouargla. Mémoire d'ingénieur en agronomie saharienne. Université Kasdi Merbah. Ouargla. 93 p.

IDDER T., 2007 - Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration, Sécheresse. V 18. N° 3. pp : 161 - 167.

IDDER M. A., BOUAMMAR B., et IDDER-IGHILI H., 2011 - La palmeraie du Ksar d'Ouargla; entre dégradation et réhabilitation. Revue des Sciences et Technologie – Université KASDI Merbah - Ouargla. V 3. N° 1. [http://www.ouargla-univ.dz/PagesWeb/siteweb\\_ast/Siteweb\\_AST\\_UOGX.htm](http://www.ouargla-univ.dz/PagesWeb/siteweb_ast/Siteweb_AST_UOGX.htm)

INSID., 2008 – Le point sur la salinité des sols dans les périmètres irrigués : Risques et Recommandations. (Cas du périmètre irrigué du Bas Cheliff). 17p.

INSID., 2016 - Le Drainage en Algérie. République algérienne démocratique et populaire. Ministère de l'agriculture et du développement rural. L'institut national des sols de l'Irrigation et du Drainage. 18 p.

IPTRID., 2006 - Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation. Organisée et coordonnée par: IPTRID (Programme International pour la Technologie et la Recherche en Irrigation et Drainage). Hébergée par: FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture). Modérée par: Le projet CISEAU (Centre d'Information Sur l'Eau Agricole et ses Usages). 12 p.

ISRAELSEN O.W., HANSEN V., 1965 - Traité pratique de l'irrigation. Paris / New-York Intercontinental, Paris, 368 p.



ITA., 1975.- Laboratoire du sol: Méthodes d'analyses physiques et chimiques du sol. Institut Technologique agricole, Mostaganem, 78 p

**-K-**

KARPOFF R., 1952 - Observation préliminaire sur l'hydrologie du Bas-Sahara. In: " l'hydrogéologie des régions arides et sub-arides". XIX Congrès Géol. Intern., Alger : 201-231.

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.

KEREN R. (2000), *Salinity*. In: Sumner M.E. (Ed). Handbook of Soil Science. CRC Press, NY, USA, pp G3-G25.

KHADRAOUI A., 2006- Eaux et sols en Algérie, gestion et impact sur l'environnement. 236p

KHADRAOUI A., 2007- Eau et impact environnementale dans le Sahara algérien. Définition- évaluation et perspectives de développement. Ed, ISBN. 299 p.

KHADRAOUI A.,2010- Sol et hydraulique agricole dans les oasis algériennes .Ed :Houma. Ouargla 247 p).

KHANZADA A.N., MORRIS J.D., ANSARI R., SLAVICH P.G. and COLLOPY J.J., 1998 - Groundwater uptake and sustainability of *Acacia* and *Prosopis* plantations in Southern Pakistan. Agricultural Water Management, 36 : 121-139.

KOVDA, V., 1980. Land aridization and drought control, Boulder Westview Press.

**-L-**

LEGROS J.P, 2007- Les grands sols du monde. Presse polytechnique et universitaire Romandes 574p.

LE HOEEROU H.M., 1960 – Contribution à l'étude des sols du Sud Tunisien. Ann.Agron. ,II,3,pp.241 -308.

LE HOUEROU H N., 1986 - Salt-tolerant plants of economic value in the Mediterranean basin. Reclamation and Vegetation Research. Vol. 5: 319- 341.

LEVY G.J., 2000 - Sodicity. In: Sumner M.E. (Ed). Handbook of Soil Science. CRC Press, NY, USA, pp G27-G62.

**-M-**

MAAS E.V., HOFFMAN G.J., 1977- Crop salt tolerance-current assessment. J. Irrig. Drainage Div. (ASCE), 103 : 115-134.

MAINGUET M., 2003 : Les pays secs environnement et développement. Ellipses, Paris: 27- 28.

MALLOHI N., 1989 - Etude de la dynamique de la matière organique dans les sols affectés par la salinité. Tropicultura, 7 (3) : 90-97.

MALLOHI N., JACQUIN F., 1988 - Influence des ions sodium sur les mécanismes d'humification. Sci. Sol, 26 (4) : 215-222.

MAMOU A., 1990 - Caractérisation, évaluation et gestion des ressources en eaux du Sud tunisien. Thèse de doctorat d'état sc. Univ. Paris-Sud, 542p.

MARLET S., BOUKSILA F., MEKKI I et BENAÏSSA I., 2007- Fonctionnement et salinité de la nappe de l'oasis de Fatnassa : arguments géochimiques. Troisième atelier régional du projet Sirma, Nabeul Tunisie. Edition HAL. 14 p.

MASMOUDI A., 2003- Irrigation et salinisation dans certains oasis de la wilaya de Biskra. Courrier du Savoir – N°11, Février 2011, pp.61-69

MATHIEU C et PIELTAIN F, 2009 - Analyse chimique des sols: méthodes choisies. Edition Tec & Doc Lavoisier. 317 p

MCNEAL B.L., COLEMAN N.T., 1966 - Effect of solution composition on soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 30 : 308-312.

