



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
جامعة باجي مختار - عنابة  
UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA

FACULTE DES SCIENCES  
DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

THESE EN VUE DE L'OBTENTION D'UN DIPLOME DE DOCTORAT

Spécialité: Biologie végétale et Environnement  
Intitulé

**Relation qualité des eaux et propriétés des sols  
dans les palmeraies de la région de Ghardaïa  
(cas de Sebseb).**

Présenté par: Mlle GUESSOUM Hadjer

Membre de Jury:

Pr. DJAMAI Rachid	Président	Université Badji Mokhtar Annaba
Pr. HALILAT M.TAHAR	Directeur de Thèse	Université Kasdi Merbah Ouargla
Pr.BENSLAMA Mohamed	Co- Directeur de Thèse	Université Badji Mokhtar Annaba
Pr. LAIFA Aziz	Examineur	Université Badji Mokhtar Annaba
Pr. SLIMANI Ali	Examineur	Université Chadli Bendjedid El Tref

Année universitaire: 2019/2020

## *Dédicaces*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A mes très chers parents, la lumière de ma vie, à qui je dois tout  
le plaisir de mon instruction,*

*Pour tous les sacrifices qu'ils ont faits et pour tout le soutien qu'ils  
ont offert tout au long de mes études*

*J'espère qu'ils puissent trouver dans ce modeste travail un  
témoignage d'amour et d'affection envers eux,*

*A mes chers sœurs et frères,*

*A mes nièces et neveux,*

*A toute la famille, pour leur soutien qui m'a été fort précieux.*

*A tous mes amis.*

*Hadjer*

## **Remerciements**

*Avant tout, louange à Allah, tout puissant, pour m'avoir donnée la santé, la volonté, la patience et les moyens afin d'accomplir ce travail.*

*Au terme de ce travail, il m'est agréable de remercier vivement tous ceux qui, grâce à leur aide précieuse, ont permis la réalisation de ce travail.*

*Je dois remercier particulièrement :*

*Mon directeur de thèse, Monsieur HALILAT Mohamed Tahar, professeur à l'université KASDI Merbah-Ouargla, pour m'avoir dirigée, orientée, conseillée et pour sa présence tout au long de ce travail.*

*Je tiens à remercier sincèrement, Monsieur BENSLAMA Mohamed, Professeur à l'Université Badji Mokhtar -Annaba et Directeur du laboratoire de recherche « Sols et développement durable », en tant que Copromoteur, pour m'avoir guidée à bien mener cette étude. Sa disponibilité durant toutes les étapes de ce travail, ses remarques pertinentes et ses suggestions ont sans cesse permis à l'amélioration de la qualité de ce document.*

*Je remercie également Monsieur DJAMAI Rachid, Professeur à l'Université Badji Mokhtar –Annaba, d'avoir accepté de présider le jury pour la soutenance de cette thèse.*

*J'exprime ma profonde gratitude aux membres du jury, qui nous ont honorés par leur participation à l'examen de ce travail :*

*Monsieur LAIFA Aziz, Professeur à l'Université Badji Mokhtar –Annaba, Monsieur SLIMANI Ali, Professeur à l'Université Chadli Bendjedid d'El-Tarf.*

*Je témoigne une particulière gratitude à Mr. BENBRAHIM Fouzi, professeur à l'université de Ghardaïa, pour son soutien et sa précieuse aide lors de la réalisation de la présente thèse.*

*Toute ma gratitude à l'équipe des laboratoires pédagogiques de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Ghardaïa, particulièrement le responsable KRAIMAT M. pour ses conseils et pour sa motivation.*

*Je suis très reconnaissante au soutien et à la bonne humeur quotidienne de l'ensemble des personnes des Laboratoires pédagogiques du département des sciences agronomiques à l'université de Ouargla, particulièrement le responsable BEGGARI El ayache.*

*Je tiens aussi à remercier vivement l'ensemble des membres du laboratoire « sol et développement durable » de l'université de Badji Mokhtar – Annaba*

*Je remercie également Mme. AMIEUR A. chef du laboratoire d'A.D.E de Ghardaïa et son équipe qui m'ont facilitée le travail.*

*Je désire aussi remercier Mme. Mesaai W. Technicienne supérieure à l'A.N.R.H. de Ouargla pour son aide et ses conseils.*

*Je tiens également à remercier tous les enseignants du département de biologie de l'Université de Ghardaïa, qui ont contribué de près ou de loin à ma formation durant la réalisation de ce travail.*

*J'adresse également mes sincères remerciements à l'équipe des jeunes chercheurs de l'université de Ghardaïa, ceux qui ont contribué à la réalisation de ce travail: LAOUAR F., ROUIDJI I., ZERGAT A., CHIKHI F., GUESSOUM A., LAOUARK, DJEKAOUA S., TELIB A.*

*Mes remerciements s'adressent également à Mme. ZERGAT N. enseignante de la langue française, dont l'aide a été considérable dans la réalisation de cette thèse par la correction de la langue.*

*Je tiens à remercier sincèrement tous les propriétaires et le personnel des trois palmeraies agricoles pour leur accueil et leurs aides sur le terrain.*

*Enfin, J'aimerais adresser un immense remerciement à mon père adorable Abdallah pour sa contribution, sa patience et son accompagnement dans le travail sur le terrain ainsi que pour son soutien moral et matériel.*

*Je remercie par la pensée toute personne ayant contribué de près ou de loin à la réalisation de cette thèse, qu'ils trouvent ici l'expression de ma sincère reconnaissance.*

## **Relation qualité des eaux et propriétés des sols dans les palmeraies de la région de Ghardaïa (cas de Sebseb)**

Les eaux salées dans la région Saharienne d'Algérie constituent la majorité des eaux d'irrigation disponibles, elles sont à classer dans les classes 3 et 4. Cette étude vise à la détermination de la relation de la qualité des eaux d'irrigation sur l'évolution de la salinité, de la réaction du sol (pH) et du SAR de la solution du sol dans les palmeraies de la région de Sebseb-Ghardaïa.

La présente étude a été réalisée au niveau de la vallée de Sebseb, les palmeraies échantillonnées sont réparties selon l'altitude; la palmeraie de Jedide en amont, la palmeraie de Cheaab El-aargoub au centre de l'oued et en aval la palmeraie de Cheaab El-Nasser.

Les résultats analytiques sur les profils pédologiques, montrent que le sol est d'une texture sableuse à structure particulaire, avec un faible taux de matière organique et d'une faible teneur en calcaire. Le sol est fortement alcalin, non salé et non sodique.

Les résultats relatifs aux caractéristiques physico-chimiques des eaux d'irrigation provenant de la nappe phréatique mettent en évidence une qualité moyenne à médiocre (C3S1) pour la palmeraie de Jedide, une qualité médiocre à mauvaise (C4S1) pour la palmeraie de Cheaab El-aargoub et une qualité très mauvaise à déconseiller pour l'irrigation (C5S1) dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser. Ces eaux sont caractérisées par un faciès sulfatée-magnésique pour les trois palmeraies.

Les analyses effectuées sur les sols irrigués des trois palmeraies ont qualifié que les sols sont non salés à peu salés avec une conductivité électrique allant de 0,07 dS/m à 1,02 dS/m, le pH est alcalin à fortement alcalin variant de 7,90 à 8,97, sans risque d'alcalinisation du point de vue du SAR qui est estimé comme non sodique (0,01 à 1,29).

Sur le plan spatial, l'analyse de la variance indique une différence majoritairement significative entre les trois palmeraies vis-à-vis de tous les paramètres édaphiques étudiés, justifiant ainsi l'effet de la situation topographique et géographique de chaque station, où les sels solubles ont émigré d'amont en l'aval.

La signification de la variance relative à l'irrigation (avant et après), est très visible sur la conductivité électrique, cela est dû à la forte salinité des eaux d'irrigation utilisées. Tandis que, sur le SAR est signifiée seulement à la saison d'hiver par une diminution au niveau de tous les horizons dans toutes les palmeraies étudiées.

**Mots clés :** Eaux d'irrigation, sol, salinité, pH, sodicité (SAR), palmeraies, Sebseb, Ghardaïa.

## العلاقة بين نوعية المياه وخصائص التربة في واحات النخيل في منطقة غرداية (حالة سبب)

تشكل المياه المالحة في منطقة الصحراء الجزائرية غالبية مياه الري المتاحة، وهي مصنفة في الصنفين 3 و4. تهدف هذه الدراسة إلى تحديد العلاقة بين نوعية مياه الري وتطور الملوحة، تفاعل التربة (درجة الحموضة) ونسبة امتصاص التربة للصدوم (SAR) في واحات نخيل منطقة سبب-غرداية.

أجريت هذه الدراسة على مستوى وادي سبب، و تم اختيار واحات النخيل على حسب الارتفاع. واحة نخيل الجديد في المنبع، واحة نخيل شعاب العرقوب في وسط الوادي و واحة نخيل شعاب الناصر في المصب.

تبين النتائج التحليلية المتعلقة بخصائص التربة أن التربة تحتوي على مادة رملية ذات بنية جسيمية، و نسبة ضعيفة من المادة العضوية و الكلس. التربة قاعدية جدا، غير مالحة وغير صودية.

النتائج المتعلقة بالخصائص الفيزيائية والكيميائية لمياه الري التي تأتي من الطبقة السطحية تكشف عن نوعية متوسطة إلى رديئة (C3S1) لواجهة نخيل الجديد، نوعية رديئة إلى سيئة (C4S1) لواجهة نخيل شعاب العرقوب ومياه ذات نوعية سيئة غير مناسبة للري (C5S1) في واحة نخيل شعاب الناصر. تتميز هذه المياه بطبيعة كيميائية سلفاتية مغنيسية لواجهات النخيل الثلاثة.

أثبتت التحاليل التي أجريت على التربة المسقية لواجهات النخيل الثلاثة، أن التربة غير مالحة الى ضعيفة الملوحة مع الموصلية الكهربائية التي تتراوح بين 0,07 dS/m الى 1,02 dS/m, ودرجة الحموضة من قاعدية الى قاعدية عالية تتراوح بين 7,90 الى 8,97, مع عدم وجود خطر القلوية و التي تقدر بأنها غير صودية (0,01 à 1,29).

على المستوى المكاني، يشير تحليل التباين إلى اختلاف دال بين واحات النخيل الثلاثة مقارنة بجميع المعلمات الإيدافية التي تمت دراستها، مما يبرر تأثير الوضع الطبوغرافي والجغرافي لكل محطة، حيث مغادرة الأملاح المذابة من المنبع الى المصب.

أهمية التباين بالنسبة للري (قبل / بعد)، واضحة للغاية على الموصلية الكهربائية، ويرجع ذلك إلى الملوحة العالية لمياه الري المستخدمة. بينما، على SAR دالة فقط في فصل الشتاء بالانخفاض على مستوى جميع الارتفاعات في جميع واحات النخيل التي تمت دراستها.

**الكلمات المفتاحية:** مياه الري، التربة، الملوحة، درجة الحموضة، الصودية (SAR)، واحات النخيل، سبب، غرداية.

## **Relationship of water quality and properties of the soils in the palm groves in the region of Ghardaia (case of Sebseb)**

The salt in the Saharan region of Algeria waters constitute the majority of available irrigation water, they are storing in classes 3 and 4. This study aims to determine the relationship of the quality of irrigation water on changes in salinity, the reaction of the soil (pH) and the SAR of the solution from the ground in the palm groves in the region of Sebseb-Ghardaia.

This study was conducted at the level of the Valley of Sebseb, sampled Palm groves are distributed according to the altitude; a palm grove of Jedide upstream, a palm grove of Cheaab El-aargoub in the center of the river and downstream a palm grove of Cheaab El-Nasser.

Analytical results on soil profiles, show that the soil is a texture Sandy particle structure, with low levels of organic matter and a low calcareous content. The soil is highly alkaline not salty and no sodium.

Outcomes related to the physico-chemical characteristics of irrigation water comes to the aquifer highlight an average to mediocre (C3S1) for the palm grove of Jedide, a poor quality to bad (C4S1) for the palm grove Cheaab El-aargoub and water are very not recommended for irrigation (C5S1) in the palm grove of Cheaab El-Nasser. These waters are characterized by a sulfated-magnesian facies to the three palm groves.

The analyses performed on soils irrigated three palm groves are qualified that soils are not salty little sales with a conductivity ranging from 0.07 dS/m at 1.02 dS/m, the pH is alkaline to strongly alkaline ranging from 7.90 to 8.97 , with no risk of alkalization of the SAR perspective which is estimated as no sodium (0.01 to 1.29).

Spatially, the analysis of variance indicates a mainly significant deference between the three palm groves trees with all the edaphic parameters studied, thus justifying the effect of topographic and geographic situation of each station, where soluble salts have been migrated upstream to downstream.

The significance of relating to irrigation variance (before/after), is very visible on the electrical conductivity, this is due to the high salinity of irrigation water used. While on the SAR is served only in the winter season by a reduction on all walks of life and in all the palm groves.

**Key words:** water irrigation, soil, salinity, pH, sodicite (SAR), palm groves, Sebseb, Ghardaia.

*Liste des abréviations*

<b>°C</b>	Degré Celsius
<b>µm</b>	Micro mètre
<b>µS/cm</b>	Micro Siemens par centimètre
<b>A.N.R.H</b>	Agence nationale des Ressources hydriques
<b>ADE</b>	Algérienne des eaux
<b>CE</b>	Conductivité électrique
<b>D.P.A.T</b>	Direction de planification et d'aménagement des territoires
<b>dS/m</b>	Di Siemens par mètre
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>ONM</b>	Office National Météorologique
<b>meq/l</b>	Milliéquivalent par litre
<b>S.A.U.</b>	Surface Agricole Utile.
<b>UV</b>	<i>Ultraviolet</i>
<b>mg/l</b>	Milligramme/litre
<b>SAR</b>	Sodium adsorption ratio (Taux d'adsorption de sodium)
<b>SG</b>	Sable grossier
<b>SF</b>	Sable fin
<b>L+A</b>	Limon + Argile
<b>U.S.D.A.</b>	United States Department of Agriculture
<b>pH</b>	Potentiel hydrogène

## *Liste des figures*

N°	Titre	Page
<b>Figure 01</b>	Limites administratives de la région d'étude (D.P.A.T., 2005)	7
<b>Figure 02</b>	Oasis de Sebseb dans la chebka du M'Zab	8
<b>Figure 03</b>	Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN, région de Ghardaïa (1990 - 2016).	12
<b>Figure 04</b>	Etage bioclimatique de Ghardaïa selon le climagramme d'EMBERGER (1990 -2016).	13
<b>Figure 05</b>	Répartition spatiale des stations de prélèvement du sol et de l'eau au niveau de la région de Sebseb.	22
<b>Figure 06</b>	Schéma récapitulatif du plan d'échantillonnage	26
<b>Figure 07</b>	Faciès chimiques des eaux d'irrigation des trois palmeraies selon le diagramme de PIPER.	35
<b>Figure 08</b>	Classification des eaux d'irrigation dans le site d'étude (Diagramme de RIVERSIDE modifié par DURAND)	37
<b>Figure 09</b>	Evolution de la conductivité électrique du sol (dS/m à 25°C) avant et après irrigation dans les trois palmeraies au printemps	47
<b>Figure 10</b>	Boite à moustaches de la variation de la conductivité électrique du sol dans les trois palmeraies au printemps.	48
<b>Figure 11</b>	Evolution de la conductivité électrique du sol (dS/m à 25°C) avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison estivale	50
<b>Figure 12</b>	Boite à moustaches de la variation de la conductivité électrique du sol dans les trois palmeraies pendant la saison estivale.	51
<b>Figure 13</b>	Evolution de la conductivité électrique du sol (dS/m à 25°C) avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison d'automne.	52
<b>Figure 14</b>	Boite à moustaches de la variation de la conductivité électrique du sol dans les trois palmeraies pendant la saison d'automne.	54
<b>Figure 15</b>	Evolution de la conductivité électrique du sol (dS/m à 25°C) avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant l'hiver.	56
<b>Figure 16</b>	Boite à moustaches de la variation de la conductivité électrique du sol dans les trois palmeraies pendant la saison hivernale.	57
<b>Figure 17</b>	Evolution du pH du sol dans le profil avant et après irrigation dans les trois	63

	palmeraies pendant la saison du printemps.	
<b>Figure 18</b>	Boite à moustaches de la variation du pH du sol dans les trois palmeraies pendant la saison de printemps.	64
<b>Figure 19</b>	Evolution du pH du sol dans le profil avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison estivale.	66
<b>Figure 20</b>	Boite à moustaches de la variation du pH du sol dans les trois palmeraies pendant la saison estivale.	67
<b>Figure 21</b>	Evolution du pH du sol dans le profil avant et après irrigation dans les trois palmeraies en saison d'automne.	69
<b>Figure 22</b>	Boite à moustaches de la variation du pH du sol dans les trois palmeraies en saison d'automne.	70
<b>Figure 23</b>	Evolution du pH du sol dans le profil avant et après irrigation dans les trois palmeraies en saison hivernale.	72
<b>Figure 24</b>	Boite à moustaches de la variation du pH du sol dans les trois palmeraies pendant la saison d'hiver.	73
<b>Figure 25</b>	Evolution du profil SAR de la solution du sol avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison printanière.	78
<b>Figure 26</b>	Boite à moustaches de la variation du profil SAR de la solution du sol dans les trois palmeraies pendant la saison du printemps.	79
<b>Figure 27</b>	Evolution du profil SAR de la solution du sol avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison estivale.	81
<b>Figure 28</b>	Boite à moustaches de la variation du profil SAR de la solution du sol dans les trois palmeraies pendant la saison estivale.	82
<b>Figure 29</b>	Evolution du profil SAR de la solution du sol avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison d'automne.	83
<b>Figure 30</b>	Boite à moustaches de la variation du profil SAR de la solution du sol dans les trois palmeraies pendant la saison d'automne	84
<b>Figure 31</b>	Evolution du profil SAR de la solution du sol avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison d'hiver.	86
<b>Figure 32</b>	Boite à moustaches de la variation du profil SAR de la solution du sol dans les trois palmeraies pendant la saison d'hiver.	87

*Liste des photos*

<b>N°</b>	<b>Titre</b>	<b>Page</b>
<b>Photo 01</b>	Palmeraie de Jedide en amont d'oued Sebseb (GUESSOUM, 2016)	23
<b>Photo 02</b>	Palmeraie de Cheaab El-aargoub au centre d'oued Sebseb (GUESSOUM, 2016)	24
<b>Photo 03</b>	Palmeraie de Cheaab El-Nasser en aval d'oued Sebseb (GUESSOUM, 2016)	25
<b>Photo 04</b>	Profil du sol cultivé de la palmeraie de Jedide	39
<b>Photo 05</b>	Profil du sol cultivé de la palmeraie de Cheaab El-aargoub	41
<b>Photo 06</b>	Profil du sol cultivé de la palmeraie de Cheaab El-Nasser	43

## Liste des tableaux

N°	Titre	Page
<b>Tableau 01</b>	Données climatiques de la zone d'étude de 1990 à 2016 (O.N.M., 2018)	9
<b>Tableau 02</b>	Principaux cultivars de dattier à Sebseb (HOUICHITI, 2009)	19
<b>Tableau 03</b>	Les coordonnées géographiques et l'altitude moyenne des trois palmeraies échantillonnées	22
<b>Tableau 04</b>	Résultats d'analyse des eaux d'irrigation des trois palmeraies	34
<b>Tableau 05</b>	Qualité des eaux d'irrigation dans les palmeraies d'étudiées	36
<b>Tableau 06</b>	Résultats des analyses du profil sol de la parcelle cultivé dans la palmeraie de Jedide.	39
<b>Tableau 07</b>	Résultats des analyses du profil sol de la parcelle cultivé dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub.	41
<b>Tableau 08</b>	Résultats des analyses du profil sol de la parcelle cultivé dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser.	44
<b>Tableau 09</b>	Evolution de la salinité, avant/après irrigation dans les trois palmeraies étudiées au printemps.	46
<b>Tableau 10</b>	Test de Tukey de la salinité du sol entre les trois palmeraies au printemps	48
<b>Tableau 11</b>	Test de Tukey de la salinité du sol entre avant/après irrigation au printemps.	49
<b>Tableau 12</b>	Evolution de la salinité avant/après irrigation dans les trois palmeraies d'étudiées en saison estivale.	49
<b>Tableau 13</b>	Test de Tukey de la salinité du sol entre les trois palmeraies en saison estivale.	51
<b>Tableau 14</b>	Test de Tukey de la salinité du sol entre avant/après irrigation en saison estivale.	52
<b>Tableau 15</b>	Evolution de la salinité avant/après irrigation dans les trois palmeraies d'étudiées pendant la saison d'automne.	52
<b>Tableau 16</b>	Test de Tukey de la salinité du sol entre les trois palmeraies pendant la saison d'automne.	54
<b>Tableau 17</b>	Test de Tukey de la salinité du sol entre avant/après irrigation pendant la saison d'automne.	55

<b>Tableau 18</b>	Evolution de la salinité avant et après irrigation dans les trois palmeraies d'étudiées pendant la saison hivernale.	55
<b>Tableau 19</b>	Test de Tukey de la salinité du sol entre les trois palmeraies pendant la saison hivernale.	57
<b>Tableau 20</b>	Test de Tukey de la salinité du sol entre avant/après irrigation pendant la saison hivernale.	58
<b>Tableau 21</b>	Evolution de la réaction du sol, avant/après irrigation dans les trois palmeraies étudiées pendant la saison de printemps.	62
<b>Tableau 22</b>	Test de Tukey de la réaction du sol entre les trois palmeraies pendant la saison de printemps.	64
<b>Tableau 23</b>	Test de Tukey de la réaction du sol entre avant/après irrigation pendant la saison de printemps.	64
<b>Tableau 24</b>	Evolution de la réaction du sol, avant/après irrigation dans les trois palmeraies étudiées en saison estivale.	65
<b>Tableau 25</b>	Test de Tukey de la réaction du sol entre les trois palmeraies pendant la saison estivale	67
<b>Tableau 26</b>	Test de Tukey de la réaction du sol entre avant/après irrigation pendant la saison estivale	67
<b>Tableau 27</b>	Evolution de la réaction du sol, avant/après irrigation dans les trois palmeraies d'étudiées pendant la saison d'automne.	68
<b>Tableau 28</b>	Test de Tukey de la réaction du sol entre les trois palmeraies pendant la saison d'automne.	70
<b>Tableau 29</b>	Test de Tukey de la réaction du sol entre avant/après irrigation pendant la saison d'automne.	70
<b>Tableau 30</b>	Evolution de la réaction du sol, avant/après irrigation dans les trois palmeraies étudiées en saison hivernale.	71
<b>Tableau 31</b>	Test de Tukey de la réaction du sol entre les trois palmeraies pendant la saison d'hiver.	73
<b>Tableau 32</b>	Test de Tukey de la réaction du sol entre avant/après irrigation pendant la saison d'hiver.	73
<b>Tableau 33</b>	Evolution du SAR de la solution du sol, avant/après irrigation dans les trois palmeraies étudiées en saison printanière.	78
<b>Tableau 34</b>	Test de Tukey du SAR de la solution du sol entre les trois palmeraies à la saison du printemps.	79

<b>Tableau 35</b>	Test de Tukey du SAR de la solution du sol entre avant/après irrigation à la saison du printemps.	80
<b>Tableau 36</b>	Evolution du SAR du sol, avant/après irrigation dans les trois palmeraies étudiées pendant la saison estivale	80
<b>Tableau 37</b>	Test de Tukey du SAR de la solution du sol entre les trois palmeraies pendant la saison estivale.	82
<b>Tableau 38</b>	Test de Tukey du SAR de la solution du sol entre avant/après irrigation pendant la saison estivale.	82
<b>Tableau 39</b>	Evolution du SAR du sol, avant/après irrigation dans les trois palmeraies d'étudiées pendant la saison d'automne.	83
<b>Tableau 40</b>	Test de Tukey du SAR de la solution du sol entre les trois palmeraies pendant la saison d'automne.	85
<b>Tableau 41</b>	Test de Tukey du SAR de la solution du sol entre avant/après irrigation pendant la saison d'automne.	85
<b>Tableau 42</b>	Evolution du SAR du sol, avant/après irrigation dans les trois palmeraies d'étudiées pendant la saison hivernale.	86
<b>Tableau 43</b>	Test de Tukey du SAR de la solution du sol entre les trois palmeraies pendant la saison d'hiver.	87
<b>Tableau 44</b>	Test de Tukey du SAR de la solution du sol entre avant/après irrigation pendant la saison d'hiver.	88

INTRODUCTION .....	1
--------------------	---

## ***PREMIERE PARTIE : MATERIEL ET METHODES D'ETUDE***

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

1. Situation géographique de la willaya de Ghardaïa .....	6
2. Situation géographique et administrative de la commune de Sebseb .....	6
3. Synthèse climatique et bioclimatique.....	9
3.1. Synthèse climatique .....	9
3.1.1. Température.....	9
3.1.2. Précipitation.....	10
3.1.3. Humidité relative.....	10
3.1.4. Vent .....	10
3.1.5. Evaporation .....	10
3.1.6. Insolation .....	10
3.2. Synthèse bioclimatique.....	11
3.2.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN.....	11
3.2.2. Climagramme d'EMBERGER .....	12
4. Géomorphologie .....	13
4.1. Plaine de l'Ouest.....	14
4.2. Chebka.....	14
4.3. Hamada.....	14
5. Géologie .....	14
6. Hydrographie .....	15
6.1. Vallées de la partie occidentale.....	15

6.2. Oueds de la chebka .....	15
6.2.1. Importance des ruissellements.....	16
7. Hydrogéologie .....	16
7.1. Nappe phréatique .....	16
7.2. Nappe du Continental Intercalaire .....	17
8. Pédologie .....	17
9. Occupation du sol.....	18
10. Productions agricoles .....	18
10.1. Phoeniciculture .....	18
10.1.1. Importance .....	18
10.2. Arboriculture fruitière .....	19
10.3. Maraîchage .....	20
10.4. Cultures fourragères .....	20
10.5. Culture des arachides .....	20
10.6. Production animale .....	20
<b><i>Chapitre II. Matériel et méthodes d'étude</i></b>	
1. Approche méthodologique .....	21
2. Choix de la région d'étude .....	21
3. Echantillonnage .....	21
3.1. Choix des palmeraies .....	21
3.2. Présentation des palmeraies choisies .....	23
3.2.1. Palmeraie à la zone agricole de Jedide.....	23
3.2.2. Palmeraie à la zone agricole de Cheaab El-aargoub.....	23

3.2.3. Palmeraie à la zone agricole de Cheaab El-Nasser.....	24
4. Méthode d'échantillonnage des matériels à analyser (eau et sol).....	25
4.1. Caractérisations des sols .....	25
4.2. Méthode d'échantillonnage du sol .....	25
4.3. Méthode d'échantillonnage d'eau.....	26
4.3.1. Représentativité des échantillons.....	27
4.3.2. Stockage des échantillons d'eau.....	27
5. Méthodes d'analyse .....	27
5.1. Méthodes d'analyse du sol.....	27
5.1.1. Mesure du pH.....	27
5.1.2. Mesure de la conductivité électrique.....	28
5.1.3. Granulométrie .....	28
5.1.4. Humidité.....	28
5.1.5. Matière organique.....	28
5.1.6. Dosage du calcaire total.....	28
5.1.7. Dosage du calcaire actif .....	28
5.1.8. Caractéristiques chimiques de l'extrait 1/5 du sol .....	29
5.2. Méthodes d'analyse d'eau d'irrigation.....	29
6. Analyse statistique .....	30
6.1. Statistiques descriptives.....	30
6.2. Analyse de la variance à un facteur.....	30

## ***DEUXIEME PARTIE : RESULTAT & DISCUSSION***

### ***Chapitre III. Caractéristiques des eaux d'irrigation***

1. Critères de classification des eaux d'irrigation.....	32
1.1. Salinité de l'eau .....	32
1.2. Danger d'alcalinisation du sol .....	33
1.3. Faciès chimique (Diagramme de PIPER).....	33
2. Caractérisation des eaux d'irrigation .....	33
2.1. Faciès chimique .....	34
2.2. Détermination des classes d'eau d'irrigation.....	35

### ***Chapitre IV. Caractéristiques des sols de la zone d'étude***

1. Caractéristiques du sol .....	38
2. Description morphologique et analyse du sol.....	38
2.1. Caractérisation morphologique et analytique du profil cultivé de la palmeraie de Jedide N° 1.....	38
2.1.1. Morphologie du profil N° 1.....	38
2.1.2. Résultats des analyses du profil n°1.....	39
2.3. Caractérisation morphologique et analytique du profil cultivé de la palmeraie de Cheaab El-aargoub N° 02.....	40
2.3.1. Morphologie du profil N°2.....	40
2.3.2. Résultats des analyses du profil n°2.....	41
2.5. Caractérisation morphologique et analytique du profil cultivé de la palmeraie de Cheaab El-Nasser N° 3.....	42
2.5.1. Morphologie du profil N° 3.....	42
2.1.2. Résultats des analyses du profil n°3.....	43
3. Discussion.....	44
4. Conclusion .....	45

### ***Chapitre V. Evolution de la salinité du sol***

1. Résultats des mesures de la salinité des sols .....	46
--------------------------------------------------------	----

1.1. Evolution de la salinité du sol au printemps .....	46
1.2. Evolution de la salinité du sol en été .....	49
1.3. Evolution de la salinité du sol en automne .....	52
1.4. Evolution de la salinité du sol en hiver.....	55
2. Discussion .....	58

### ***Chapitre VI. Evolution de la réaction du sol (pH)***

1. Résultats de mesure du pH des sols .....	62
1.1. Evolution de la réaction du sol au printemps .....	62
1.2. Evolution de la réaction du sol en été .....	65
1.3. Evolution de la réaction du sol en automne .....	68
1.4. Evolution de la réaction du sol en hiver.....	71
2. Discussion .....	74

### ***Chapitre VII. Evolution du SAR de la solution du sol***

1. Résultats de calcul du SAR de la solution des sols .....	77
1.1. Evolution du SAR de la solution du sol au printemps.....	77
1.2. Evolution du SAR de la solution du sol en été.....	80
1.3. Evolution du SAR de la solution du sol en automne.....	83
1.4. Evolution du SAR de la solution du sol en hiver.....	86
2. Discussion .....	88

<b>CONCLUSION</b> .....	91
-------------------------	----

<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b> .....	95
------------------------------------------	----

<b>ANNEXES</b> .....	105
----------------------	-----

# ***INTRODUCTION***

## *Introduction*

Le Sahara algérien, avec une superficie de plus de 02 millions de km<sup>2</sup>, est l'un des déserts le plus aride et le plus chaud au monde. Sous ce climat très sec et très évaporant, la vie s'est traditionnellement organisée autour de la culture du palmier dattier, rendue possible par l'existence des points d'eau des oasis (DAOUD & HALITIM, 1994).

Depuis longtemps, les oasis phoenicicoles sahariennes ont nourri de nombreuses générations de populations à partir d'une organisation originale des écosystèmes domestiqués, basée sur différentes méthodes d'exhaure de l'eau et de l'association du palmier dattier à d'autres cultures et élevages (TOUTAIN, 1988).

Le palmier dattier représentait jadis pour les populations des oasis le pivot de leur vie. Il assure une source d'alimentation, une rente commerciale, un matériel de confection et d'artisanat, et il est utilisé dans la lutte contre l'ensablement (DADDI BOUHOUN, 2010).

Le patrimoine phoenicicole algérien reste sujet à diverses contraintes qui entravent son développement et sa valorisation. L'exploitation irraisonnée des ressources naturelles sahariennes, la mauvaise gestion des eaux et des sols, en dépit des orientations de la politique nationale, inhérente au développement saharien, a conduit dans certaines régions à des problèmes de dégradation de l'environnement hydro-édaphique. Parmi les problèmes recensés, la salinité des eaux et des sols, et le niveau élevé de la nappe phréatique, tout cela est dû à la mauvaise gestion de l'irrigation et du drainage. Il faut assurer un développement durable des ressources naturelles de l'écosystème des oasis fragilisées (SAKER & DADDI BOUHOUN, 2007).

Le sol est une ressource naturelle à préserver pour l'agriculture et l'environnement. Il est soumis dans les régions du sud du globe à une dégradation, de type physique et chimique, naturel et anthropique, notamment un déficit et un excès d'eau, la compaction, la diminution de la fertilité et la salinisation. Ces situations de stress peuvent conduire à la dégradation biologique des sols et à la désertification (ROBERT, 1992). Beaucoup de régions à travers le monde ont connu des situations désastreuses à cause de l'engorgement et de la salinisation des sols (MAINGUET, 1995).

Les sols des zones arides et semi arides, qui reposent le plus souvent sur des formations marneuses et gréseuses, souffrent davantage à cause du problème de dégradation. Cette dégradation du sol affecte ainsi leur fertilité d'où leurs réserves en matières organiques et minérales s'appauvrissent (FROSSARD, 1996).

La salinisation est l'un des anciens aspects de dégradation des sols dans le monde (McWILLIAM, 1986), et l'un des problèmes les plus sérieux qui touche l'environnement à l'échelle mondiale, notamment les régions semi-arides et arides (SERVANT, 1970 ; DURAND, 1983).

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 y ait une forte concentration en sels (DUBOST, 1994). En Algérie, les sols salés occupent environ 15 % de la surface cartographiée dans différentes régions, essentiellement des plaines alluviales, destinées à l'irrigation (DAOUD, 1993). Les sols salsodiques en zones arides algériennes, représentent environ 25 % de la surface cartographiée (HALITIM, 1985).

Les sols salins sont répandus partout en Algérie. Au Nord-Ouest, ils sont par exemple localisés dans la vallée de Chlef (BOULAINÉ, 1957 ; DAOUD, 1981 ; DAOUD, 1983 ; BENAMAR, 1991 ; DAOUD, 1993) et la vallée de l'Oranie (AUBERT, 1975). Aussi, au Nord Est, on les trouve dans plusieurs régions, comme la zone de l'Hodna (DEKKICHE, 1974), les hautes plaines de Sétif et de Constantine (AUBERT, 1975). Ils ont aussi une grande extension dans les régions sahariennes du sud de Biskra et au-delà (DUTIL, 1971) jusqu'à Touggourt (SAKER, 2000), au M'Zab (DADDI BOUHOUN, 1997), à Ouargla (HALILAT, 1998 ; IDDER, 1998 ; HAMDIAÏSSA, 2001). L'aridité et le climat continental augmentent l'intensité de l'accumulation des sels (PANKOVA, 1992), entraînant dans certains cas, l'abandon des parcelles irriguées dans les palmeraies (BELHADJ *et al.*, 1975).

La salinisation des sols constitue une grande menace pour certains sols cultivés dans le monde (CHEVERRY & BOURRIE, 1998). En particulier, dans les écosystèmes sahariens où la phoeniciculture représente la spéculation la plus dominante, où aussi une influence de la salinité est très marquée sur le rendement de celle-ci (DAOUD & HALITIM, 1994). A cet effet, la mission d'appréciation des risques de salinisation et la dynamique des sels est très importante dans ce système : eau-sol-palmeraie (DADDI BOUHOUN *et al.*, 2004).

La salinisation est un processus d'accumulation des sels solubles à la surface du sol et dans la zone racinaire (CHEVERRY, 1995). Le phénomène de salinisation est souvent accompagné par la sodisation du complexe adsorbant (CHEVERRY & ROBERT, 1998). La salinisation et la sodisation peuvent provoquer des effets nocifs sur le sol et sur les végétaux, et à fin terme, une stérilisation du sol qui peut engendrer une disparition du couvert végétal (CHEVERRY, 1995 ;

SAIDI *et al.*, 2004). Les sols affectés par les sels solubles et/ ou le sodium échangeable, sont généralement appelés des sols halomorphes, salsodiques ou salés (AUBERT, 1975 ; AUBERT, 1983 ; LOYER, 1991). L'USSL (1954), identifie trois catégories de ces sols, les sols salés, les sols salés à alcalis et les sols à alcalis.

