

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Département des Sciences Agronomiques



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

***En vue de l'obtention du Diplôme de Magister
en Sciences Agronomiques***

Spécialité : Systèmes Spatiaux et Aménagements Agricoles Sahariens

THEME

**Impact de la qualité des eaux des forages Albien et Mio-pliocène
sur certains paramètres physico-chimiques du sol dans la zone
de Hassi Ben Abdellah (Wilaya de Ouargla)**

Présenté par :

BENAISSA Amel

Soutenu publiquement le : 04/01/2017

Devant le jury :

Mr. HAMDI AISSA Baelhadj	Professeur	U.K.M.Ouargla	Président
M ^{me} . BISSATI Samia	Professeur	U.K.M.Ouargla	Promotrice
Mr. CHELOUFI Hamid	Professeur	U.K.M.Ouargla	Examineur

Année Universitaire : 2016/2017

Dédicace

Ce mémoire représente l'aboutissement de soutien et des encouragements que
mes parents m'ont prodigué tout au long de ma scolarité...
Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...
Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour,
le respect et la reconnaissance que je vous porte...

A ma chère sœur Wissem et mon cher petit frère Fayçal je vous dédie ce
travail en témoignage de mon amour et mon attachement
Votre aide a été pour moi une source de courage, de patience
et de confiance.
Puisse nos fraternels liens se pérenniser et consolider encore.
Je vous aime très fort...

A ma chère copine Messou : ton soutien morale, ta gentillesse sans égal et l'aide
que tu ma portée m'ont permis de surmonter les moments difficiles...

A tous mes ami(e)s et tous ceux qui me sont chers.
A tous mes enseignants tout au long de mes études.

Amel

Hommage

Le 09/11/2016 est le jour où monsieur Saker Mohamed lakhdar, Professeur du Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie a rendu l'âme ;il nous a quitté pour de bon, laissant derrière lui un immense vide...

Il a été l'un des anciens enseignants de l'université de Kasdi Merbah Ouargla ; connu par son dynamisme, son diligent effort, sa bonté, son dévouement et son haut niveau scientifique et culturel, il a largement contribué au développement de la recherche scientifique au niveau de sa faculté par ses travaux et ses encadrements de mémoires et thèses, des projets de master, des formations de magister et de doctorat, des séminaires..

J'ai été honoré par sa présidence de mon jury de soutenance, mais le destin a fait qu'il nous quitte bien avant... si cher son absence, son souvenir restera gravé dans mon esprit à jamais...

Puisse dieu tout puissant vous accorde sa clémence, sa miséricorde et vous accueil dans son vaste paradis.

Nous somme à Dieu et c'est à lui nous retournons.

Remerciements

Au terme de ce modeste travail, je remercie ALLAH de m'avoir aidé à le réaliser.

Il m'est agréable de remercier, vivement ma promotrice Madame **BISSATI Samia**, Professeure, Doyenne de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah Ouargla, d'avoir accepté de diriger ce travail, Je lui atteste ma profonde gratitude pour son encadrement, ses conseils, ses orientations et sa patience.

Je remercie Monsieur **HAMDI AISSA Belhadj**, Professeur du Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah Ouargla d'avoir accepté de présider ce jury.

Je tiens à exprimer aussi mes respectueux et sincères remerciements à Monsieur **CHELOUFI Hamid**, Professeur du Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah Ouargla qui m'a également fait l'honneur de participer au jury et d'avoir accepté d'examiner ce travail.

Je détiens à faire un grand remerciement à Monsieur **BELAROUSSI Mohamed** ainsi que Monsieur **EDDOUD Amar** pour l'aide qu'ils m'ont porté pour couronner ce mémoire.

Je ne saurai oublier le personnel de l'A.N.R.H en particuliers Monsieur **BENHAMIDA** pour la facilité qu'ils m'ont accordée pour acquérir les informations.

Je remercie également le personnel de laboratoire pédagogique de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, particulièrement Monsieur **BEGGARI El-Aich**, ainsi que le personnel de la bibliothèque en particulier **SAHLI khaled**.