MERMOUD A. (2001)- Cours de physique du sol : Maitrise de la salinité du sol. Version provisoire : Ecole Fédérale de Lausanne ; 14 p.

MERMOUD. A, 2006- Cours physique du sol, Maitrise de la salinité des sols,pp 1-14

METROALGER, 2016 : [http://www.metroalgerdz.com/ fr/ carte\\_projet.php](http://www.metroalgerdz.com/fr/carte_projet.php)

MEZNI M., 1999- Capacité de régénération de la luzerne pérenne (*Medicago sativa* L.), en condition de stress salin. Comparaison entre la variété locale *Gabès* et deux variétés introduites *Hunterfield* et *Hyb.555*, Thèse Doc. Biologie, Fac. des Sci. de Tunis.

MEZNI M., ALBOUCHI A., BIZID E., HAMZA M., 2002 - Effet de la salinité des eaux d'irrigation sur la nutrition minérale chez trois variétés de luzerne pérenne (*Medicago sativa*) .Agronomie. 22: 283-291.

MTIMET A., HACHICHA M., 1995 - Hydromorphie et salinisation dans les oasis tunisiennes. Revue sécheresse, Vol. 6-4 : 319-324.

MUNIER P., 1973- Le palmier dattier. Paris: Ed. Maison-neuve, 217 p.

MUNNS R., 2002 - Comparative physiology of salt and water stress. Plant, Cell and Environment25: 239-250.

MUNNS R., JAMES R A., LAUCHLI R., 2005- Approaches to increasing the salt tolerance of wheat and other cereals. Journal of Experimental Botany. Vol.57, N°.5: 1025-1043.

MUSY, 2004. Cours hydrologie générale chapitre 1, Ecole polytechnique Fédérale Lausanne.

-N-

NAHON D, 2008– l'équipement de la terre. L'enjeu de XXIème siècle. Odile Jacob, 235p.

NAIDU & RENGASAMY 1993, Naidu R. & Rengasamy P. (1993) : Ion interactions and constraints to plant nutrition in Australian sodic soils. *Australian Journal of Soil Research* 31: 801-819.

NEZLI I.E., 2004- Mécanismes d'acquisition de la salinité et de la fluoruration des eaux de la nappe phréatique de la basse Vallée de l'Oued Mya (Ouargla). UNIVERSITE Badji

Mokhtar - Annaba. Faculté des sciences de la terre. Département de Géologie Mémoire de magister en Géologie. 90 p.

NEZLI I.E., ACHOUR S et DJABRI L., 2007- Approche géochimique des processus d'acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'oued m'ya (Ouargla). Larhyss Journal, N° 6. pp : 121-134.

NEZLI I.E., ACHOUR S et HAMDI-AÏSSA B., 2009- Approche hydrogéochimique a l'étude de la fluoration des eaux de la nappe du complexe terminal de la basse vallée de l'oued m'Ya (Ouargla) Courrier du Savoir – N°09, Mars 2009, Univ. MOHAMED KHIDER -Biskra :57-62.

NEZLI I.E et HOUARI I.M., 2013- Géochimie des eaux de la nappe des sables du bassin oriental du Sahara septentrional algérien. Le Séminaire International sur L'Hydrogéologie et l'Environnement 5 -7 Novembre 2013, Ouargla (Algérie), 3 p.

NIXON R.W., 1959 - Growing dates in the United States. U.S. Dept. Agr., Agr. Info. Bul., 207, 56 p.

NOVIHOFF (G.) 1961 .- Contribution à l'étude des relations entre le sol et la végétation halophile de Tunisie. Ann. Inst. Nat. Rech. Agron. Tunisie ,vol .34 -339p.

**-O-**

OLIER C., POIREE M.,1983 - Irrigation. Les réseaux d'irrigation, théorie, technique, et économie des arrosages. 6ème Ed. Eyrolles, Paris, 503 p.

OMEIRI N., 1994 - Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels solubles dans la cuvette de Ouargla. Thèse Ing, I.N.F.S.A.S., Ouargla, 72 p.

O.N.M. Ouargla., 2015 - Données météorologiques de la station pluviométrique de Aine beida (2005-2014).

**-P-**

PEGUY CH . P., 1970- Précis de climatologie. 2eme édition ,ed. Masson et cie. Paris: pp 265-275.

PEYRON. G., 2000, Cultiver le palmier dattier, CIRAD, Paris, 110 p

PILLET D., IDDER A., 1995 - Repères pour l'histoire de Ouargla 1872-1992. Hiwarcom, Ouargla, 155 p.

PNUD-UNESCO, 1972 - Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. PNUD-UNESCO, Paris, 78 p.

POIREE M, OLLIER C., 1971- Irrigation.les réseaux d'irrigation, théorie technique et économie des arrosages. 4<sup>ème</sup> Ed. Eyrolles, Paris, 455p.