Les facteurs de la formations des sols salés sont nombreux et essentiellement de deux natures. Ils nécessitent un climat évaporant et la présence d'une source de sels solubles (HAMDY *et al.*, 1995). Le phénomène de salinisation peut se produire lors de la formation des sols, il s'agit alors de la salinisation primaire, ce phénomène se produit par l'altération en place des roches salifères primaires (GAUCHER *et al.*, 1974). La salinisation secondaire est un processus indépendant de la roche mère, le sel trouvé dans le sol provient de la redistribution des sels accumulés précédemment. Ce type de salinisation est favorisé par les facteurs climatiques et hydrogéologiques ainsi que par l'activité humaine (GAUCHER *et al.*, 1974 ; HULLIN, 1983).

Les problèmes de salinisation et de sodisation des sols ont été signalés un peu partout dans le monde, particulièrement, là où il y a eu l'introduction et le développement des systèmes irrigués pour la mise en valeur des sols (BERTRAND *et al.*, 1993 ; BADRAOUI *et al.*, 1998 ; N'DIAYE et GUINDO, 1998 ; HACHICHA, 1998; DJAMAI, 2007). Plus de 20 % des terres cultivées sur le globe terrestre, seraient aujourd'hui affectés à des degrés de dégradation variables par ces problèmes (TYAGI, 1996). Si les effets de la salinisation et de la sodisation sur les propriétés des sols et des cultures sont connus, les connaissances des mécanismes, relevant d'un ensemble de processus physico-chimiques, restent insuffisantes pour mener un diagnostic précis et pour évaluer les risques (CHEVERRY & ROBERT, 1993 ; DJAMAI, 2007).

Pour l'étude du sol, n'oublions pas le coté de l'eau, car de l'étude se rapportant à l'Algérie, résulte que les terres irriguées, dégradées par la salinisation représentent environ de 10 à 15 % des périmètres irrigués (HAMDY *et al.*, 1995 ; CHEVERY & ROBERT, 1998). Les eaux d'irrigation au Sahara algérien sont d'origine souterraine et contiennent des quantités excessives de sels solubles. Cette salinité se concentre dans la zone racinaire et provoque la salinité des sols (DAOUD & HALITIM ,1994).

De nombreuses recherches ont été effectuées sur le problème de la salinité en zone aride. Nous citons : MESKINE (1992), BOUZID (1993), BENZAHY (1994), OMEIRI (1994), OUSTANI (1994), TRAORE (1995), BENBRAHIM (2001) et BENBRAHIM (2006), BENBRAHIM (2018).

La plupart des études agro-pédologiques des régions sahariennes ont été menées par l'agence Nationale des ressources hydraulique (ANRH). Sur un million d'hectares prospectés et cartographies, environ 113 000 ha ont été identifiés comme aptes à l'irrigation et se situent autour des anciennes palmeraies de l'oued Rhigh ou Ghir, de Touat Gourara-Tidikelt et sur les nouveaux périmètres de Gassi Touil, Hassi Messaoud, In Aménas et également Abadla. L'axe Guerrara – Ghardaia – Insallah n'a fait l'objet que de quelques études ponctuelles couvrant des superficies de 100 à 500 ha.

Cette absence d'étude des sols avant toute attribution des terres est à l'origine de l'échec de certains promoteurs a qui ont été attribués des sols médiocres (peu profonds et salés). Il est a noté que, à nos jours aucune étude pédologique n'a été réalisée sur la palmeraie de Sebseb, sauf quelques prospections effectuées par la Direction des Services Agricole de Ghardaïa. Pour cette raison, nous avons effectué cette étude sur une zone agricole à vocation phoenicicole située dans l'oued de Sebseb-Ghardaïa (au centre d'Algérie) où les jardins du palmier dattier sont suffisamment irrigués par les eaux de la nappe phréatique rechargée elle-même par le passage des crues de la vallée. La qualité hydro-chimique de ces eaux dépend essentiellement de leur origine, de la nature des alluvions et des roches d'emmagasinement. Ainsi les eaux d'irrigation ont une CE qui varie de 0.39 dS/m (en amont de la vallée) à 6.63 dS/m (en aval) (LAOUAR, 2013 ; GUESSOUM et *al.*, 2014).

C'est dans ce contexte, qu'on propose ce travail qui vise à étudier la relation de la qualité des eaux d'irrigation et les propriétés physico-chimiques du sol dans des palmeraies situées au niveau de la vallée de Sebseb-Ghardaïa- à différentes altitude (amont, centre, aval).

Notre travail aura comme objectif :

- De connaitre l'effet de la salinité des eaux d'irrigation sur l'évolution des propriétés du sol du point de vue salinisation, sodisation et alcalinisation.
- d'apprendre la nature de la dynamique des sels solubles du sol dans des palmeraies à différents niveaux d'altitude (amont, centre, aval).
- d'approfondir la compréhension de l'intensification des pratiques culturales sur la qualité des sols, des eaux et de l'état des palmeraies

La présente thèse comporte deux parties:

La première partie est pour la zone étudiée et le matériel avec les méthodes d'études qui se présentent en deux chapitres :

\* Le premier chapitre sera consacré à la zone d'étude, en insistant sur les caractéristiques principales du paysage, en particulier le climat de la région avec le caractère saisonnier des variations de la pluviométrie et de l'évaporation qui peuvent contribuer à l'accentuation du phénomène de la salinisation.

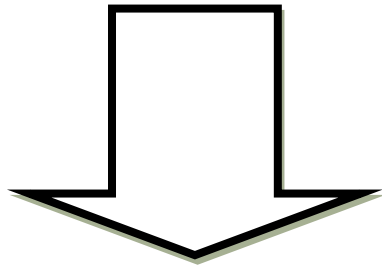
\* Dans le second chapitre, il sera question du matériel et des méthodes d'études, nous y présenteront les travaux effectués sur les sols et les eaux d'irrigations des palmeraies, les campagnes d'échantillonnages, les techniques analytiques et les outils de traitements des données.

La deuxième partie, est pour les résultats et les discussions qui s'articulent en cinq chapitres :

- Dans le premier chapitre, « Caractérisation des eaux d'irrigation », c'est une détermination essentielle de la salinité, la sodicité et le faciès chimique des eaux.
- Dans le deuxième chapitre, « Caractérisation des sols de la zone d'étude », c'est une identification et une caractérisation morpho-analytique des propriétés du sol des palmeraies.
- Dans le troisième chapitre, « Evolution de la salinité du sol », c'est pour permettre de déterminer l'effet des eaux d'irrigation sur la dynamique saisonnière des sels solubles.
- Dans le quatrième chapitre, « Evolution de la réaction du sol », c'est pour viser à étudier l'alcalinité du sol engendrait par les eaux d'irrigation et leur évolution saisonnière.
- Dans le cinquième chapitre, « Evolution du SAR de la solution du sol », c'est pour permettre d'apprendre l'impact des eaux d'irrigation sur la dynamique du sodium adsorbable et son évolution saisonnière.

Et nous terminons par une conclusion générale.

***PREMIERE PARTIE***



***MATERIEL ET  
METHODES D'ETUDE***

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

### 1. Situation géographique de la wilaya de Ghardaïa

La wilaya de Ghardaïa s'étale sur une superficie de 86 560 km<sup>2</sup>. Elle est à 600 km au sud d'Alger, au centre de l'Algérie, au nord du Sahara algérien à 32° 30 latitude Nord et à 3° 45 de longitude (D.P.A.T. 2014)

La wilaya de Ghardaïa est appelée à jouer le rôle de jonction entre la zone des hauts plateaux et le grand sud.

Elle est limitée (D.P.A.T., 2014) (Fig.01):

- Au Nord par la Wilaya de Laghouat (200 Km) ;
- Au Nord Est par la Wilaya de Djelfa (300 Km) ;
- A l'Est par la Wilaya d'Ouargla (190 Km) ;
- Au Sud par la Wilaya de Tamanrasset (1370 Km) ;
- Au Sud- Ouest par la Wilaya d'Adrar (400 Km) ;
- A l'Ouest par la Wilaya d'El-Bayadh (350 Km).

### 2. Situation géographique et administrative de la commune de Sebseb

La commune de Sebseb (wilaya de Ghardaïa) est issue du découpage administratif de 1984, elle a bénéficié d'un chef-lieu communal, rattaché à la daïra de Metlili.

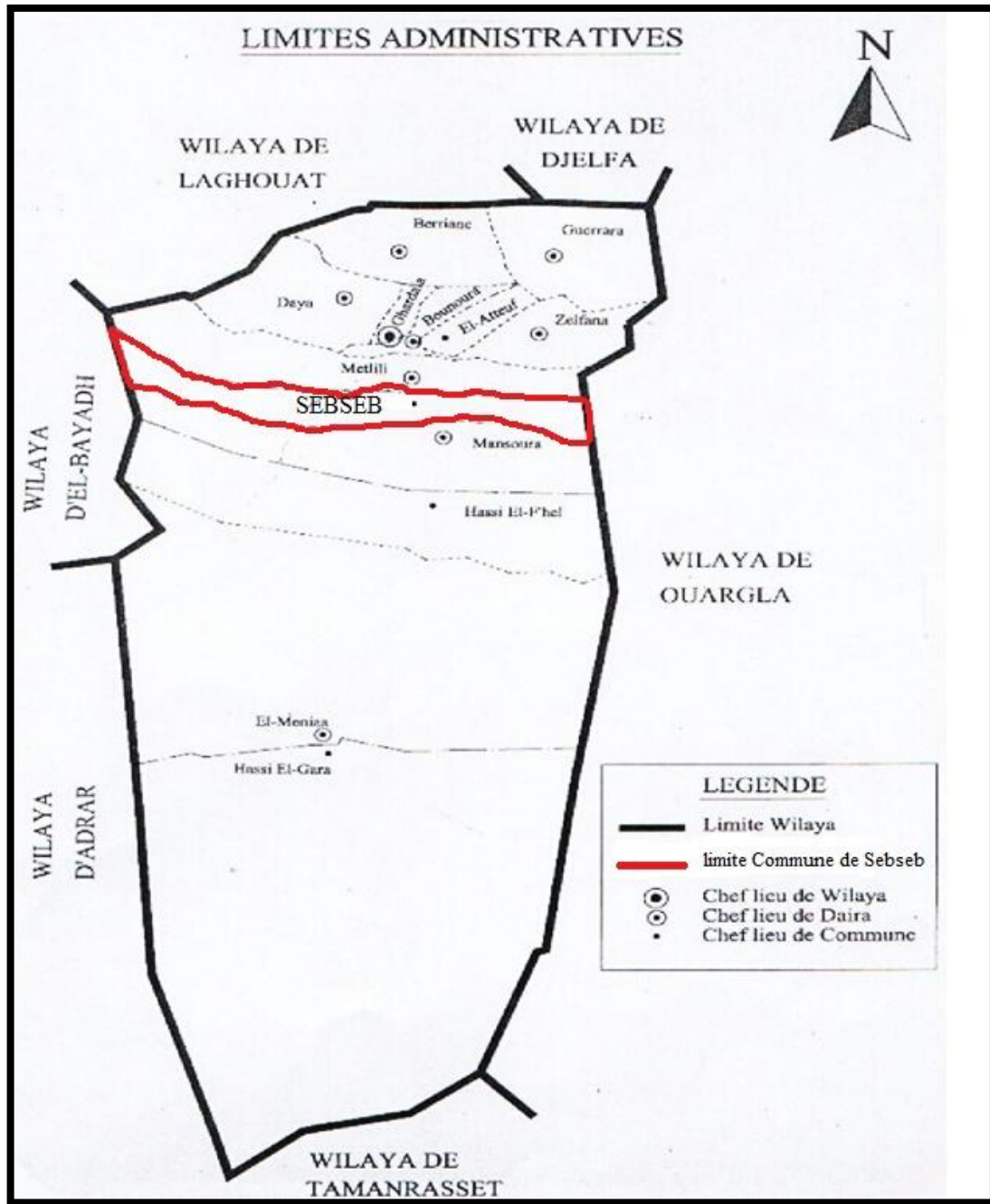
La commune a une superficie de 5640 km<sup>2</sup> (6.55% de la superficie totale de la wilaya), elle s'étend du Nord au Sud sur 15 à 30 km et de l'Est à l'Ouest sur environ 200 km.

Le chef-lieu communal, se situe sur la parallèle 32 08' latitude Nord et 3 36' longitude Est. Cette localité se trouve à l'Ouest de la route national N°01, à 20 km au Sud du chef-lieu de la daïra de Metlili, sur la dorsal du M'ZAB. Elle est à 60 km de Ghardaïa ville et à 660 km de la capitale Alger (D.F.W.G., 2014).

La commune de Sebseb est limitée (Fig.01) :

- Au Nord par la commune de Metlili (wilaya de Ghardaïa) ;
- Au Sud par la commune de Mansourah (wilaya de Ghardaïa) ;

- A l'Est par la commune de Rouissat (wilayad'Ouargla). A l'Ouest par la commune de Brizina (wilaya d'ElBaydh) (D.F.W.G., 2014).



**Figure 01.** Limites administratives de la wilaya de Ghardaïa et de la commune de Sebseb (D.P.A.T., 2005).

Sebseb a été implantée dans une vallée riche en eaux souterraines peu profondes, il s'agit d'un lit d'oued qui porte le même nom que la région (Oued Sebseb) (HOUICHITI, 2009).

La vallée de Sebseb est la plus large entre les oueds de la Chebka région rocheuse, ainsi qu'elle est reconnue par son potentiel en eau des nappes phréatiques, ce qui lui a du le nom "les cent puits" (REGNIER, 1939). Le paysage de Sebseb est celui d'une oasis saharienne, où la couverture végétale est plus ou moins concentrée grâce aux cultures, la plus marquante étant la phoeniciculture. Comme la plupart des oasis du M'Zab, elle s'étale dans une vallée bordée d'escarpements rocheux de la Chebka. (Fig. 02) (HOUICHITI, 2009).



**Figure 02.** Oasis de Sebseb dans la Chebka du M'Zab.

### 3. Synthèse climatique et bioclimatique

#### 3.1. Synthèse climatique

Le climat de la région de Ghardaïa est typiquement saharien, il se caractérise par deux saisons : une saison chaude, sèche (d'avril à septembre) et une autre tempérée (d'octobre à mars), avec une grande différence des températures d'été et d'hiver (A.N.R.H., 2011).

Parmi les facteurs climatiques, nous citerons ici la température, les précipitations, l'humidité relative de l'air, les vents, l'évaporation et l'insolation. Le tableau 01 résume les données climatiques de la région d'étude de 1990 à 2016.

**Tableau 01.**Données climatiques de la zone d'étude de 1990 à 2016 (O.N.M., 2018).

Mois	T. (C°)			P. (mm)	E. (mm)	I. (h/mois)	H. (%)	V.V (m/s)
	Moy.	Max.	Min.					
Janvier	11,30	21,90	2,49	10,91	10,42	24,40	53,25	4,50
Février	13,06	24,53	3,62	3,80	12,81	24,61	45,25	4,18
Mars	16,69	29,59	6,06	9,64	18,46	27,34	38,48	5,13
Avril	20,85	34,75	10,03	8,57	24,01	29,84	35,60	5,66
Mai	26,41	39,10	14,53	3,77	30,27	31,83	27,94	5,50
Juin	31,10	42,86	20,78	3,31	37,02	32,82	25,89	5,45
Juillet	31,78	43,99	25,57	2,35	41,67	34,78	22,17	4,17
Aout	29,64	43,83	24,98	5,46	36,23	32,53	25,50	3,11
Septembre	29,15	40,73	18,94	18,76	28,29	26,89	36,69	3,32
Octobre	22,43	34,83	13,99	7,50	18,60	26,54	43,62	3,94
Novembre	16,25	27,83	6,50	8,38	12,84	24,80	49,86	3,13
Décembre	12,32	21,72	3,07	7,25	12,47	23,84	56,33	3,32
<b>Moyenne annuelle</b>	21,75	33,80	12,55	89,70*	283,08*	340,22*	38,38	4,28
<p><b>T.</b> : Température ; <b>P.</b> : Pluviométrie ; <b>E.</b> : Evaporation ; <b>I.</b> : Insolation ; <b>H.</b> : Humidité relative  <b>V.V.</b> : Vitesse de vent ; * : Cumulés annuelle</p>								

##### 3.1.1. Température

D'après le tableau (01), la température moyenne annuelle de la région de Ghardaïa est de 21,75°C, avec 31,78°C en juillet pour le mois le plus chaud, et 11,30°C en janvier pour le mois le plus froid.

### **3.1.2. Précipitation**

Les précipitations sont très rares et irrégulières à travers les saisons et les années. Le mois le plus pluvieux est septembre, avec une pluviométrie moyenne mensuel de l'ordre de 18,76 mm, et un cumule annuel de de 89,70 mm.

### **3.1.3. Humidité relative**

L'humidité relative de l'air est très faible. La moyenne annuelle est de 38,38 %. Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année.

En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 22,17 %, c'est ce qui se passe au mois de juillet, sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds. Alors qu'en hiver elle s'élève et atteint une moyenne maximale de 56,33 % au mois de décembre.

### **3.1.4. Vent**

Dans la région de Ghardaïa, les vents sont fréquents durant toute l'année. La vitesse moyenne est de l'ordre de 4,28 m/s, avec un maximum de 5,66 m/s au mois d'avril.

Les vents d'hiver soufflent du nord-ouest, ils sont froids et relativement humides, les vents d'été soufflent du nord-est, ils sont forts et chauds. Les vents de sable soufflent du sud-est, environ 20 jours par an surtout en mars, avril et mai.

### **3.1.5. Evaporation**

L'évaporation est l'un des facteurs caractérisant l'aridité d'une région. Dans la région de Ghardaïa le maximum d'évaporation est enregistré durant le mois de Juillet avec 41,67 mm, le minimum est enregistré durant le mois de Janvier avec 10,42 mm avec un cumul annuel moyen de 283,08 mm (Tableau 01).

### **3.1.6. Insolation**

A cause de la faible nébulosité de l'atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui a un effet desséchant en augmentant la température (OZENDA, 1991). La forte luminosité est un facteur favorable pour l'assimilation chlorophyllienne, mais elle a en revanche un effet desséchant car elle augmente la température (OZENDA 1983).

Pour la région de Ghardaïa, la durée d'insolation minimum est de 23,84 heures au mois de Décembre, la durée d'insolation maximum est de 34,78 heures au mois de Juillet (Tableau 01).

### **3.2. Synthèse bioclimatique**

La température et les précipitations représentent les facteurs les plus importants pour caractériser le climat d'une région donnée (FAURIE et *al*, 1980). Le diagramme ombrothermique de Gaussen donne les périodes humides et les périodes sèches alors que le climagramme pluviométrique d'EMBERGER détermine l'étage bioclimatique.

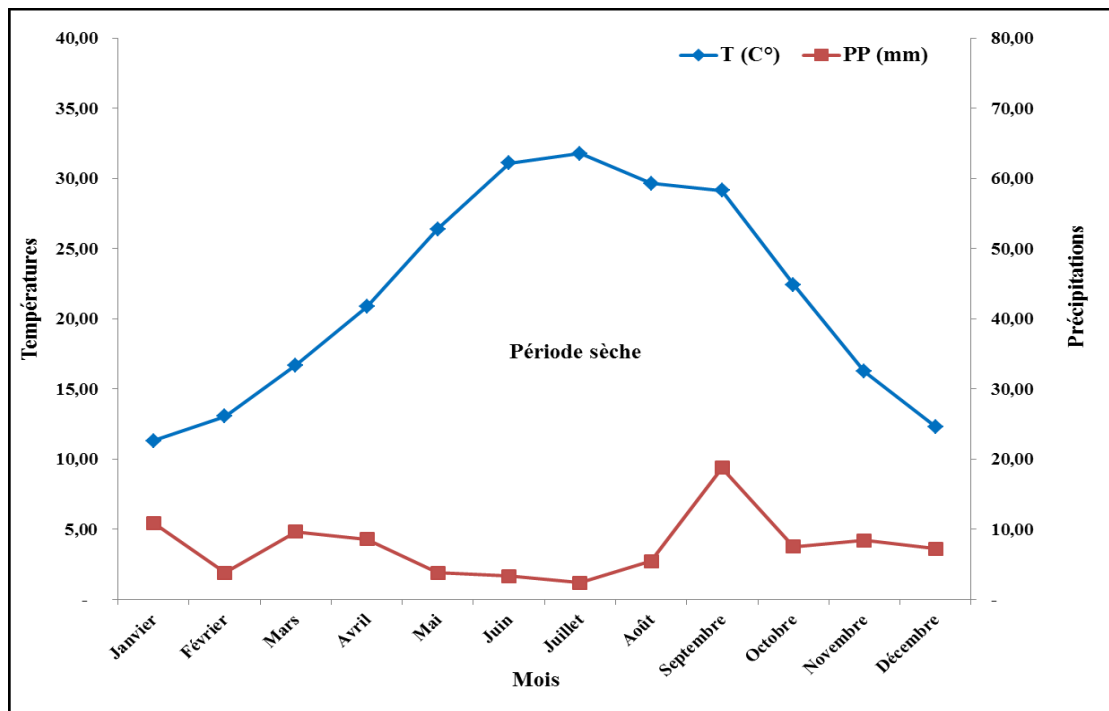
#### **3.2.1. Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN**

Selon le tableau (01) qui se base sur l'enregistrement des données de précipitations et des données de températures mensuelles sur une période de 26 ans, on peut établir la courbe pluviométrique qui détermine la période sèche.

Le diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (1953), permet de suivre les variations saisonnières de la réserve hydrique. Il est représenté (Fig.03);

- En abscisse par les mois de l'année ;
- En ordonnées par les précipitations en mm et 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 Ghardaïa, le diagramme ombrothermique montre que la période de sécheresse s'étale sur toute l'année.



**Figure 03.** Diagramme Ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN, région de Ghardaïa (1990 - 2016).

### 3.2.2. Climagramme d'EMBERGER

Le climagramme d'EMBERGER permet la classification des différents types de climats méditerranéens (DAJOZ, 1985 ; DAJOZ, 2003). Cette classification fait intervenir deux facteurs essentiels :

- En abscisse par la moyenne des minima du mois le plus froid ;
- En ordonnées par le quotient pluviothermique ( $Q_2$ ) d'EMBERGER.

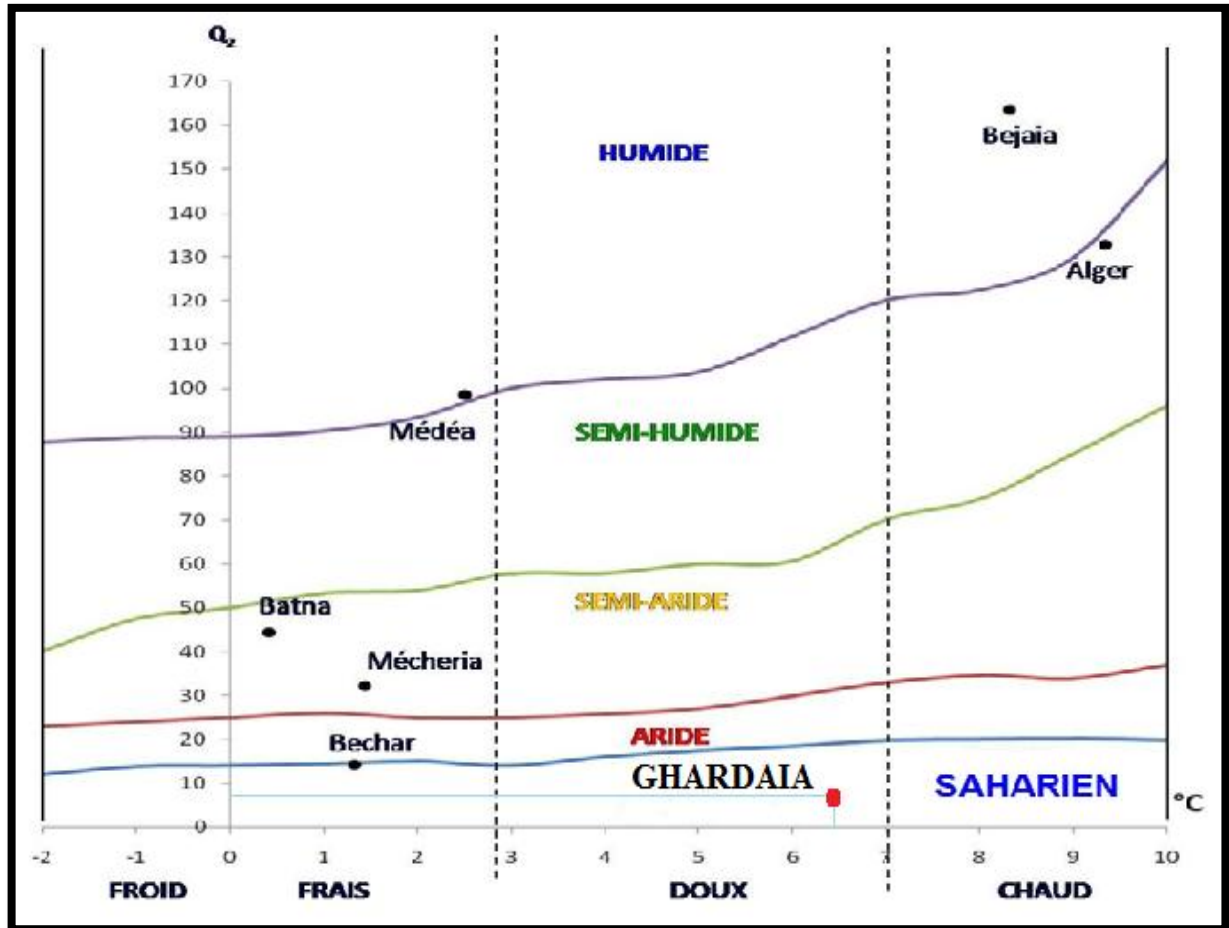
On a utilisé la formule de STEWART (1969), adaptée pour l'Algérie, qui se calcule comme suit :

$$Q_2 = 3,43.P/M-m$$

- $Q_2$  : Quotient pluviothermique d'EMBERGER ;
- P : Précipitations moyennes annuelles en mm ;
- M : La température maximale du mois le plus chaud en °C ;

- $m$  : La température minimale du mois le plus froid en °C;
- 3,43 : Coefficient de Stewart établi pour l'Algérie.

D'après la formule, Ghardaïa se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux et son quotient pluviothermique ( $Q_2$ ) est de 7,41 (Fig.04).



**Figure 04.** Etage bioclimatique de Ghardaïa selon le climagramme d'EMBERGER (1990 -2016).

#### 4. Géomorphologie

Le territoire de Sebseb comprend trois parties géo-morphologiquement différentes. Elles se disposent en bandes adjacentes de l'Ouest à l'Est. La Chebka occupe la partie centrale du territoire, sa marge à l'Est, est une Hamada, tandis qu'à l'Ouest on trouve une haute plaine (C.C.F.A., 1960 in HOUICHITI, 2009).

#### **4.1. Plaine de l'Ouest**

Un prolongement de la région septentrionale dite "zone des Dayas", zone steppique où le climat est intermédiaire entre celui du Sahara et celui du versant méridional de l'Atlas (PASSAGER, 1959). Cette partie qui couvre environ 2.400 km<sup>2</sup> (43 % de la circonscription) est parcourue par les vallées de deux oueds descendant du piémont de l'Atlas saharien : Zergoune et Mehaiguen qui arrivent ici à leur extrémité. Cette région est une sorte de cuvette, réceptacle de toutes les eaux descendantes des monts des Ksours et du Djebel Amour (Aflou et Laghouat) (CAUNNEILLE, 1968).

#### **4.2. Chebka**

Selon PASSAGER, (1959), la Chebka couvre environ 1.440 km<sup>2</sup> soit 1/4 de la surface communale. Elle est limitée à l'Ouest par la grande falaise du plateau d'Oum El Hassiane et se termine à l'Est, suivant un méridien qui peut être matérialisé par la route nationale n° 01. Cette partie est rocailleuse et présente un relief très déchiqueté par les ramifications abruptes des oueds.

Le plateau rocheux qui surplombe ces vallées est dit Gaâda. Les autres entités morphologiques rencontrées sont les massifs :

- La Gara, est une butte isolée, peu élevée à sommet plat, composée de roches et de marnes ;
- Le Djebel, formation rocheuse de hauteur et de volume plus importants ;
- Le Mahssar est un groupement de djebels (HOUICHITI, 2009).

#### **4.3. Hamada**

D'après HOUICHITI, (2009), la hamada couvre la partie Est du territoire, le terrain est vaste à ondulations douces et amples et présente une légère pente vers l'Est, direction vers laquelle tendent toutes les vallées collectrices de la Chebka, ici sans ramifications. La hamada s'étend sur environ 1.800 km<sup>2</sup>, soit 32 % de l'espace géographique de Sebseb.

### **5. Géologie**

La vallée de Sebseb est une formation qui appartient au quaternaire continental. Cette structure se présente sous forme de lits d'oueds, de dépressions et de dunes. Le plateau rocheux de la Chebka est la formation la plus ancienne, elle appartient au secondaire, représentée par le Crétacé moyen (le Turonien) et le Crétacé supérieur marin (le Sénonien) (URBATIA, 1996). La hamada de

l'Est et la plaine de l'Ouest sont formées de poudingues calcaires lacustres du Pliocène continental (URBATIA, 1996).

## **6. Hydrographie**

Les oueds sahariens sont des réseaux qui sillonnent avec une netteté remarquable le Sahara algérien. Ils datent de la période quaternaire, époque d'humidité relative, où le Sahara était parcouru par de grandes rivières, dont l'érosion a marquée d'une forte empreinte le modelé du sol (CAPOTREY, 1953).

La région de Ghardaïa est jalonnée par un grand réseau d'oueds dont les principaux sont : oued Sebseb, oued Metlili, oued M'Zab, oued N'sa et oued Zegrir (A.N.R.H., 2011). Les oueds parcourant le territoire de la commune de Sebseb sont de deux types :

### **6.1. Vallées de la partie occidentale**

- Oued Zergoune : prend son origine dans les djebels Amours de l'Atlas saharien et s'étend sur une vallée relativement étroite, pour déboucher sur le grand erg occidental à 250 km de son origine (DUBIEF, 1953);
- Oued Mehaiguen: environ 160 km de longueur, sa vallée est relativement large et ensablée. Après une bifurcation vers l'Est, d'une dizaine de kilomètres, il conflue dans l'oued Louha. Ce dernier marque la limite Ouest de la Chebka (DUBIEF, 1953).

### **6.2. Oueds de la Chebka**

D'après CAPOTREY, (1953), ils sont démesurément larges et très ramifiés en une multitude de petits oueds, nés de la jonction de plusieurs petits ravineaux (Chaâbes). Dans la circonscription de Sebseb, on trouve:

- Oueds Goullaben, Hachana et Gouffafa au Nord – Ouest ;
- Oued Mask, descend de Metlili, il est en amont d'oued Sebseb ;
- Oued Sebseb est le plus grand, il abrite l'oasis et serpente vers l'Est sur environ 100 km jusqu'à la daya Boukhellala au Sud de Zelfana, où il rejoint son parallèle oued Metlili. Un ancien itinéraire les conduit ensemble jusqu'à la sebkha de Safioune.

Le régime d'écoulement de ces oueds est irrégulier. Ils peuvent couler plusieurs fois par an ou rester à sec des années entières. Dans ce sens, on signale que les déluges même localisés, sont rares, mais les faibles valeurs de pluies sont compensées par une vitesse de chute, en général suffisante pour donner lieu à un ruissellement important (DUBIEF, 1953).

### **6.2.1. Importance des ruissellements**

Les crues des oueds jouent un rôle primordial dans le régime des puits. A chaque crue, le niveau de la nappe phréatique s'élève. En cas de sécheresse, l'eau s'abaisse plus ou moins lentement, pour arriver à son minimum; parfois même, l'eau disparaît complètement. Sans ruissellement, les faibles précipitations ne pourraient humecter suffisamment les sols profondément desséchés, pour alimenter la nappe d'eau profonde (DUBIEF, 1953). Ces ruissellements ont également des effets sur les propriétés du sol, grâce aux l'élément fins d'épandage.

## **7. Hydrogéologie**

Deux nappes différentes sont exploitées par la population de Sebseb, l'une depuis des siècles, la nappe phréatique, l'autre depuis des années, la nappe du continental intercalaire, le grand réservoir du Sahara.

### **7.1. Nappe phréatique**

L'existence d'eaux souterraines dans la région du M'Zab, s'explique par la présence d'assises marneuses imperméables, de l'étage Cénomaniens, sous les calcaires Turoniens de la Chebka (MOULIAS, 1927).

D'une manière générale, les vallées des oueds de la région sont le siège de nappes phréatiques. L'eau captée par des puits traditionnels d'une vingtaine de mètres de profondeur en moyenne mais qui peuvent atteindre 50 m et plus, permet l'irrigation des cultures pérennes et en particulier des dattiers. L'alimentation et le comportement hydrogéologique sont liés étroitement à la pluviométrie.

La nappe phréatique est la principale source pour l'irrigation. La profondeur de pompage des eaux augmente chaque fois que l'on s'éloigne de l'ancienne oasis. Les puits de la nappe phréatique se trouvent également à l'extérieur de l'oasis. Ils sont nécessaires pour les nomades, et constituent des sources d'eau et des repères pour les terrains et les parcours (HOUICHITI, 2009).

Les eaux phréatiques dans la commune de Sebseb n'ont pas la même qualité. Certains puits ont une eau relativement douce, d'autres par contre sont plus ou moins chargées en sels. Quelques puits sont même abandonnés, en raison de leur forte salinité (HOUICHITI, 2009).

L'eau d'irrigation exploitée de cette nappe est moyennement saline (0,39dS/m à 25°C) à excessivement saline (6,63dS/m à 25°C) avec une moyenne de  $3.24 \pm 1.63$  dS/m à 25°C. Ces eaux appartiennent aux classes C2, C3, C4 et C5 (LAOUAR, 2013 ; GUESSOUM *et al*, 2014).

## **7.2. Nappe du Continental Intercalaire**

La nappe du Continental Intercalaire draine, d'une façon générale, les formations gréseuses et grès-argileuses du Barrémien et de l'Albien. Elle est exploitée, selon la région, à une profondeur allant de 250 à 1000m. Localement, l'écoulement des eaux se fait d'Ouest en Est. L'alimentation de la nappe bien qu'elle soit minime, provient directement des eaux de pluie au piémont de l'Atlas Saharien en faveur de l'accident Sud-Atlasique (A.N.R.H., 2011).

Les eaux de la nappe albienne sont caractérisées par une forte salinité (1,62 à 2,19 dS/m à 25°C) avec une moyenne de  $1,9 \pm 0,21$  dS/m à 25°C. Tous les forages analysés appartiennent à la classe C3 (LAOUAR, 2013).

## **8. Pédologie**

Au niveau de la Chebka, on ne trouve que des roches calcaires ou dolomitiques, dont le sous-sol est riche en marnes. Les hamadas ne sont que de vastes étendues pierreuses. On ne rencontre du sol qu'au niveau des bas-fonds, daya ou lit d'oued suffisamment large, comme celui de Sebseb (HOUICHITI, 2009).

Selon HOUICHITI (2009), dans cette vallée on retrouve 3 types d'horizons superficiels : sur l'axe de l'oued, la texture du sol se compose de sable grossier, les éléments fins sont périodiquement lessivés par le ruissellement des crues. Le côté Sud est couvert d'une nappe de sable éolien, l'arène présente une profondeur qui varie de 10cm à 1m. C'est un sable plus ou moins vif selon son état d'humidité, sa couleur jaunâtre indique la dominance d'un faciès gypseux. Dans la rive nord, on rencontre un mélange compact de terre fine et de cailloux (reg).

Le terrain présente une surface globalement plane, sauf dans les zones de ruissellement et auprès des obstacles et lieux favorables à l'accumulation du sable, comme les clôtures, les touffes de végétation spontanée, les pistes et les constructions (HOUICHITI, 2009).