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

Résumé

La région de Hassi Ben Abdellah (Ouargla), est considérée comme étant une zone importante d'extension des superficies agricoles. Le recours à l'irrigation est inévitable pour les cultures et les eaux souterraines sont donc de plus en plus sollicitées ; où l'on dénombre près de 60 forges d'eaux réparties entre Albien et Miopliocène .Toutefois l'aptitude à l'irrigation de ces eaux reste méconnue. Notre travail a porté sur l'évaluation de la qualité de ces eaux ; et d'étudier et comparer leur impact sur l'évolution des propriétés physico-chimiques d'un sol irrigué à trois âges de mise en irrigation différents. Pour cela, six stations d'étude ont été choisies dont trois irriguées par l'Albien et trois par le Miopliocène, réparties sur tout le territoire de la commune de Hassi Ben Abdellah.

Les résultats analytiques ont révélé que les eaux d'irrigation issues des forages Albien appartiennent à la classe C4S2 et C3S1, et sont fortement à très fortement salées, à pH tendant vers l'alcalinité (>7) ; ce qui leur confère une mauvaise qualité pour l'irrigation. Toutefois, elles pourraient être exceptionnellement utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage.

Les eaux d'irrigation des forages Miopliocène ; appartiennent à la classe C5S4 et C5S3, sont excessivement salées avec un pH alcalin, ce qui les rend inutilisables pour l'irrigation sauf pour sable drainé et pour des cultures du genre palmier dattier, tolérant de fortes salinités.

Une approche statistique des analyses physico-chimiques du sol a été élaborée, dont l'interprétation a mis en évidence les conséquences de l'utilisation de l'eau des forages Albien et Miopliocène sur le sol des stations d'études. Elle a montré que l'eau d'irrigation Albienne n'a pas d'influence sur l'évolution des paramètres du sol étudiés, à savoir le pH, la CE et le SAR, en fonction de l'évolution d'âge de mise en irrigation de la station. Contrairement à l'eau d'irrigation du Miopliocène dont les résultats ont montré son influence sur l'augmentation du pH, de la CE et du SAR en fonction de l'évolution d'âge de mise en irrigation de la station. Toutefois, cette influence peut être atténuée par l'intervention de l'homme.

Mots clés : Irrigation, Hassi Ben Abdallah, Albien, Miopliocène, sol, palmeraies, salinisation.

ملخص

تعتبر منطقة حاسي بن عبد الله (ورقلة) مجالاً هاماً من التوسع في الأراضي الزراعية. إن استخدام الري للمحاصيل أمر لا مفر منه، وبالتالي يتم استعمال المياه الجوفية على نحو متزايد. حيث هناك ما يقرب من 60 بئر من المياه بين ألبيان وميولبوسان. ومع ذلك مدى صلاحية هذه المياه للري لا تزال مجهولة.

تهدف هذه الدراسة إلى تقييم نوعية مياه الألبيان والميولبوسان؛ و دراسة و مقارنة تأثيرها على تطور الخواص الفيزيائية والكيميائية لتربة ذات ثلاثة أعمار سقي مختلفة. ولهذا اختيرت ستة محطات دراسية، منها ثلاثة مسقية بمياه الألبيان وثلاثة أخرى بمياه الميولبوسان موزعة على جميع أراضي بلدي حاسي بن عبد الله.

النتائج التحليلية تشير إلى أن مياه الري من آبار ألبيان تنتمي إلى الطبقة C3S1 و C4S2 ذات ملوحة قوية إلى قوية جداً و درجة الحموضة تميل نحو القاعدية ؛ مما يعطيهم نوعية رديئة للري، ولكن يمكن استثناء أن تستعمل في التربة ذات نفاذية جيدة. وبالمقابل ، مياه الري من آبار ميولبوسان. تنتمي إلى C5S4 والطبقة C5S3، هي مالحة أكثر من اللازم مع درجة الحموضة قاعدية، مما يجعلها غير صالحة للاستعمال لأغراض الري إلا على تربة رملية نفوذة ولأشجار النخيل فقط.

قمنا بتطبيق منهجية احصائية للتحاليل الفيزيو-كيميائية للتربة حيث أن تفسيرها يسمح لنا بمعرفة آثار مياه آبار ألبيان وميولبوسان على التربة في المحطات الدراسية. هذه الأخيرة بينت أن مياه الري ألبيان ليس لها تأثير على تطور خصائص التربة المدروسة ألا وهي: درجة الحموضة، درجة الملوحة و نسبة تثبيت الصوديوم، بتطور عمر سقي التربة؛ خلافاً لمياه الري ميولبوسان حيث أن النتائج تبين تأثيرها على ارتفاع درجة الحموضة، درجة الملوحة و نسبة تثبيت الصوديوم ، بتطور عمر سقي التربة. ومع ذلك تدخل الإنسان يمكن من الحد من هذا التأثير.