POUGET M., 1968 - Contribution à l'étude des croûtes et encroûtements gypseux de nappe dans le sud Tunisien. Cah. ORSTOM, sér. Pédol., vol. VI, 3 : 309-365.

PUPISKY H., SHAINBERG I., 1979 - Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 43 : 429-433.

**-R-**

RAES, D., SAHLI, A., VAN LOOIJ, J., BEN MECHLIA, N., AND PERSOONS, E. 2000. Charts for guiding irrigation in real time. Irrigation and Drainage Systems. Volume 14(4): 343-352.

REME M., 1935 - Méthode d'exploitation des eaux souterraines. Compte-rendu général des journées du Dattier (13-17 nov. 1933, Biskra-Touggourt). OFALAC, Alger : 47-66.

RENEVOT, G., BOUAZIZ A., RUF T., et RAKI M. (2010). Pratiques d'irrigation du palmier dattier dans les systèmes oasiens du Tafilalet, Maroc. HTE N° 146 Juin 2010 Revue Fruits, vol. 29, n° 3, (I.F.A.C.), pp. 233 – 238.

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.

RIEUL, L. 1993 Les techniques modernes d'irrigation et les économies d'eau CIHEAM - Options Méditerranéennes 20 p.

ROBERT M., 1996: Le sol : interface dans l'environnement ressource pour le développement. Ed. MASSON, Paris. 96 P.

RODIER J., BAZIN C., BROUTIN J.-P., CHAMBON P., CHAMPSAUR H., RODI L., 2005 - L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer. 8ème Ed. Dunod, Paris, 1384 p.

RODIER J. (1984). L'analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Edition Dunod Paris. 177p.

ROUVILLOIS-BRIGOL M., 1975. Le pays de Ouargla (Sahara Algerien). Variations et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Département de géographie de l'Université de Paris-Sorbonne. 389 p.

**-S-**

SAINIH S., ASPINALL D., 1998 - Sterility in wheat induced by water deficit or high temperature: possible mediation by abscisic acid. Australia: pp 529-537.

SAKER M.L., 2000 - Les contraintes du patrimoine phoenicicole de la région de l'Oued Righ et leurs conséquences sur la dégradation des palmeraies. Problèmes posés et perspectives de développement. Thèse Doct., Université Louis Pasteur, Strasbourg, 335p.

SAKER M L., DADDI BOUHOUN M., 2006b - « La phoeniciculture algérienne, situation actuelle, problèmes posés et perspectives de développement », Annales de la faculté des sciences et science de l'ingénieur, 1(2), 51-57.

SAVOIE V., 2010 - Le drainage de surface formation pour OAQ, centre du Québec.

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. Proceedings IPI. Spain, 93 - 98.

SERVANT J., 1970 - Etude expérimentale de l'influence des conditions salines sur la perméabilité des sols. Conséquences pédologiques. Sci. Sol, 2 : 87-103

SERVANT J M., 1975: Etude pédologique des sols halomorphes. Thèse. Doc. Uni. Montpellier, 194 p.

SIMONNEAU P., AUBERT G., 1963 - L'utilisation des eaux salées au Sahara. Ann.

Agro., 14 (5) : 859-872.

SIMMONS L.T., 1926 - Rooting habits of date palm. Ann. Rep. Date Growers' Inst., 3 : 1-3.

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.

SOLTNER D. 1989. Les bases de la production végétale. Tome 1 ; le sol. 17<sup>ème</sup> édition C.S.T.A. Angers, 468p.

STEWART P., 1969 - Quotient pluviométrique et dégradation biosphérique, quelques réflexions. Bull. Soc. Hist. Nat. Afr. Nord, 59 : 23-36.

SUMNER M.E. 1993 - *Sodic soils: New perspectives*. Australian Journal of Soil Research 31: 683-750.

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. Proceedings IPI. Spain. 121 - 123.

SZABOLCS I., 1994 - Soils and salinization. In: Pessarakli, M. (Ed.), Handbook of Plant and Crop Stress. Marcel Dekker, New York: 3-11.

**-T-**

TABOUCHE N et ACHOUR S., 2004 - étude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien. Larhyss Journal. ISSN 1112-3680. N° 3. pp : 99 - 113.

TESCO-VISITEREV., 1985 - Etude agro-économique, réaménagement et extension des palmeraies de la vallée de Oued Righ. Ed. Budapest.

TOUTAIN G., 1979: Eléments d'agronomie saharienne et de la recherche au développement. Marrakech, Maroc, p-p. 57-58-59.

TRON S., LAIO F., RIDOLFI L., 2014 - Effect of water table fluctuations on phreatophytic root distribution. *Journal of Theoretical Biology*. pp : 102–108.

TURC L., 1961 - Evolution des besoins en eau d'irrigation évapotranspiration potentielle. *Ann. Agron.*, 12 (1) : 13-49.

TURNER N.C., WARD P.R., 2002 - The role of agroforestry and perennial pasture in mitigating water logging and secondary salinity: summary. *Agricultural Water Management*, 53 : 271-275.