## 9. Occupation du sol

Le territoire communal de Sebseb est réparti comme suit :

- **Les terres nues :** Elles englobent tous les terrains rocheux et accidentés ainsi que les terrains urbains ;
- **Les zones dunaires et ensablées :** on rencontre des zones ensablées sous forme d'accumulation dunaire ou erg notamment dans la partie ouest et la zones des Mahser située dans la rive droite d'oued Mosk (amont d'oued de Sebseb) ;
- **Les zones pastorales :** la majorité des vallées sont des zones pastorales ;
- **Les zones agricoles :** Les zones agricoles existantes dans cette région sont : Jedide, Cheaab El-Nasser, Oued Sebseb, Selama, Belkrinat, Tlilet, Klaben, Mahsseur Labiad, Omsdira, Boukhanfous, Dayet Reyab, Dayet Ouled Omer, El-hrite, Errokba, Elmahsseur, Tinyet Eloucif, Chaab El Baida, El Trafis, Attia, El Bordj, Elferd, Sebseb Centre (Cheaab El-aargoub), El Besbasa, El Zhiret (D.F.W.G., 2014).

## 10. Productions agricoles

D'après HOUICHITI, (2009), les principales spéculations agricoles rencontrées à Sebseb sont :

### 10.1. Phoeniculture

Il existe une palmeraie d'environ 56.000 pieds en production, en plus d'une vingtaine de milliers nouvellement plantés. La production globale est estimée à 22.000 quintaux de datte par an. On remarque pour cette oasis que la densité moyenne est de 17 palmiers par hectare de la SAU globale, elle est nettement faible relativement à 50 palmiers comme moyenne dans la région.

#### 10.1.1. Importance

Dans l'oasis de Sebseb, le palmier dattier est une culture principale. Sa présence dans l'exploitation est considérée comme indispensable, quel que soit le mode de mise en valeur. Cependant, l'importance numérique du dattier, dans une exploitation donnée dépend généralement du système de production adopté.

Selon HOUICHITI (2009), à Sebseb, la phoeniculture comprend plusieurs cultivars. Nous avons dénombré une vingtaine de cultivars intéressants. Chaque agriculteur possède entre 5 et 10 cultivars, choisis selon ses préférences. Néanmoins, la majorité des dattes n'a pas de débouché

commercial, elles sont multipliées dans un objectif d'autoconsommation. Les variétés qui possèdent une certaine importance commerciale sont : Déglet Nour, Ghars et Azerza. Les principaux cultivars de dattier à Sebseb sont représentés dans le (Tableau. 02).

**Tableau 02.** Principaux cultivars de dattier à Sebseb (HOUICHITI, 2009).

Variété	Abondance	Caractéristiques
Dégla	(TA)	La plus demandée, triage et conditionnement faciles, sensible et tardive.
Ghars	(TA)	La meilleure des dattes molles, vendues prématurées (M'nagar) ou après conservation, plusieurs sous-produits, très précoce.
Azerza	(TA)	Importance demande locale, bonne conservation, elle parait résistante (particulièrement contre le Bayode), tardive.
Addala	(A)	Variété rustique, a gros fruit.
Timjouhert	(A)	Très productives, fruit sensible à la pourriture.
Bent Khbala	(PA)	Datte molle excellente, l'arbre est exigeant, sensible et à faible aptitude de multiplication.
Tafezouine	(PA)	Datte fine, exportable, sensible au ver de la datte.
(TA) : Très abondante ; (A) : Abondante ; (PA) : Peu abondante.		

### 10.2. Arboriculture fruitière

On compte environ 46.000 arbres fruitiers productifs et 30.000 jeunes plants. Ces arbres se trouvent généralement sous le palmier dattier. On trouve principalement les agrumes, le pommier et la vigne, mais aussi et avec un effectif moins important le poirier, le néflier, le pêcher et l'olivier. L'ancienne arboriculture est représentée par le figuier, le grenadier et l'abricotier. La production annuelle de fruits est globalement estimée à 12.250 quintaux par an.

### 10.3. Maraîchage

Les cultures maraîchères sont pratiquées en plein champ, sur environ 450 hectares. Elles produisent annuellement environ 90.000 quintaux de légumes, dont nous citerons pour la saison hivernale : la carotte, l'oignon, le navet, la fève, le pois, l'épinard et la laitue; pour l'été : le potiron, la courge, l'aubergine, le melon, le piment et la tomate. On signale la récente introduction de la

culture de pomme de terre, sous de petits pivots d'aspersion couvrant entre 0,7 et 1 ha. Le rendement moyen enregistré semble encourageant (200 quintaux/hectare).

#### **10.4. Cultures fourragères**

Elles sont représentées principalement par l'orge et le sorgho. On retrouve également la carotte fourragère, l'avoine et la luzerne. Ce type de culture occupe environ 120 ha.

#### **10.5. Culture des arachides**

La culture des arachides est une pratique très ancienne. Elle occupe une surface qui varie d'une année à l'autre, de 200 à 500 ha. La production globale peut atteindre 8.000 quintaux/an de qualité reconnue au niveau national (arachide de Sebseb).

#### **10.6. Production animale**

L'élevage pratiqué à Sebseb est celui d'ovins et de caprins, les troupeaux sont respectivement estimés à 7.500 et 1.800 têtes. L'élevage de poulet de chair est faiblement pratiqué (3.000 unités).

## ***Chapitre II. Matériel et méthodes d'étude***

### **1. Approche méthodologique**

L'approche méthodologique choisie, permet d'étudier la relation de la qualité des eaux d'irrigation et les propriétés physico-chimiques du sol dans les palmeraies de Ghardaïa (cas de l'Oued Sebseb), pour déduire l'influence de la salinité des eaux d'irrigation qui proviennent de la nappe phréatique sur les quelques propriétés du sol dans les parcelles cultivées (irriguées).

### **2. Choix de la région d'étude**

Le choix de la région d'étude est basé sur les critères essentiellement d'ordre scientifique et économique, les plus importants sont les suivants :

- Les eaux phréatiques utilisées pour l'irrigation sont d'une qualité moyennement saline à excessivement saline (LAOUAR, 2013 ; GUESSOUM et *al*, 2014), ce qui peut provoquer le problème de la salinisation et de la sodisation du sol.
- L'existence des palmeraies agricoles au niveau de la vallée de Sebseb, ce qui permet une bonne comparaison selon l'altitude (amont, aval).
- L'absence d'étude pédologique dans cette région, ni sur le plan caractérisation, ni sur le plan d'évolution des paramètres.
- l'accessibilité et la facilité du travail dans les palmeraies de la région d'étude.

### **3. Echantillonnage**

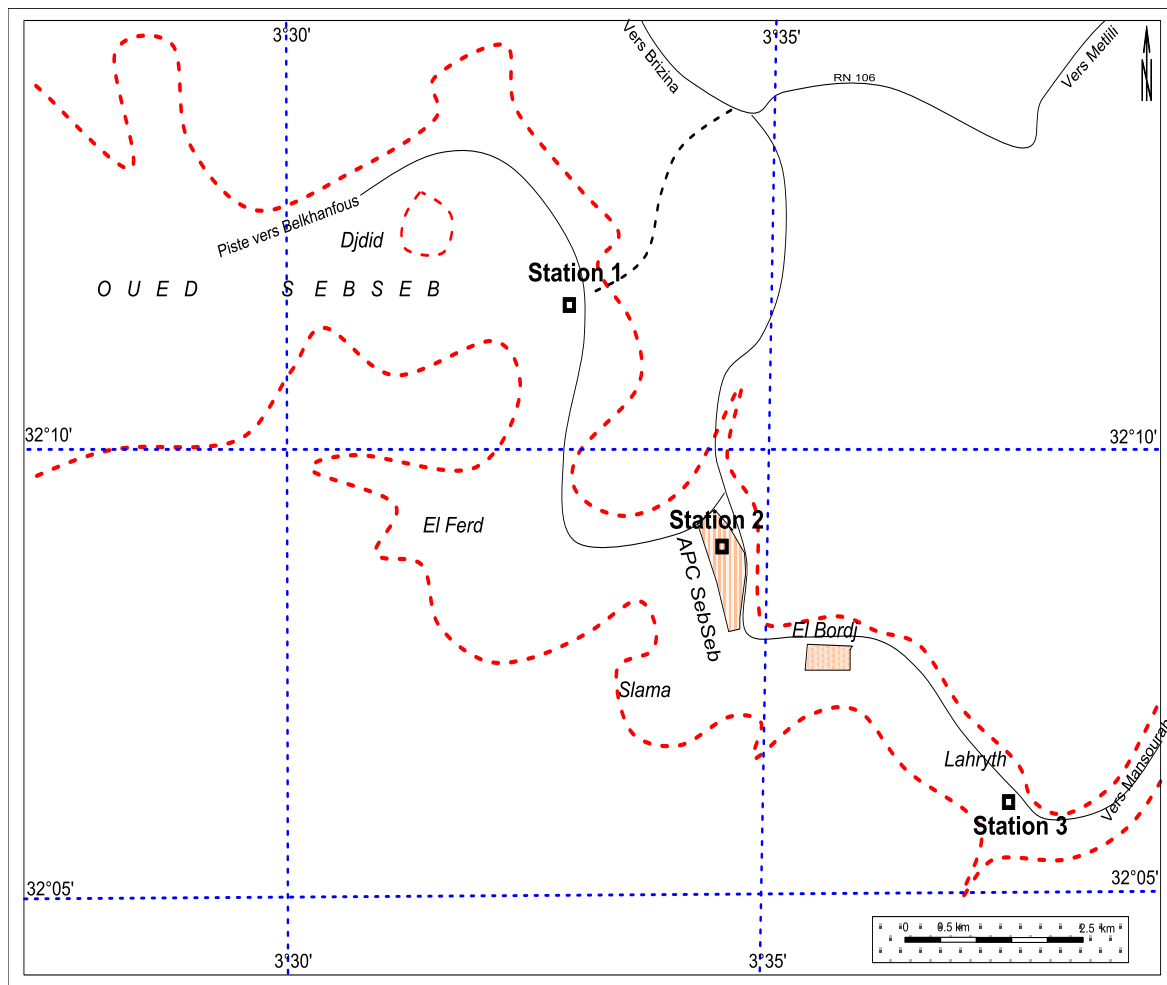
#### **3.1. Choix des palmeraies**

Les palmeraies échantillonnées sont situées dans la vallée de Sebseb qui est située au centre de la wilaya de Ghardaïa (au centre d'Algérie). C'est une zone agricole potentiellement productrice de dattes, avec une superficie de plus de 7000 hectares allouée à 65 milles palmiers dattiers.

Notre choix s'est porté sur trois palmeraies, elles sont réparties selon l'altitude; une palmeraie de Jedide en amont, une palmeraie de Cheaab El-aargoub au centre de l'oued et en aval une palmeraie de Cheaab El-Nasser. Les coordonnées géographiques ainsi que l'altitude moyenne de ces trois stations sont résumées dans le tableau (3) suivant :

**Tableau 3.** Les coordonnées géographiques et l'altitude moyenne des trois palmeraies échantillonnées

Code	Nom de palmeraie	Latitude (N)	Longitude (E)	Altitude (m)
S1	Palmeraie de Jedide	32° 19'	003° 55'	480
S2	Palmeraie de Cheaab El-aargoub	32° 16'	003° 58'	478
S3	Palmeraie de Cheaab El-Nasser	32° 07'	003° 38'	458



**Figure 05.** Répartition spatiale des stations de prélèvement du sol et de l'eau au niveau de la région de Sebseb.

## **3.2. Présentation des palmeraies choisies**

### **3.2.1. Palmeraie à la zone agricole de Jedide**

La palmeraie de BEN YEMNA SLIMAN, c'est la parcelle cultivée sélectionnée dans la zone agricole de Jedide, située en amont de l'oued Sebseb, qui a été créée en 1987, à une distance environ 10 km du chef-lieu de la commune de Sebseb (Photo 01).

Elle couvre une superficie de quatre (04) hectare, cette palmeraie renferme 100 pieds de palmier dattier avec une production de 30 quintaux/an.

En plus des palmiers dattiers, les arbres fruitiers trouvent une place importante à savoir : les agrumes, les grenadiers.

Les ressources hydriques au niveau du site proviennent de la nappe phréatique. L'irrigation pratiquée est du type submersion.



**Photo 01.** Palmeraie de Jedide en amont de l'oued Sebseb (GUESSOUM, 2016).

### **3.2.2. Palmeraie à la zone agricole de Cheaab El-aargoub**

La palmeraie de GUESSOUM ABD ALLAH, c'est la parcelle cultivée sélectionnée dans la zone agricole de Cheaab El-aargoub, située au centre de l'oued Sebseb, qui a été créée en 1980, à une distance environ 1 km du chef-lieu de la commune de Sebseb (Photo 02).

Elle couvre une superficie de deux (02) hectares, cette palmeraie renferme 150 pieds de palmier dattier avec une production de 40 quintaux/an.

En plus des palmiers dattiers, les arbres fruitiers trouve une place importante à savoir : les agrumes, les grenadiers.

Les ressources hydriques au niveau du site proviennent de la nappe phréatique. L'irrigation pratiquée est du type submersion.



**Photo 02.** Palmeraie de Cheaab El-aargoub au centre de l'oued Sebseb (GUESSOUM, 2016).

### **3.2.3. Palmeraie à la zone agricole de Cheaab El-Nasser**

La palmeraie de BEN ABD ELRAHMANNE BACHIR, c'est la parcelle cultivée sélectionnée dans la zone agricole de Cheaab El-Nasser, située en aval de l'oued Sebseb, qui a été créée en 1990, à une distance environ 10 km du chef-lieu de la commune de Sebseb (Photo 03).

Elle couvre une superficie de quatre (04) hectares, cette palmeraie renferme 104 pieds de palmier dattier avec une production de 60 quintaux/an.

En plus des palmiers dattiers, on trouve les arbres fruitiers comme par exemple : les agrumes, les grenadiers avec un effectif moins important pour les oliviers.

Les ressources hydriques au niveau du site proviennent de la nappe phréatique. L'irrigation pratiquée est du type submersion.



**Photo 03.** Palmeraie de Cheaab El-Nasser en aval de l'oued Sebseb (GUESSOUM, 2016).

#### **4. Méthode d'échantillonnage des matériels à analyser (eau et sol)**

##### **4.1. Caractérisation des sols**

Pour caractériser morphologiquement les sols des parcelles, nous avons réalisé un profil pédologique dans chaque palmeraie, et ceci afin de bien caractériser les sols des trois palmeraies. Les profils restants permettent de confirmer l'homogénéité ou l'hétérogénéité morphologique des sols de chaque parcelle. Après la réalisation des profils pédologiques, nous avons procédé à la détermination des horizons, jusqu'à une profondeur de 110 cm. Les échantillons ont été mis à sécher à l'air libre, puis tamisés avec un tamis de 2 mm et enfin analysés au laboratoire.

##### **4.2. Méthode d'échantillonnage du sol**

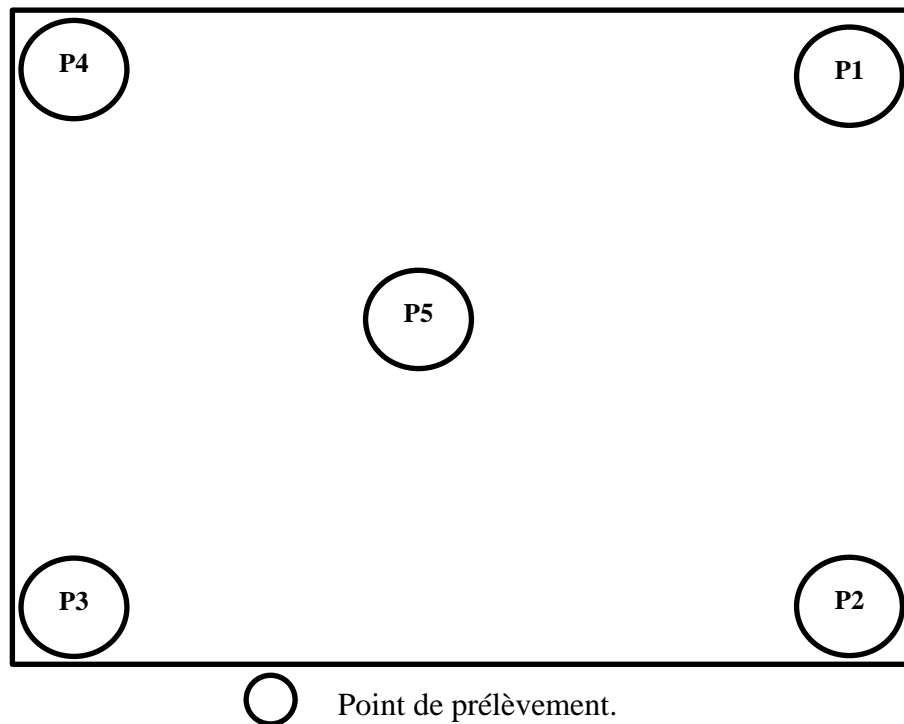
Nous avons prélevé des échantillons du sol dans les trois palmeraies sur une période de 24 mois, de Mars 2014 jusqu'à Février 2016 (8 saisons), pour caractériser l'évolution de la conductivité électrique, le pH et le SAR de la solution du sol dans la région d'étude.

La méthode d'échantillonnage est systématique en diagonale (RAYEN et *al.*, 2003) (Fig.6). Des prélèvements du sol ont été réalisés à l'aide d'une tarière manuelle. Nous avons échantillonné en cinq (05) points (aux quatre coins et au centre de la palmeraie), avant et après l'irrigation. Le même plan d'échantillonnage est appliqué dans les trois palmeraies.

Pour chaque point, des prélèvements sont effectués à différentes profondeurs, comme suit :

- H1 de 0 à 30 cm de profondeur
- H2 de 30 à 60 cm de profondeur
- H3 de 60 à 90 cm de profondeur

Les échantillons du sol sont mis dans des sachets en plastique, transportés au laboratoire, séchés à l'air libre et tamisés avec des tamis de 2 mm, séparant la terre fine de la fraction grossière. C'est sur cette terre fine qu'on a réalisé une série d'analyses physico-chimiques.



**Figure 06.** Schéma récapitulatif du plan d'échantillonnage.

#### 4.3. Méthode d'échantillonnage d'eau

Nous avons sélectionné un puits dans chaque palmeraie pour la réalisation de l'analyse physico-chimique. Les échantillons des eaux d'irrigation sont prélevés directement de la vanne des puits, qu'on met dans des flacons en plastique d'un 1/2 litre de capacité. Les flacons sont rincés trois fois avec de l'eau à analyser puis remplis jusqu'à ras bord, le bouchon sera placé de telle façon qu'il n'y ait aucune bulle d'air.

#### 4.3.1. Représentativité des échantillons

Avant de prélever un échantillon d'eau, il faut s'assurer de la représentativité de l'échantillon. Une bonne représentativité des échantillons repose sur :

- L'utilisation de l'eau pour des besoins agricoles ;
- L'accessibilité pour les prélèvements des points d'eau ;
- Renouvellement de l'eau par pompage ou soutirage jusqu'à ce qu'elle devienne représentative de la portion d'aquifère que l'on veut échantillonner (RODIER, 2005).

#### 4.3.2. Stockage des échantillons d'eau

Les principes suivants sont à suivre :

- Les échantillons doivent être parfaitement identifiés, portant le code des puits et la date de prélèvement ;
- Après la mise en flacon et l'étiquetage, l'échantillon doit être placé dans une mallette de transport qui permet de le maintenir au frais et qui le préserve de la lumière, des poussières et des salissures ;
- Le transport de l'échantillon au laboratoire se fera dans les plus brefs délais. En pratique, l'échantillon doit être prélevé dans un délai de 24 heures au maximum ;
- Au laboratoire, les échantillons doivent être conservés au réfrigérateur entre 3 et 5 °C (RODIER, 2005).

### 5. Méthodes d'analyse

#### 5.1. Méthodes d'analyse du sol

##### 5.1.1. Mesure du pH

- $\text{pH}_{\text{eau}}$  : La mesure est effectuée à l'aide d'un pH mètre avec un rapport sol/eau (1/5) (MATHIEU et *al.*, 2009).
- $\text{pH}_{\text{KCl}}$  : mesuré au pH mètre du rapport sol/solution KCl (1/5).

### 5.1.2. Mesure de la conductivité électrique

La C.E (25°C) du sol a été mesurée par un conductimètre, l'extrait du sol d'un rapport : 1/5 de sol /eau (MATHIEU et *al.*, 2009).

### 5.1.3. Granulométrie

La granulométrie a été déterminée par la méthode de tamisage. C'est une méthode quantitative qui détermine les proportions des particules du sol (BAIZE, 1988)

### 5.1.4. Humidité

Les échantillons sont séchés à l'étuve à 105 °C jusqu'à masse constante. Une nuit, soit environ 15 heures, suffit généralement. La différence entre le poids avant et après séchage exprime la teneur en eau de l'échantillon initial (BAIZE, 1988).

### 5.1.5. Matière organique

La détermination de la teneur pondérale en matière organique d'un échantillon du sol de masse sèche connue repose ainsi sur la détermination de la masse de sa fraction organique. La méthode repose sur deux pesées de l'échantillon avant et après destruction de la matière organique, par calcination.

### 5.1.6. Dosage du calcaire total

Le dosage du calcaire total est réalisé par la méthode du calcimètre de BERNARD (MATHIEU et *al.*, 2009). Ce dosage est fondé sur la réaction caractéristique du carbonate de calcium au contact de l'acide chlorhydrique :



Il s'agit de comparer le volume de CO<sub>2</sub> dégagé par le contact d'HCl avec un certain poids connu de terre à analyser, avec celui qui est dégagé par le contacte d'HCl avec CaCO<sub>3</sub> pur.

### 5.1.7. Dosage du calcaire actif

Alors que pour la détermination du calcaire total, on utilise une réaction violente et totale. On pratique ici une réaction modérée qui n'intéresse que les particules calcaires les plus fines ou la

surface des particules les plus grossières, d'où l'importance du respect des conditions conventionnelles d'agitation (MATHIEU *et al.*, 2009).

Pour le dosage du calcaire actif, on utilise la propriété du calcium combiné aux oxalates pour donner de l'oxalate de calcium insoluble (MATHIEU *et al.*, 2009).

#### **5.1.8. Caractéristiques chimiques de l'extrait 1/5 du sol**

- Dosage des cations solubles  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  : Par titrimétrie (ISO, 1984).
- Dosage des cations solubles  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  : Par spectrophotomètre à flamme (ISO, 1993).

#### **5.2. Méthodes d'analyse d'eau d'irrigation**

Les analyses d'eaux ont portées sur la conductivité électrique, le résidu sec à 105 C°, le pH et le bilan ionique.

- Conductivité électrique (C.E à 25 C°) : Mesurée à l'aide d'un conductimètre.
- pH : Mesuré au pH mètre à électrode en verre.
- Dosage des cations  $\text{Ca}^{++}$  et  $\text{Mg}^{++}$  : Par titrimétrie à l'EDTA.
- Dosage des cations  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  : Par spectrophotomètre à flamme.
- Dosage des chlorures ( $\text{Cl}^-$ ) : Par la méthode argentométrique de MOHR, qui consiste à précipiter les ions  $\text{Cl}^-$  sous forme de  $\text{AgCl}$  en présence de  $\text{AgNO}_3$ .
- Dosage des sulfates ( $\text{SO}_4^{--}$ ) : Par la méthode gravimétrique de au  $\text{BaCl}_2$ , qui consiste à précipiter les ions  $\text{SO}_4^{--}$  sous forme de sulfate de baryum en présence de  $\text{BaCl}_2$  à 10%.
- Dosage de  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NO}_2^-$ ,  $\text{Fe}^+$  : Par un spectrophotomètre UV 440  $\mu\text{m}$ .

Les analyses sont réalisées au niveau des laboratoires de la faculté des sciences de la nature et de la vie de l'université de Ghardaïa, de l'université de Ouargla, de l'Algérienne des eaux de Ghardaïa (ADE) et de l'agence nationale des ressources hydriques (ANRH) de Ouargla.

## 6. Analyse statistique

### 6.1. Statistiques descriptives

Cet outil d'analyse généré par un rapport de statistique à une seule variable pour les données contenues dans la plage d'entrée, fournissant ainsi des formations sur la tendance centrale et la dispersion des données (MICROSOFT CORPORATION, 1993 ; DHUNNA & DIXIT, 2010

Les statistiques descriptives dans notre cas concernent la moyenne, l'écart type, le minimum et le maximum.

### 6.2. Analyse de la variance à un facteur

Nous avons procédé à une analyse de variance à un facteur pour les échantillons du sol des trois stations étudiées et cela avant et après l'irrigation vis-à-vis de chaque paramètre.

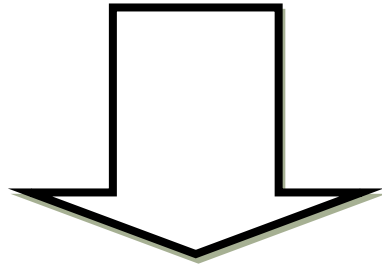
Cette analyse va permettre la mise en évidence de l'existence ou pas des différences entre les moyennes et la signification de ces différences si elles existent.

Les traitements des données obtenues font appel à des approches statistiques. Les résultats obtenus pour chaque paramètre seront interprétés statistiquement. D'après DAGNILLIE (1975), l'analyse de la variance consiste à étudier la comparaison des moyennes à partir de la variabilité des échantillons. Elle permet suivant le niveau de la signification de déterminer l'influence des facteurs étudiés ou des interactions entre les facteurs. La probabilité inférieure à 0,001 donne un effet très hautement significatif, à 0,01 un effet hautement significatif et à 0,05 un effet significatif et pour une probabilité supérieur à 0,05 on considère que l'effet n'est pas significatif.

Les comparaisons multiples sont effectuées en adoptant le test de Tukey (HSD) de la différence franchement significative (Honest Significant Difference). Ce test vise à déterminer quelles sont les paires de moyennes pour lesquelles les différences sont significatives (CADOT, 2010) et permet un bon traitement de tous les problèmes de comparaison par paire (BRETZ et *al.*, 2011). Le test est effectué à un intervalle de confiance de 95%. Le risque de 5% que nous avons choisi est utilisé pour déterminer la valeur critique, qui est comparée à la différence standardisée entre les moyennes ; la différence est significative si la différence standardisée est supérieur à la valeur critique.

Le logiciel utilisé pour les analyses statistiques est le tableur Excel ainsi XLSTAT version 2019.1.1.

***DEUXIEME PARTIE***



***RESULTAT &  
DISCUSSION***

## Chapitre III. Caractéristiques des eaux d'irrigation

### 1. Critères de classification des eaux d'irrigation

Les principaux paramètres de caractérisation d'une eau d'irrigation sont essentiellement la salinité, la sodicité (SERVANT, 1978) et le faciès chimique (SAFAR, 1983).

D'après SERVANT (1978), la salinité est ordinairement exprimée par la conductivité électrique en  $\mu\text{S}/\text{cm}$  à  $25^\circ\text{C}$ . La sodicité d'une eau traduit la propriété que possède cette eau à augmenter la proportion de sodium échangeable, quand elle est mise en contact prolongé avec le sol : irrigation, inondation, et remontée de la nappe. Le paramètre le plus utilisé pour déterminer la sodicité est le S.A.R (Sodium adsorption ratio).

Le laboratoire de Riverside a classé les eaux en fonction de leurs salinités et le danger d'alcalinisation qui peut se produire dans le sol (RICHARDS, 1954). Ce classement a été modifié par DURAND (1958) en ajoutant une cinquième classe de salinité C5, correspondant à des salinités supérieures à celles des eaux utilisées aux Etats-Unis.

#### 1.1. Salinité de l'eau

D'après Durand (1958), ce caractère permet de déterminer cinq classes d'eau d'après la relation entre la conductivité électrique à  $25^\circ\text{C}$  de l'eau et le danger de salinisation du sol :

- **C1 : C.E. à  $25^\circ\text{C}$  < 0,25 dS/m** : eaux non salines, utilisables pour l'irrigation pour la plupart des cultures sur la plupart des terrains avec peu de chances d'apparition de salinité dans le sol.
- **C2 : C.E. à  $25^\circ\text{C}$  comprise entre 0,25 et 0,75 dS/m** : eaux à salinité moyenne, utilisables avec un léger lessivage.
- **C3 : C.E. à  $25^\circ\text{C}$  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  $25^\circ\text{C}$  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  $25^\circ\text{C}$  >5 dS/m** : eaux à salinité excessive, inutilisables sauf sur sable drainé et pour des cultures très tolérantes comme le palmier dattier.

## **1.2. Danger d'alcalinisation du sol**

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 certaines 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 à 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 œuvre 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.

## **1.3. Faciès chimique (Diagramme de PIPER)**

Le diagramme de Piper permet une représentation des anions et des cations sur deux triangles spécifique dont les côtés témoignent des teneurs relatives en chacun des ions majeurs par rapport au totale de ces ions (cations pour le triangle de gauche, anions pour le triangle droite).

Le principe consiste à représenter dans chaque triangle les quantités en réaction pour chaque cation ou anion, après quoi on obtient un point triple soulignant la prédominance d'un cation ou d'un anion. Ces deux points triples donnent un point critique représentant la nature chimique de l'échantillon considère.

## **2. Caractérisation des eaux d'irrigation**

Les résultats d'analyses des eaux d'irrigation des trois palmeraies sont représentés dans le tableau 04.

**Tableau 04.** Résultats d'analyse des eaux d'irrigation des trois palmeraies.

	Jedide	Cheaab El-aargoub	Cheaab El-Nasser	
<b>pH</b>	7,89	8,05	8	
<b>Résidu sec (mg/l)</b>	948	5574	6562	
<b>C.E. dS/m à 25°C</b>	1,11	4,83	5,76	
<b>Bilan ionique (meq/l)</b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	2,39	24,13	27,70
	<b>K<sup>+</sup></b>	0,26	1,23	1,33
	<b>Ca<sup>++</sup></b>	4	12,25	14,1
	<b>Mg<sup>++</sup></b>	7,40	36,20	40
	<b>Fe<sup>+</sup></b>	0,08	0,06	0,12
	<b>Faciès des cations</b>	<b>Mg - Ca</b>	<b>Mg- Na</b>	<b>Mg- Na</b>
	<b>Cl<sup>-</sup></b>	2,96	24,65	17,24
	<b>SO<sub>4</sub><sup>-</sup></b>	6,98	45,31	61,98
	<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	0,097	0	0,15
	<b>NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b>	0,004	0,006	0,024
	<b>Faciès des anions</b>	<b>SO<sub>4</sub>-Cl</b>	<b>SO<sub>4</sub>-Cl</b>	<b>SO<sub>4</sub>-Cl</b>
<b>Faciès chimique global</b>	<b>Mg- SO<sub>4</sub></b>	<b>Mg- SO<sub>4</sub></b>	<b>Mg- SO<sub>4</sub></b>	
<b>S.A.R.</b>	1	4,90	5,32	

La caractérisation des eaux d'irrigation provenant de la nappe phréatique de la station d'étude, est la suivante :

En amont d'oued Sebseb, les eaux de la palmeraie de Jedide sont fortement salées, appartenant à la classe de salinité **C3** avec une conductivité électrique de 1,11 dS/m à 25°C, faiblement sodiques (SAR de 1) et d'un pH alcalin (7,89).

Au centre d'oued Sebseb, les eaux de la palmeraie de Cheaab El-aargoub sont très fortement salées, appartenant à la classe de salinité **C4** avec une conductivité électrique de 4,83 dS/m à 25°C, faiblement sodiques (SAR de 4,90) et d'un pH alcalin (8,05).

En aval d'oued Sebseb, les eaux de la palmeraie de Cheaab El-Nasser sont excessivement salées, appartenant à la classe de salinité **C5** avec une conductivité électrique de 5,76 dS/m à 25°C, faiblement sodiques (SAR de 5,32) et d'un pH alcalin (8).

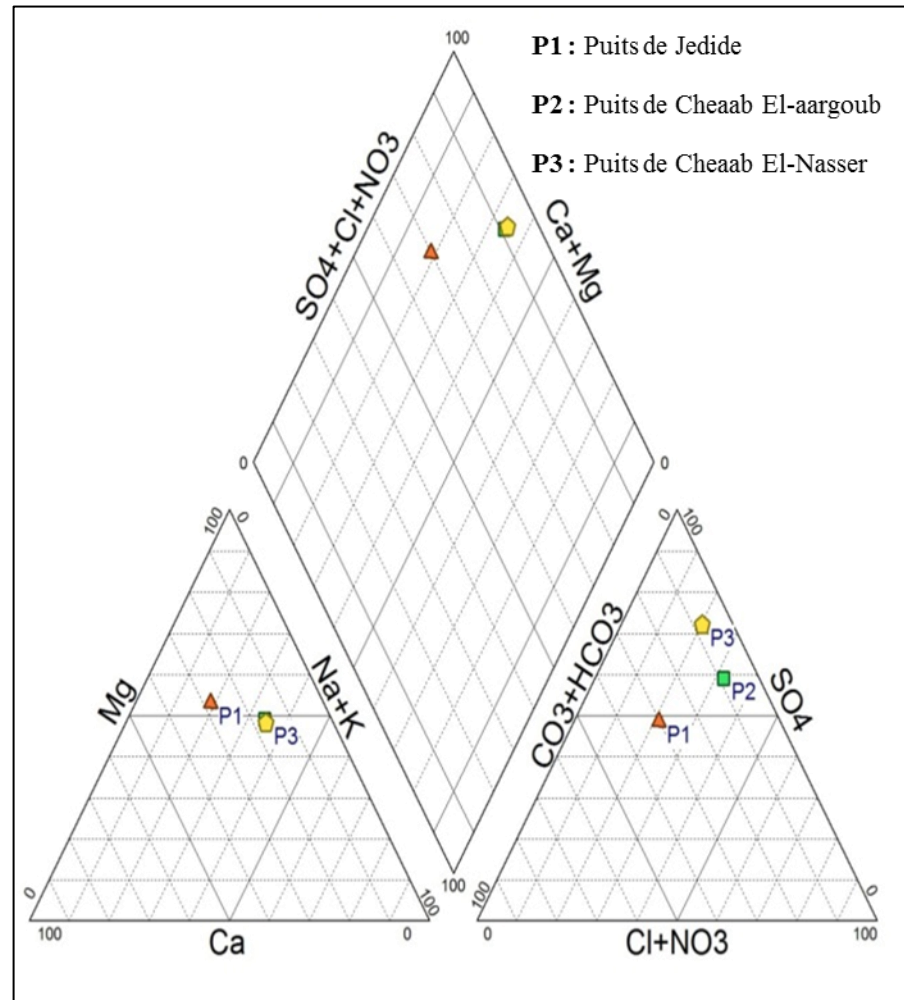
## 2.1. Faciès chimique

Selon le diagramme de Piper (Fig.07), la distribution des points d'eau analysés d'après leurs compositions chimiques dans les trois palmeraies montre que :

- Le Magnésium est le cation dominant pour les eaux analysées des trois palmeraies.

- Le sulfate est l'anion dominant pour les eaux analysées des trois palmeraies.

Le faciès chimique qui caractérise les eaux analysées est sulfatée-magnésique pour les trois palmeraies.