الكلمات المفتاحية: الري ، حاسي بن عبد الله ، ألبيان ، ميولبوسان، تربة ، بساتين النخيل، الملوحة .

Summary

The region of Hassi Ben Abdellah (Ouargla) is considered an important area of expansion of agricultural land. The use of irrigation for crops is inevitable and groundwater are therefore increasingly sought; where there are nearly 60 forges waters divided between Albian and Miopliocène .However the suitability of these waters for irrigation remains unknown. Our work focused on evaluating the quality of these waters; and study and compare their impact on the evolution of the physico-chemical properties of irrigated soil in three different ages of irrigation development. For this, six study sites were selected including three irrigated by the Albian and three by the Miopliocène spread over the whole territory of the town of Hassi Ben Abdellah.

The analytical results showed that irrigation water from the Albian wells belong to the class C4S2 and C3S1, and are highly to very highly saline, pH tending towards alkalinity (> 7); which gives them a poor quality for irrigation. Touitefois, they could exceptionally be used on very permeable soils with good drainage.

Irrigation water Miopliocène drilling; belong to C5S4 and C5S3 class, are overly salty with an alkaline pH, which makes them unusable for irrigation except for sand and drained for crops of palm date tree kind, tolerant of high salinities.

A statistical approach to physical and chemical analysis of soil was developed, whose interpretation has highlighted the consequences of the use of water and Albian Miopliocène drilling on the floor of the stations studied. It showed that the Albian irrigation water did not influence the evolution of soil parameters studied, namely pH, EC and SAR, depending on the age changes put irrigation of the resort. Unlike Miopliocène of irrigation water, the results have shown its influence on the increase of pH, EC and SAR depending on the age changes put in irrigation station. However, this effect can be mitigated by human intervention.

Keywords: Irrigation, Hassi Ben Abdallah, Albian Miopliocène, ground, palm groves, Salinization.

Liste des abréviations

A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hyriques

AI : Anciennement Irrigué

AI AP : Albien de l' Ancienne Palmeraie

AI J1 : Albien du périmètre Jeune 1

AI KR : Albien de périmètre Khchem Rih

AI TAI : Station très anciennement Irriguée par Albien

AI AI : Station Anciennement Irriguée par Albien

AI NI : Station Nouvellement Irriguée par Albien

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture

MP B : Miopliocène de périmètre Babziz

MP Kh : Miopliocène de périmètre Khoudrane

MP Oj : Miopliocène de périmètre Oujana

MP TAI : Station Très Anciennement Irriguée par Miopliocène

MP AI : Station Anciennement Irriguée par Miopliocène

MP NI : Station Nouvellement Irriguée par Miopliocène

NI : Nouvellement Irrigué

O.N.A : Office National de l'Assainissement

O.N.M : Office Nationale de Météorologie

TAI : Très anciennement irrigué

Liste des tableaux

Tableau 1. Données climatiques de la région de Ouargla. Période 2004-2014.....	10
Tableau 2. Stations irriguées par l'Albien.....	18
Tableau 3. Stations irriguées par le Mio-pliocène.....	19
Tableau 4. Quelques caractéristiques des forages étudiés.....	19
Tableau 5. Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Bulletin FAO n° 29 ; 1976)	28
Tableau 6. Résultats des analyses de l'eau d'irrigation.....	29
Tableau 7. Classe d'eau d'irrigation des stations d'études.....	34
Tableau 8. Granulométrie du sol des stations d'étude.....	36