**-U-**

ULLMAN W.J., 1985- Evaporation rate from a salt pan : Estimate from chemical profiles in near surface groundwater. *J. Hydrol.* Vol. 79. pp 365-373.

UNESCO, 1972 – Projet Reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional de l'Algérie. Rapport sur les résultats du projet. Paris.

U.S.S.L., 1954 - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Salinity Laboratory, U.S. Dept. Agr., Handbook, 60 , Washington, 160 p.

**-V-**

VAN HOOR J. W. 1972- qualité de l'eau d'irrigation, limites d'utilisation et prévision des effets à long terme. *Bul. FAO Irrig. Drainage* 7, 117-135.

VALLES V, VALLES A-M, et DOSSO M. 1983- Irrigation des sols salés et doses de lessivage ; *Cah. O.R.S.T.O.M., sér. Pédol.*, vol. XX, N°2. 1983: 119-127.

**-W-**

WENT F.W., DARLEY E., 1953 - Root hair development on date palms. *Ann. Rep. Date Growers' Inst.*, 30 : 3-5.

WERTHEIMER M., 1957 - Problèmes de drainage dans les palmeraies du sud constantinois. *Fruits*, 12 : 345-352.



WHALLEY W.R., RISELEY B., LEEDS-HARRISON P.B., BIRD N.R.A., LEECH P.K., ADDERLEY W.P., 2005. Structural differences between bulk and rhizosphere soil. *European journal of Soil Science*, 56, 353-360.

WYN JONES G., GOUSTON H., 1991 - Complètement a ryor conflicting approaches to Salinity DDU. *Bulletin N° 23*: 7-9.

**-X-**

XU.C-Y. 2005. Comparison of seven models for estimation of evapotranspiration and groundwater recharge using lysimeter measurement data in Germany *Hydrological Processes N°19* : 3717–3734.

**-Y-**

YOUNG I.M., 1995. Variation in moisture contents between bulk soil and the rhizosheath of wheat (*Triticum aestivum* L.cv. Wembley). *New Phytol*, 130, 135-139.

YOUSAF M., ALI O.M., RHOADES J.D., 1987 - Clay dispersion and hydraulic conductivity of some salt affected arid land soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 51 : 905-907.

**-Z-**

ZAHROUNA A., 2011- ressources en eau du système aquifère du Sahara septentrional (SASS). 1er Séminaire International sur la Ressource en eau au Sahara : Evaluation, Economie et Protection, Ouargla : 73-76.

ZAID A., ARIAS-JIMENEZ E.J., 2002 - Date palm cultivation. Series title: *FAO Plant Production and Protection Papers - 156 Rev.1*, 110 p.

ZARTMAN R.E., GICHURU M., 1984 - Saline irrigation water: effects on soil chemical and physical properties. *Soil Sci.*, 136 (6) : 417-422.

ZELLA L., 2012- Les bases de l'irrigation. Office des publication universitaire, édition N°5254, 484 p.

ZID E., GRIGNON C., 1991: Les tests de sélection précoce pour la résistance des plantes aux stress. Cas des stress salin et hydrique. *L'amélioration des plantes pour l'adaptation*

aux milieux arides, AUPELF-UREF. Jon Libbey Eurotext, Paris: 91- 108.

ZHU J.K., 2001: Plant salt tolerance. Trends in plant Sci. 6: 66-71.

A yellow scroll graphic with a black outline. The scroll is unrolled, showing a central rectangular area. The word "Annexes" is written in a black, cursive font in the center of this area. The left edge of the scroll is rolled up, and the right edge is also rolled up, with the top-right corner being more tightly curled.

Annexes

**Annexe1.** Tolérance et rendement relatif des cultures en fonction de la salinité du sol(E.C<sub>e</sub>) et de l'eau d'irrigation (E.C<sub>w</sub>) ( MAAS et al.,1977 in AYERS et al., 1988)