**Figure 07.** Faciès chimiques des eaux d'irrigation des trois palmeraies selon le diagramme de PIPER.

## 2.2. Détermination des classes d'eau d'irrigation

Il y a 20 classes d'eau dans le diagramme de l'U.S.S.L. (1954) modifié par DURAND (1958) pour qui la qualité pour l'irrigation varie en fonction de la salinité et la sodicité en même temps

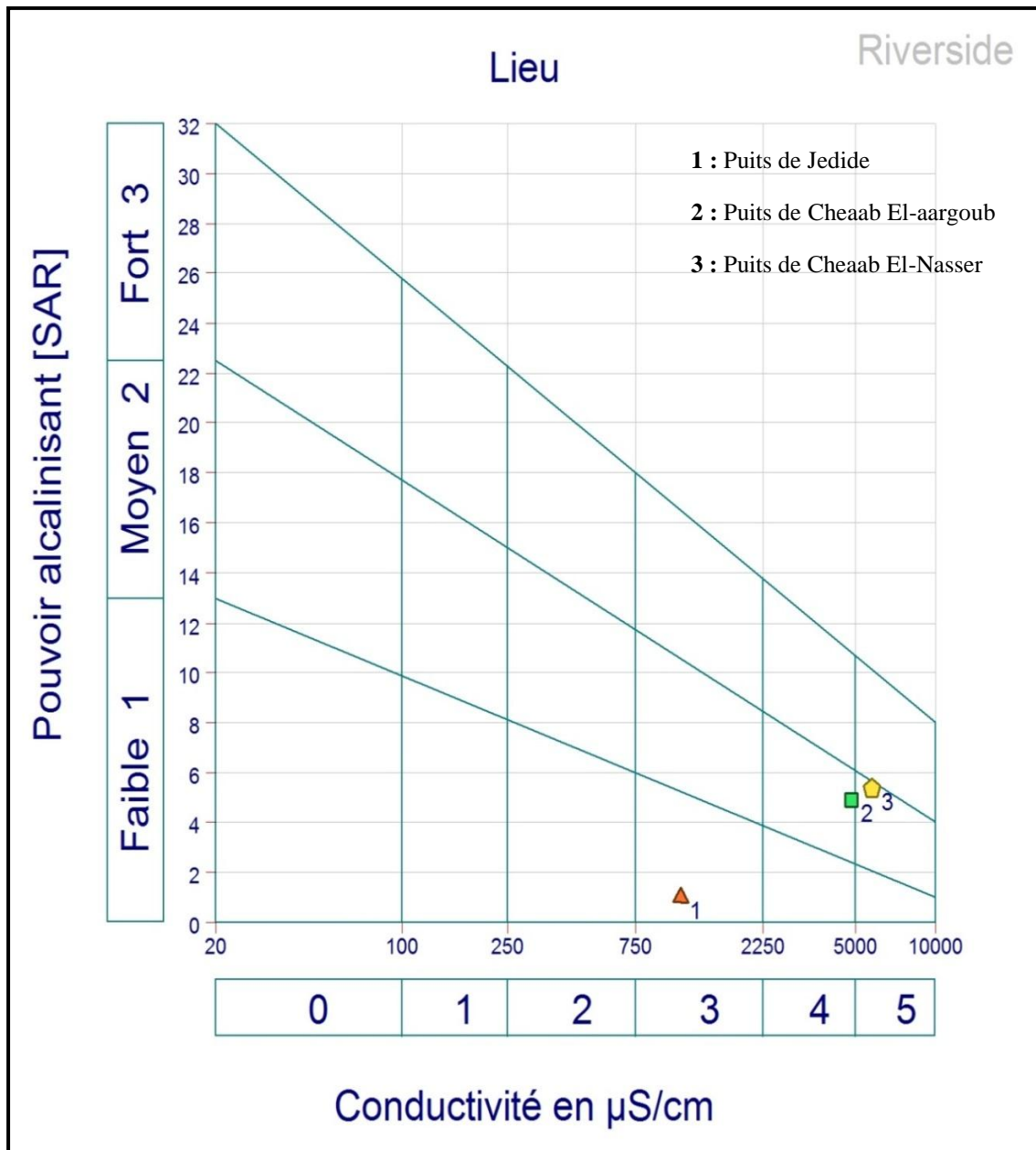
D'après la figure 08, qui représente le diagramme de classification des eaux d'irrigation d'après RIVERSIDE, réalisé par le logiciel DIAGRAMME, trois classes de qualité d'eau d'irrigation sont distinguées, la classe **C3S1** (Qualité moyenne à médiocre) pour la palmeraie de Jedide, la classe **C4S1** (Qualité médiocre à mauvaise) pour la palmeraie de Cheaab El-aargoub,

la classe **C5S1** (Qualité très déconseillé pour l'irrigation) pour la palmeraie de Cheaab El-Nasser.

L'interprétation de la qualité des eaux d'irrigation dans les stations d'étude est présentée dans le tableau 05, selon DURAND (1958).

**Tableau 05.** Qualité des eaux d'irrigation dans les palmeraies étudiées.

<b>puits</b>	<b>Classe</b>	<b>Qualité</b>	<b>Interprétation</b>
<b>Palmeraie de Jedide</b>	<b>C3 – S1</b>	Qualité moyenne à médiocre	A utiliser avec précaution. Nécessite un drainage avec doses de lessivage et/ou apports de gypse
<b>Palmeraie de Cheaa El-aargoub</b>	<b>C4 – S1</b>	Qualité médiocre à mauvaise	Exclure les plantes sensibles et les sols lourds. Utilisable avec beaucoup de précautions pour les sols légers, un bon drainage avec doses de lessivage et/ou apports de gypse.
<b>Palmeraie de Cheaab El-Nasser</b>	<b>C5 – S1</b>	Qualité très déconseillé pour l'irrigation	



**Figure 08.** Classification des eaux d'irrigation dans le site d'étude (Diagramme de RIVERSIDE modifié par DURAND).

## ***Chapitre IV. Caractéristiques des sols de la zone d'étude***

La caractérisation morphologique et analytique des sols est une étape indispensable pour toute étude pédologique.

L'étude morphologique et analytique des profils de chaque parcelle nous permettra de caractériser le sol de chaque parcelle et d'avoir une idée globale sur la nature des sols de notre zone d'étude.

### **1. Caractéristiques du sol**

Les sols des palmeraies étudiées sont influencés sous les effets des fluctuations de la nappe phréatique, de la qualité de l'eau d'irrigation, du climat et des actions anthropiques.

### **2. Description morphologique et analyse du sol**

Les sols des palmeraies de la région de Sebseb ont été caractérisés par trois profils profonds de 110 cm à raison d'un profil par palmeraie dans une parcelle cultivée.

#### **2.1. Caractérisation morphologique et analytique du profil cultivé de la palmeraie de Jedide N° 1**

##### **2.1.1. Morphologie du profil N° 1**

- **Date de description** : 22-02-2014
- **Localisation** : 32.19919 N /003.55338 E
- **Altitude** : 489,7 m
- **Temps** : Ensoleillé
- **Topographie** : Plane, légère pente (<1%).
- **Situation** : palmeraie de Jedide
- **Occupation du sol** : Palmiers dattiers, arbres fruitiers en intercalaire
- **Drainage** : Naturelle
- **Climat** : Aride



**Photo 04.** Profil N°1 du sol cultivé de la palmeraie de Jedide

**HORIZON H1 (0 – 32 cm)** : couleur à l'état sec 5 YR 6/6 (reddishyellow), couleur à l'état humide 5 YR 4/6 (yellowishRed), non compact, texture sableuse, à structure particulaire, quelques racines de palmier dattier à grosseur (<5 cm), forte effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.

**HORIZON H2 (32 – 60 cm)** : couleur à l'état sec 7,5 YR 6/8 (reddishyellow), couleur à l'état très peu humide 5 YR 4/6 (yellowishRed), texture sableuse, racines de palmier dattier peu abondantes à grosseur (<1 cm), non compact, très forte effervescence à l'HCl, faibles éléments grossiers (>2mm), transition nette et régulière.

**HORIZON H3 (>60 cm)** : couleur à l'état sec 7,5 YR 6/8 (reddishyellow), couleur à l'état peu humide 7,5 YR 4/6 (strongbrown), forte effervescence à l'HCl, texture sableuse avec un peu de limon, à structure particulaire, nombreuses racines vivantes de palmier dattier à grosseur (<2 cm) avec une activité biologique élevée, non compact, transition nette et régulière, éléments grossiers (>2mm) peu abondant.

### 2.1.2. Résultats des analyses du profil N°1

Les résultats des analyses du profil N°1 du sol de la parcelle cultivée dans la palmeraie de Jedide sont représentés dans le tableau 06.

**Tableau 06.** Résultats des analyses du profil N°1 du sol de la parcelle cultivée dans la palmeraie de Jedide.

Caractéristiques	Horizons		
	A	B	C
Profondeur (cm)	0-32	32-60	>60
pH eau 1/5	8,37	8,51	8,47
pH KCl 1/5	8,25	8,15	8,3
CE 1/5 (dS/m) à 25°C	0.19	0.19	0.30
Humidité (%)	0,11	0,09	0,09
Calcaire total (%)	2,21	1,60	2,81

<b>Calcaire actif (%)</b>		1	1,56	1,75
<b>Matière organique (%)</b>		0,15	0,09	0,08
<b>Granulométrie (%)</b>	<b>SG (200-2000 µm)</b>	9,73	17,99	37,01
	<b>SF (50-200 µm)</b>	86,86	80,79	61,17
	<b>L+A (&lt;50 µm)</b>	2,63	0,65	1,1
<b>Classe texturale (U.S.D.A)</b>		Sableuse	Sableuse	Sableuse
<b>Les cations de l'extrait aqueux 1/5 (mg/l)</b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	15	15	27,5
	<b>K<sup>+</sup></b>	6,5	3	2
	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	32,064	20,04	32,064
	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	41,31	53,46	68,04
<b>Cation dominant</b>		Magnésium	Magnésium	Magnésium
<b>S.A.R</b>		2,48	2,47	3,89

Les échelles d'interprétation des résultats de caractérisation du sol sont présentées dans l'annexe 01.

La texture du sol est sableuse sur tout le profil. Le sol est peu calcaire ( $1,60 \% \leq \text{CaCO}_3 \text{ total} \leq 2,81\%$ ) (BAIZE, 1988) et les taux du calcaire actif sont faibles ( $1 \% \leq \text{CaCO}_3 \text{ actif} \leq 1,75\%$ ). Le sol est très pauvre en matière organique ( $0,08 \% \leq \text{MO} \leq 0,15\%$ ) (I.T.A, 1975).

Le sol est fortement alcalin ( $8,37 \leq \text{pH} \leq 8,51$ ) (SOLTNER, 1989). La conductivité électrique est très faible ( $0,19 \text{ dS/m} \leq \text{C.E.} \leq 0,30 \text{ dS/m}$ ) (AUBERT, 1978), ce qui fait du sol de cette parcelle un sol non salé. Le faciès dominant des cations est magnésique.

Dans ce profil, il n'y a pas de danger d'alcalinisation avec une moyenne de ( $2,47 \leq \text{S.A.R.} \leq 3,89$ ).

### 2.3. Caractérisation morphologique et analytique du profil cultivé de la palmeraie de Cheaab El-aargoub N° 02

#### 2.3.1. Morphologie du profil N°2

- **Date de description** : 22-02-2014
- **Localisation** : 32.19849 N /003.55362 E
- **Altitude** : 483,5 m
- **Temps** : Ensoleillé
- **Topographie** : Plane, légère pente (<1%).
- **Situation** : palmeraie de Cheaab El-aargoub
- **Occupation du sol** : Palmiers dattiers, Grenadiers, Agrumes, Adventices
- **Drainage** : Naturelle
- **Climat** : Aride



**Photo 05.** Profil N°2 du sol cultivé de la palmeraie de Cheaab El-aargoub

**HORIZON H1 (0 – 25 cm) :** couleur à l'état sec 5 YR 6/6 (reddishyellow), couleur à l'état humide 5 YR 4/4 (reddishbrown), compact, texture sableuse avec un peu de limon, à structure particulaire, quelques racines de palmier dattier, effervescence à l'HCl très forte, transition nette et régulière.

**HORIZON H2 (25 – 60 cm) :** couleur à l'état sec 5 YR 6/6 (reddishyellow), couleur à l'état peu humide 7,5 YR 4/6 (strongbrown), texture sableuse, à structure particulaire, racines de palmier dattier peu abondantes, compact, peu de cristaux de gypse, forte effervescence à l'HCl, transition nette et régulière.

**HORIZON H3 (>60 cm) :** couleur à l'état sec 7,5 YR 6/8 (reddishyellow), couleur à l'état peu humide 5YR 4/4 (reddishbrown), faible effervescence à l'HCl, texture sableuse, à structure particulaire, nombreuses racines vivantes de palmier dattier, compact, transition nette et régulière, encroûtement gypseux.

### 2.3.2. Résultats des analyses du profil N°2

Les résultats des analyses du profil N°2 du sol de la parcelle cultivée dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub sont représentés dans le tableau 07.

**Tableau 07.** Résultats des analyses du profil N°2 du sol de la parcelle cultivée dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub.

Caractéristiques	Horizons		
	A	B	C
Profondeur (cm)	0-25	25-60	>60
pH eau 1/5	8,18	8,40	8,30
pH KCl 1/5	8,1	8,2	7,95
CE 1/5 (dS/m) à 25°C	0,43	0,26	0,28
Humidité (%)	0,19	0,14	0,08
Calcaire total (%)	3,69	1,16	0,99

<b>Calcaire actif (%)</b>		2,19	1,13	0,13
<b>Matière organique (%)</b>		0,24	0,11	0,67
<b>Granulométrie (%)</b>	<b>SG (200-2000 µm)</b>	31,32	39,36	54,26
	<b>SF (50-200 µm)</b>	66,14	58,83	44,87
	<b>L+A (&lt;50 µm)</b>	2,01	0,98	0,3
<b>Classe texturale</b>		Sableuse	Sableuse	Sableuse
<b>Les cations de l'extrait aqueux 1/5 (mg/l)</b>	<b>Na<sup>+</sup></b>	40	27,5	25
	<b>K<sup>+</sup></b>	6,5	4	3,5
	<b>Ca<sup>2+</sup></b>	40,08	28,056	48,096
	<b>Mg<sup>2+</sup></b>	94,77	51,03	51,03
<b>Cation dominant</b>		Magnésium	Magnésium	Magnésium
<b>S.A.R</b>		4,87	4,37	3,55

La texture du sol est dans sa totalité sableuse. Le sol est peu calcaire à non calcaire ( $0,99\% \leq \text{CaCO}_3 \text{ total} \leq 3,69\%$ ) (BAIZE, 1988) et les taux de calcaire actif sont faibles ( $0,13\% \leq \text{CaCO}_3 \text{ actif} \leq 2,19\%$ ). Le sol est très pauvre en matière organique ( $\text{M.O.} < 1\%$ ) (I.T.A, 1975).

Le pH du profil N°2 est fortement alcalin ( $8,18 \leq \text{pH} \leq 8,40$ ) (SOLTNER, 1989). Les valeurs de la conductivité électrique ( $\text{CE}_{1/5}$ ) sont très faibles ( $0,26 \text{ dS/m} \leq \text{C.E.} \leq 0,43 \text{ dS/m}$ ) (AUBERT, 1978), d'où un sol non salé. Le faciès dominant des cations est magnésique.

Le sol dans ce profil est d'un danger faible d'alcalinisation, à pas de danger d'alcalinisation avec une moyenne de ( $3,55 \leq \text{S.A.R.} \leq 4,87$ ).

## 2.5. Caractérisation morphologique et analytique du profil cultivé de la palmeraie de Cheaab El-Nasser N° 3

### 2.5.1. Morphologie du profil N°3

- **Date de description** : 29-05-2015
- **Localisation** : 32.13174 N /003.63889 E
- **Altitude** : 458,5 m
- **Temps** : Ensoleillé
- **Topographie** : Plane, légère pente (<1%).
- **Situation** : palmeraie de Cheaab El-Nasser
- **Occupation du sol** : Palmiers dattiers, Grenadiers, Agrumes, Oliviers
- **Drainage** : Naturelle
- **Climat** : Aride



**Photo 06.** Profil N°3 du sol cultivé de la palmeraie de Cheaab El-Nasser

**HORIZON H1 (0 – 60 cm)** : couleur à l'état sec 5 YR 6/6 (reddishyellow), couleur à l'état peu humide 5 YR 4/6 (yellowishRed), peu compact, texture sableuse, à structure particulaire, racines de palmier dattier à grosseur (<1,5 cm) peu abondantes, très faible effervescence à l'HCl, transition nette et irrégulière.

**HORIZON H2 (60 – 94 cm)** : couleur à l'état sec 7,5 YR 6/8 (reddishyellow), et couleur à l'état humide 7,5 YR 4/6 (strongbrown), texture sableuse, nombreuse racines de palmier dattier à grosseur (<2 cm), compact, faible effervescence à l'HCl, pas d'éléments grossiers (>2mm), transition nette et régulière.

**HORIZON H3 (>94 cm)** : couleur à l'état sec 5 YR 6/6 (reddishyellow), et couleur à l'état humide 5 YR 4/6 (yellowishRed), moyenne effervescence à l'HCl, texture sableuse, à structure particulaire, quelques racines vivantes de palmier dattier à grosseur (<1,5 cm) avec une activité biologique moyenne, compact, transition nette et régulière, éléments grossiers (>2mm) peu abondants.

### 2.1.2. Résultats des analyses du profil N°3

Les résultats des analyses du profil N°3 du sol de la parcelle cultivée dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser sont représentés dans le tableau 08.

**Tableau 08.** Résultats des analyses du profil N°3 du sol de la parcelle cultivée dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser.

Caractéristiques		Horizons		
		A	B	C
Profondeur (cm)		0-60	60-94	>94
pH eau 1/5		8,17	8,47	8,26
pH KCl 1/5		8,09	7,55	8,17
CE 1/5 (dS/m) à 25°C		0,10	0,13	0,10
Humidité (%)		0,05	0,09	0,06
Calcaire total (%)		0,88	1,60	1,32
Calcaire actif (%)		0,13	1,06	1,06
Matière organique (%)		0,41	0,06	0,04
Granulométrie (%)	SG (200-2000 µm)	7,91	17,12	51,49
	SF (50-200 µm)	91,26	81,47	47,64
	L+A (<50 µm)	0,45	0,94	0,31
Classe texturale		Sableuse	Sableuse	Sableuse
Les cations de l'extrait aqueux 1/5 (mg/l)	Na <sup>+</sup>	15	15	12,5
	K <sup>+</sup>	6	5	3,5
	Ca <sup>2+</sup>	8,016	12,024	28,056
	Mg <sup>2+</sup>	26,73	29,16	43,74
Cation dominant		Magnésium	Magnésium	Magnésium
S.A.R		3,60	3,31	2,09

La texture du sol est partout sableuse. Le sol est peu calcaire à non calcaire ( $0,88\% \leq \text{CaCO}_3$  total  $\leq 1,60\%$ ) (BAIZE, 1988) mais les taux de calcaire actif sont faibles ( $0,13\% \leq \text{CaCO}_3$  actif  $\leq 1,06\%$ ). Le sol est très pauvre en matière organique (M.O.  $< 1\%$ ) (I.T.A, 1975).

Le pH du sol du profil N°3 est fortement alcalin ( $8,17 \leq \text{pH} \leq 8,47$ ) (SOLTNER, 1989). Les valeurs de la conductivité électrique ( $\text{CE}_{1/5}$ ) sont très faibles ( $0,10 \text{ dS/m} \leq \text{C.E.} \leq 0,13 \text{ dS/m}$ ) (AUBERT, 1978), d'où un sol non salé. Le faciès dominant des cations est magnésique.

Dans ce profil il n'y a pas de danger d'alcalinisation avec une moyenne de ( $2,09 \leq \text{S.A.R.} \leq 3,60$ ).

### 3. Discussion

La description morphologique des profils dans les trois palmeraies étudiées a révélé le nombre d'horizons et leurs épaisseurs, ils sont presque les mêmes, ce qui montre qu'il y a une homogénéité morphologique du sol. Les couches exploitées par les racines du palmier dattier sont regroupées entre 60 cm et 94 cm de profondeur. La texture du sol est en totalité sableuse. La couleur des horizons varie entre 5 et 7.5 YR, car la texture du sol est la même.

La caractérisation analytique des profils, représente que le sol est non calcaire à peu calcaire ( $0,88\% \leq \text{CaCO}_3 \leq 3,69\%$ ) alors que la teneur en calcaire actif a évolué dans un sens positif avec le calcaire total, cette situation est peut être liée à la nature de la forme du calcaire dans ces sols.

La teneur en matière organique est plus faible ( $0,04\% \leq \text{M.O.} \leq 0,67\%$ ) et chute brutalement de la surface vers la profondeur ; ce qui fait ressortir l'influence du couvert végétal sur

l'apport de la matière organique fraîche ; La diminution est probablement liée à une forte activité biologique. A l'exception dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub qui est caractérisée par une accumulation de la matière organique dans l'horizon profond, ce qui est lié à la longueur des racines du palmier dattier.

La détermination de l'humidité hygroscopique montre que les sols étudiés sont très secs et ne retiennent qu'une faible proportion d'eau, allant entre ( $0,05 \% \leq \text{Humidité} \leq 0,19 \%$ ).

Le suivie de la réaction du sol indique que nous sommes en présence d'un sol fortement alcalin ( $8,17 \leq \text{pH eau} \leq 8,51$ ) dans tous les palmeraies étudiées. L'acidité résiduelle ou pH KCl s'est révélé par des valeurs plus proches à l'acidité actuelle (pH eau) dans l'ensemble des sols des trois stations. Ceci est lié principalement à la saturation du complexe adsorbant en base et qu'il n'existe probablement pas d'ions hydrogènes sur le complexe ce qui explique une forte concentration de l'ion K dans la solution du sol.

D'autre part le suivie de la conductivité électrique le long des profils fait ressortir le caractère non salin de ce type de sol ( $0,10 \text{ dS/m} \leq \text{C.E.} \leq 0,43 \text{ dS/m}$ ).

Le danger d'alcalinisation est faible oscillant entre ( $2,09 \leq \text{S.A.R.} \leq 4,87$ ), cela montre une alternance entre le phénomène de remontée capillaire et celui de la lixiviation, ce qui provoque l'accumulation des sels dans les horizons (BEN BRAHIM, 2001), avec un faciès dominant des cations qui est magnésique.

#### **4. Conclusion**

Le sol de la région étudiée dans la parcelle cultivée est homogène du point de vue texturale et le nombre d'horizon.

Le sol possède une texture major sableuse avec un pH fortement alcalin, les teneurs en calcaires sont faibles et la matière organique est très pauvre.

La conductivité électrique est très faible, cela indique un type de sol non salin, cela est dû à l'importance de la fraction sableuse dans les trois palmeraies et qui explique la faible structuration des sols entraînant le lessivage de tous les éléments en profondeur

Le processus d'alcalinisation est faible, avec un faciès dominant des cations qui est magnésique.

En définitive, la description morphologique et les résultats analytiques des différents profils font ressortir cette relation : la différenciation des sols est liée aux facteurs de formation et d'évolution : facteurs de pédogénèse où la roche mère, le climat et la nature du couvert végétale sont les facteurs déterminants.

## Chapitre V. Evolution de la salinité du sol

En Algérie, de l'Est à l'Ouest et de la cote méditerranéenne au Sahara, les sols agricoles sont dans leur majorité affectés par la salinité, ou susceptible de l'être (HALITIM, 1973 ; DURAND, 1983).

L'irrigation a un effet souvent défavorable sur le plan de la salinisation notamment dans les zones arides où les eaux d'irrigation sont généralement chargées (AUBERT, 1975 ; HULLIN, 1983 ; DAOUD & HALITIM, 1994 ; CONDOM, 2000).

Dans notre étude, les mensurations de la conductivité électrique sont effectuées sur une période de 24 mois, allant de Mars 2014 jusqu'à vers Février 2016 (8 saisons). Les résultats présentés et discutés dans ce travail, sont basés sur les données des quatre premières saisons (Mars 2014-Février 2015). Or les données des autres saisons seront récapitulées dans l'annexe 02 (Tableau VII).

### 1. Résultats des mesures de la salinité des sols

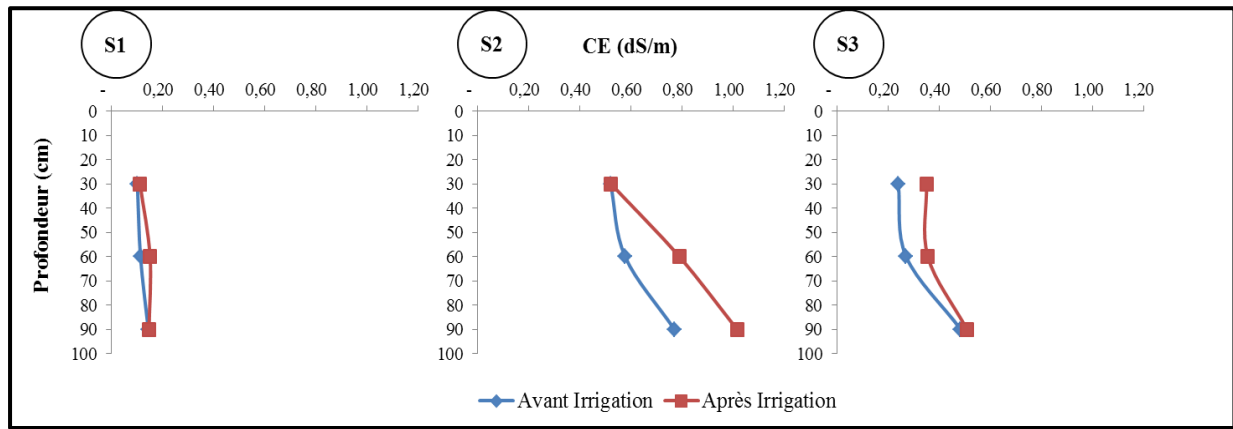
Les résultats relatifs à l'évolution de la salinité du sol, avant et après irrigation dans les trois palmeraies seront détaillés par saison :

#### 1.1. Evolution de la salinité du sol au printemps

Les résultats de la saison du printemps sont détaillés dans le tableau suivant 09 :

**Tableau 09.** Evolution de la salinité, avant/après irrigation dans les trois palmeraies étudiées au printemps.

Code	Nom de palmeraie	Horizons	Profondeur (cm)	C.E. 25°C (dS/m)	
				Avant Irrigation	Après Irrigation
S1	Palmeraie de Jedide	H1	0-30	0,10	0,11
		H2	30-60	0,11	0,15
		H3	60-90	0,14	0,15
S2	Palmeraie de Cheaab El-aargoub	H1	0-30	0,52	0,52
		H2	30-60	0,58	0,79
		H3	60-90	0,77	1,02
S3	Palmeraie de Cheaab El-Nasser	H1	0-30	0,24	0,35
		H2	30-60	0,27	0,35
		H3	60-90	0,48	0,51



**Figure 09.** Evolution de la conductivité électrique du sol (dS/m à 25°C) avant et après irrigation dans les trois palmeraies au printemps.

D'après le tableau 09 et la figure 09, l'évolution de la salinité du sol est variable selon les palmeraies. Dans la palmeraie de Jedide, nous avons enregistré une légère augmentation de la conductivité électrique au niveau de tous les horizons des profils après irrigation, le sol demeure non salé (C.E.  $\leq 0,6$  dS/m) (AUBERT, 1978). La palmeraie de Cheaab El-aargoub, indique une augmentation significative de la salinité dans l'horizon moyen et profond après irrigation avec un sol non salé, sauf l'horizon H3 avant irrigation et l'horizon (H2, H3) sont de C.E.  $> 0,6$  dS/m après irrigation (sol peu salé). Or, les valeurs de la palmeraie de Cheaab El-Nasser ont augmenté, nous observons une augmentation dans les résultats après irrigation sur tous les horizons avec une stabilité dans l'horizon H1 et H2, le sol reste non salé.

Selon la classification des profils salins de SERVANT (1976) (Annexe 03), le profil salin de la palmeraie de Jedide est de type D avant irrigation, ce profil est caractérisé par un maximum en profondeur. Tandis que le profil après irrigation est de type B, caractérisé par un maximum en moyenne profondeur (H2) (désalinisation temporaire). Alors qu'il y a une conservation de type D pour les profils avant et après irrigation dans les deux autres palmeraies (Cheaab El-aargoub et Cheaab El-Nasser) (Fig.09).

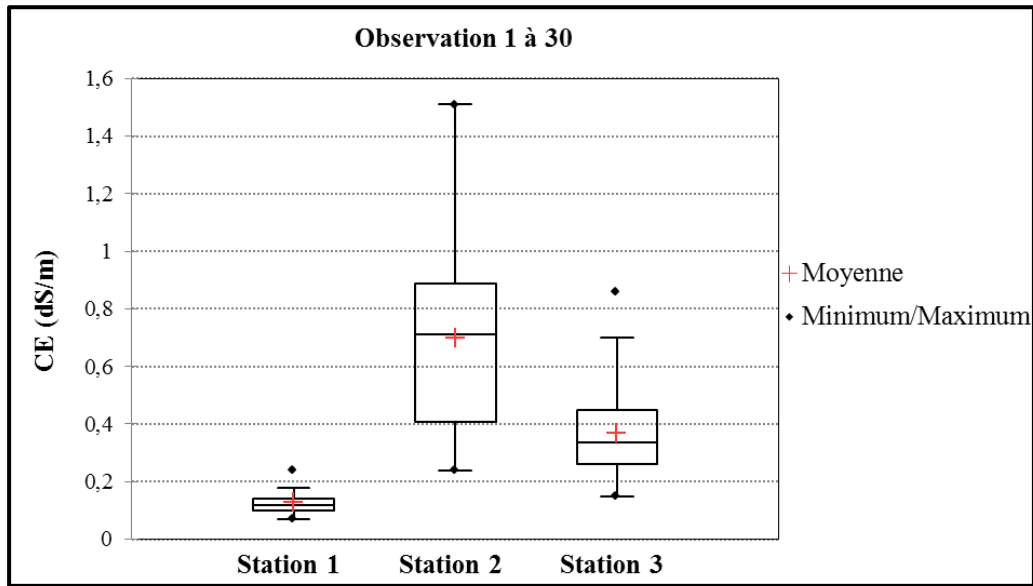
Les résultats d'analyse statistique descriptive de la conductivité électrique du sol dans les trois palmeraies étudiées durant la saison de printemps sont comme suivant:

Dans la palmeraie de Jedide, la conductivité électrique varie de 0,07 à 0,27 dS/m avec une moyenne de  $0,13 \pm 0,04$  dS/m.

Dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub, la conductivité électrique varie de 0,24 à 1,51 dS/m avec une moyenne de  $0,70 \pm 0,30$  dS/m.

Dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser, la conductivité électrique varie de 0,15 à 0,86 dS/m avec une moyenne de  $0,37 \pm 0,16$  dS/m.

L'analyse de variance de la conductivité électrique à montrer que la variation d'amont vers l'aval (Fig.10) est très hautement significative ( $F^{6,83} = 31,753$ ,  $P < 0,0001$ , T.H.S) (Annexe 04, tableau X).



**Figure 10.** Boite à moustaches de la variation de la conductivité électrique du sol dans les trois palmeraies au printemps.

Le test de Tukey, représentant l'analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95%, montre que les trois stations (Palmeraie de Jedide, de Cheaab El-aargoub et de Cheaab El-Nasser) n'appartiennent pas à un seul groupe (Tab.10), la différence étant significative. Le même résultat a été enregistré entre les modalités (avant/après irrigation) (Tab.11).

**Tableau 10.** Test de Tukey de la salinité du sol entre les trois palmeraies au printemps.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Station 2 vs Station 1	0,571	12,544	1,989	< 0,0001	Oui
Station 2 vs Station 3	0,332	7,290	1,989	< 0,0001	Oui
Station 3 vs Station 1	0,239	5,254	1,989	< 0,0001	Oui
Valeur critique du d de Tukey :			3,375		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes		
Station 2	0,698	A		
Station 3	0,366		B	
Station 1	0,127			C

**Tableau 11.** Test de Tukey de la salinité du sol avant et après irrigation au printemps.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Après irrigation vs Avant Irrigation	0,082	2,196	1,989	<b>0,031</b>	Oui
Valeur critique du d de Tukey :			2,813		

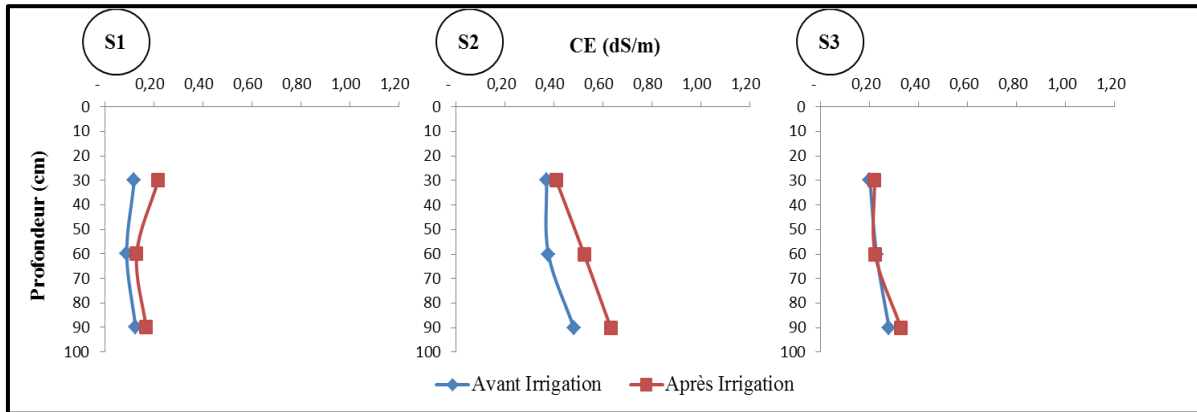
Modalité	Moyennes estimées	Groupes		
Après irrigation	0,438	A		
Avant Irrigation	0,356		B	

## 1.2. Evolution de la salinité du sol en été

Les résultats de la salinité du sol pendant la saison estivale sont représentés au tableau suivant 12 :

**Tableau 12.** Evolution de la salinité avant/après irrigation dans les trois palmeraies étudiées en saison estivale.

Code	Nom de palmeraie	Horizons	Profondeur (cm)	C.E. 25°C (dS/m)	
				Avant Irrigation	Après Irrigation
S1	Palmeraie de Jedide	H1	0-30	0,12	0,22
		H2	30-60	0,09	0,13
		H3	60-90	0,12	0,17
S2	Palmeraie de Cheaab El-aargoub	H1	0-30	0,37	0,41
		H2	30-60	0,38	0,52
		H3	60-90	0,48	0,63
S3	Palmeraie de Cheaab El-Nasser	H1	0-30	0,20	0,22
		H2	30-60	0,23	0,22
		H3	60-90	0,28	0,33



**Figure 11.** Evolution de la conductivité électrique du sol (dS/m à 25°C) avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison estivale.

Dans la palmeraie de Jedide, nous avons observé une légère augmentation de la salinité au niveau de tous les horizons après irrigation et le sol demeure non salé (C.E. < 0,6 dS/m). La palmeraie de Cheaab El-aargoub, montre une augmentation significative de la salinité dans l'horizon moyen et profond après irrigation avec majoritairement un sol non salé, sauf l'horizon H3 qui est de C.E. > 0,6 dS/m après irrigation (sol peu salé). Cependant, les résultats des analyses du sol de la palmeraie de Cheaab El-Nasser montrent une légère augmentation de la salinité dans l'horizon superficiel et l'horizon profond, le sol reste non salé (Tab.12).

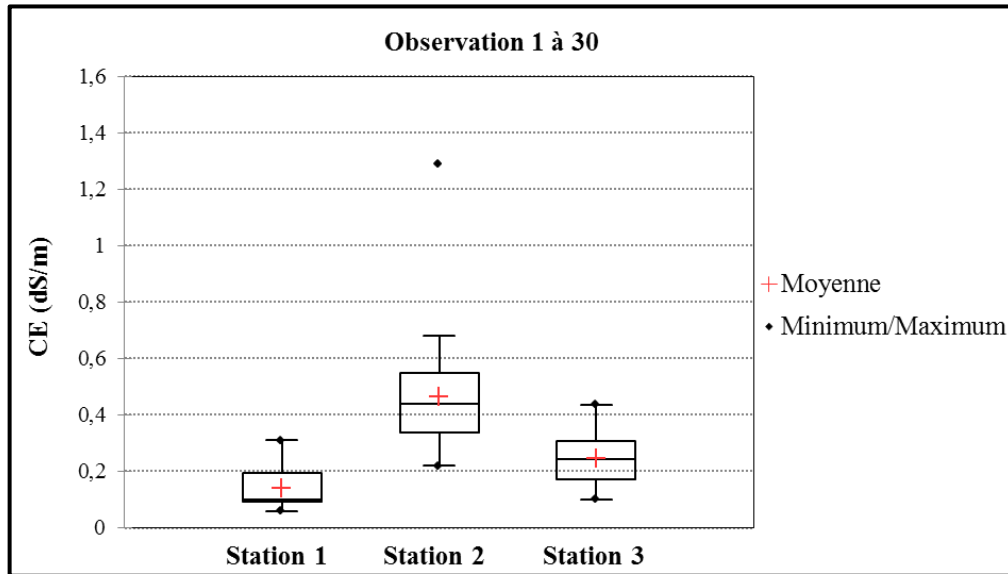
Selon la classification des profils salins de SERVANT (1976) dans les trois palmeraies avant et après l'irrigation, nous avons constaté une évolution du profil de type C au type A dans la palmeraie de Jedide (S1) et une conservation du type D dans les deux autres palmeraies (Cheaab El-aargoub et Cheaab El-Nasser) (Fig.11).