Liste des figures

Figure 1. Situation géographique de la wilaya de Ouargla (DPAT, 2006)	5
Figure 2. Coupe schématique des formations superficielles de la cuvette de Ouargla (LELIEVRE, 1969 in HAMDI AISSA, 2001).	7
Figure 3. Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (PNUD-UNESCO, 1972).	9
Figure 4. Diagramme ombrothermique de la région de Ouargla pour la période (2004-2014).	13
Figure 5. Etage bioclimatique d’Ouargla selon le Climagramme d’ EMBERGER.	14
Figure 6. Image satellite montrant les périmètres agricoles de Hassi Ben Abdellah	15
Figure 7. Carte régionale des pédopaysages (Hamdi Aissa, 2001)	16
Figure 8. Image satellite représentant les stations d’étude (excepté celle de Khchem Rih)...	17
Figure 9. Image satellite présentant les forages étudiés (excepté celui de Khchem Rih).....	20
Figure 10. Approche méthodologique adoptée.....	21
Figure 11. Diagramme de piper des eaux d’irrigation des stations d’étude	32
Figure 12. Classification des eaux d’irrigation des stations d’études selon le diagramme de RIVERSIDE (1954) modifié par Durand (1958).	34
Figure 13. Profil calcaire des stations irriguées par le Miopliocène.....	37
Figure 14. Profil calcaire des stations irriguées par l’Albien	38
Figure 15. AFC de la relation entre type de nappe utilisée et paramètres étudiés.....	39
Figure 16. Boîtes à moustaches de la variation du pH sol de la combinaison type de nappe- âge de mise en irrigation.....	41
Figure 17. Boîtes à moustaches de la variation du pH sol de la combinaison type de nappe- type de parcelle.....	42
Figure 18. Boîtes à moustaches de la variation de la CE sol de la combinaison type de nappe- âge de mise en irrigation.....	44
Figure 19. Boîtes à moustaches de la variation de la CE du sol de la combinaison type de nappe- type de parcelle.....	46
Figure 20. Boîtes à moustaches de la variation du SAR de sol de la combinaison type de nappe- âge.....	48
Figure 21. Boîtes à moustaches de la variation du SAR sol de la combinaison type de nappe- type de parcelle.....	49
Figure 22. AFC de la relation entre la profondeur de prélèvement et les paramètres étudiés..	50

Liste des photos

Photo 1. Accumulation du sel en surface du sol dans la station (NI)	44
Photo 2. Stations irriguées par le Miopliocène	45

Table des matières

Introduction	2
--------------------	---

Partie I : Matériels et méthodes d'étude

Chapitre I - Présentation de la région d'étude

I.1. Situation géographique.....	5
I.2. Géomorphologie.....	6
I.2.1. Le plateau de la Hamada Pliocène	6
I.2.2. Glacis.....	6
I.2.3. Sebkhas et chotts	6
I.2.4. Les dunes.....	6
I.3. Pédologie.....	7
I.4. Hydrogéologie.....	8
I.5. Climat.....	10
I.5.1. Températures	11
I.5.2. Précipitations.....	11
I.5.3. Humidité relative.....	11
I.5.4. L'évaporation	11
I.5.5. L'insolation	11
I.5.6. Le vent.....	12
I.6. Classification climatique	12
I.6.1. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN	12
I.6.2. Climagramme d'EMBERGER.....	13

Chapitre II -Matériels d'étude

II.1. Choix de la zone d'étude.....	15
II.2. Critères du choix des stations expérimentales	16
II.3. Présentation des stations d'étude	18
II.3.1. Stations irriguées par l'Albien	18

II.3.2. Stations irriguées par le Mio-pliocène	18
II.4. Présentation des forages d'irrigation	19

Chapitre III -Méthodes d'étude

III.1. Approche méthodologique	21
III.2. Echantillonnage	22
III.2.1. Echantillonnage du sol	22
III.2.2. Echantillonnage de l'eau	22
III.3. Méthodes d'analyses.....	22
III.3.1. Analyses de sol	22
III.3.1.1. Granulométrie.....	23
III.3.1.2. Conductivité électrique (CE).....	23
III.3.1.3. pH	23
III.3.1.4. Calcaire total.....	23
III.3.1.5. Bases échangeables.....	23
III.3.2. Analyses de l'eau.....	24
III.3.2.1. Conductivité électrique (CE).....	24
III.3.2.2. pH	24
III.3.2.3. Résidu sec	24
III.3.2.4. Dosage des cations	24
III.3.2.5. Dosage des anions	25
III.3.3. Analyses statistiques :.....	25
III.3.3.1. Analyse factorielle des correspondances (AFC)	25
III.3.3.2. Analyse de la variance à un facteur (ANOVA).....	26