Cultures	100%		90%		75%		50%		0%	
	E.C <sub>e</sub>	E.C <sub>w</sub>	E.C <sub>e</sub>	E.C <sub>w</sub>	E.C <sub>e</sub>	E.C <sub>w</sub>	E.C <sub>e</sub>	E.C <sub>w</sub>	E.C <sub>e</sub>	E.C <sub>w</sub>
<b>Abricotier</b>	1.6	1.1	2	1.3	2.6	1.8	3.7	2.5	5.8	3.8
<b>Betterave rouge</b>	4	2.7	5.1	3.4	6.8	4.5	9.6	6.4	15	10
<b>Blé</b>	6	4	7.4	4.9	9.5	6.3	13	8.7	20	13
<b>Carotte</b>	1	0.7	1.7	1.1	2.8	1.9	4.6	3	6.1	5.4
<b>Coton</b>	7.7	5.1	9.6	6.4	13	8.4	17	12	27	18
<b>Haricot</b>	1	0.7	1.5	1	2.3	1.5	3.4	2.4	6.3	4.2
<b>Laitue</b>	1.3	0.9	2.1	1.4	3.2	2.1	5.1	3.4	9	6
<b>Luzerne</b>	2	1.3	3.4	2.2	5.4	3.6	8.8	5.9	16	10
<b>Maïs</b>	1.7	1	2.7	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
<b>Navet</b>	0.9	0.6	1.5	1	2.3	1.5	3.5	2.4	6.3	4.2
<b>Oignon</b>	1.2	0.8	1.8	1.2	2.8	1.8	4.3	2.9	7.4	5
<b>Orange</b>	1.7	1.1	2.3	1.6	3.3	2.2	4.8	3.2	8	5.3
<b>Orge</b>	8	5.3	10	6.7	13	8.7	18	12	28	19
<b>Palmier dattier</b>	4	2.7	6.8	4.5	17.0	7.3	18	12	32	21
<b>Pomme de terre</b>	1.7	1.1	2.5	1.7	3.8	2.5	5.9	3.9	10	6.7
<b>Poivron</b>	1.5	1	2.2	1.5	3.3	2.2	5.1	3.4	8.6	5.8
<b>Radis</b>	1.2	0.8	2	1.3	3.1	2.1	5	3.4	8.9	5.9
<b>Tomate</b>	2.5	1.7	3.5	2.3	5	3.4	7.6	5	13	8.4
<b>Trèfle Bersim</b>	1.5	1	3.2	2.2	5.9	3.9	10	6.8	19	13
<b>Vigne</b>	1.5	1	2.5	1.7	4.1	2.7	6.7	4.5	12	7.9

**Annexe 2.** Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique des eaux d'irrigation (DURAND, 1958)

Conductivité électrique dS.m <sup>-1</sup> à 25 °C	Différentes classes d'eaux
CE ≤ 0,25	C1 Eaux faiblement salines
0,25 < CE ≤ 0,75	C2 Salinité moyenne
0,75 < CE ≤ 2,25	C3 Salinité forte
2,25 < CE ≤ 5	C4 Très forte salinité
CE > 5	C5 Eaux à salinité excessive

**Annexe 3.** Classification des eaux phréatique (FLORET 1961 in OMEIRI 1994)

Résidu sec en g.l <sup>-1</sup>	Différents types d'eau de nappe
≤ 0,5	Eau douce
0,5 < R.S ≤ 4,5	Eau très faiblement salée
4,5 < R.S ≤ 10	Eau faiblement salée
10 < R.S ≤ 25	Eau moyennement salée
25 < R.S ≤ 45	Eau fortement salée
45 < R.S ≤ 100	Eau très fortement salée
>100	Eau excessivement salée

**Annexe 4.** Sodium Adsorption Ratio et degré d'alcalinisation des sols (SERVANT et al., 1966 in BENZAHI, 1994)

S.A.R.	Degré d'alcalinisation
≤ 4	Pas d'alcalinisation
4 < S.A.R. ≤ 8	Faible alcalinisation
8 < S.A.R. ≤ 12	Alcalinisation moyenne
12 < S.A.R. ≤ 18	Alcalinisation forte
> 18	Alcalinisation intense

**Annexe 05.** Echelle de salinité -extrait 1/5- (SERVANT, 1975)

<b>CE (dS/m) à 25 °C</b>	<b>Degré de salinité</b>
$\leq 0.25$	non salé
$0.25 < CE \leq 0,5$	Faiblement salé
$0,5 < CE \leq 1$	Sol moyennement salé
$1 < CE \leq 1,5$	Sol salé
$1,5 < CE < 2$	Sol Fortement salé
$2 < CE < 2,75$	Sol très fortement salé
$2,75 < CE < 4$	Excessivement salé
$> 4$	Hyper salé

**Annexe 6.** Echelle de salinité -extrait 1/5- (AUBERT, 1978)

<b>CE (dS/m) à 25 °C</b>	<b>Degré de salinité</b>
$\leq 0.6$	non salé
$0.6 < CE \leq 1,2$	Peu salé
$1,2 < CE \leq 2,4$	Sol salé
$2,4 < CE \leq 6$	Sol très salé
$\geq 6$	extrêmement salé

**Annexe 7.** Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 à 25 °C (MATHIEU et PIELTAIN, 2009)

<b>CE<sub>e1:5</sub> à 25 °C</b>	<b>Classe de salinité</b>
$CE_{e1:5} \leq 0,6$	Non salé
$0,6 < CE_{e1:5} \leq 1$	Légèrement salé
$1 < CE_{e1:5} \leq 2$	Salé
$2 < CE_{e1:5} \leq 4$	Très salé
$CE_{e1:5} > 4$	Extrêmement salé