Les résultats d'analyse statistique descriptive de la conductivité électrique du sol dans les trois palmeraies étudiées durant la saison estivale sont comme suivants :

Dans la palmeraie de Jedide, la conductivité électrique varie de 0,06 à 0,31 dS/m avec une moyenne de  $0,14 \pm 0,07$  dS/m.

Dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub, la conductivité électrique varie de 0,22 à 1,29 dS/m avec une moyenne de  $0,47 \pm 0,20$  dS/m.

Dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser, la conductivité électrique varie de 0,10 à 0,44 dS/m avec une moyenne de  $0,25 \pm 0,09$  dS/m.



**Figure 12.** Boite à moustaches de la variation de la conductivité électrique du sol dans les trois palmeraies pendant la saison estivale.

L'analyse de variance de la conductivité électrique à montrer que la variation d'amont vers l'aval (Fig.12) est très hautement significative ( $F^{6,83} = 20,226$ ,  $P < 0,0001$ , T.H.S) (Annexe 04, tableau XI).

Le test de Tukey, représentant l'analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95%, montre que les trois stations (palmeraie de Jedide, de Cheaab El-aargoub et de Cheaab El-Nasser) n'appartiennent pas à un seul groupe (Tab.13), la différence étant significative. Le même résultat a été enregistré entre les modalités (avant/après irrigation) (Tab.14).

**Tableau 13.** Test de Tukey de la salinité du sol entre les trois palmeraies en saison estivale.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Station 2 vs Station 1	0,333	10,158	2,386	< <b>0,0001</b>	Oui
Station 2 vs Station 3	0,220	6,712	2,386	< <b>0,0001</b>	Oui
Station 3 vs Station 1	0,113	3,447	2,386	<b>0,003</b>	Oui
Valeur critique du d de Tukey :			3,375		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes		
Station 2	0,468	A		
Station 3	0,248		B	
Station 1	0,135			C

**Tableau 14.** Test de Tukey de la salinité du sol avant et après irrigation en saison estivale.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Après irrigation vs Avant Irrigation	0,059	2,216	1,989	<b>0,029</b>	Oui
Valeur critique du d de Tukey :			2,813		

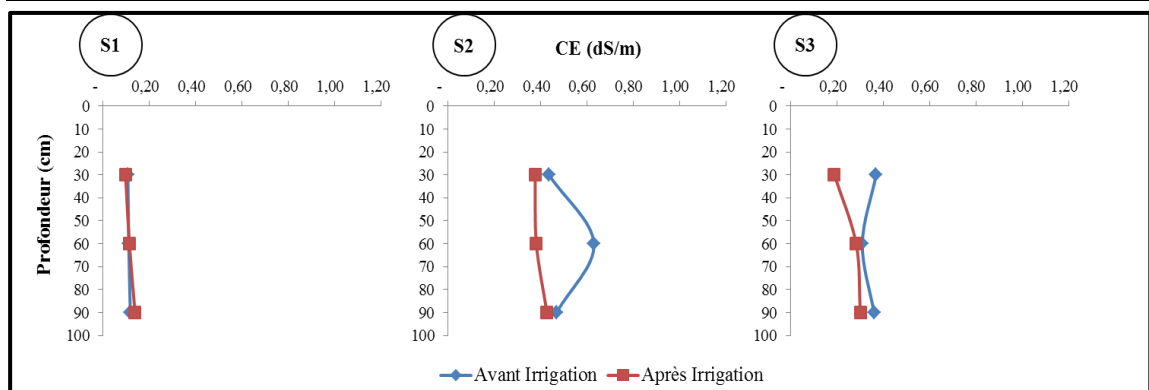
Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
Après irrigation	0,313	A	
Avant Irrigation	0,254		B

### 1.3. Evolution de la salinité du sol en automne

Les résultats d'analyse de la conductivité électrique du sol pendant la saison d'automne sont définis dans le tableau 15 suivant :

**Tableau 15.** Evolution de la salinité avant/après irrigation dans les trois palmeraies étudiées pendant la saison d'automne.

Code	Nom de palmeraie	Horizons	Profondeur (cm)	C.E. 25°C (dS/m)	
				Avant Irrigation	Après Irrigation
S1	Palmeraie de Jedide	H1	0-30	0,11	0,10
		H2	30-60	0,11	0,11
		H3	60-90	0,12	0,14
S2	Palmeraie de Cheaab El-aargoub	H1	0-30	0,44	0,38
		H2	30-60	0,63	0,38
		H3	60-90	0,47	0,43
S3	Palmeraie de Cheaab El-Nasser	H1	0-30	0,37	0,19
		H2	30-60	0,31	0,28
		H3	60-90	0,36	0,30



**Figure 13.** Evolution de la conductivité électrique du sol (dS/m à 25°C) avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison d'automne.

La dynamique des sels solubles dans les sols étudiés, varie entre les palmeraies. Les résultats de la palmeraie de Jedide indiquent une égalité entre les valeurs de la conductivité électrique avant et après irrigation au niveau des horizons (H1, H2) et une petite convergence au niveau de l'horizon H3, le sol est non salé. Tandis que l'irrigation dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub et Cheaab El-Nasser a diminué la conductivité électrique au niveau de tous les horizons, le sol est généralement non salé. Sauf l'horizon H2 avant irrigation dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub est peu salée (Tab.15 et Fig.13).

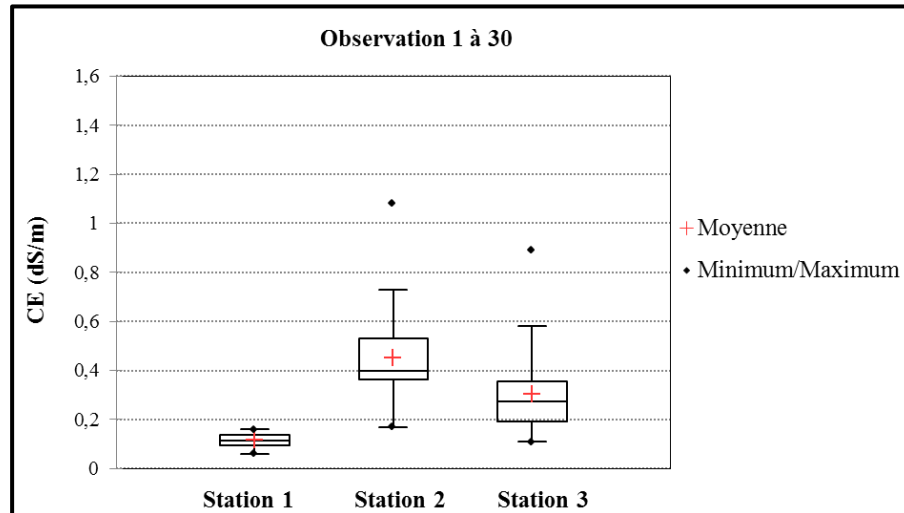
La classification des profils salins dans les trois palmeraies avant et après l'irrigation est caractérisée par le type D dans la palmeraie de Jedide. Cependant dans les autres palmeraies nous avons constaté une évolution des profils, de type B au type D à la palmeraie de Cheaab El-aargoub et de type A au type D à la palmeraie de Cheaab El-Nasser (SERVANT, 1976) (Fig.13).

Les résultats d'analyse statistique descriptive de la conductivité électrique du sol dans les trois palmeraies étudiées durant la saison d'automne sont comme suivants :

Dans la palmeraie de Jedide, la conductivité électrique varie de 0,06 à 0,16 dS/m avec une moyenne de  $0,11 \pm 0,02$  dS/m.

Dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub, la conductivité électrique varie de 0,17 à 1,08 dS/m avec une moyenne de  $0,45 \pm 0,19$  dS/m.

Dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser, la conductivité électrique varie de 0,11 à 0,89 dS/m avec une moyenne de  $0,30 \pm 0,16$  dS/m.



**Figure 14.** Boite à moustaches de la variation de la conductivité électrique du sol dans les trois palmeraies pendant la saison d’automne.

L’analyse de variance de la conductivité électrique à montrer que la variation d’amont vers l’aval (Fig.14) est très hautement significative ( $F^{6,83}=15,281$ ,  $P < 0,0001$ , T.H.S) (Annexe 04, tableau XII).

**Tableau 16.** Test de Tukey de la salinité du sol entre les trois palmeraies pendant la saison d’automne.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Station 2 vs Station 1	0,339	9,148	2,386	< 0,0001	Oui
Station 2 vs Station 3	0,151	4,088	2,386	0,000	Oui
Station 3 vs Station 1	0,187	5,060	2,386	< 0,0001	Oui
Valeur critique du d de Tukey :			3,375		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes		
Station 2	0,445	A		
Station 3	0,294		B	
Station 1	0,107			C

Des différences significatives sont enregistrées à partir du test de Tukey entre les trois stations (palmeraie de Jedide, palmeraie de Cheaab El-aargoub et palmeraie de Cheaab El-Nasser), ces stations n’appartiennent pas à un seul groupe (Tab.16). Le même résultat a été enregistré entre les modalités (avant/après irrigation) (Tab.17).

**Tableau 17.** Test de Tukey de la salinité du sol avant et après irrigation pendant la saison d'automne.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Après irrigation vs Avant Irrigation	0,067	2,220	1,989	<b>0,029</b>	Oui
Valeur critique du d de Tukey :			2,813		

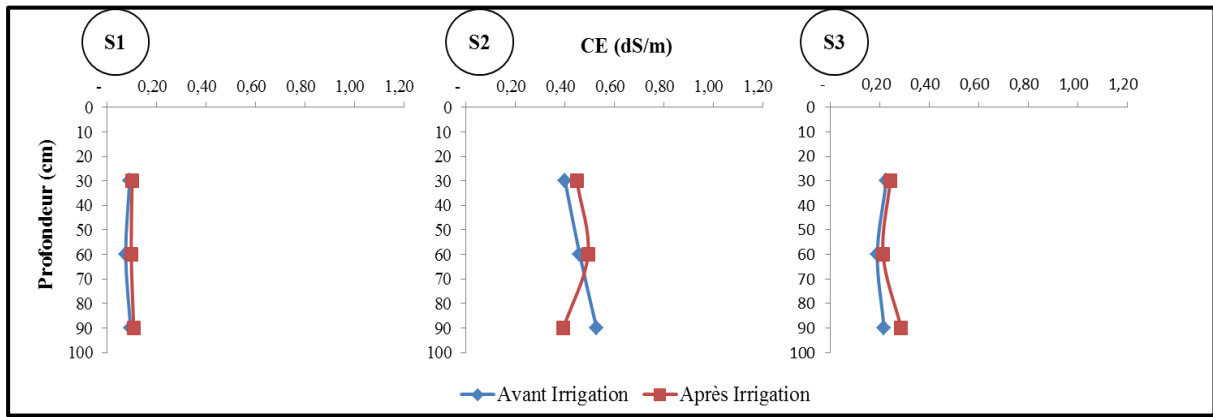
Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
Après irrigation	0,316	A	
Avant Irrigation	0,249		B

#### 1.4. Evolution de la salinité du sol en hiver

Les mesures de la conductivité électrique de la saison hivernale sont exposées au tableau suivant 18 :

**Tableau 18.** Evolution de la salinité avant et après irrigation dans les trois palmeraies étudiées pendant la saison hivernale.

Code	Nom de palmeraie	Horizons	Profondeur (cm)	C.E. 25°C (dS/m)	
				Avant Irrigation	Après Irrigation
S1	Palmeraie de Jedide	H1	0-30	0.09	0.1
		H2	30-60	0.07	0.10
		H3	60-90	0.09	0.11
S2	Palmeraie de Cheaab El-aargoub	H1	0-30	0.40	0.45
		H2	30-60	0.46	0.49
		H3	60-90	0.53	0.39
S3	Palmeraie de Cheaab El-Nasser	H1	0-30	0.23	0.24
		H2	30-60	0.19	0.21
		H3	60-90	0.22	0.29



**Figure 15.** Evolution de la conductivité électrique du sol (dS/m à 25°C) avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant l'hiver.

L'évolution de la conductivité électrique entre les profils avant et après irrigation est très proche sauf pour la palmeraie de Cheaa El-aargoub. Dans la palmeraie de Jedide et Cheaab El-Nasser, nous avons remarqué une légère augmentation de la salinité au niveau de tous les horizons du profil après irrigation. Par ailleurs la palmeraie de Cheaab El-aargoub, l'irrigation a augmenté la salinité dans les horizons (H1 et H2) et a diminué dans l'horizon profond H3. Le sol est non salé dans les trois palmeraies (C.E.  $\leq 0,6$  dS/m) (Tab.18 et figure 15).

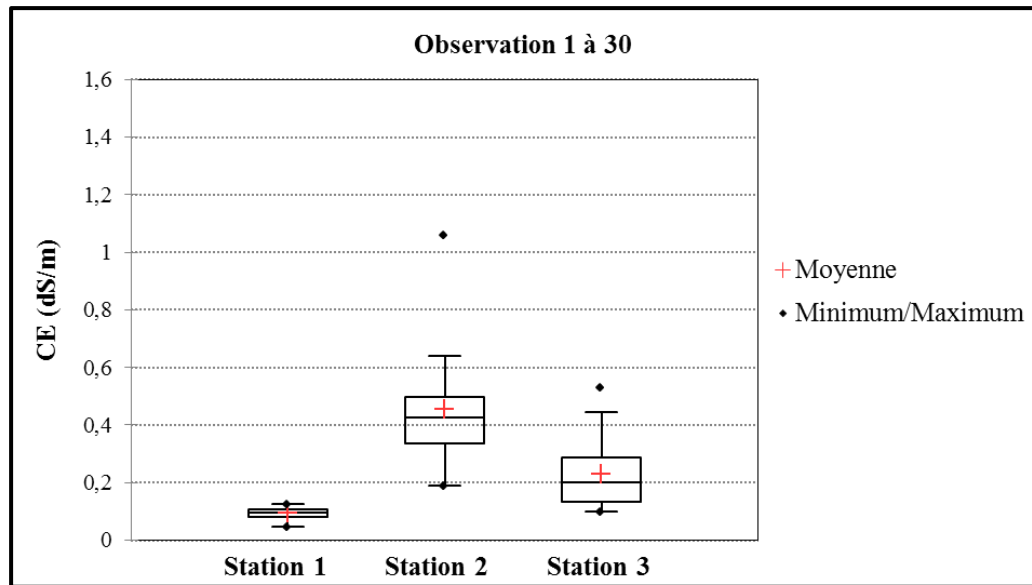
D'après la figure 15, nous constatons une variabilité dans les profils types du sol. Nous avons enregistré le profil type C (SERVANT, 1976), avant et après irrigation dans la palmeraie de Jedide qui est caractérisé par une accumulation des sels en superficie et en profondeur. Tandis que dans les deux autres palmeraies, nous avons observé une évolution du profil de type D au type B pour la palmeraie de Cheaab El-aargoub et le type C au type D dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser.

Les résultats d'analyse statistique descriptive de la conductivité électrique du sol dans les trois palmeraies étudiées durant la saison hivernale sont comme suivants :

Dans la palmeraie de Jedide, la conductivité électrique varie de 0,05 à 0,13 dS/m avec une moyenne de  $0,09 \pm 0,02$  dS/m.

Dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub, la conductivité électrique varie de 0,19 à 1,06 dS/m avec une moyenne de  $0,45 \pm 0,18$  dS/m.

Dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser, la conductivité électrique varie de 0,10 à 0,53 dS/m avec une moyenne de  $0,23 \pm 0,11$  dS/m.



**Figure 16.** Boite à moustaches de la variation de la conductivité électrique du sol dans les trois palmeraies pendant la saison hivernale.

L'analyse de variance de la conductivité électrique à montrer que la variation d'amont vers l'aval (Fig.16) est très hautement significative ( $F^{5,84} = 24,346$ ,  $P < 0,0001$ , T.H.S) (Annexe 04, tableau XIII).

**Tableau 19.** Test de Tukey de la salinité du sol entre les trois palmeraies pendant la saison hivernale.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Station 2 vs Station 1	0,360	10,893	2,386	< 0,0001	Oui
Station 2 vs Station 3	0,225	6,816	2,386	< 0,0001	Oui
Station 3 vs Station 1	0,135	4,077	2,386	0,000	Oui
Valeur critique du d de Tukey :			3,375		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes		
Station 2	0,445	A		
Station 3	0,294		B	
Station 1	0,107			C

Le test de Tukey, représentant l'analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95%, montre que les trois stations (palmeraie de Jedide, de Cheaab El-aargoub et de Cheaab El-Nasser) n'appartiennent pas à un seul groupe (Tab.19), la différence étant significative. Aucune différence significative n'a été enregistrée avant et après irrigation, ces deux modalités appartiennent au même groupe (Tab.20).

**Tableau 20.** Test de Tukey de la salinité du sol avant et après irrigation pendant la saison hivernale.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Après irrigation vs Avant Irrigation	0,011	0,412	1,989	0,681	Non
Valeur critique du d de Tukey :			2,813		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
Après irrigation	0,264	A	
Avant Irrigation	0,253		A

## 2. Discussion

La salinité n'importe que l'environnement donné commandé par des processus physiques et biologique et varie sur des échelles spatiotemporelles (PITMAN & LAUCHLI, 2002).

Les résultats des analyses de la conductivité électrique du sol ont révélé une augmentation significative de la salinité après l'irrigation dans les trois palmeraies durant la période de travail, ce qui est due à l'apport des sels par l'eau d'irrigation sachant que ces derniers appartiennent aux classes C3, C4 et C5 (BENBRAHIM, 2001 ; BENBRAHIM, 2006).

L'irrigation a un effet souvent défavorable sur le plan de la salinisation notamment dans les zones arides où les eaux d'irrigation sont généralement chargées (AUBERT 1975 ; HULLIN, 1983 ; DAOUD & HALITIM, 1994 ; CONDOM, 2000 in BENBRAHIM, 2018). GUESSOUM (2013) et GUESSOUM et al. (2014), annoncent que la qualité hydro-chimique des eaux de la région de Sebseb dépend essentiellement de leur origine alluviale et/ou des roches d'emmagasinement. GUESSOUM (2013), signale que la qualité des eaux de la nappe phréatique utilisée en irrigation est variable selon l'altitude, à titre indicatif, la conductivité électrique de ces eaux varie de 0.39 dS/m en amont à 6.63 dS/m en aval.

L'évolution spatial et l'analyse de la variance indique une différence significative à très hautement significative pour la conductivité électrique entre les trois stations pendant la durée étudiée. En effet, selon KHADRAOUI (2007), le caractère de la salinité des sols peut varier d'une façon quantitative et qualitative surtout en présence d'un plan d'eau en relation étroite avec la dynamique des sels selon les conditions géomorphologiques et climatiques de la région. Cette signification est attribuée à la disposition géographique et topographique des palmeraies, dont la supposition de migration des sels solubles de l'amont (Jedide) vers l'aval (Cheaab El-Nasser) passe par le centre (Cheaab El-aargoub), elle est très convaincante, dans le cas où les eaux de drainage naturel transportent ces sels solubles.

La signification entre les trois palmeraies, peut se traduire par la différence dans le recouvrement végétal. Nous avons remarqué que ce recouvrement est plus important dans la palmeraie de Cheaab-El-aargoub que dans les deux autres palmerais, cela conduit à un phénomène d'évaporation très élevé qui exige des quantités colossales en eau d'irrigation.

Le facteur majeur qui résulte de la signification de la conductivité électrique en amont et aval, c'est la qualité de l'eau d'irrigation jugée précédemment comme C3 en amont et C4, C5 en aval. Un cas pareil a été remarqué dans la région de Ouargla où la variation de la conductivité électrique du sol est en rapport avec l'eau d'irrigation utilisée (HALILAT, 1998; BENBRAHIM, 2001; DJILI *et al*, 2003; BENBRAHIM *et al*, 2016).

Les boîtes à moustaches ont montré que la conductivité électrique des sols varie d'une palmeraie à l'autre durant toutes les saisons étudiées. Ces résultats sont confirmés par l'analyse de la variance qui révèle une signification entre les palmeraies et les analyses descriptives qui met en évidence un ordre décroissant respectivement de la palmeraie de Cheaab El-aargoub à  $0,51 \pm 0,26$  dS/m, à la palmeraie de Cheaab El-Nasser à  $0,29 \pm 0,17$  dS/m et à la palmeraie de Jedide  $0,12 \pm 0,06$  dS/m. Ces variations sont dues à la naissance de ces palmeraies, elles influent sur l'évolution de la conductivité électrique dans le sol, on note que la palmeraie de Cheaab El-aargoub est la plus ancienne depuis 1980 avec une conductivité électrique plus élevée que les deux autres palmeraies (de Cheaab El-Nasser et de Jedide), cela se traduit par la différence de la quantité d'eau utilisée. Par contre la palmeraie de Jedide créée en 1987 est avec une conductivité électrique du sol moins que celle de la palmeraie de Cheaab El-Nasser créée en 1990, ceci est probablement dû à l'augmentation dans la concentration des sels contenus dans les eaux d'irrigation pour la palmeraie de Cheaab El-Nasser (classe C5), aussi à la différence d'altitude de l'amont à l'aval, où le paysage saharien est composé généralement en amont de sols sableux éoliens peu profonds, à croûte gypseuse, et en

aval, de sols sableux éoliens, plus profonds à encroûtement de nappe gypseuse plus récent (MITIMET, 1998 in BOUMARAF, 2013).

L'évolution temporelle de la conductivité électrique pendant la période expérimentale, a enregistré plusieurs variations des types de profils salins avant et après irrigation dans les trois palmeraies, ces résultats ont montré une signification dans toutes les saisons sauf la saison d'hiver qui ne révèle aucune différence significative avant et après irrigation.

Les résultats de CE et leur analyse de la variance de la saison printanière montrent une augmentation des valeurs de CE après irrigation dans tous les horizons et pour toutes les palmeraies et une signification nette avant et après irrigation, cela est probablement dû à la qualité et la quantité des eaux d'irrigation utilisées. L'allure des profils salins avant et après irrigation dans cette saison montre une dynamique descendante par le phénomène de lixiviation des sels car les besoins en eau augmentent au printemps parce que le palmier passe par une intense activité correspondant à la sortie des inflorescences, à la floraison, à la fécondation, à la nouaison et à la sortie de nouvelles palmes (DJERBI, 1994 in SELMAN, 2016). Ainsi, DURAND et RENTY (1983) ont montré que plus la fréquence d'irrigation est grande plus la solution du sol est diluée et plus l'enlèvement des sels solubles est facile. La dynamique des sels évolue entre deux types de profils salins : B (désalinisations temporaires) et D (désalinisation permanente) (SERVANT, 1976) (Fig.09).

La signification qui résulte après l'irrigation en saison estivale indique une existence d'action de l'irrigation qui continue (dynamique des sels) et où il y a stagnation de l'eau dans les couches superficielles, car les mouvements ascendants sont liés à la forte évaporation due au climat chaud et aride (FRANÇOIS, 2008). En effet, les palmeraies en aval durant la saison estivale enregistrent une augmentation de la conductivité électrique après irrigation dans tous les horizons avec une migration des sels vers l'horizon profond (GHASSEMI et al., 1995 ; WARRENCE et al., 2003). Par contre, l'augmentation remarquée dans la palmeraie de Jedide (en amont) est expliquée par une remontée capillaire des sels actionnés par la forte évapotranspiration dans ces saisons (DUCHAUFOR, 1977). Ainsi, CHEVERRY et ROBERT (1998), ont signalé que l'effet des conditions climatiques peut aggraver la situation dans les régions arides en produisant une forte évapotranspiration qui concentre les sels à la surface du sol.

Concernant la saison d'automne, la dynamique des sels dans les trois palmeraies est caractérisée par une manière aléatoire dans les horizons avant et après irrigation. Cette dynamique provoque une signification de la conductivité électrique, cela est expliqué par la quantité d'eau de

l'irrigation en cette saison car les besoins en eau sont encore considérables, puisque cette période correspond à celle du cycle de maturation des dattes et à la formation de nouvelles palmes. A la fin de la saison d'automne, la température baisse, mais il est déconseillé de diminuer les doses d'irrigation, parce que le cycle de maturation des dattes n'est pas terminé et la récolte risque de baisser fortement (DJERBI, 1994). L'irrigation en cette saison engendre le profil de type D dans les trois palmeraies (Fig.13), due à la lixiviation des sels par une forte dose d'irrigation appliquée et grâce à la fraction sableuse dans les trois palmeraies qui explique la faible structuration des sols entraînant le lessivage de tous les éléments en profondeur (DIALLO et *al*, 2015).

Durant la saison hivernale, l'ANOVA montrent aucun effet significative de la conductivité électrique dans les trois palmeraies après irrigation, ces résultats sont probablement dû à la diminution des besoins en eau dans cette saison (DJERBI, 1994), qui provoque une dynamique ascendante par une remontée capillaire qui est très lente à cause des températures faibles, ce qui réduit considérablement l'évapotranspiration. Quant à la dynamique descendante par lixiviation, c'est-à-dire la quantité des eaux utilisées en saison hivernale est faible et ne permet pas une bonne lixiviation des sels, ce qui permet d'avoir une variabilité des profils salins dans cette saison. La dynamique des sels évolue entre ces trois 03 types de profil salins, B (désalinisation temporaire), C (ré-salinisation) et D (désalinisation permanente) (SERVANT, 1976) (Fig.15).

D'une manière générale, la salinité du sol des stations étudiées varie en fonction du niveau et de la qualité des eaux phréatiques, de la topographie et du couvert végétal. En effet, selon AUBERT (1976), l'évolution spatiotemporelle des sels solubles dépend d'un certain nombre de facteurs : climatiques, topographiques, biotiques, tels que les caractéristiques des sols et des sels, la présence ou absence d'une nappe phréatique salée..... Etc.

## Chapitre VI. Evolution de la réaction du sol (pH)

Le pH traduit le degré d'acidité ou d'alcalinité (basicité) de l'eau en contact avec le sol - pH eau. Par ses interactions avec de nombreux processus chimiques et biologiques, le pH conditionne et reflète la disponibilité des éléments dans le sol. Il constitue donc un indicateur utile, en combinaison avec d'autres, pour appréhender la fertilité chimique des sols (DUCHAUFOR, 2001).

Dans notre travail, la détermination du pH du sol s'effectue sur une période de 8 saisons allant de Mars 2014 à Février 2016. Les résultats présentés et discutés dans cette étude sont fondés sur les données des quatre premières saisons (Mars 2014-Février 2015). Cependant les données des autres saisons seront synthétisées dans l'annexe 02 (Tableau VIII).

### 1. Résultats de mesure du pH des sols

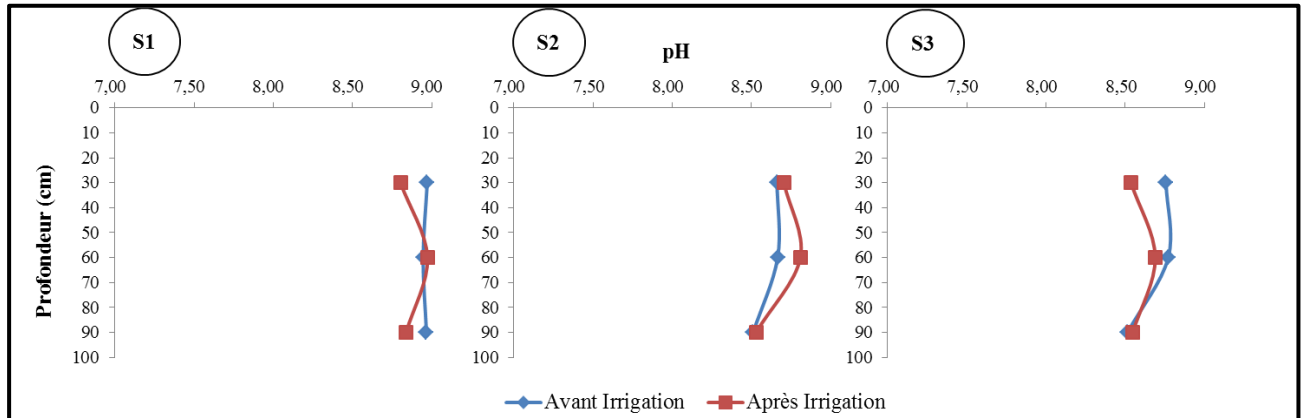
Les résultats correspondants à l'évolution de la réaction du sol, avant et après irrigation dans les trois palmeraies seront détaillés par saison.

#### 1.1. Evolution de la réaction du sol au printemps

Les résultats d'analyse du pH du sol pendant la saison du printemps sont présentés synthétiquement dans le tableau 21.

**Tableau 21.** Evolution de la réaction du sol, avant et après irrigation dans les trois palmeraies étudiées pendant la saison du printemps.

Code	Nom de palmeraie	Horizons	Profondeur (cm)	pH	
				Avant Irrigation	Après Irrigation
S1	Palmeraie de Jedide	H1	0-30	8,97	8,80
		H2	30-60	8,95	8,97
		H3	60-90	8,97	8,84
S2	Palmeraie de Cheaab El-aargoub	H1	0-30	8,66	8,71
		H2	30-60	8,67	8,81
		H3	60-90	8,51	8,53
S3	Palmeraie de Cheaab El-Nasser	H1	0-30	8,76	8,54
		H2	30-60	8,77	8,69
		H3	60-90	8,52	8,55



**Figure 17.** Evolution du pH du sol dans le profil avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison du printemps.

D'après le tableau 21 et la figure 17, l'évolution de la réaction du sol a montré une hétérogénéité entre les trois palmeraies. On a remarqué dans la palmeraie de Jedide une diminution du pH sur tous les horizons du profil après irrigation sauf l'horizon H2 qui note une légère augmentation. Par contre au niveau de la palmeraie de Cheaab El-aargoub, l'irrigation a engendré une légère augmentation dans tous les horizons. Tandis que, l'irrigation de la palmeraie de Cheaab El-Nasser a augmenté le pH dans l'horizon profond (H3) et l'a diminué dans les deux autres horizons. D'une manière générale, selon SOLTNER (1989), les trois palmeraies sont caractérisées par des sols très alcalins quelques soit la fréquence d'irrigation.

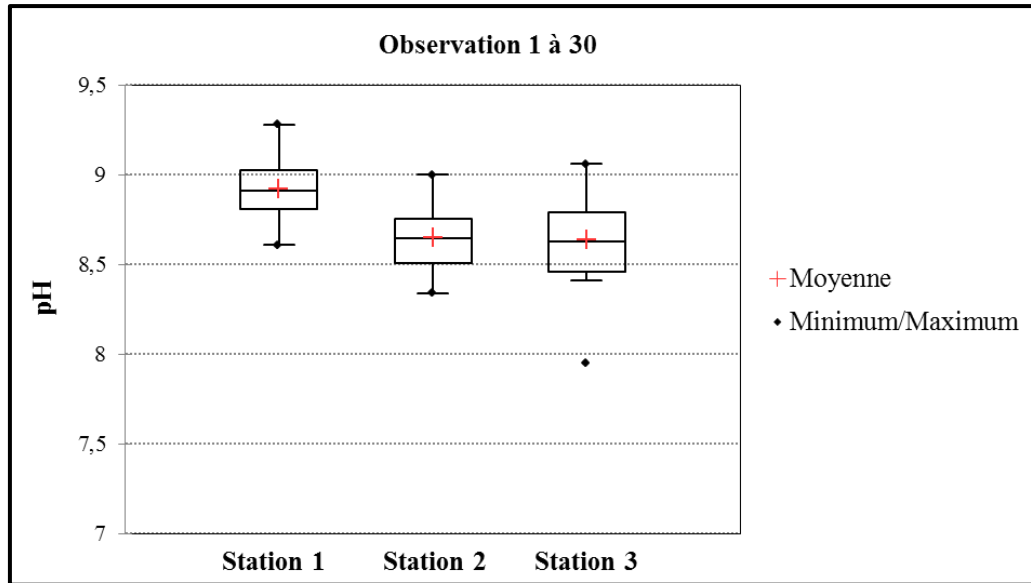
Les résultats d'analyses statistiques descriptives du pH du sol dans les trois palmeraies étudiées durant la saison du printemps sont comme suivants :

Dans la palmeraie de Jedide, le pH varie de 8,61 à 9,28 avec une moyenne de  $8,92 \pm 0,15$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub, le pH varie de 8,34 à 9 avec une moyenne de  $8,65 \pm 0,18$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser, le pH varie de 7,95 à 9,06 avec une moyenne de  $8,64 \pm 0,23$ .

L'analyse de la variance du pH du sol a montré que la variation d'amont vers l'aval (Fig.18) est très hautement significative ( $F^{6,83} = 9,580$ ,  $P < 0,0001$ , T.H.S) (Annexe 05, tableau XIV).



**Figure 18.** Boite à moustaches de la variation du pH du sol dans les trois palmeraies pendant la saison du printemps.

**Tableau 22.** Test de Tukey de la réaction du sol entre les trois palmeraies pendant la saison du printemps.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Station 1 vs Station 3	0,279	5,861	2,386	< 0,0001	Oui
Station 1 vs Station 2	0,270	5,672	2,386	< 0,0001	Oui
Station 2 vs Station 3	0,009	0,189	2,386	0,980	Non
Valeur critique du d de Tukey :			3,375		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
Station 1	8,885	A	
Station 2	8,615		B
Station 3	8,606		B

**Tableau 23.** Test de Tukey de la réaction du sol avant et après irrigation pendant la saison du printemps.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Après Irrigation vs Avant Irrigation	0,038	0,985	1,989	0,328	Non
Valeur critique du d de Tukey :			2,813		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes
Avant Irrigation	8,721	A
Après Irrigation	8,683	A

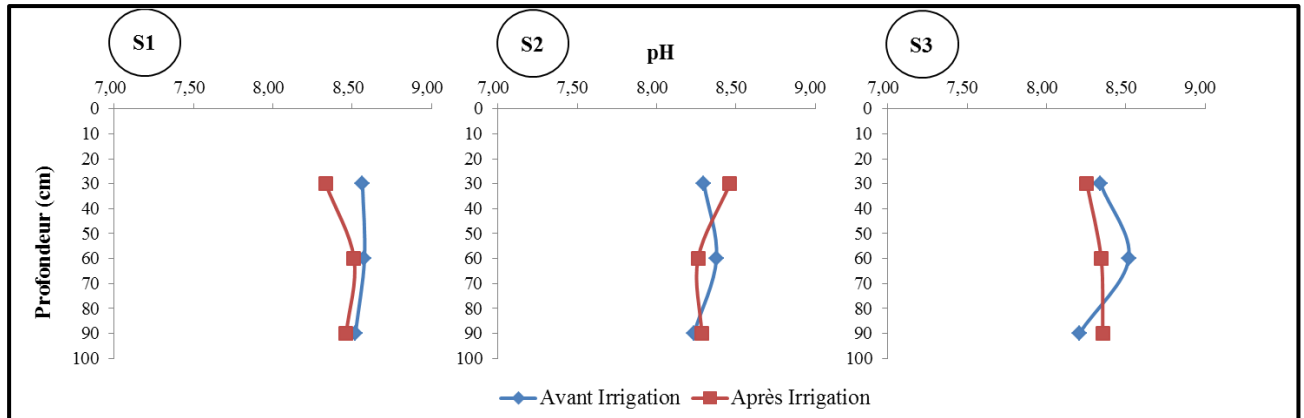
Le test de Tukey (Tabl.22), la réaction du sol entre les trois palmeraies a révélé des différences significatives du pH entre la station 1 et la station 2, la station 1 et la station 3, par contre entre la station 2 et la station 3 aucune signification. La palmeraie de Jedide appartient au groupe A, alors que la palmeraie de Cheaab El-aargoub et de Cheaab El-Nasser appartiennent à un même groupe B. Aucune différence significative n'a été enregistrée avant et après irrigation, ces deux modalités appartiennent au même groupe (Tab.23).