Partie II-Résultats et discussion

Chapitre IV - Caractéristiques et classification des eaux d'irrigation

IV.1. Caractérisation des eaux d'irrigation.....	28
IV.1.1. Salinité.....	30

IV.1.2. pH.....	30
IV.1.3. Cations.....	30
IV.1.4 Anions	31
IV.1.5. Sodicité (Alcalinité)	32
IV.1.6 Faciès chimique.....	32
IV.2 Classification des eaux d'irrigation.....	33
Chapitre V - Caractéristique du sol des stations d'études	
V.1. Granulométrie	36
V.2. Calcaire total (CaCO ₃).....	37
Chapitre VI - Impact de l'eau d'irrigation sur les paramètres du sol étudiés	
VI.1. Impact sur le pH du sol	40
VI.1.1. Stations irriguées par le Miopliocène.....	40
VI.1.2. Stations irriguées par l'Albien.....	40
VI.2. Impact sur la conductivité électrique (CE).....	43
VI.2.1. Stations irriguées par le Miopliocène.....	43
VI.2.2. Stations irriguées par l'Albien.....	43
VI.3. Impact sur le SAR du sol.....	47
VI.3.1. Stations irriguées par le Miopliocène.....	47
VI.3.2. Stations irriguées par l'Albien.....	47
Conclusion générale	52
Références bibliographiques.....	56
Annexes	61

Introduction

Introduction

L'agriculture irriguée représente 20 % de l'ensemble des terres cultivées au niveau mondial. La superficie des terres irriguées passent de 184 millions d'hectares en 1970 à 324 millions d'hectares en 2012 dont 122 millions d'hectares sont irriguées par des eaux souterraines (**FAO, 2014**).

Dans les zones arides, le climat rend l'irrigation nécessaire à toute mise en culture ce qui exige une maîtrise des ressources en eau et en sol (**SALIM et TESSIER, 1998**).

Dans une région à climat aride comme la commune de Hassi Ben Abdellah (Ouargla), l'irrigation s'impose comme un choix incontournable pour la mise en culture des terres. Cette commune a connu une évolution importante de l'extension des superficies agricoles. Les eaux souterraines sont donc de plus en plus sollicitées ; où l'on dénombre près de 60 forges d'eaux entre Albien et Mio-pléocène.

Malheureusement, le développement de l'irrigation, s'il constitue un espoir pour les régions arides, se traduit souvent par une remontée du niveau de la nappe superficielle et par une augmentation de la salinité des sols (**BOULAINÉ, 1957 ; DAUD, 1993**).

Les apports massifs d'eau d'irrigation, destinés à augmenter la capacité de production du sol, vont profondément modifier le milieu et l'évolution du sol par l'augmentation de l'humidité et des apports de sels **AUBERT, (1963)**. Ces changements pourront, s'ils sont provoqués inconsidérément, ruiner le sol par son engorgement ou par sa salinisation. (**DURAND, 1973**).

Les phénomènes de salinisation et de sodisation provoquent une dégradation des propriétés physiques, chimiques et biologiques (**RICHARDS, 1954 ; SERVENT, 1970**), qui a des effets néfastes sur les cultures.

La conduite de l'irrigation en zones arides et semi-arides demande un contrôle permanent de la salinité dans le sol et dans l'eau d'irrigation (**LALLEMAND- BARRES, 1980**).

Il est donc impératif de connaître la qualité des eaux d'irrigation dans cette région et son impact sur les propriétés physico-chimiques des sols afin de les préserver et garantir leur durabilité.

Plusieurs études à l'échelle nationale (DOUAOUI et HARTANI, 2007 ; ROUABHIA et DJABRI, 2010 ; GOUAIDIA et al., 2012) ou régionale (BENBRAHIM, 2006 ; DADDI BOUHOUN et BRINIS, 2006 ; DADDI BOUHOUN et al., 2008 et BENCHELLAL et al., 2009 ; KOULL et al., 2013) ; ont montré que l'irrigation par des eaux salées conduit fréquemment à la dégradation du sol.

Toutefois, ces travaux ne montrent pas l'influence de la provenance de l'eau (nappe albienne ou mio-pliocène) sur l'évolution des propriétés physico-chimiques du sol.

C'est dans cette perspective que s'inscrit notre travail qui consiste dans un premier temps à évaluer la qualité des eaux des forages Albien et Mio-pléocène dans la région de Hassi Ben Abdellah et comparer dans un second temps l'impact de chaque type de nappe sur l'évolution des paramètres physico-chimiques d'un sol irrigué selon trois âges de mise en irrigation à savoir : très anciennement irrigué, anciennement irrigué et nouvellement irrigué ; dans le but de prédire les tendances évolutives de la productivité de ces terres à court, moyen et long terme.

Ce mémoire comporte deux parties :

- La première prendra en compte la présentation de la région d'études, le matériel et les méthodes utilisés pour la réalisation de ce travail.
- La deuxième traitera les résultats.