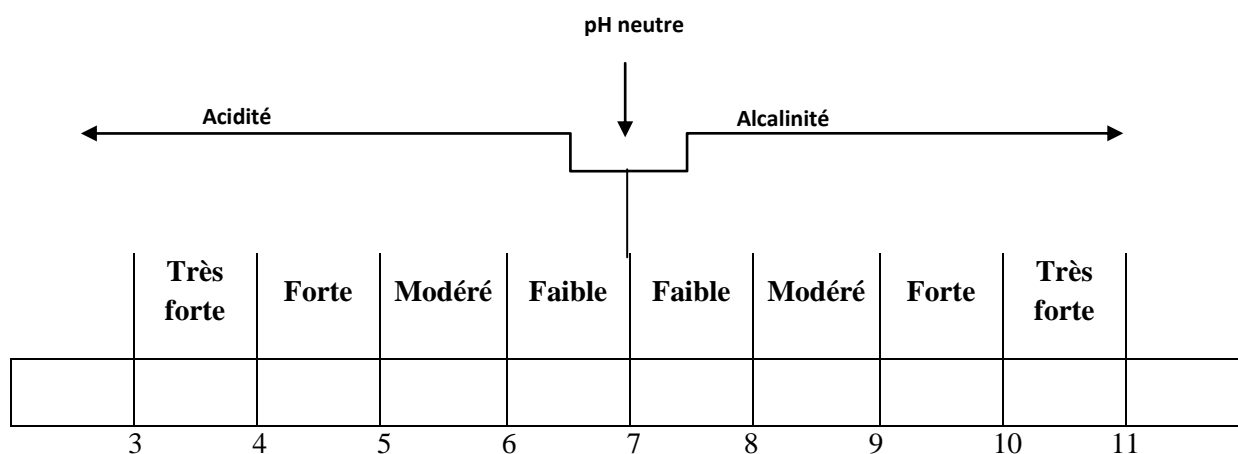
**Annexe 8.** Echelle d'interprétation de pH -extrait 1/5- (GAUCHER, 1968)

<b>pH</b>	<b>Classe d'interprétation</b>
$6.75 < CE \leq 7,25$	Sol Neutre
$7,25 < CE \leq 8,5$	Sol Alcalin
$> 8,5$	Sol très Alcalin

**Annexe 9.** Echelle d'interprétation de pH -extrait 1/5- (AUBERT, 1978)

<b>Valeur de pH</b>	<b>Classe d'interprétation</b>
$<4.5$	Extrêmement acide
4.5 -5.0	Très fortement acide
5.1 -5.5	Fortement acide
5.6 -6.0	Moyennement acide
6.1 -6.5	Légèrement acide
6.6 -7.0	Très légèrement acide
7.1 -7.5	Très légèrement alcalin
7.6 -8.0	Légèrement alcalin
8.1-8.5	Moyennement alcalin
$>8.5$	Très fortement alcalin

**Annexe 10.** Normes d'interprétation du pH-eau du sol MATHIEU et PIELTAIN (2003)



**Annexe 11.** Classe des sols gypseux (BARJANZI, 1973)

<b>Gypse (%)</b>	<b>Nom de la classe</b>
< 0,3	Non gypseux
0,3-10	Légèrement gypseux
10-15	Modérément gypseux
15-25	Fortement gypseux
25-50	Extrêmement gypseux