### 1.2. Evolution de la réaction du sol en été

Les résultats relatifs aux analyses du pH du sol pendant la saison estivale dans les différentes palmeraies de Sebseb sont mentionnés dans le tableau 24.

**Tableau 24.** Evolution de la réaction du sol, avant et après irrigation dans les trois palmeraies étudiées en saison estivale.

Code	Nom de palmeraie	Horizons	Profondeur (cm)	pH	
				Avant Irrigation	Après Irrigation
S1	Palmeraie de Jedide	H1	0-30	8,57	8,33
		H2	30-60	8,58	8,51
		H3	60-90	8,52	8,46
S2	Palmeraie de Cheaab El-aargoub	H1	0-30	8,30	8,46
		H2	30-60	8,38	8,26
		H3	60-90	8,24	8,28
S3	Palmeraie de Cheaab El-Nasser	H1	0-30	8,34	8,25
		H2	30-60	8,52	8,34
		H3	60-90	8,21	8,35



**Figure 19.** Evolution du pH du sol dans le profil avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison estivale.

Les profils du pH du sol sont variables selon les palmeraies. Au niveau de la palmeraie de Jedide, nous avons observé une diminution du pH sur tous les horizons du profil après irrigation. Dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub, l'irrigation a engendré une légère augmentation du pH dans l'horizon H1 et une diminution dans l'horizon H2 (Dynamique ascendant). Cependant, l'irrigation de la palmeraie de Cheaab El-Nasser a augmenté le pH dans l'horizon profond (H3) et elle l'a diminué dans les deux autres horizons (Dynamique descendant). D'une manière globale, selon SOLTNER (1989), les trois palmeraies sont caractérisées par des sols très alcalins quelque soit la fréquence d'irrigation (Tab.24 et Fig.19).

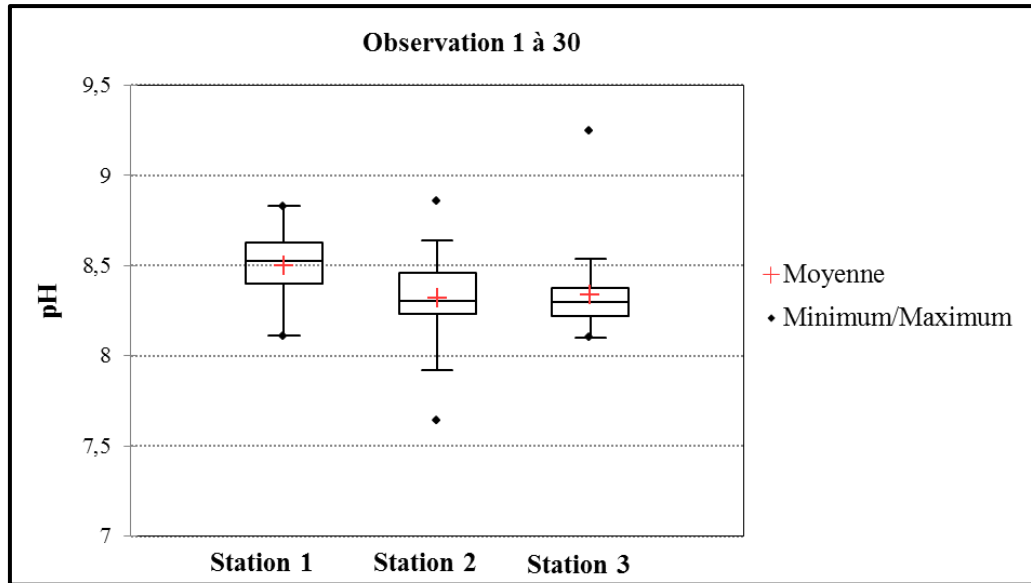
Les résultats d'analyse statistique descriptive du pH du sol dans les trois palmeraies étudiées en saison estivale sont comme suivants :

Dans la palmeraie de Jedide, le pH varie de 8,11 à 8,83 avec une moyenne de  $8,50 \pm 0,18$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub, le pH varie de 7,64 à 8,86 avec une moyenne de  $8,32 \pm 0,23$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser, le pH varie de 8,10 à 9,25 avec une moyenne de  $8,34 \pm 0,21$ .

L'analyse de la variance du pH du sol a montré que la variation d'amont vers l'aval (Fig.20) est significative ( $F^{6,83} = 2,863$ ,  $P < 0,014$ ) (Annexe 05, tableau XV).



**Figure 20.** Boite à moustaches de la variation du pH du sol dans les trois palmeraies pendant la saison estivale.

**Tableau 25.** Test de Tukey de la réaction du sol entre trois palmeraies pendant la saison estivale.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Station 1 vs Station 2	0,175	3,251	2,386	<b>0,005</b>	Oui
Station 1 vs Station 3	0,161	2,979	2,386	<b>0,010</b>	Oui
Station 3 vs Station 2	0,015	0,272	2,386	0,960	Non
Valeur critique du d de Tukey :			3,375		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
Station 1	8,497	A	
Station 3	8,336		B
Station 2	8,321		B

**Tableau 26.** Test de Tukey de la réaction du sol avant et après irrigation pendant la saison estivale.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Après Irrigation vs Avant Irrigation	0,040	0,918	1,989	0,361	Non
Valeur critique du d de Tukey :			2,813		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes
Avant Irrigation	8,405	A
Après Irrigation	8,365	A

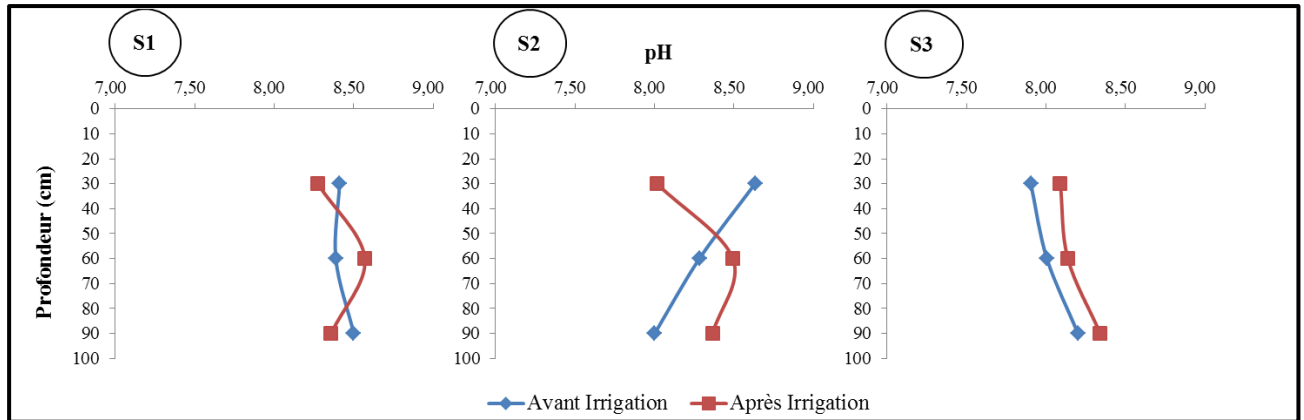
Des différences significatives sont enregistrées à partir du test de Tukey entre les stations (palmeraie de Jedide et palmeraie de Cheaab El-aargoub, palmeraie de Jedide et palmeraie de Cheaab El-Nasser). Cependant entre la palmeraie de Cheaab El-aargoub et palmeraie de Cheaab El-Nasser on ne trouve aucune signification. La station 1 est classée dans le groupe A, tandis que les autres stations (2 et 3) appartiennent à un même groupe B (Tab.25). Aucune différence significative n'a été enregistrée avant et après irrigation, ces deux modalités appartiennent à un même groupe (Tab.26).

### 1.3. Evolution de la réaction du sol en automne

Les résultats d'analyses du pH du sol dans les trois palmeraies de Sebseb sont reportés dans le tableau 27.

**Tableau 27.** Evolution de la réaction du sol, avant et après irrigation dans les trois palmeraies étudiées pendant la saison d'automne.

Code	Nom de palmeraie	Horizons	Profondeur (cm)	pH	
				Avant Irrigation	Après Irrigation
S1	Palmeraie de Jedide	H1	0-30	8,41	8,27
		H2	30-60	8,39	8,57
		H3	60-90	8,50	8,36
S2	Palmeraie de Cheaab El-aargoub	H1	0-30	8,63	8,02
		H2	30-60	8,28	8,49
		H3	60-90	8,00	8,37
S3	Palmeraie de Cheaab El-Nasser	H1	0-30	7,90	8,09
		H2	30-60	8,01	8,14
		H3	60-90	8,20	8,34



**Figure 21.** Evolution du pH du sol dans le profil avant et après irrigation dans les trois palmeraies en saison d'automne.

D'après le tableau 27 et la figure 21, l'irrigation a engendré une légère augmentation du pH du sol dans chaque palmeraie. La palmeraie de Jedide a enregistré une diminution du pH sur tous les horizons du profil après irrigation sauf que l'horizon H2 note une légère augmentation. Tandis que sur le plan de la palmeraie de Cheaab El-aargoub l'irrigation a effectué une légère augmentation du pH dans l'horizon (H2, H3) et une diminution dans l'horizon H1. Alors que dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser le pH a augmenté au niveau de tous les horizons. Le sol demeure très alcalins excepté au niveau de l'horizon H1 du profil avant irrigation de la station (S3) on note un sol alcalin ( $\text{pH} < 8$ ) (SOLTNER, 1989).

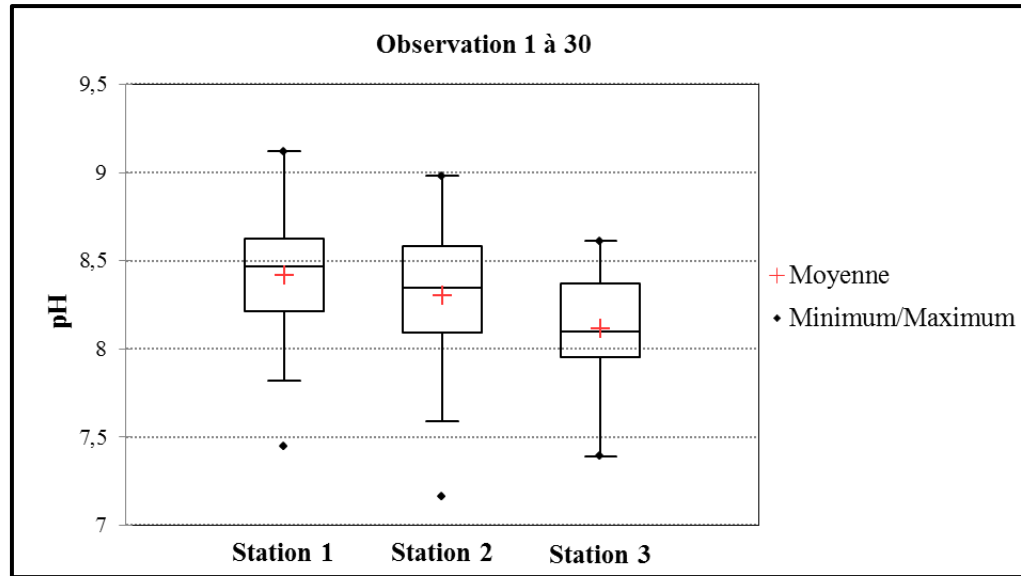
Les résultats d'analyse statistique descriptive du pH du sol dans les trois palmeraies étudiées à la saison d'automne sont comme suivants :

Dans la palmeraie de Jedide, le pH varie de 7,45 à 9,12 avec une moyenne de  $8,42 \pm 0,37$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub, le pH varie de 7,16 à 8,98 avec une moyenne de  $8,30 \pm 0,41$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser, le pH varie de 7,39 à 8,61 avec une moyenne de  $8,11 \pm 0,29$ .

L'analyse de la variance du pH du sol a montré que la variation d'amont vers l'aval (Fig.22) est significative ( $F^{6,83} = 2,273$ ,  $P < 0,044$ ) (Annexe 05, tableau XVI).



**Figure 22.** Boite à moustaches de la variation du pH du sol dans les trois palmeraies en saison d'automne.

**Tableau 28.** Test de Tukey de la réaction du sol entre les trois palmeraies pendant la saison d'automne.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Station 1 vs Station 3	0,303	3,205	2,386	<b>0,005</b>	Oui
Station 1 vs Station 2	0,118	1,247	2,386	0,429	Non
Station 2 vs Station 3	0,185	1,958	2,386	0,129	Non
Valeur critique du d de Tukey :			3,375		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
Station 1	8,457	A	
Station 2	8,339	A	B
Station 3	8,154		B

**Tableau 29.** Test de Tukey de la réaction du sol avant et après irrigation pendant la saison d'automne.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Après Irrigation vs Avant Irrigation	0,035	0,457	1,989	0,649	Non
Valeur critique du d de Tukey :			2,813		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes
Avant Irrigation	8,335	A
Après Irrigation	8,299	A

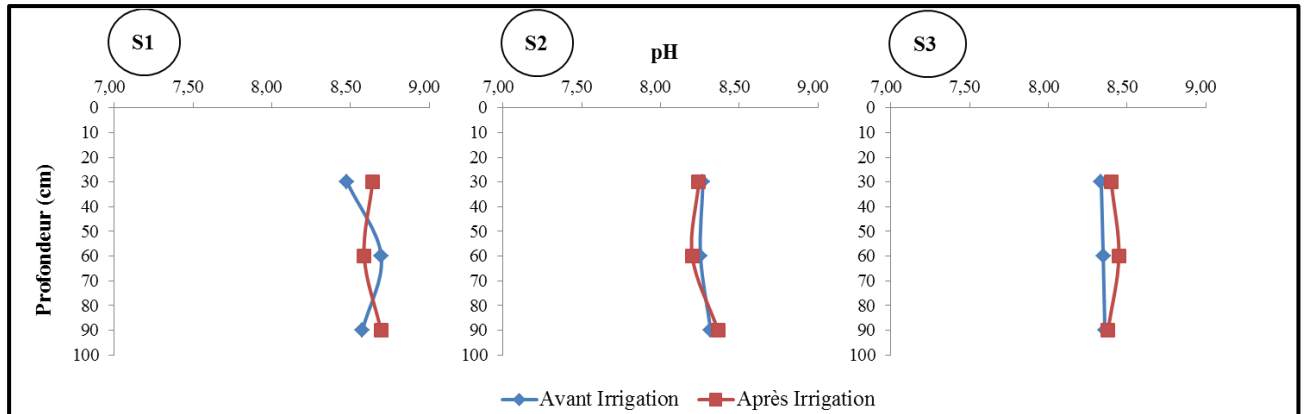
Le test de Tukey, représentant l'analyse des différences entre les modalités avec un intervalle de confiance à 95%, montre que la palmeraie de Jedide et la palmeraie de Cheaab El-Nasser n'appartiennent pas à un même groupe (Tab.28), la différence étant significative. Au contraire la palmeraie de Cheaab El-aargoub et la palmeraie de Cheaab El-Nasser sont classées dans un même groupe, la différence étant non significative. Aucune différence significative n'a été notée avant et après irrigation, ces deux modalités appartiennent à un même groupe (Tab.29).

#### 1.4. Evolution de la réaction du sol en hiver

Les mensurations du pH du sol des trois palmeraies étudiées sont détaillées dans le tableau 30 :

**Tableau 30.** Evolution de la réaction du sol, avant et après irrigation dans les trois palmeraies étudiées en saison hivernale.

Code	Nom de palmeraie	Horizons	Profondeur (cm)	pH	
				Avant Irrigation	Après Irrigation
S1	Palmeraie de Jedide	H1	0-30	8,48	8,64
		H2	30-60	8,70	8,59
		H3	60-90	8,58	8,69
S2	Palmeraie de Cheaab El-aargoub	H1	0-30	8,27	8,24
		H2	30-60	8,25	8,20
		H3	60-90	8,32	8,37
S3	Palmeraie de Cheaab El-Nasser	H1	0-30	8,34	8,40
		H2	30-60	8,35	8,45
		H3	60-90	8,36	8,38



**Figure 23.** Evolution du pH du sol dans le profil avant et après irrigation dans les trois palmeraies en saison hivernale.

L'évolution du pH du sol est variable dans chaque palmeraie. Pour la station (S1) l'irrigation détermine une légère augmentation du pH dans les horizons (H1, H3) et une diminution dans l'horizon moyenne profondeur H2. Dans la station (S2), une diminution du pH dans les horizons H1 et H2 après l'irrigation avec une accumulation des sels alcalins dans l'horizon profond H3. Ainsi qu'au niveau de la station (S3), nous avons enregistré une augmentation du pH dans tous les horizons après l'irrigation. Le pH du sol reste très alcalin ( $\text{pH} > 8$ ) (Tab.30 et Fig.23).

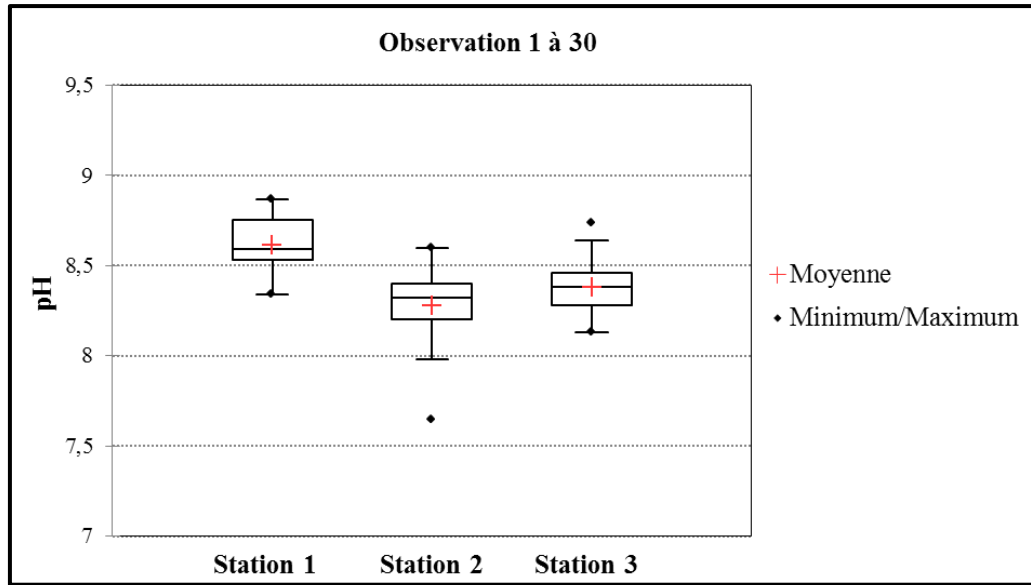
Les résultats d'analyse statistique descriptive du pH du sol dans les trois palmeraies étudiées en saison d'hiver sont comme suivants :

Dans la palmeraie de Jedide, le pH varie de 8,34 à 8,87 avec une moyenne de  $8,61 \pm 0,14$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub, le pH varie de 7,65 à 8,60 avec une moyenne de  $8,28 \pm 0,21$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser, le pH varie de 8,13 à 8,74 avec une moyenne de  $8,38 \pm 0,15$ .

L'analyse de la variance du pH du sol a présenté que la variation d'amont vers l'aval (Fig.24) est très hautement significative ( $F^{6,83} = 10,755$ ,  $P < 0,0001$  T.H.S.) (Annexe 05, tableau XVII).



**Figure 24.** Boite à moustaches de la variation du pH du sol dans les trois palmeraies pendant la saison d’hiver.

**Tableau 31.** Test de Tukey de la réaction du sol entre les trois palmeraies pendant la saison d’hiver.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Station 1 vs Station 2	0,336	7,628	2,386	< 0,0001	Oui
Station 1 vs Station 3	0,234	5,317	2,386	< 0,0001	Oui
Station 3 vs Station 2	0,102	2,310	2,386	0,060	Non
Valeur critique du d de Tukey :			3,375		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
Station 1	8,609	A	
Station 3	8,375		B
Station 2	8,273		B

**Tableau 32.** Test de Tukey de la réaction du sol avant et après irrigation pendant la saison d’hiver.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Après Irrigation vs Avant Irrigation	0,037	1,020	1,989	0,310	Non
Valeur critique du d de Tukey :			2,813		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes
Après Irrigation	8,437	A
Avant Irrigation	8,401	A

Des différences significatives sont enregistrées à partir du test de Tukey entre la palmeraie de Jedide et la palmeraie de Cheaab El-aargoub, la palmeraie de Jedide et la palmeraie de Cheaab El-Nasser. Ces stations n'appartiennent pas à un seul groupe (Tab.31). On ne trouve aucune signification entre la palmeraie de Cheaab El-aargoub et la palmeraie de Cheaab El-Nasser, alors que ces stations sont classées dans un même groupe. Aucune différence significative n'a été enregistrée avant et après irrigation, ces deux modalités appartiennent à un même groupe (Tab.32).

## 2. Discussion

Le pH est un paramètre important de la dynamique du sol, c'est une clé en agronomie car son degré d'acidité ou de basicité joue un rôle très important sur l'assimilation des éléments nutritifs par la plante, il a une influence sur trois composantes importantes de la fertilité du sol : la biodisponibilité des nutriments, l'activité biologique et la stabilité structurale. La variation du pH dépend des variations saisonnières, du pouvoir tampon du sol (le nombre d'ions en réserve sur le complexe argilo-humique), l'état hydrique du sol, sa température et la présence ou non d'une culture en période de croissance active (DINON et *al*, 2008 ; BAIZE, 2000).

Le pH du sol des trois palmeraies étudiées est de l'ordre de 8, qualifiant le sol très alcalins (SOLTNER, 1989). Cette valeur, comme étant, nettement supérieur à 7,3 signifie une présence soit de carbonates libres générateurs de chlorose ferrique, soit plus souvent de sodium fixé sur le complexe adsorbant (BOYER, 1978). Ces valeurs appartiennent à la gamme relative au sol des régions arides qui s'étend avec un pH légèrement inférieur à 7 allant à un pH d'environ 9 (DURAND, 1958 ; BUCKMAN & BRADY, 1965 ; BACI, 1982 ; HALITIM, 1988 ; BOUZID, 1993, DAOUD & HALITIM, 1994 ; DJILI et *al*, 2003 ; BENBRAHIM, 2001 ; BENBRAHIM et *al*, 2016).

Les valeurs élevées du pH dans le sol sont dues à la présence du calcaire, sachant que dans un milieu carbonaté, le pH de la solution du sol peut atteindre localement des valeurs élevées de l'ordre de 8-10 unités (JAILLARD, 1980). Ainsi que, GUESSOUM et *al* (2019), signale que, la majorité des valeurs du calcaire total des sols étudiés sont peu calcaire, ils sont situés entre 1% et

5%. Les travaux de DJILI et DAOUD (1999), ont montré que des teneurs en carbonates de calcium de l'ordre 2,5 % suffisent à tamponner le pH à un niveau relativement alcalin.

L'analyse de la variance a montré que la variation du pH d'amont vers l'aval est significative à très hautement significative, pendant la période d'étude. Ces variations sont expliquées par la situation géographique et topographique des palmeraies, dont la topographie a un impact sur la circulation des sels alcalinisant entre l'amont et l'aval. Le test de Tukey a révélé une différence significative entre les valeurs du pH de la palmeraie de Jedide et ceux des deux autres palmeraies. Le test a révélé aussi que la différence entre la palmeraie de Cheaab El-aargoub et la palmeraie de Cheaab El-Nasser est non significative, ces deux stations appartiennent au même groupe, ce qui signifie que le pH évolue d'une manière semblable dans les deux palmeraies.

Les boîtes à moustaches ont montré une faible variation du pH du sol entre les trois palmeraies durant toutes les saisons étudiées. Ces résultats apparaissent dans l'analyse de la variance qui révèle une signification entre les palmeraies et les analyses descriptives qui mettent en évidence un ordre décroissant respectivement de la palmeraie de Jedide avec une moyenne de  $8,61 \pm 0,30$ , à la palmeraie de Cheaab El-Nasser avec une moyenne de  $8,37 \pm 0,29$  et à la palmeraie de Cheaab El-aargoub avec une moyenne de  $8,30 \pm 0,30$ . Ces valeurs sont corrélées négativement avec les valeurs de la conductivité électrique, où nos analyses montrent que la palmeraie qui possède une conductivité électrique du sol tend à une augmentation, alors que le pH a été diminué, cette hypothèse est traduite par la culture sous-palmier avec l'apport des fumiers organiques dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub et la palmeraie de Cheaab El-Nasser. Alors qu'à la palmeraie de Jedide, on n'y trouve pas la culture sous-jacente. Un cas identique a été observé dans la région de Ouargla où l'amendement organique a montré un effet significatif sur la majorité des propriétés du sol à savoir, le pH, la conductivité électrique, l'humidité équivalente, la capacité d'échange cationique (KOULL & HALILAT, 2016).

L'analyse de la variance au long de la période d'étude, signale que même après irrigation, la différence du pH reste non significative dans les trois palmeraies, sauf une légère diminution et variation entre les différents horizons, qui s'explique ainsi par l'alternance entre le phénomène de lixiviation et de la remontée capillaire de la nappe phréatique ou par l'entraînement des sels surtout alcalinisant en profondeur suite à l'irrigation (lixiviation) (DEMELON, 1966 ; DUCHAUFFOUR, 1977). La réaction du sol (pH) peut être causée par l'addition d'engrais azotés (nitrates, ammonium et urée), mais pourrait aussi refléter des matériaux parentaux de base comme le calcaire et la dolomie, car le pH augmente lorsque la concentration en calcium de la solution diminue (BRADY,

1990 ; DJILI, 2000). BENBRAHIM (2001), a annoncé que certains sols de pH élevé avec un taux faible du calcaire, sont dus probablement à d'autres carbonates tels que les carbonates de magnésium ( $MgCO_3$ ), Carbonates de sodium ( $Na_2CO_3$ ) et Carbonates de potassium ( $K_2CO_3$ ).

Le suivi de l'allure du profil pH pendant les saisons étudiées montre une variabilité dans l'évolution des profils avec la présence des trois grandes catégories de profil pH, caractérisé par un maximum en surface, un maximum en moyenne profondeur et un maximum en profondeur. Ces fluctuations avant et après irrigation mettent en évidence une dynamique continue des sels alcalinisant, qui est régie par les phénomènes de lixiviation et de remontée capillaire, accentuée par une évapotranspiration intense.

### *Chapitre VII. Evolution du SAR de la solution du sol*

Le SAR (ou Sodium Adsorption Ratio) montre la relation entre le taux de sodium échangeable d'un sol en équilibre avec sa solution saline et le taux de sodium de cette solution. Cette relation est la plus employée du fait de sa simplicité:

$$S.A.R = \frac{Na}{\sqrt{\left(\frac{Ca+Mg}{2}\right)}}$$

Originellement définie en concentration (meq/l), on l'a préférée plus tard, calculée à partir des concentrations des ions libres après déduction des paires d'ions (SPOSITO & MATTIGOD, 1977), puis calculée à partir des activités des ions libres (RIEU, 1980), pour étudier le comportement thermodynamique entre le sol et la solution.

L'irrigation du sol par une eau sodique favorise la dispersion des argiles et affecte la structure du sol, ce dernier devient imperméable et asphyxiant.

Dans notre travail, l'étude de l'évolution du SAR de la solution du sol se réalise sur une période de 8 saisons qui s'est étendue de Mars 2014 à Février 2016. Les résultats présentés et discutés dans cette étude sont basés sur les données des quatre premières saisons (Mars 2014-Février 2015), tandis que les données des autres saisons seront synthétisées dans l'annexe 02 (Tableau IX).

#### **1. Résultats de calcul du SAR de la solution des sols**

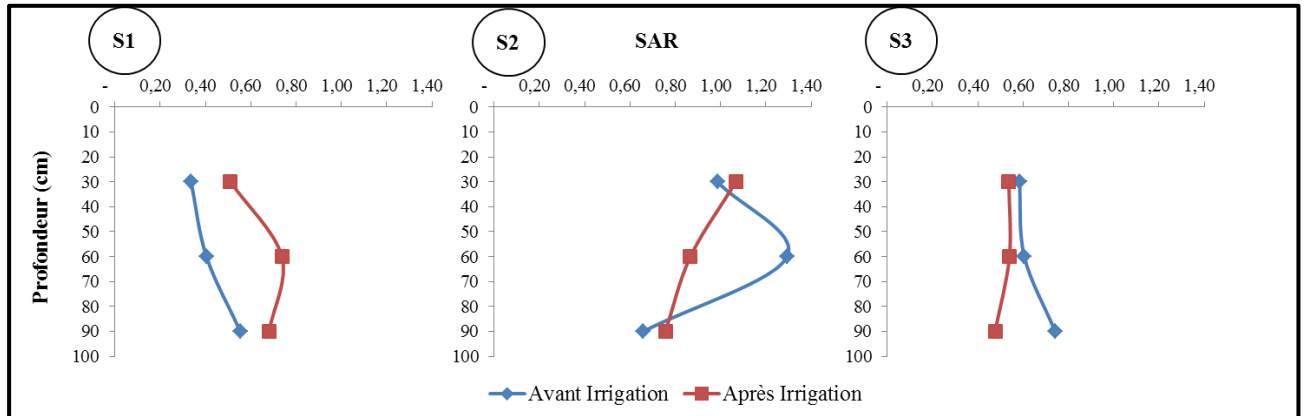
Les résultats correspondant à l'évolution de la sodicité du sol (SAR), avant et après irrigation dans les trois palmeraies seront détaillés par saison.

##### **1.1. Evolution du SAR de la solution du sol au printemps**

Les résultats d'analyse du SAR du sol pendant la saison du printemps sont présentés synthétiquement dans le tableau 33.

**Tableau 33.** Evolution du SAR de la solution du sol, avant et après irrigation dans les trois palmeraies étudiées en saison printanière.

Code	Nom de palmeraie	Horizons	Profondeur (cm)	SAR	
				Avant Irrigation	Après Irrigation
S1	Palmeraie de Jedide	H1	0-30	0,34	0,51
		H2	30-60	0,40	0,74
		H3	60-90	0,55	0,68
S2	Palmeraie de Cheaab El-aargoub	H1	0-30	0,99	1,07
		H2	30-60	1,29	0,87
		H3	60-90	0,66	0,76
S3	Palmeraie de Cheaab El-Nasser	H1	0-30	0,58	0,54
		H2	30-60	0,61	0,54
		H3	60-90	0,74	0,48



**Figure 25.** Evolution du profil SAR de la solution du sol avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison printanière.

D'après le tableau 33 et la figure 25, les valeurs du SAR sont variables selon chaque palmeraie. Au niveau de la palmeraie de Jedide, une légère augmentation du SAR est observée dans tous les horizons après irrigation. Par contre, il y a une diminution du SAR sur le H2 de la palmeraie de Cheaab El-aargoub après irrigation. Tandis qu'une diminution assez remarquable après irrigation sur tous les horizons de la palmeraie de Cheaab El-Nasser. Se référant à SERVANT & SERVAT (1966), le sol des trois palmeraies demeure non alcalinisation avec  $SAR < 4$ .

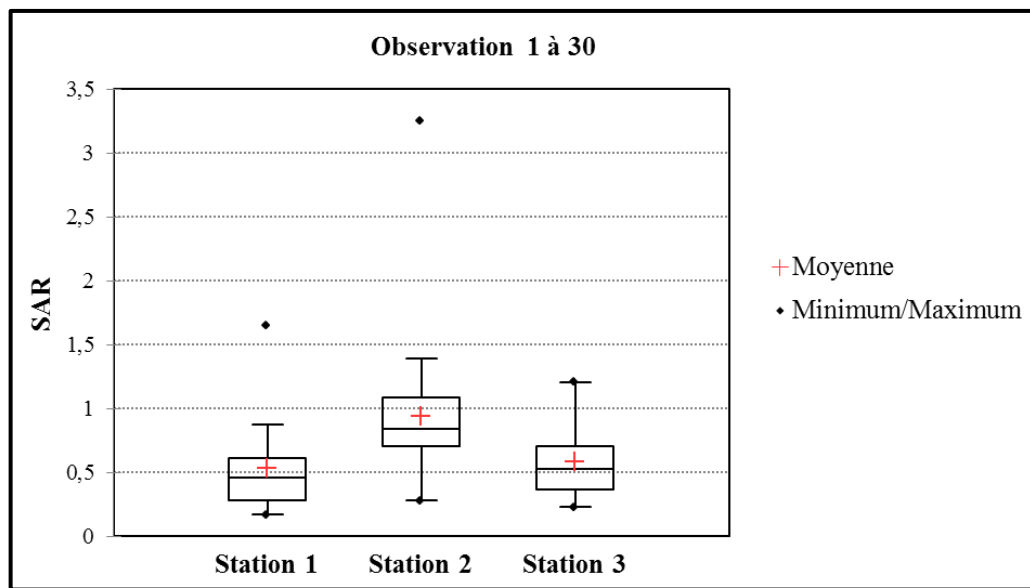
Les résultats d'analyse statistique descriptive du SAR de la solution du sol dans les trois palmeraies étudiées au printemps sont comme suivants :

Dans la palmeraie de Jedide, le SAR varie de 0,17 à 1,65 avec une moyenne de  $0,54 \pm 0,35$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub, le SAR varie de 0,28 à 3,25 avec une moyenne de  $0,94 \pm 0,53$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser, le SAR varie de 0,23 à 1,21 avec une moyenne de  $0,58 \pm 0,27$ .

L'analyse de la variance du SAR de la solution du sol a montré que la variation d'amont vers l'aval (Fig.26) est significative ( $F^{6,83} = 3,037, P < 0,010$ ) (Annexe 06, tableau XVIII).



**Figure 26.** Boite à moustaches de la variation du profil SAR de la solution du sol dans les trois palmeraies pendant la saison du printemps.

**Tableau 34.** Test de Tukey du SAR de la solution du sol entre les trois palmeraies à la saison du printemps.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Station 2 vs Station 1	0,401	3,772	2,386	<b>0,001</b>	Oui
Station 2 vs Station 3	0,358	3,368	2,386	<b>0,003</b>	Oui
Station 3 vs Station 1	0,043	0,404	2,386	0,914	Non
Valeur critique du d de Tukey :			3,375		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
Station 2	0,916	A	
Station 3	0,557		B
Station 1	0,514		B

**Tableau 35.** Test de Tukey du SAR de la solution du sol avant et après irrigation à la saison du printemps.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Après irrigation vs Avant Irrigation	0,001	0,013	1,989	0,990	Non
Valeur critique du d de Tukey :			2,813		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes
Après irrigation	0,663	A
Avant Irrigation	0,662	A

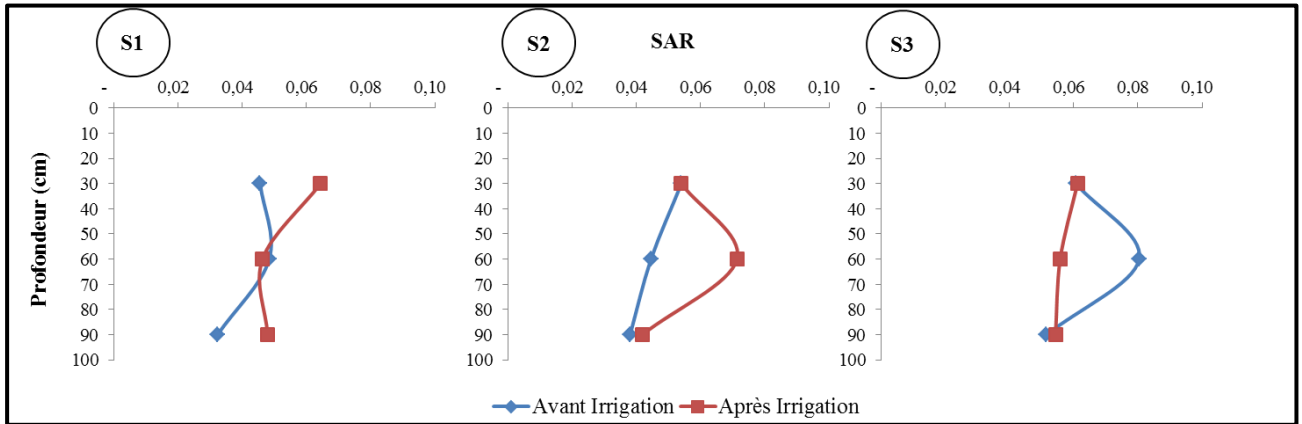
Le test de Tukey (Tabl.34), du SAR de la solution du sol entre les trois palmeraies a révélé des différences significatives du SAR entre la station 2 et la station 1, la station 2 et la station 3, par contre entre la station 2 et la station 3 aucune signification. La palmeraie de Cheaab El-aargoub appartient au groupe A, alors que la palmeraie de Jedide et Cheaab El-Nasser appartient à un même groupe B. Aucune différence significative n'a été enregistrée avant et après irrigation, ces deux modalités appartiennent au même groupe (Tabl.35).