Partie I
Matériel et
Méthodes d'étude

Chapitre I : présentation de la région d'étude

I.1. Situation géographique

Située au Sud-est algérien, à environ 800 km d'Alger ; Ouargla est l'une des principales oasis du Sahara algérien. Elle occupe sur une soixantaine de kilomètres, le lit quaternaire de l'Oued Mya (**ROUVILLOIS - BRIGOL, 1975**).

Ses coordonnées géographiques sont 31°57' Nord de latitude et 5°20' Est de longitude. Couvrant une superficie de 163.230 km² ; elle demeure l'une des collectivités administratives les plus étendues du pays. Elle est limitée :

Au Nord : par la wilaya de Djelfa, d'El-Oued et de Biskra

A l'Est : par la Tunisie

A l'Ouest : par la wilaya de Ghardaia

Au Sud : par la wilaya de Tamanrasset et Illizi (**D.P.A.T, 2006**).

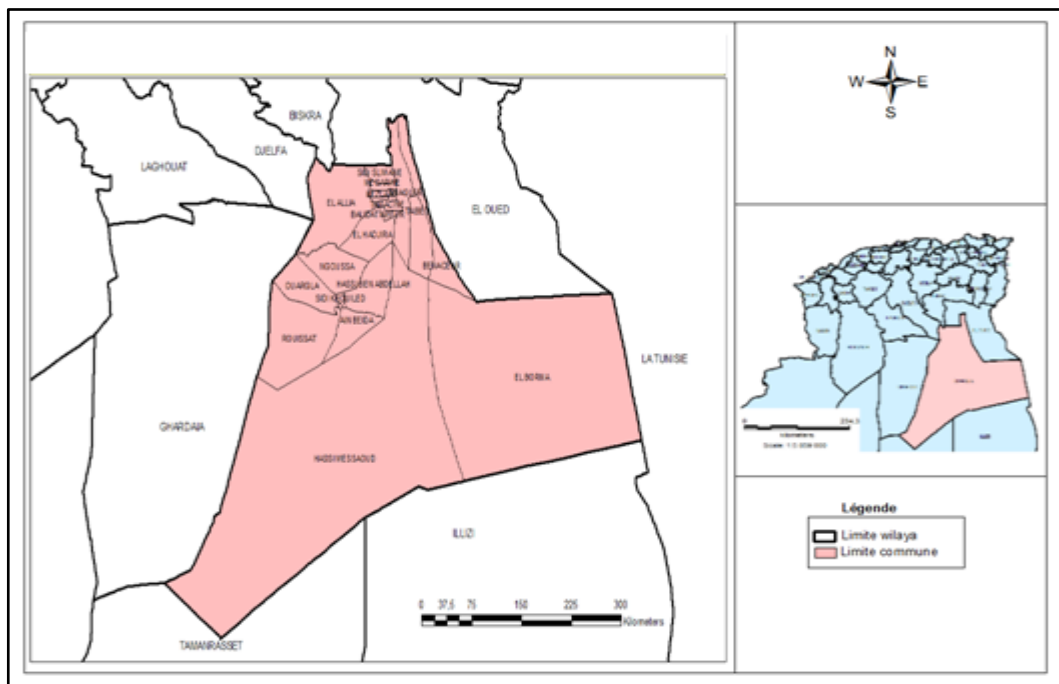


Figure 1. Situation géographique de la wilaya de Ouargla (DPAT, 2006)

I.2. Géomorphologie

Sur le plan géomorphologique, **HAMDI AISSA et GIRARD (2000)**, décrivent d'Ouest en Est quatre ensembles géomorphologiques (**Fig. 2**) :

I.2.1. Le plateau de la Hamada Pliocène

Situé à l'Ouest de Ouargla, il s'abaisse légèrement d'Ouest en Est. Il est à 220 m au-dessus de la vallée. A l'est, il est fortement érodé, laissant dans le paysage une série de buttes témoins ou Goure.

I.2.2. Glacis

Sur le versant Ouest de la cuvette, les glacis s'étagent du plus ancien au plus récent, d'Ouest en Est sur quatre niveaux, allant de 200 à 140 m. Les glacis dont les hauteurs varient de 180 m à 160 m sont très visibles et caractérisés par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-Pliocène. La pente de ce dernier est faible, et souvent recouverte de sables et de graviers. A l'Est de la cuvette se trouve un vaste glacis alluvial à sable grossier, de 150 m d'altitude.