**Annexe 12.** Calcaire total (BAIZE, 1988)

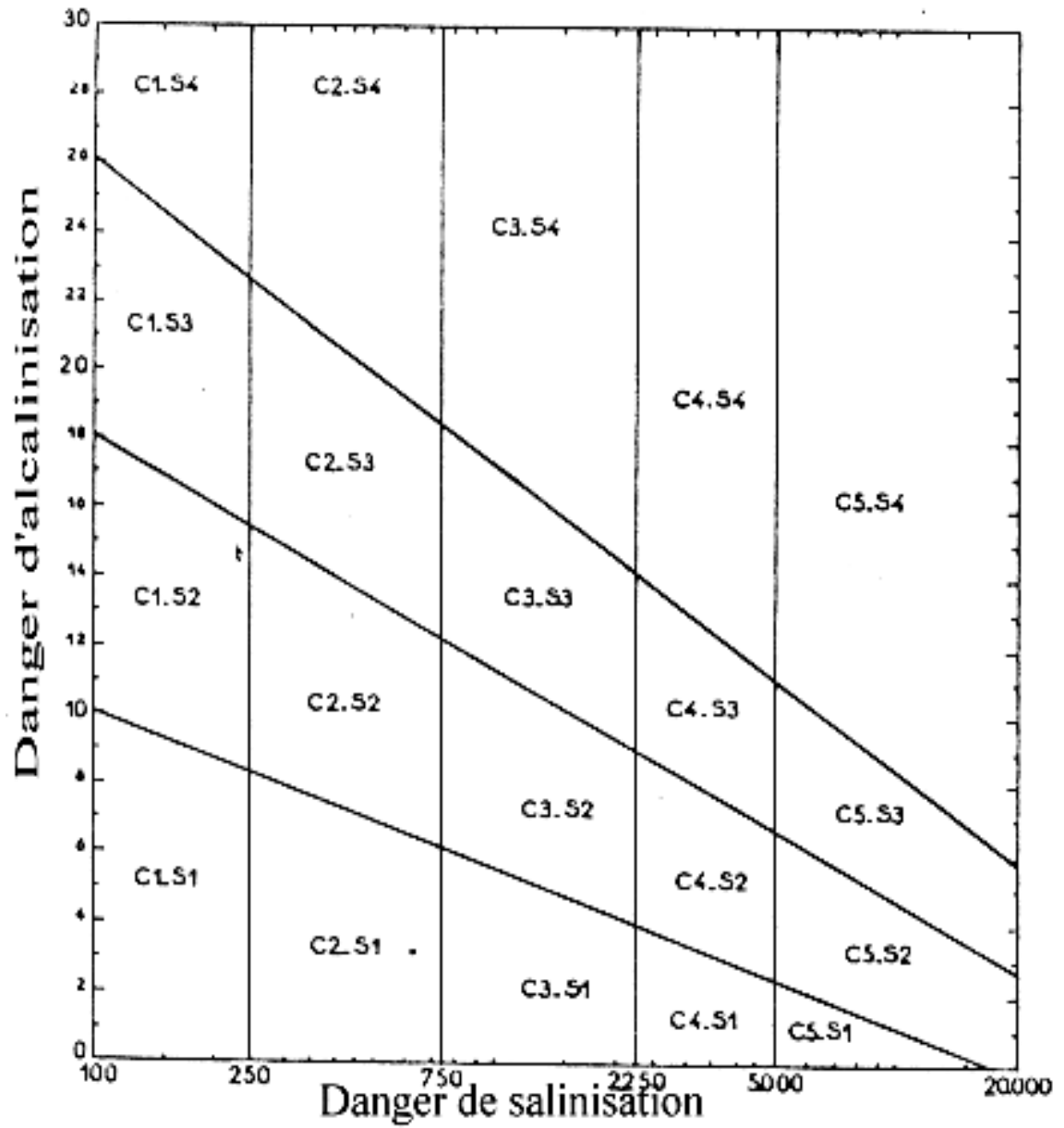
<b>CaCO<sub>3</sub> (%)</b>	<b>Sol</b>
CaCO <sub>3</sub> ≤ 1	Non calcaire
1 < CaCO <sub>3</sub> ≤ 5	Peu calcaire
5 < CaCO <sub>3</sub> ≤ 25	Modérément calcaire
25 < CaCO <sub>3</sub> ≤ 50	Fortement calcaire
50 < CaCO <sub>3</sub> ≤ 80	Très calcaire
CaCO <sub>3</sub> > 80	Excessivement calcaire

**Annexe 13.** Matière organique (I.T.A, 1975)

<b>M.O (%)</b>	<b>Sol</b>
MO ≤ 1	Très pauvre
1 < MO ≤ 2	Pauvre
2 < MO ≤ 4	Moyenne
MO > 4	Riche



**Annexe 14.** Diagramme permettant de déterminer la qualité des eaux en fonction de C.E.à 25°C et du S.A.R. (DURAND, 1958)



الأراضي الصحراوية هي الأكثر عرضة لمشكل إعادة التهيئة، و هذا لوجود عوائق كثيرة من بينها العوائق المتعلقة بالتربة و الماء، بالأخص صعود الطبقة المائية المالحة و تواجد الطبقة القشرية الجبسية غير النفوذة و مشكل ملوحة مياه السقي . تتوفر المستثمرة الفلاحية التابعة لجامعة ورقلة على مياه ري مالحة جدا و سوء تسيير السقي والصرف مع تواجد عدة عوائق ميكانيكية و مائية متمثلة في ظاهرة صعود المياه و تكون طبقات غير نفوذة و هي الطبقات الجبسية. عملنا يتمثل في دراسة خصائص التربة في هذه المستثمرة لمعرفة كل العوائق المتعلقة بالملوحة و التوصيل لكمية السقي الكافية التي تسمح بغسل التربة و التخلص من الأملاح.

أظهرت النتائج وجود وسطين بيئيين، مياه جوفية سطحية أو متوسطة العمق مع وجود القشرة الجبسية. يتميز هذين الوسطين بمشكلة تملح التربة و صعود مياه جوفية عالية الملوحة مع تكون قشور جبسية. تتميز المياه الجوفية بمتوسط عمق  $12.11 \pm 156.67$  سم بدرجة ملوحة  $5.17 \pm 16.56$  dS.m<sup>-1</sup>. ملوحة التربة عالية جدا  $3.14 \pm 5.66$  dS.m<sup>-1</sup> بالنسبة للحقل A1 و  $2.56 \pm 6.08$  dS.m<sup>-1</sup> بالنسبة للحقل C1. أظهر التباين المكاني لخصائص المياه و التربة، تدهور حالة المستثمرة بمستوى متفاوت مع تجاوز ملوحة التربة عتبة تحمل أشجار النخيل مما قد يؤدي إلى انخفاض إنتاجها. إن دراسة تطور ملوحة التربة بعد عملية الغسل في الوسطين البيئيين، قد بينت وجود ارتفاع بين فترتي السقي و هذا راجع لتراكم الأملاح بسبب الحركة التصاعدي و التنازلي تحت تأثير صعود الطبقة المائية الجوفية و مياه السقي. بالنسبة لوسط المياه الجوفية السطحية مع وجود قشرة جبسية غسل التربة في عملية السقي الأولى لايجب أن يتجاوز 40% مع الزيادة تدريجيا في عمليات السقي التي تليها. أما بالنسبة لوسط المياه الجوفية العميقة مع وجود قشرة جبسية فنجاح عملية الغسل يزداد بزيادة كمية الماء و هذا بشرط توفير صرف جيد يسمح بنزول كمية الاملاح و يحد من ظاهرة صعود المياه.