### 1.2. Evolution du SAR de la solution du sol en été

Les résultats relatifs aux analyses du SAR du sol pendant la saison estivale dans les différentes palmeraies de Sebseb sont détaillés dans le tableau 36.

**Tableau 36.** Evolution du SAR du sol, avant et après irrigation dans les trois palmeraies étudiées pendant la saison estivale

Code	Nom de palmeraie	Horizons	Profondeur (cm)	SAR	
				Avant Irrigation	Après Irrigation
S1	Palmeraie de Jedide	H1	0-30	0,05	0,06
		H2	30-60	0,05	0,05
		H3	60-90	0,03	0,05
S2	Palmeraie de Cheaab El-aargoub	H1	0-30	0,05	0,05
		H2	30-60	0,04	0,07
		H3	60-90	0,04	0,04
S3	Palmeraie de Cheaab El-Nasser	H1	0-30	0,06	0,06
		H2	30-60	0,08	0,06
		H3	60-90	0,05	0,05



**Figure 27.** Evolution du profil SAR de la solution du sol avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison estivale.

D'une manière globale, les valeurs du SAR au niveau des trois palmeraies sont comprises entre 0,03 à 0,08. Dans la palmeraie de Jedide, une légère augmentation du SAR est observée au niveau des horizons H1 et H3 après irrigation. Tandis qu'une augmentation assez remarquable après irrigation sur le H2 de la palmeraie de Cheaab El-aargoub. Au contraire, une diminution du SAR sur le H2 de la palmeraie de Cheaab El-Nasser. Se référant à SERVANT & SERVAT (1966), le sol des trois palmeraies demeure non alcalinisation avec  $SAR < 4$ .

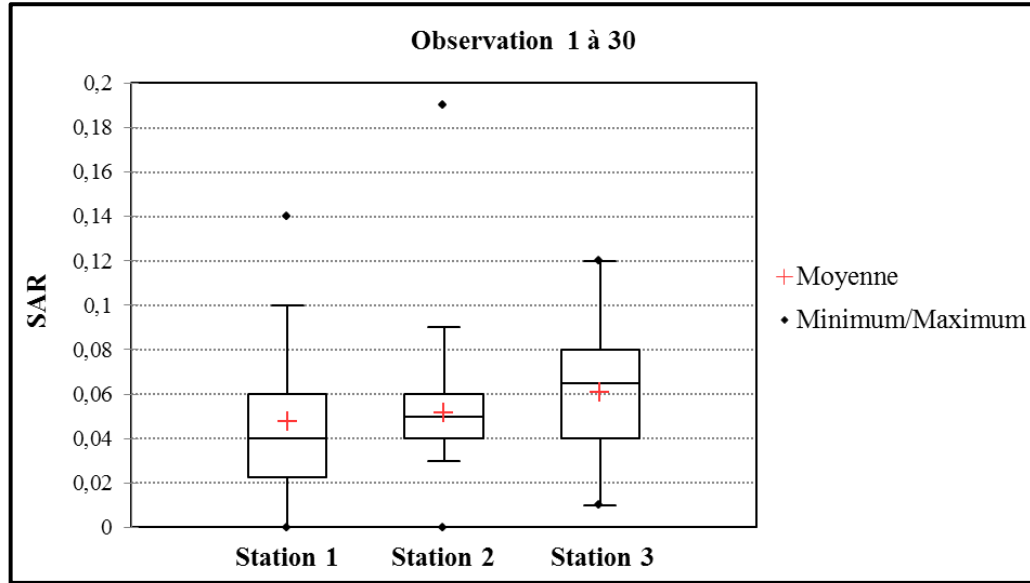
Les résultats d'analyse statistique descriptive du SAR de la solution du sol dans les trois palmeraies étudiées en été sont comme suivants :

Dans la palmeraie de Jedide, le SAR varie de 0 à 0,14 avec une moyenne de  $0,05 \pm 0,03$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub, le SAR varie de 0 à 0,19 avec une moyenne de  $0,05 \pm 0,03$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser, le SAR varie de 0,01 à 0,12 avec une moyenne de  $0,06 \pm 0,03$ .

L'analyse de la variance du SAR de la solution du sol a montré que la variation d'amont vers l'aval (Fig.28) est non significative ( $F^{6,83} = 1,069, P < 0,388$ ) (Annexe 06, tableau XIX).



**Figure 28.** Boite à moustaches de la variation du profil SAR de la solution du sol dans les trois palmeraies pendant la saison estivale.

**Tableau 37.** Test de Tukey du SAR de la solution du sol entre les trois palmeraies pendant la saison estivale.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Station 3 vs Station 1	0,013	1,596	2,386	0,253	Non
Station 3 vs Station 2	0,009	1,146	2,386	0,489	Non
Station 2 vs Station 1	0,004	0,450	2,386	0,894	Non
Valeur critique du d de Tukey :			3,375		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes
Station 3	0,058	A
Station 2	0,049	A
Station 1	0,045	A

**Tableau 38.** Test de Tukey du SAR de la solution du sol avant et après irrigation pendant la saison estivale.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Après irrigation vs Avant Irrigation	0,004	0,568	1,989	0,572	Non
Valeur critique du d de Tukey :			2,813		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes
Après irrigation	0,052	A
Avant Irrigation	0,049	A

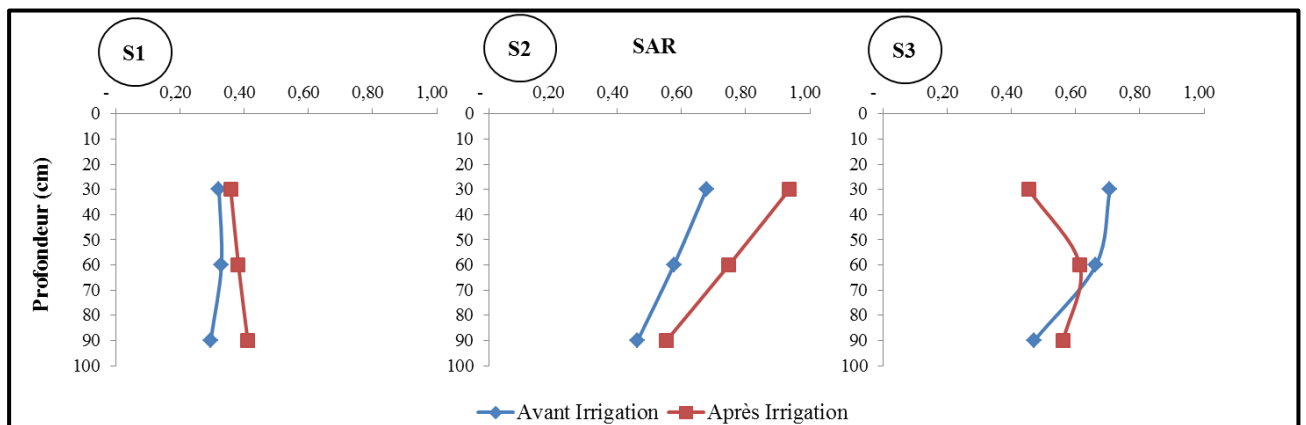
Aucunes différences significatives ne sont enregistrées à partir du test de Tukey entre les trois stations (palmeraie de Jedide, palmeraie de Cheaab El-aargoub et palmeraie de Cheaab El-Nasser), ces trois palmeraies appartiennent à un même groupe (Tabl.37). Le même résultat a été enregistré entre les modalités (avant et après irrigation) (Tabl.38).

### 1.3. Evolution du SAR de la solution du sol en automne

Les résultats d'analyse de SAR du sol dans les trois palmeraies de Sebseb sont reportés dans le tableau 39 suivant :

**Tableau 39.** Evolution du SAR du sol, avant et après irrigation dans les trois palmeraies étudiées pendant la saison d'automne.

Code	Nom de palmeraie	Horizons	Profondeur (cm)	pH	
				Avant Irrigation	Après Irrigation
S1	Palmeraie de Jedide	H1	0-30	0,32	0,36
		H2	30-60	0,33	0,38
		H3	60-90	0,29	0,41
S2	Palmeraie de Cheaab El-aargoub	H1	0-30	0,68	0,94
		H2	30-60	0,58	0,75
		H3	60-90	0,46	0,55
S3	Palmeraie de Cheaab El-Nasser	H1	0-30	0,71	0,45
		H2	30-60	0,66	0,61
		H3	60-90	0,47	0,56



**Figure 29.** Evolution du profil SAR de la solution du sol avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison d'automne.

Les valeurs du SAR dans les trois palmeraies en saison d'automne sont comprises entre 0,29 à 0,94. Dans la palmeraie de Jedide et la palmeraie de Cheaab El-aargoub, l'irrigation a engendré une augmentation du SAR au niveau de tous les horizons. Au contraire, une diminution du SAR sur les horizons H1 et H2 de la palmeraie de Cheaab El-Nasser. Le sol des trois palmeraies reste non alcalinisation avec  $SAR < 4$  (SERVANT & SERVAT, 1966) (Tabl.39 et Fig.29).

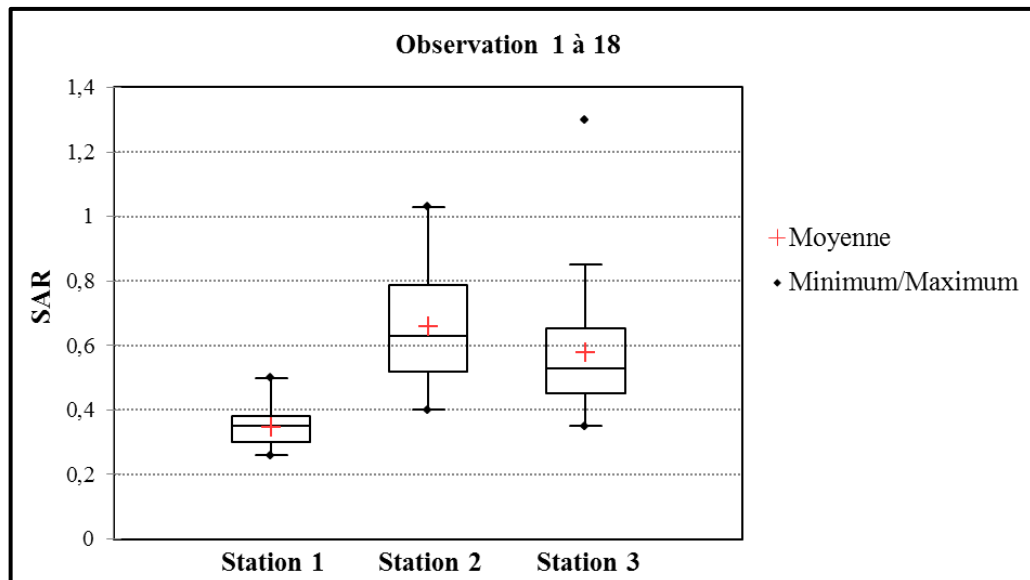
Les résultats d'analyse statistique descriptive du SAR de la solution du sol dans les trois palmeraies étudiées en saison d'automne sont comme suivants :

Dans la palmeraie de Jedide, le SAR varie de 0,26 à 0,50 avec une moyenne de  $0,35 \pm 0,06$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub, le SAR varie de 0,40 à 1,03 avec une moyenne de  $0,66 \pm 0,19$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser, le SAR varie de 0,35 à 1,30 avec une moyenne de  $0,58 \pm 0,22$ .

L'analyse de la variance du SAR de la solution du sol a montré que la variation d'amont vers l'aval (Fig.30) est très hautement significative ( $F^{6,47} = 6,492$ ,  $P < 0,0001$ , T.H.S.) (Annexe 06, tableau XX).



**Figure 30.** Boite à moustaches de la variation du profil SAR de la solution du sol dans les trois palmeraies pendant la saison d'automne.

**Tableau 40.** Test de Tukey du SAR de la solution du sol entre les trois palmeraies pendant la saison d'automne.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Station 2 vs Station 1	0,311	5,491	2,420	< <b>0,0001</b>	Oui
Station 2 vs Station 3	0,080	1,412	2,420	0,343	Non
Station 3 vs Station 1	0,231	4,079	2,420	<b>0,001</b>	Oui
Valeur critique du d de Tukey :			3,423		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
Station 2	0,639	A	
Station 3	0,559	A	
Station 1	0,328		B

**Tableau 41.** Test de Tukey du SAR de la solution du sol avant et après irrigation pendant la saison d'automne.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Après irrigation vs Avant Irrigation	0,058	1,243	2,012	0,220	Non
Valeur critique du d de Tukey :			2,845		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes
Après irrigation	0,538	A
Avant Irrigation	0,480	A

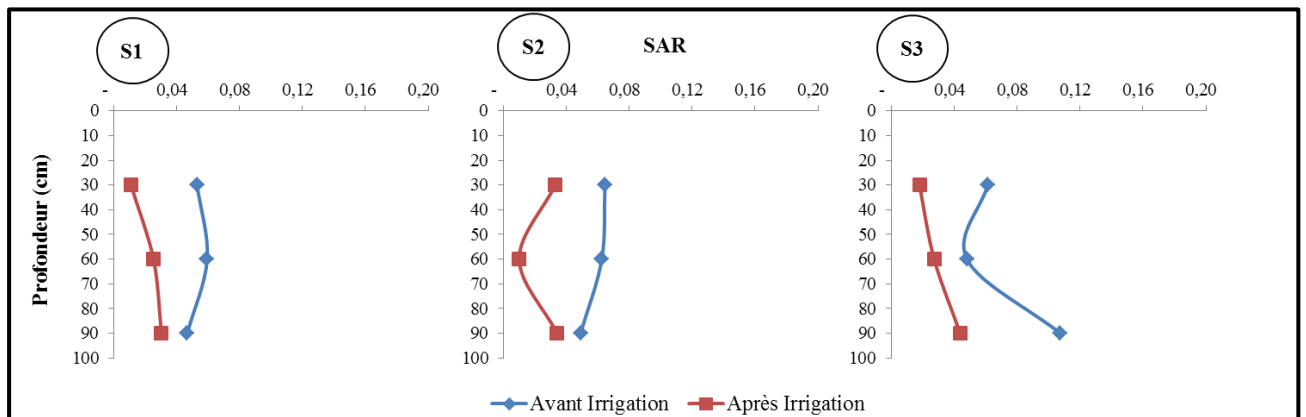
Le test de Tukey des données du SAR de la solution du sol met en évidence des différences significatives entre la palmeraie de Jedide et la palmeraie de Cheaab El-aargoub et entre la palmeraie de Jedide et la palmeraie de Cheaab El-Nasser. Aucune différence significative n'a été notée entre la palmeraie de Cheaab El-aargoub et la palmeraie de Cheaab El-Nasser, ces deux palmeraies appartiennent au même groupe (Tabl.40). Aucune différence significative n'a été enregistrée avant et après irrigation, ces deux modalités appartiennent à un même groupe (Tabl.41).

1.4. Evolution du SAR de la solution du sol en hiver

Les mensurations du SAR du sol des trois palmeraies étudiées sont détaillées au tableau 42 suivant :

**Tableau 42.** Evolution du SAR du sol, avant et après irrigation dans les trois palmeraies étudiées pendant la saison hivernale.

Code	Nom de palmeraie	Horizons	Profondeur (cm)	pH	
				Avant Irrigation	Après Irrigation
S1	Palmeraie de Jedide	H1	0-30	0,05	0,01
		H2	30-60	0,06	0,03
		H3	60-90	0,05	0,03
S2	Palmeraie de Cheaab El-aargoub	H1	0-30	0,06	0,03
		H2	30-60	0,06	0,01
		H3	60-90	0,05	0,03
S3	Palmeraie de Cheaab El-Nasser	H1	0-30	0,06	0,02
		H2	30-60	0,05	0,03
		H3	60-90	0,11	0,04



**Figure 31.** Evolution du profil SAR de la solution du sol avant et après irrigation dans les trois palmeraies pendant la saison d’hiver.

Selon le tableau 42 et la figure 31, nous avons observé que, les valeurs du SAR au niveau des trois palmeraies sont comprises entre 0,01 à 0,11 et une diminution assez remarquable après l’irrigation sur tous les horizons. En se référant à SERVANT & SERVAT (1966), le sol des trois palmeraies demeure non alcalinisation avec SAR < 4.

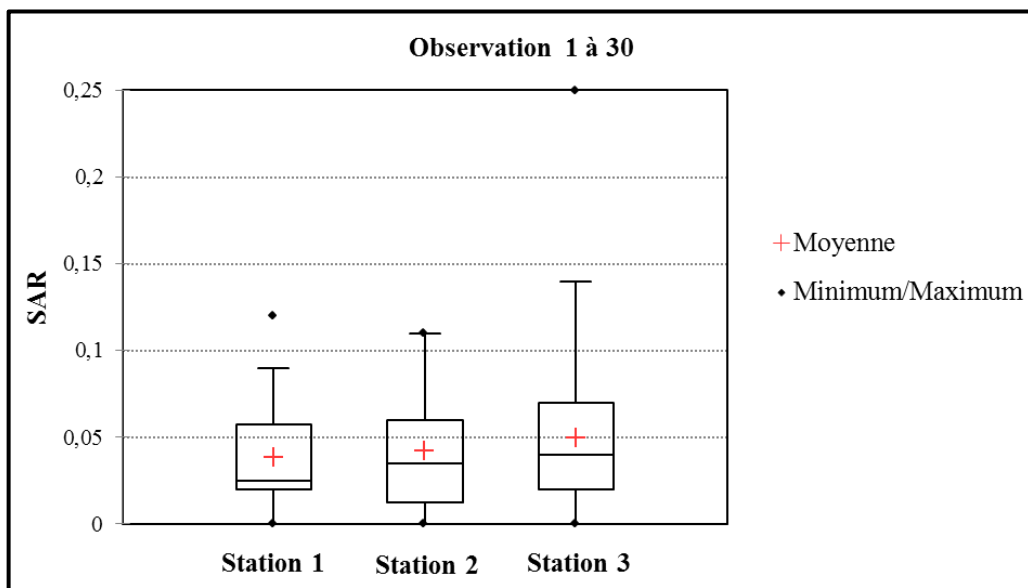
Les résultats d’analyse statistique descriptive du SAR de la solution du sol dans les trois palmeraies étudiées en saison d’hiver sont comme suivants :

Dans la palmeraie de Jedide, le SAR varie de 0 à 0,12 avec une moyenne de  $0,04 \pm 0,03$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-aargoub, le SAR varie de 0 à 0,11 avec une moyenne de  $0,04 \pm 0,03$ .

Dans la palmeraie de Cheaab El-Nasser, le SAR varie de 0 à 0,25 avec une moyenne de  $0,05 \pm 0,05$ .

L'analyse de la variance du SAR de la solution du sol a montré que la variation d'amont vers l'aval (Fig.32) est non significative ( $F^{6,83} = 0,905$ ,  $P < 0,409$ , N.S.) (Annexe 06, tableau XXX).



**Figure 32.** Boite à moustaches de la variation du profil SAR de la solution du sol dans les trois palmeraies pendant la saison d'hiver.

**Tableau 43.** Test de Tukey du SAR de la solution du sol entre les trois palmeraies pendant la saison d'hiver.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Station 3 vs Station 1	0,012	1,324	2,386	0,386	Non
Station 3 vs Station 2	0,008	0,870	2,386	0,661	Non
Station 2 vs Station 1	0,004	0,454	2,386	0,893	Non
Valeur critique du d de Tukey :			3,375		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes
Station 3	0,047	A
Station 2	0,040	A
Station 1	0,036	A

**Tableau 44.** Test de Tukey du SAR de la solution du sol entre avant et après irrigation pendant la saison d’hiver.

Contraste	Différence	Différence standardisée	Valeur critique	Pr > Diff	Significatif
Après irrigation vs Avant Irrigation	0,036	4,972	1,989	< 0,0001	Oui
Valeur critique du d de Tukey :			2,813		

Modalité	Moyennes estimées	Groupes	
Avant irrigation	0,059	A	
Après Irrigation	0,023		B

Aucunes différences significatives ne sont enregistrées à partir du test de Tukey entre les trois stations (palmeraie de Jedide, palmeraie de Cheaab El-aargoub et palmeraie de Cheaab El-Nasser), ces trois palmeraies appartiennent à un même groupe (Tabl.43). Par contre, les modalités avant et après irrigation n’appartiennent pas à un seul groupe, la différence étant significative (Tabl.44).

## 2. Discussion

Les résultats relatifs au SAR ont montré un aspect général du sol non sodique pour les trois palmeraies. Ainsi, l’irrigation par des eaux salées n’a pas influencé ce paramètre. Par ailleurs, dans les palmeraies d’Ouargla, KOULL (2000), a signalé un effet positif des eaux d’irrigation salées sur le sodium soluble dans le sol.

Le processus de sodisation, accompagnant la salinisation, a une augmentation du pourcentage de sodium échangeable dans le complexe adsorbant. Ainsi, au Maroc, BADRAOUI (2003), a annoncé que la sodicité du sol a augmenté en fonction de l’irrigation avec une eau chargée en sodium. Bien que les eaux d’irrigation des trois palmeraies étudiées sont fortement salées, faiblement sodiques, elles varient de 1 à 5,32 et ont un facies sulfaté magnésique, mais elles n’ont

pas été affectées par un danger d'alcalinisation, cela est probablement dû à la fraction sableuse qui favorise la lixiviation des sels solubles surtout le sodium. Ce processus est néanmoins diminué grâce aux caractéristiques édaphiques que nous avons mises en évidence (texture équilibrée, bonne structure, perméabilité) en plus d'une situation topographique qui favorise un bon drainage et permet d'entraîner l'excès de sels solubles hors de la couche arable (GONZALEZ-BARRIOS, 1992).

L'analyse de la variance a montré que la variation du SAR d'amont vers l'aval est significée pendant la saison du printemps et de l'automne. Cette signification peut être liée au positionnement topographique de chaque palmeraie, la production saisonnière, l'irrigation saisonnière....etc. Le test de Tukey a révélé une différence significative entre les valeurs du SAR de la palmeraie de Cheaab El-aargoub et ceux des deux autres palmeraies à la saison du printemps, la palmeraie de Jedide et ceux des deux autres palmeraies à la saison d'automne. Ces fluctuations sont dues à la différence de la qualité des eaux d'irrigation utilisées.

Les boîtes à moustaches ont révélé, une variation du SAR de la solution du sol entre les trois palmeraies durant toutes les saisons étudiées surtout la saison du printemps et d'automne. Ces résultats sont agrémentés par l'analyse de la variance qui révèle une signification entre les palmeraies étudiées et les analyses descriptives qui mettent en évidence un ordre décroissant respectivement de la palmeraie de Cheaab El-aargoub à moyenne de  $0,40 \pm 0,50$ , à la palmeraie de Cheaab El-Nasser à moyenne de  $0,29 \pm 0,31$  et à la palmeraie de Jedide à moyenne de  $0,23 \pm 0,29$ . Ces résultats observés traduisent une tendance à l'équilibre entre le processus de salinisation et de sodisation, plus ou moins importants par l'utilisation des eaux d'irrigation qui proviennent de la nappe phréatique, riches en sels et sodium. Aussi, de nombreux auteurs ont étudié les relations d'équilibre entre les sels des solutions du sol et les cations adsorbés (VANSELOW, 1932; GAPON, 1933; GAINES & THOMAS, 1953; LAUDELOUT & THOMAS, 1965; RIEU et *al*, 1991...).

L'analyse de la variance pendant la période d'étude, indique que même après l'irrigation, la différence du SAR reste non significative, sauf dans la saison hivernale qui engendrait un effet significative. Cette signification résulte d'une diminution au niveau de tous les horizons de profil après irrigation dans les trois palmeraies avec un type de profil desodisation, cela est dû probablement à la migration des sels et surtout du sodium vers les horizons profonds par le phénomène de lixiviation, ou bien parce que la dose de lessivage appliquée est suffisante (BEN BRAHIM, 2001).

Le suivi de l'allure du profil SAR de la solution du sol montre une variabilité saisonnière dans l'évolution des profils avec l'existence des trois grandes catégories de profil SAR, caractérisé par un maximum en surface à la saison du printemps et de l'été, cela est traduit par la capillarité des ions du sodium à cause de l'évapotranspiration ; caractérisé par un maximum en moyen profondeur à la saison d'automne au niveau de la palmeraie de Cheaab El-Nasser, dû à l'accumulation de sodium soluble dans cet horizon par une alternance entre le phénomène de remontée capillaire et celui de la lixiviation ; caractérisé par un maximum en profondeur à la saison d'hiver, présentant le cas d'une désodisation, cela est due à la lixiviation des sels surtout en sodium par les eaux d'irrigation. Les fluctuations avant et après irrigation mettent en évidence une dynamique continue des sels régie par les phénomènes de la remonté capillaire et la lixiviation, ainsi que la variabilité dans les doses d'irrigation appliquées dans chaque palmeraie, ce qui fait varier l'allure de l'évolution du profil SAR.

D'une manière générale, la sodisation est donc un enrichissement en sodium du complexe adsorbant qui met en jeu des phénomènes d'échange sol-solution. Cet enrichissement n'est cependant possible que lorsque le sodium a une dominance relative dans la solution du sol:

- DURAND (1954) a montré, par exemple, que si la concentration du  $\text{Na}^+$  est égale à celle du  $\text{Ca}^{++}$ , il n'y a pas de sodisation ;
- DAJI (1970) a conclu, que pour que la sodisation ait lieu, il faut que la concentration de  $\text{Na}^+$  soit supérieure à 50 % de la somme des cations ;
- KELLEY (1962) et KOLIN (1969) ont montré que la concentration en  $\text{Na}^+$  doit être supérieure à 70 % de la somme des cations pour que le pourcentage de sodium échangeable (ESP) soit supérieur à 15 %.

***CONCLUSION***

## *Conclusion*

Au terme de ce travail qui a porté sur la relation de la qualité des eaux d'irrigation et les propriétés physico-chimiques du sol dans les palmeraies de la vallée de Sebseb-Ghardaïa, qui sont situées à différents niveau altitudinal.

Trois palmeraies ont été sélectionnées au niveau d'oued Sebseb pour le déroulement de notre étude, la palmeraie de Jedide en amont, la palmeraie de Cheaab El-aargoub au centre et la palmeraie de Cheaab El-Nasser en aval avec l'adoption de la méthode d'échantillonnage systématique en diagonale.

Les eaux d'irrigation, qu'elles soient la surface ou souterraines, vont avoir un effet sur le sol. L'étude des situations édaphiques cultivées (irriguées) nous a permis de mettre en évidence combien la qualité des eaux d'irrigation peut changer le degré et le type de salinité, de sodicité et de l'alcalinité, naturelle du sol.

Les résultats d'analyse ont montré que les eaux d'irrigation appliquées appartiennent à trois classes : la classe **C3S1** (Qualité moyenne à médiocre) pour la palmeraie de Jedide, la classe **C4S1** (Qualité médiocre à mauvaise) pour la palmeraie de Cheaab El-aargoub et la classe **C5S1** (Très déconseillées pour l'irrigation) pour la palmeraie de Cheaab El-Nasser. Ces eaux sont caractérisées par un faciès sulfatée-magnésique pour les trois palmeraies.

A la lumière des résultats de caractérisation morphologiques et analytiques, le sol est homogène du point de vue texturale et le nombre d'horizons. Les sols sont caractérisés par une texture sableuse à structure particulière, ils présentent un pH fortement alcalin et une faible teneur en calcaire. Le taux de matières organiques est très faible. Les sols sont non salins, non sodiques avec un faciès dominant, des cations magnésiques.

L'étude de la salinité de la réaction du sol et le SAR de la solution du sol, est effectuée par l'analyse de l'évolution des profils avant et après irrigation, par le rapport de statistiques descriptives, par l'analyse de la variance et un test de TUKEY qui a révélé :

- une légère augmentation significative de la salinité du sol après l'irrigation dans les trois palmeraies durant la période de travail, ce qui est due à l'apport des sels par l'eau d'irrigation utilisée, mais le sol demeure non à peu salé. Cette augmentation a révélé une différence significative avant et après irrigation durant les périodes étudiées, sauf durant la saison hivernale

qui n'indique aucune signification. La dynamique des sels évolue entre ces quatre 04 types de profil salin : A (salinisation), B (désalinisation temporaire), C (ré-salinisation) et D (désalinisation permanente).

- Le pH du sol des trois palmeraies étudiées est de l'ordre de 8, qualifiant le sol très alcalins. L'irrigation a engendré des fluctuations dans l'évolution de la réaction du sol entre diminution et augmentation au niveau des horizons. Ces variations sont dans leurs majorités non significatives avant et après irrigations avec la présence de trois grandes catégories de profil pH caractérisées par : un maximum en surface dans le cas d'une salinisation, par un maximum en moyenne profondeur dans le cas d'une désalinisation temporaire et par un maximum en profondeur dans le cas d'une salinisation permanente.

- Les résultats relatifs au SAR ont montré un aspect général du sol non sodique pour les trois palmeraies. L'évolution du SAR au niveau des profils pendant la période étudiée indique que même après l'irrigation, la différence reste non significative, sauf en saison hivernale qui a engendré un effet significative par la diminution du SAR sur tous les horizons et dans toutes les palmeraies. L'allure du profil SAR de la solution du sol montre une variabilité saisonnière dans l'évolution du SAR entre les trois horizons due à la dynamique des sels surtout le sodium, grâce à une série de phénomènes : la lixiviation, la remonté capillaire, l'évapotranspiration.

Sur le plan spatial, l'analyse de la variance indique une différence majoritairement significative entre les trois palmeraies vis-à-vis de tous les paramètres édaphiques étudiés, justifiant ainsi l'effet de la situation topographique et géographique de chaque station, où les sels solubles ont émigrés de l'amont en l'aval.

Les résultats des analyses descriptives de la conductivité électrique et du SAR de la solution du sol au niveau des trois palmeraies, indiquent une relation positive dans l'ordre décroissant des moyennes qui sont respectivement : la palmeraie de Cheaab El-aargoub à  $0,51 \pm 0,26$  dS/m avec un SAR de  $0,40 \pm 0,50$ , la palmeraie de Cheaab El-Nasser à  $0,29 \pm 0,17$  dS/m avec un SAR de  $0,29 \pm 0,31$  et la palmeraie de Jedide  $0,12 \pm 0,06$  dS/m avec un SAR de  $0,23 \pm 0,29$ . Ces résultats peuvent être expliqués par les relations d'équilibre entre les sels des solutions du sol et les cations adsorbés comme surtout le sodium. Par contre, entre les moyennes du pH et la conductivité électrique, il est indiqué une relation négative dans l'ordre décroissant des palmeraies qui sont respectivement : la palmeraie de Jedide à moyenne de pH  $8,61 \pm 0,30$ , la palmeraie de Cheaab El-Nasser à moyenne de pH  $8,37 \pm 0,29$  et la palmeraie de Cheaab El-aargoub à moyenne de pH  $8,30 \pm 0,30$ . Ces résultats

traduisent la présence de bonnes corrélations significatives, entre les sels dans la solution du sol et par leur dynamique.

Les résultats obtenus montrent que les sols des trois palmeraies sont qualifiés non salés à peu salés avec une conductivité électrique allant de 0,07 dS/m à 1,02 dS/m, le pH est alcalin à fortement alcalin variant de 7,90 à 8,97, avec aucun risque d'alcalinisation du point de vue SAR qui est estimé comme non sodique (0,01 à 1,29).

Globalement, l'utilisation des eaux salées dans l'irrigation de la vallée de Sebseb n'influence pas significativement sur les sols vis-à-vis de la salinisation et de la sodisation, cela grâce à la texture sableuse de ces sols qui favorise ainsi l'infiltration des sels en profondeur. D'autre part, le pH du sol est resté de l'ordre alcalin quelque soit la fréquence d'irrigation due à la présence du calcaire dans le sol.

Cette étude, qui est la première consacrée à la problématique de l'influence des eaux d'irrigation salées sur la dynamique de la salinité, de la sodicité et de l'alcalinité du sol au niveau de la vallée de Sebseb, pose ainsi les premiers jalons d'une nouvelle recherche plus approfondie. 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 des eaux d'irrigation, et de la dégradation du sol.

Les problèmes identifiés dans les palmeraies de Sebseb au cours de ce travail doivent permettre la réalisation rapide :

- D'une sensibilisation des utilisateurs des eaux phréatiques aux problèmes liés à l'irrigation.
- De la recherche d'une économie de l'eau par le développement des productions végétales moins consommatrices d'eau et par la mise en œuvre des techniques d'irrigation (doses d'irrigation, suivi de l'humidité du sol) mieux adaptées aux conditions du milieu et aux cultures.
- De la nécessité, du traitement des eaux d'irrigation, dont l'utilisation peut entraîner une évolution de la salinité des sols vers une sodisation poussée ou vers une alcalinité.

Pour clore ce travail, nous suggérons la poursuite de cette étude en tenant compte des éléments suivants :

- L'extension de l'étude sur d'autres paramètres et dans d'autres palmeraies.

- Etudier la variation inter-mensuelle de la solution du sol en fonction de l'irrigation, pour bien gérer l'évolution de la salinité, de la sodicité et de l'alcalinité.
- l'évolution de la salinité des eaux constatée dans la région d'étude nécessite un suivi régulier pour juger de l'efficacité des moyens de sauvegarde des ressources en eau et en sol.
- l'utilisation de la géostatistique dans le diagnostic de la variabilité spatiale des propriétés du sol et des eaux d'irrigation.

***REFERENCES***  
***BIBLIOGRAPHIQUES***

***Références bibliographiques***

- A.N.R.H., 2011** - Inventaire Des Forages D'eau Et Enquête Sur Les Débits Extraits De La Wilaya De Ghardaïa ; Agence Nationale des Ressources Hydrauliques ; 15 p.
- AUBERT G., 1975** - Les sols sodiques en Afrique du Nord. Ann. I.N.A., Alger, 6 (1) : 185-195.
- AUBERT G., 1976** - Les sols sodiques en Afrique du Nord. Annales INA, Alger Vol N° 1, pp 185-196.
- AUBERT G., 1978** - Méthodes d'analyse des sols. Ed. C.R.D.P., Marseille, 189 p.
- AUBERT G., 1983** - Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques. Cahiers de l'ORSTOM, série pédologie, 20 (1) : 73-78.
- BACI L., 1982** - Contribution à l'étude de la salinisation des sols de Hodna (Wilaya de M'Sila). Mémoire d'Ingénieur, I.N.A Paris, 172p.
- BADRAOUI M., 2003** - Elaboration d'un modèle d'écobilan pour l'évaluation environnementale de l'agriculture irriguée au Maroc (Cas de périmètre irrigué de Tadla). Institut Agronomique et Vétérinaire Hassan II Rabat, 38p.
- BADRAOUI M., SOUDI B., MERZOUK A., FARHAT A. and M'HAMDI A., 1998** - Changes of soil qualities under pivot irrigation in Bahira region of Morocco: Salinization. *Advances in Geoecology*, 31: 503-508.
- BAIZE D., 1988** - Guide des analyses courantes en pédologie (choix- expression-présentation- interprétation). I.N.R.A., Paris, 172 p.
- BELHADJ M., CHIANG C., FRANFART R., LOUDELOUT H., 1975** - Modèles mathématiques pour la description de la salure et de l'alcalisation des sols du Sud Marocain. Ann. I.N.A., Alger, 6 (1) : 247-258.
- BEN BRAHIM F., 2001** - Etude de l'effet saisonnier de la nappe phréatique sur la dynamique des sels solubles dans un sol cultivé et non cultivé dans la cuvette d'Ouargla (cas de l'exploitation de l'IAS). Mémoire de fin d'étude En vue de l'obtention du diplôme d'Ingénieur d'Etat En Agronomie Saharienne, Centre Universitaire d'Ouargla. 108p.
- BEN BRAHIM F., 2006** - Evaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région d'Ouargla (Cas de Hassi Ben Abdellah). Mémoire Magister, Ouargla, 101pp.
- BEN BRAHIM F., 2018** - Variabilité spatiale de la qualité du sol dans les agrosystèmes du Sahara algérien. Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 123 p.
- BENAMAR A., 1991** - Contribution à l'étude des conditions d'utilisation du phospho-gypse dans la mise en valeur des sols des plaines du Bas-Cheliff. Thèse Magister, I.N.A., Alger, 139 p.