**الكلمات الأساسية:** السقي، غسل، الاملاح، أرض زراعية، مناطق جافة.

### Résumé :

Les sols sahariens sont le plus souvent confrontés à des problèmes de mise en valeur, compte-tenu des contraintes hydro-édaphiques, principalement de type hydrique de nappe phréatique, mécanique de croûtes gypso-calcaires et salines par les eaux d'irrigation et la remontée capillaire des eaux phréatiques. L'exploitation de l'université de Ouargla présente des eaux d'irrigation très salées, avec une mauvaise gestion d'irrigation-drainage, plus l'existence des plusieurs contraintes hydro-mécaniques représentées à la remontée de la nappe phréatique et la formation des croûtes gypseuses imperméables. Notre travail consiste à faire une caractérisation des sols de cette palmeraie pour étudier les contraintes hydro-halomorphes à fin de trouver la meilleure dose de lessivage.

Les résultats montrent qu'il existe à l'exploitation deux biotope, nappe superficielle-croûte et nappe moyennement profonde-croûte. Ces deux biotopes se caractérisent par un problème de remontée des eaux phréatiques, la formation des croûtes gypseuses et la salinisation des eaux et des sols. Les eaux phréatiques présentent un niveau statique moyen de  $156,7 \pm 12,1$  cm avec une salinité moyenne de  $16,56 \pm 5,17$  dS.m<sup>-1</sup>. Les sols sont très salés à extrêmement salés, en moyen de  $5,66 \pm 3,14$  dS.m<sup>-1</sup>, pour le demi-secteur A1, et  $6,08 \pm 2,56$  dS.m<sup>-1</sup>. La variation spatiale des paramètres hydro-édaphiques montre un niveau de dégradation variable de l'exploitation. Toutefois la salinité des sols dépasse le seuil critique de tolérance des palmiers dattiers, responsable fort probablement des chutes de rendements. L'étude de l'évolution de la salinité après le lessivage dans les deux biotopes, a montrée qu'il y a une augmentation entre les deux irrigations à cause de l'accumulation des sels qui due à la dynamique ascendante et descendante des sels respectivement sous l'effet de la remontée de la nappe phréatique et les eaux d'irrigation. Pour le biotope nappe superficielle-croûte, il est déconseillé de dépasser la fraction de 40% de lessivage et il est recommandé de faire un lessivage progressif pour les autres irrigations. Pour le biotope nappe moyennement profonde-croûte, il est intéressant d'augmenter la fraction de lessivage à conditionner d'assurer un bon drainage.

**Mots clefs :** irrigation, lessivage, sels, terre agricoles, zones arides

### Summary:

Saharan soils are often faced with several problems of development, taking account the hydro-edaphic constraints, mainly of hydric types by water table, mechanical by gypso-calcareous crusts and saline by irrigation waters and upwelling of water table.

The exploitation of the University of Ouargla has very salty irrigation water with bad irrigation-drainage management, plus the existence of several hydro-mechanical constraints represented by the rise of the water table and the formation of impermeable gypsum crusts. Our work consists in making a characterization of the soils of this palm grove to study the hydro-halomorphic constraints in order to find the best dose of leaching.

The results show the existence of two biotope types, surface water table and medium deep water table with crust. They are characterized by ascended ground water, the formation of gypsum crusts and a salinization of water table and soils. Static level of water table has a depth average of  $156,7 \pm 12,1$  cm and a salinity average of  $16,56 \pm 5,17$  ds.m<sup>-1</sup>. Soils are very salty to extremely salty, by means of  $5,66 \pm 3,14$  dS.m<sup>-1</sup> for the half sector A1,  $6,08 \pm 2,56$  dS.m<sup>-1</sup> for the half sector C1. The spatial variation of hydro-edaphic parameters showed a variable level of degradation in palm grove. However, soil salinity surpasses the critical threshold of date palms which likely led to a drop in yield. The study of the evolution of salinity after leaching in the two biotopes, has shown that there is an increase between the two irrigations due to the accumulation of salts Which is due to the upward and downward dynamics of the salts respectively under the effect of the rise of the water table and the irrigation water. For the biotope surface water table with crust, and in the first irrigation, it is not advisable to exceed the fraction 40% of leaching but it is recommended to gradually leach for other irrigations. For the biotope medium deep water table with crust, it is interesting to increase the leaching fraction to condition ensure good drainage.

**Keywords:** irrigation, leaching, salt, agricultural soil, arid area