- BENBRAHIM F., BENSLAMA, M., KEMASSI A., DAREM S., HAMEL I., CHIKHI F., HALILAT M.T., 2016** - Evaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région d'Ouargla. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 31 (5), 107-123.
- BENZAHI Y., 1994** - Contribution à l'étude de la dynamique des sels dans un sol irrigué sous palmeraie. Thèse Ingénieur I.N.F.S.A.S., Ouargla, 111 p.
- BERTRAND R., KIETA B. et N'DIAYE K., 1993** - La dégradation des sols des périmètres irrigués des grandes vallées Sud-Sahariennes (cas de l'office du Niger). *Cahiers Agriculture*, 2 : 318-329.
- BOULAIN J., 1957** - Les sols des plaines du Cheliff. Thèse Doctorat Etat, Université d'Alger, 357 p.
- BOUMARAF B., 2013** - Caractéristiques et fonctionnement des sols dans la vallée d'Oued Righ, Sahara nord oriental, Algérie. Thèse de doctorat, université de Reims Champagne-Ardenne, France, 97p.
- BOUZID H., 1993** - Contribution à l'étude de la dynamique de la salinité dans un sol sableux sous irrigation par pivot (Gassi Touil). Mémoire d'ingénieur d'Etat, I.N.F.S.A.S, Ouargla, 46p.
- BOYER J., 1978** - *Le calcium et le magnésium dans les sols des régions tropicales humides et subhumides*. Initiations - documentations techniques N° 35. Edition O.R.S.T.O.M. Paris. France. 157p.
- BRADY N.C., 1990** - *The Nature and Properties of Soils*, New York: Collier Macmillan publishers.
- BRETZ F., HOTHORN T., WESTFALI P., 2011** - *Multiple comparisons using R*. Edition Taylor and Francis Group, LLC, Boca Raton, U.S.A., 182p.
- BUCKMAN H.O., BRADY N.C., 1965** - *The nature and properties of soils*. The Macmillan Company, New York, U.S.A., 653p.
- C.C.F.A., 1960** - Atlas régional des départements sahariens. Commandement en Chef des Forces en Algérie, Antenne de documentation géographique, 243 p.
- CADOT Y., 2010** - Influence de la date de vendange sur les composés phénoliques de la baie de raisin ; conséquences pour la typicité du vin, France. Thèse de doctorat, centre international d'études supérieures en sciences agronomiques, Montpellier, France, 269 pp.
- CAPOTREY R., 1953** - *Le Sahara Français*. Série géographie de l'union française. Presses Universitaires de France. p564.
- CAUNEILLE A., 1968** - Les Chaâmba, leur nomadisme. Edition du Centre National de la Recherche Scientifique, Paris France. p317.

**CHEVERRY C., 1995** - Comportements des plantes et milieu salé. C.R. Acad. Agri. France 81(2): 42-46.

**CHEVERRY C. & ROBERT M., 1993** - Salure des sols Maghrébins. Influence sur les propriétés physiques et physico-chimiques des sols. Rapport projet CEE ; 41p.

**CHEVERRY C. & 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* 5 (4) :217-226.

**CONDOM N., 2000** - Analyse et modélisation couplée des processus hydrogéochimiques de la salinisation des sols. Application aux sols rizicoles irrigués de l'Office du Niger (Mali). Thèse de doctorat, école nationale supérieur agronomique, Montpellier, 189p.

**D.F.W.G., 2014** - Annuaire statistique de wilaya de Ghardaïa 2014. Direction de forêt de wilaya de Ghardaïa.

**D.P.A.T., 2005** - Atlas de la Wilaya de Ghardaïa. Ed. El-Alamia, p142. Direction de la planification et de l'aménagement du territoire de la wilaya de Ghardaïa .Monographie La Wilaya De Ghardaïa (année 2004).

**D.P.A.T., 2014** - Atlas de la Wilaya de Ghardaïa. Ed. El-Alamia, p140. Direction de la planification et de l'aménagement du territoire de la wilaya de Ghardaïa .Monographie La Wilaya De Ghardaïa.

**DADDI BOUHOUN M., 1997** - Contribution à l'étude de l'évolution de la salinité des sols et des eaux d'une région saharienne : Cas du M'Zab. Thèse Magister, I.N.A., Alger, 180 p.

**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 d'Ouargla (Sud Est Algérien). Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 365 p.

**DADDI BOUHOUN M. & BRINIS L., 2004** - Etude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigue Gypso-Salin : cas d'une palmeraie de la cuvette d'Ouargla. Colloque International « TERRE et EAU » Annaba, 21, 22 & 23 Novembre 2004. 5-8p.

**DAGNILLIE P., 1975** - Théorie et méthodes statistiques : applications agronomiques volume 2 : les méthodes de l'inférence statistiques. Edition des presses agronomique de Gembloux, Belgique, 464p.

**DAJOZ R., 1985** - Précis d'écologie. Edition Dunod, Paris, 505 p.

**DAJOZ R., 2003** - Précis d'écologie. Edition Dunod, Paris, 615 p.

**DAOUD Y. & HALITIM A., 1994** - Irrigation et salinisation au Sahara algérien. *Sécheresse* 5 (3), 151-160.

- DAOUD Y., 1981** - Contribution à l'étude de la dynamique de l'eau et des sels dans un sol irrigué du périmètre du Haut-Cheliff. Thèse Magister, I.N.A., Alger, 123 p.
- DAOUD Y., 1993** - Contribution à l'étude des sols des plaines du Cheliff. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse Doctorat Etat, I.N.A., Alger, 277 p.
- DEKKICHE D., 1974** - Contribution à l'étude des sols du Hodna et corrélation géochimique des eaux de la nappe. Thèse Doctorat, Université de Gand, Gand, 210 p.
- DEMELON A., 1966** - *Dynamique du sol*. Tome I. 5<sup>ème</sup> Edition. Dunod, Paris, 520 p.
- DHUNNA M. & DIXIT J.B., 2010** - Information technologie in business management, university science Press, Bangalore, 797 p.
- DINON E., GERSTMANS, 2008** - L'Influence du pH sur l'assimilation des éléments nutritifs du sol par les plantes et sur la variété des plantes, Université de Liège.
- DJAMAI R., 2007** - Contribution à l'étude de la salinité des sols et des eaux du système endoréique du lac Fetzara (Nord-Est Algérien), approche géochimique et évolution spatio-temporelle des phénomènes. Thèse doctorat, Institut National Agronomique de El-Harrach (Alger), 176 p.
- DJERBI M., 1994** - Précis de phœniciculture. F.A.O., Rome, 192 p.
- DJILI K. & DAOUD Y., 1999** - Relation entre le pH et la teneur en carbonates de calcium des sols. Cas des sols du Nord Algérien. *Agrochimica*, Vol. XLIII –N, 3-4.
- DJILI K., 2000** - Contribution à la connaissance des sols du Nord de l'Algérie. Thèse Doctorat. INA, Alger, 243 p.
- DJILI K., DAOUD Y., GAOUAR A. & BELJOUDI Z., 2003** - La salinisation secondaire des sols au Sahara. Conséquences sur la durabilité de l'agriculture dans les nouveaux périmètres de mise en valeur. *Sécheresse* 14 (4), 241-246.
- DAJI J.A., 1970** - A textbook of soil science. Asia publishing house, p 304-311
- DUBIEF J., 1953** - Essai sur l'hydrologie superficielle du Sahara. Gouvernement Général de l'Algérie, service des études scientifiques. Clair bois Birmandreis (banlieue Alger). 457 p.
- DUBOST D., 1994** - Pratique de l'irrigation au Sahara. Documentation CIHEAM-IAMM Montpellier, 73 p.
- DUCHAUFOR P., 1977** - Pédologie. Pédogénèse et classification. Tome I, Edition Masson, Paris, p 477.
- DUCHAUFOR P., 2001** - Introduction à la science du sol : sol, végétation, environnement. 6<sup>ème</sup> Ed. DUNOD, Paris, 331 p.

- DURAND J.H., 1954** - Les sols d'Algérie. Service des études scientifiques. Pédologie, N°2, nouvelle édition, 140 p.
- DURAND J. H., 1958** - *Les sols irrigables*. Etude pédologique. Edition Imbert, Alger, p190.
- DURAND J. H., 1983** - *Les sols irrigables*. Etude pédologique. Edition Imprimerie Boudin, Paris, 339 p.
- DURAND J.H. & RENTY Y., 1983** - *Les sols irrigables*. Etude pédologique. 190 p.
- DUTIL P., 1971** - Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Thèse Doctorat Sciences Naturelles, Université de Strasbourg, Strasbourg, 346 p.
- FAURIE C., FERRA C., MEDORI P., DEVAUX J., 1980** - Ecologie. Approche scientifique et pratique. Ed. J-B.BAILLIRE. Paris.168 p.
- FRANÇOIS R., 2008** - *Dictionnaire encyclopédique des sciences de la nature et de la biodiversité*, Edition DUNOD, Paris, 1152 p.
- FROSSARD E., 1996** - Le rôle de la fertilité du sol dans l'agriculture durable. *Revue Suisse Agric.*, 28(4) :193-197.
- GAINES G.L. et THOMAS H.C., 1953** - Adsorption studies on clay minerals: II. A formulation of the thermodynamics of exchange adsorption. *J. Chem. Phys.* 21:714-718
- GAPON E.N. 1933** - On the theory of exchange adsorption in soils. *J. Gen. Chem. USSR (Eng. Transl.)* 3:144-163
- GAUCHER G., BURDIN S., 1974** - Géologie, Géomorphologie et Hydrologie des terrains salés. Ed. P.U.F., Paris, 231 p.
- GHASSEMI F., JAKEMAN A. J. & NIX H. A., 1995** - Salinization of land and water Ressources. Human causes, Extent, Management and case studies. Centre for resource and environmental Studies. The Australian National University. Canberra ACT 0200 Australia.
- GONZALEZ BARRIOS J.L., 1992** - eaux d'irrigation et salinité des sols en zone aride Mexicaine: exemple dans la « Comarca Lagunera ». Thèse doctorat, université Montpellier II, 316 p.
- GUESSOUM H., 2013** - Caractérisation microbiologique des eaux de la nappe phréatique de la Ghardaïa (cas de Sebseb). Mémoire master, université de Ghardaïa, 120 pp.
- GUESSOUM H., BENBRAHIM F., HALILAT M.T., LAOUAR F., BENSLAMA M. & DAREM S., 2014** - Caractérisation microbiologique des eaux de la nappe phréatique de la région de Ghardaïa (cas de Sebseb). *International Journal of Environment & Water* 3 (1), 35-43.
- GUESSOUM H., HALILAT M.T., BENBRAHIM F., OULED BELKHIR C. & BENSLAMA M., 2019** - Influence de la qualité des eaux d'irrigation sur les propriétés physico-chimiques du sol des palmeraies de Ghardaïa au centre d'Algérie. *Ciência e Técnica Vitivinícola*, 34 (6) : 55-70.

- HACHICHA M., 1998** - Mise en valeur des sols salés. Organisation, fonctionnement et évolution des sols salés du Nord de la Tunisie. Thèse Doctorat, ENSA Rennes ; 230 p.
- HALILAT, M.T., 1998** - Étude expérimentale de sable additionné d'argile, comportement physique et organisation en conditions salines et sodiques, Thèse Doctorat, INRA, I.N.A, Paris, Grignon, 229 p.
- HALITIM A., 1973** - Etude expérimentale de l'amélioration des sols sodiques d'Algérie en vue de leur mise en culture. Thèse de 3<sup>ème</sup> cycle. Université de Renne, 176 p.
- HALITIM A., 1985** - Contribution à l'étude des sols des zones aride (hautes plaines steppiques d'Algérie). Morphologie, distribution, et rôle des sels dans la genèse et le comportement des sols. Thèse Doctorat Etat, Université de Rennes, 383 p.
- HALITIM A., 1988** - *Sols des régions arides d'Algérie*. Edition O.P.U., Alger, 384 p.
- HAMDI-AÏSSA B., 2001** - Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (Cuvette de Ouargla). Approches micro-morphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse Doctorat I.N.A. Paris-Grignon, Paris, 315 p.
- HAMDY A., LASRAM M., LACIRIGNOLA C., 1995** - Les problèmes de salinité dans la zone méditerranéenne. C.R. Acad. Agri. France 81(2): 47-60.
- HOUICHITI R., 2009** - Caractérisation d'un agrosystème saharien dans une perspective de développement durable : Cas de l'Oasis de SEBSEB (Wilaya de GHARDAIA). Mémoire magister d'Agronomie Saharienne, Option Gestion des agrosystèmes Sahariens. Université de Ouargla, Département de Science agronomique. 87 p.
- HULLIN M., 1983** - Cours de drainage. Partie consacrée aux sols salés. Cours photocopié, Vol. 3, I.N.A., Alger, 139 p.
- I.T.A., 1975** - Laboratoire Du sol : Méthodes D'analyses Physiques Et Chimiques Du Sol. Institut Technologique Agricole. Mostaganem : 78p.
- IDDER T., 1998** - La dégradation de l'environnement urbain liée aux excédents hydriques au Sahara algérien. Impacts des rejets d'origine agricole et urbaine et techniques de remédiation proposée. L'exemple de Ouargla. Thèse Doctorat, Université d'Angers, Angers, 284 p.
- ISO, 1984** - Qualité de l'eau. NA 1653, ISO 6058. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, p 4.
- ISO, 1993** - Qualité de l'eau. NA 2364, ISO 9964/3. Ed. INAPI. Edition et diffusion, Alger, p 20.
- JAILLARD B., 1980** - Fonctionnement hydrique d'un sol Carbonaté. Incidence sur la chlorose ferrique. Thèse de 3<sup>e</sup> cycle, U.S.T.L., Montpellier, 13 nov. 1980, 132 p.
- KELLEY W.P., 1962** - Soil Science, 94 (1), P 1-5.
- KHADRAOUI A., 2007** - Sols et hydraulique agricole dans les Oasis Algériennes (Caractérisation, contraintes et propositions d'aménagement). Ed. Dar Houma, Alger. 317p.

**KOLIN N.I., 1969** - Pochvodeniye. 7, 67-76.

**KOULL N. & HALILAT M.T., 2016** - Effets de la matière organique sur les propriétés physiques et chimiques des sols sableux de la région d'Ouargla (Algérie). *Etude et Gestion des Sols*, 23 : 9-19.

**KOULL N., 2000** - Effets de la matière organique sur les propriétés physique et chimique des sols sableux de la région d'Ouargla. Mémoire Magister, Université d'Ouargla, 97p.

**LAOUAR F., 2013** - Caractérisation physico-chimique des eaux de la nappe phréatique de la région de Ghardaïa (Cas de Sebseb). Mémoire Master en Sciences de l'environnement, Université de Ghardaïa, 76 p.

**LAUDELOUT H. & THOMAS H.C., 1965** - The effect of the water activity on ion exchange selectivity. *J. Phys. Chem.* 69: 339-341

**LOYER J. Y., 1991** - Classification des sols salés : les sols salic. Cahiers de l'ORSTOM, série pédologie 26 (1) : 51-61.

**DIALLO M.D., NDIAYE O., MAHAMAT SALEH M., TINE A., DIOP A. and GUISSSE A., 2015** - Etude comparative de la salinité de l'eau et des sols dans la zone nord des Niayes (Sénégal). *African Crop Science Journal*, Vol. 23, No. 2, pp. 101 – 111.

**MAINGUET M., 1995** - L'homme et la sécheresse. Masson, Paris, 335 p.

**MATHIEU C. et FRANCOISE P., 2009** - Analyse chimique des sols. Méthodes choisies. Ed ; TEC et DOC. Paris. 23-139 p.

**McWILLIAM J.R., 1986** - The national and international importance of drought and salinity effects on agricultural production. *Australian Journal of Plant Physiology* 13(1): 1 – 13.

**MESKINE M. 1992** - Contribution à l'étude hydrique, paramètres hydrodynamique d'un sol salé et drainé (Un cas à Ouargla). Thèse Ingénieur, I.N.F.S.A.S., Ouargla, 57 p.

**MICROSOFT CORPORATION, 1993** - Microsoft Excel : User's guide : version 5.0. Edition Microsoft Corporation, université du Michigan U.S.A., 786p.

**MOULIAS D., 1927** - L'organisation hydraulique des oasis sahariennes. Edition Jules Carbonel, Ancienne maison Bastide – Jourdan. 305 p.

**MTIMET A., 1998** - Gestion durable de l'eau et du sol dans les oasis Tunisiennes. *16em congré mondial de science du sol* .symposium n° 29, n°enregistrement :1462.

**N'DIAYE M.K. et GUINDO D., 1998** - Evolution des sols irrigués de la vallée du Niger (Mali). *Etude et gestion des sols* ; 5 (4) : 269-276.

**O.N.M. Ghardaïa, 2018** - Office Nationale Météorologie. Les données climatiques de la région de Ghardaïa (1990-2016), 1p.

**OMEIRI N., 1994** - Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels solubles dans la cuvette de Ouargla. Thèse Ingénieur, I.N.F.S.A.S., Ouargla, 72 p.

- OUSTANI M., 1994** - Contribution à l'influence de certains amendements organiques (palmes de dattier, crotte de dromadaire) sur les propriétés biologiques et chimiques d'un sol salé de la cuvette de Ouargla. Thèse Ingénieur, I.N.F.S.A.S., Ouargla, 55 p.
- OZENDA P., 1983** - Flore du Sahara. Ed. Centre national de la recherche scientifique (C.N.R.S.), Paris, 622 p.
- OZENDA P., 1991** - Flor du Sahara. Ed. Centre national de la recherche scientifique (C.N.R.S.) Paris .625p.
- PANKOVA Y.I., 1992** - Desert soil salinization and correlations with climate aridity and continentality. *Problemy Osvoeniya Pustyn*, 3 : 54 - 61.
- PASSAGER P., 1959** - Metlili des Chaâmba, Sahara Algérois. Archives de l'Institut Pasteur d'Algérie. PP 508-574.
- PITMAN M.G and LAUCHLI A., 2002** - Global impact of salinity and agricultural ecosystems. In: Salinity: Environment-Plants-Molecules. Eds. A. Lauchli, V. Lutttge, Kluwer, The Netherlands. pp 3-20.
- RICHARDS L.A., 1954** - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U.S.D.A, Handbook N° 60, Washington, 160 p.
- REGNIER Y., 1939** - Les Chaâmba sous le régime français, leur transformation. Thèse de Doctorat en droit, Université de Paris, Faculté de Droit. Les éditions Domat Montchrestieu. 184 p.
- RIEU M., TOUMA J. et GHEYI H.R., 1991** - Sodium calcium exchange on Brazilian soils: Modeling the variation of selectivity coefficients. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, vol. 55 p 1294-1300
- ROBERT M., 1992** - Le sol, une ressource naturelle à préserver pour la production et l'environnement. *Cahiers Agricultures*, 1(1) : 20-34.
- RODIER. J., 2005** - Analyse de l'eau : Eaux naturelles, eaux résiduaires, eaux de mer. Paris, Dunod, 1383p.
- SAFAR T., 1983** - Pédologie et géochimie des milieux salés. Contribution à l'étude de la dynamique des sels dans une plaine alluviale irriguée et non drainée. Thèse de docteur ingénieur E.N.S.A.I.A., Nancy, 200 p.
- SAIDI D., Le BISSONNAIS Y., DUVAL O., DAOUD Y. et HALITIM A, 2004** - Effet de sodium échangeable et de la concentration saline sur les propriétés physiques des sols de la plaine du Chelif (Algérie). *Etude et gestion des sols* 11 (2) : 137-148
- 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 de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 335 p.

- SAKER M.L., DADDI BOUHOUN M., 2007**- Les ressources naturelles sahariennes: gestion et impact sur le développement agricole. *Annales de la Faculté des Sciences et des Sciences de l'Ingénieur*, 1(2) : 58-62.
- SELMANE M., 2015** - Etude de la variation saisonnière de la pédofaune (macrofaune) sous palmeraie dans a région sud est algérienne (Oued Souf). Thèse de doctorat, Université Badji Mokhtar Annaba, 119 p.
- SERVANT J. & SERVAT M., 1966** - Introduction à l'étude des sols salés littoraux du Languedoc-Roussillon. *Ann. Argon.* N° 17(1) pp. 53-73.
- SERVANT J. M., 1978** - La salinité dans le sol et les eaux : caractérisation et problèmes d'irrigation drainage. *Bull. B.R.G.M., Section. III, N°2*, pp. 123-142.
- 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., 1976** - Sur quelques aspects de la pédogénèse en milieu halomorphe : l'exemple des sols salés de la région méditerranéenne Française. *Ann. de l'INRA. Vol. VI. n° 1*, pp : 225-245.
- SOLTNER D., 1989** - *Les bases de la production végétale*. Tome I: Le sol, 17<sup>ème</sup> Edition C.S.T.A., Angers, 468 p.
- SPOSITO G. & MATTIGOD S.V., 1977** - On the chemical foundation of the sodium adsorption ratio. *Soil Sei. Soc. Am J.* 41: 323-329.
- STEWART P., 1969** - Quotient pluviothermique et dégradation biosphérique. Quelques réflexions. *Bulletin I.N.A. Alger*, 24-25 pp.
- TOUTAIN G., 1987** - Approche globale d'un milieu oasien et compréhension des problèmes de mise en valeur agricole (sud-marocain). Pp 239-308. In *Dynamique des systèmes agraires. Le développement rural comprendre pour agir*. CNRS, ORSTOM, Paris, 1987. 323 p.
- TRAORE D., 1995** - Suivi de l'irrigation d'une culture de blé dur sous pivot et étude de l'évolution de la salinité. Thèse Ingénieur, I.N.F.A.S., Ouargla, 44 P.
- TYAGI N., 1996** - Salinity management in irrigated agriculture. In Pereira L.S (ed.): *Sustainability of irrigated agriculture*, p. 345-358.
- U.S.S.L., 1954** - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Salinity Laboratory U.S.D.A, Handbook N° 60, Washington, 160 p.
- URBATIA., 1996** - Plan Directeur de l'Aménagement Urbain (PDAU) de la commune de Sebseb, Rapport d'orientation, Phase finale. Bureau d'Etudes pour l'Urbanisme et le Bâtiment URBATIA. Agence de Ghardaïa. p75.
- VANSELOW A.P., 1932** - Equilibria of the base exchange reactions of bentonites, permutites, soil colloids and zeolites. *Soil Science* 33: 95-113.

**WARRENCE N. J., BAUDER J. W. & PEARSON K. E., 2002** - Basics of salinity and sodicity effects on soil physical properties. Department of Land Resources and Environmental Science, Montana State University-Bozeman.

***ANNEXES***

## Annexes

**Annexes 1.** Echelles utilisées à l'interprétation des résultats du sol.

**Tableau I.**  $\text{pH}_{1/5}$  de l'extrait 1/5 (SOLTNER, 1989).

$\text{pH}_{1/5}$	classe
5 à 5,5	Très acide
5,4 à 5,9	Acide
6 à 6,5	Légèrement acide
6,6 à 7,2	Neutre
7,3 à 8	Alcalin
>8	Très alcalin

**Tableau II.** Calcaire Total (BAIZE, 1988).

$\text{CaCO}_3$ (%)	Sol
$\text{CaCO}_3 < 1$	Non calcaire
$1 < \text{CaCO}_3 < 5$	Peut calcaire
$5 < \text{CaCO}_3 < 25$	Modérément calcaire
$25 < \text{CaCO}_3 < 50$	Fortement calcaire
$50 < \text{CaCO}_3 < 80$	Très calcaire
$\text{CaCO}_3 > 80$	Excessivement calcaire

**Tableau III.** Conductivité électrique de l'extrait dilué 1/5 (AUBERT, 1978)

C.E. (dS/m à 25°C)	Degré de salinité
$\leq 0,6$	Sol non salé
$0,6 < \text{C.E.} \leq 2$	Sol peu salé
$2 < \text{C.E.} \leq 2,4$	Sol salé
$2,4 < \text{C.E.} \leq 6$	Sol très salé
$> 6$	Sol extrêmement salé

**Tableau IV.** Calcaire actif (INRA).

<b>CaCO<sub>3</sub> actif en (%)</b>	<b>Horizon</b>
0 à 5	Faible
5 à 10	Assez faible
10 à 20	Elevé
> 20	Très élevé

**Tableau V.** Matière organique (I.T.A., 1975).

<b>M.O (%)</b>	<b>Sol</b>
$\leq 1$	Très pauvre
$1 < \text{M.O.} \leq 2$	Pauvre
$2 < \text{M.O.} \leq 4$	Moyenne
$> 4$	Riche

**Tableau VI.** Sodium Adsorption Ratio et degré d'alcalinisation des sols

<b>S.A.R</b>	<b>Degré d'alcalinisation</b>
$\leq 4$	Pas d'alcalinisation
$4 < \text{S.A.R.} \leq 8$	Faible alcalinisation
$8 < \text{S.A.R.} \leq 12$	Alcalinisation moyenne
$12 < \text{S.A.R.} \leq 18$	Alcalinisation forte
$> 18$	Alcalinisation intense

**Annexe 2.** Résultats d'analyses physico-chimiques du sol (CE, pH, SAR) dans les trois palmeraies pendant quatre saisons de l'année (2015-2016)

**Tableau VII.** Conductivité électrique 25°C (dS/m)

saison	Horizons	Profondeur (cm)	Palmeraie de Jedide		Palmeraie de Cheaab El-aargoub		Palmeraie de Cheaab El-Nasser	
			Avant irrigation	Après irrigation	Avant irrigation	Après irrigation	Avant irrigation	Après irrigation
Printemps	H1	0-30	0,08	0,18	0,56	0,73	0,20	0,23
	H2	30-60	0,12	0,15	0,55	0,67	0,20	0,34
	H3	60-90	0,14	0,18	0,62	0,86	0,27	0,49
Eté	H1	0-30	0,18	0,11	0,48	0,37	0,23	0,2
	H2	30-60	0,1	0,12	0,46	0,43	0,22	0,28
	H3	60-90	0,12	0,14	0,56	0,69	0,29	0,37
Automne	H1	0-30	0,09	0,10	0,46	0,37	0,22	0,29
	H2	30-60	0,10	0,12	0,53	0,52	0,27	0,61
	H3	60-90	0,13	0,16	0,55	0,60	0,25	0,33
Hiver	H1	0-30	0,10	0,14	0,38	0,38	0,27	0,29
	H2	30-60	0,11	0,12	0,35	0,35	0,25	0,28
	H3	60-90	0,11	0,12	0,38	0,37	0,25	0,26

**Tableau VIII.** pH

saison	Horizons	Profondeur (cm)	Palmeraie de Jedide		Palmeraie de Cheaab El-aargoub		Palmeraie de Cheaab El-Nasser	
			Avant irrigation	Après irrigation	Avant irrigation	Après irrigation	Avant irrigation	Après irrigation
Printemps	H1	0-30	9,03	8,64	8,54	8,25	8,70	8,69
	H2	30-60	8,74	8,86	8,35	8,41	8,89	8,52
	H3	60-90	8,91	8,67	8,35	8,32	8,6	8,37
Eté	H1	0-30	8,85	8,52	8,26	8,27	8,41	8,37
	H2	30-60	8,35	8,59	8,08	7,99	8,68	8,29
	H3	60-90	8,18	8,39	7,89	8,49	8,08	8,36
Automne	H1	0-30	8,4	8,40	8,11	8,37	8,03	8,27
	H2	30-60	8,43	8,27	8,25	8,35	8,02	8,46
	H3	60-90	8,35	8,39	7,93	8,28	8,29	8,17
Hiver	H1	0-30	9,24	9,14	8,98	9,06	9,09	9,07
	H2	30-60	9,11	9,23	9,05	9,05	8,87	9,03
	H3	60-90	9,23	9,13	9,04	8,87	8,91	8,81

**Tableau IX.** SAR de la solution du sol

saison	Horizons	Profondeur (cm)	Palmeraie de Jedide		Palmeraie de Cheaab El-aargoub		Palmeraie de Cheaab El-Nasser	
			Avant irrigation	Après irrigation	Avant irrigation	Après irrigation	Avant irrigation	Après irrigation
Printemps	H1	0-30	0,19	0,21	0,55	0,50	0,23	0,29
	H2	30-60	0,14	0,14	0,51	0,2	0,22	0,2
	H3	60-90	0,17	0,11	0,23	0,24	0,2	0,21
Eté	H1	0-30	0,25	0,31	0,81	0,66	0,64	0,56
	H2	30-60	0,24	0,31	0,64	0,56	0,53	0,56
	H3	60-90	0,25	0,27	0,34	0,52	0,62	0,52

Automne	H1	0-30	0,2	0,32	0,76	0,42	0,37	0,51
	H2	30-60	0,25	0,21	0,52	0,38	0,34	0,53
	H3	60-90	0,3	0,35	0,31	0,33	0,33	0,45
Hiver	H1	0-30	0,31	0,35	0,77	0,71	0,61	0,6
	H2	30-60	0,28	0,4	0,68	0,7	0,55	0,56
	H3	60-90	0,3	0,4	0,5	0,67	0,55	0,6

### Annexe 3. Types des profils salins

La distribution quantitative de la salinité peut dans tous les cas revêtir plusieurs modalités et conduit indépendamment à des types de sol (Servant, 1973 ; 1975).

Selon Servant (1976), il est possible de distinguer quatre formes principales de salinisation (Fig.) :

-La forme A : est une salinisation.

-La forme B : est une désalinisation temporaire.

-La forme D : est une désalinisation permanente

-La forme C : est une résalinisation

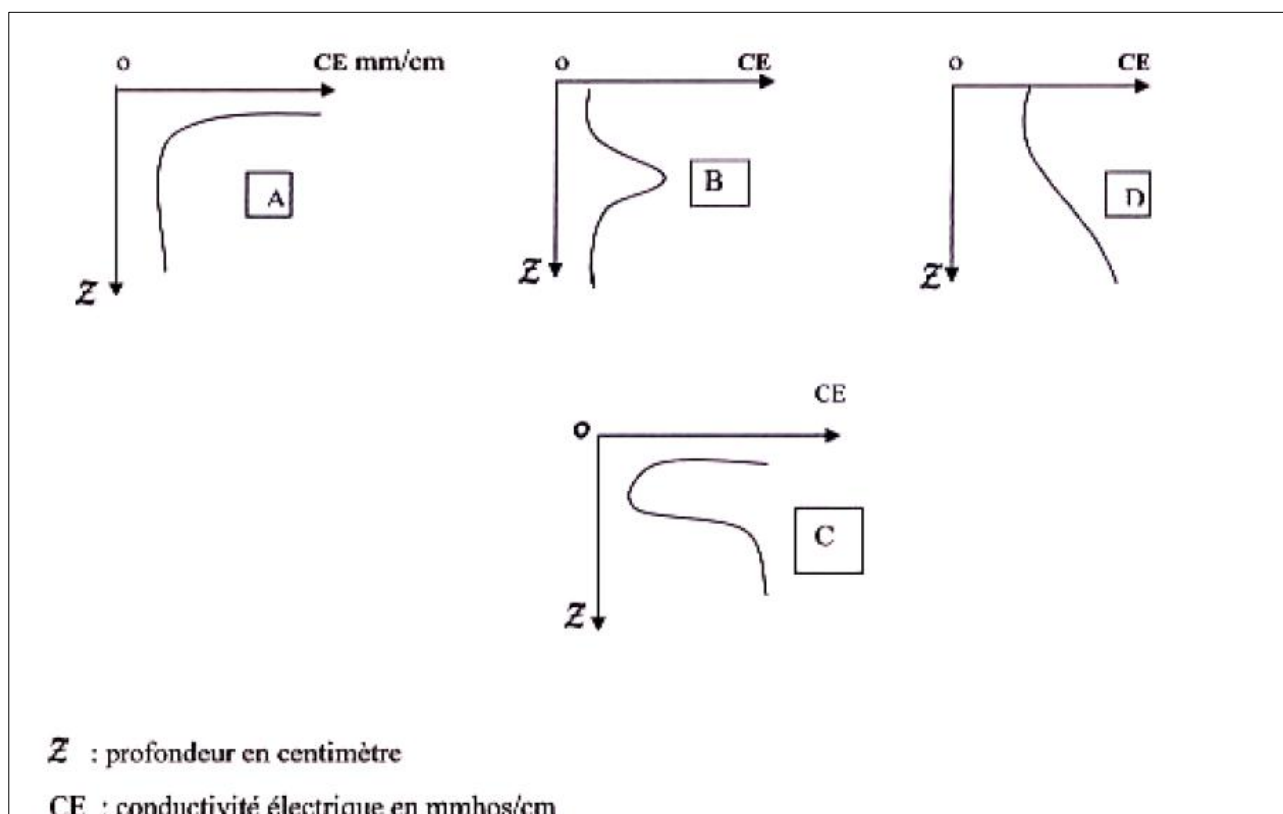


Figure (A, B, C, D). Les différents types de profils salins (Servant, 1976).

**Annexe 4.** Analyse de la variance de la conductivité électrique (dS/m) durant les quatre saisons de la première année de l'étude 2014-2015).

**Tableau X. Saison de printemps**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	5,915	0,986	31,753	< <b>0,0001</b>
Erreur	83	2,577	0,031		
Total corrigé	89	8,491			

**Tableau XI. Saison d'été**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	1,958	0,326	20,226	< <b>0,0001</b>
Erreur	83	1,339	0,016		
Total corrigé	89	3,297			

**Tableau XII. Saison d'automne**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	1,885	0,314	15,281	< <b>0,0001</b>
Erreur	83	1,706	0,021		
Total corrigé	89	3,591			

**Tableau XIII. Saison d'hiver**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	5	1,996	0,399	24,346	< <b>0,0001</b>
Erreur	84	1,377	0,016		
Total corrigé	89	3,374			

**Annexe 5.** Analyse de la variance du pH de sol durant les quatre saisons de la première année de l'étude (2014-2015).

**Tableau XIV. Saison de printemps**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	1,949	0,325	9,580	< <b>0,0001</b>
Erreur	83	2,814	0,034		
Total corrigé	89	4,763			

**Tableau XV. Saison d'été**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,750	0,125	2,863	<b>0,014</b>
Erreur	83	3,622	0,044		
Total corrigé	89	4,371			

**Tableau XVI. Saison d'automne**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	1,832	0,305	2,273	<b>0,044</b>
Erreur	83	11,152	0,134		
Total corrigé	89	12,985			

**Tableau XVII. Saison d'hiver**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	1,874	0,312	10,755	<b>&lt; 0,0001</b>
Erreur	83	2,411	0,029		
Total corrigé	89	4,285			

**Annexe 6.** Analyse de la variance du SAR de la solution du sol durant les quatre saisons de la première année de l'étude (2014-2015).

**Tableau XVIII. Saison de printemps**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	3,095	0,516	3,037	<b>0,010</b>
Erreur	83	14,095	0,170		
Total corrigé	89	17,189			

**Tableau XIX. Saison d'été**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,006	0,001	1,069	0,388
Erreur	83	0,083	0,001		
Total corrigé	89	0,089			

**Tableau XX. Saison d'automne**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	1,125	0,188	6,492	< <b>0,0001</b>
Erreur	47	1,358	0,029		
Total corrigé	53	2,483			

**Tableau XXX. Saison d'hiver**

Source	DDL	Somme des carrés	Moyenne des carrés	F	Pr > F
Modèle	6	0,038	0,006	5,414	< <b>0,0001</b>
Erreur	83	0,097	0,001		
Total corrigé	89	0,135			