I.2.3. Sebkhas et chotts

Ils constituent le niveau le plus bas. Le chott qui correspond à la bordure de la sebkha est constitué de sable siliceux et/ou gypseux ainsi que de sol gypseux à croûte gypseuse de surface et de subsurface. La nappe phréatique affleure en surface au centre de la sebkha, elle est permanente et très peu profonde dans le chott (1 à 5 m). En aval de Ouargla (136 m d'altitude), en direction SSE-NNO, diverses sebkhas alternent avec les massifs dunaires jusqu'à la sebkha Safiouna (103 m d'altitude).

I.2.4. Les dunes

Ce sont des formations éoliennes récentes, en petit cordons, d'environ 150 m d'altitude. Elles occupent l'Est et le Nord-est de Ouargla et bordent les sebkhas le long de la vallée de l'oued M'ya.

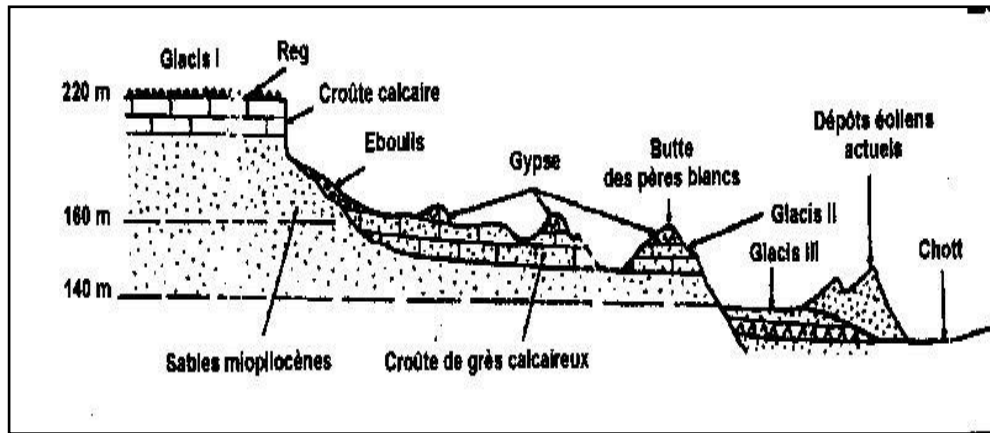


Figure 2. Coupe schématique des formations superficielles de la cuvette de Ouargla (LELIEVRE, 1969 in HAMDI AISSA, 2001).

I.3. Pédologie

Selon HALILAT (1993), la région de Ouargla se caractérise par des sols légers, à prédominance sableuse et à structure particulière. Ils sont caractérisés aussi par un faible taux de matière organique, un pH alcalin, une bonne aération et une forte salinité.

HAMDI AISSA et GIRARD (2000) présentent une distribution des sols de la cuvette de Ouargla par les travaux de télédétection et de terrain, constituée de cinq pédopaysages suivant d'Ouest en Est, selon la dénomination des sols du référentiel pédologique :

- *Sur le plateau*, les sols sont caractérisés une par croûte pétrocalcaire, surmontant une croûte pétrogypsi. C'est un LITHOSOL.
- *Sur le glacis*, à 140 m d'altitude, le sol est constitué d'un matériau meuble, exclusivement détritique, hérité de l'altération du grès à sable rouge du mio-pliocène. C'est le sol le plus pauvre en gypse de la région. Il s'agit d'un REGOSOL sableux à graviers, saliques.
- *Dans le chott*, caractérisé par un pydopaysage gypseux. C'est un SALISOL chloruré sulfaté à horizon gypseux (Ys) et pétrogypsi de surface (Ym).
- *Dans la sebkha*, Les sols se caractérisent par une salure extrêmement élevée de l'horizon de surface et des croûtes et efflorescences salines continues. C'est un pédopaysage salin à croûtes salines de surface.

- Les dunes, sont des REGOSOLS sableux. Il existe aussi des cordons dunaires. Enfin dans les talwegs et sur les versants rocheux, on trouve en surface des affleurements de grès rouge du mio-pliocène .

I.4. Hydrogéologie

Sur le plan hydrogéologique, Ouargla possède des potentiels aquifères souterrains très importants, à savoir le Complexe Terminal et le Continental Intercalaire (**Fig.3**).

- Le complexe terminal

Il se localise dans le Sahara occidental et s'étend sur une superficie de 350.000 Km², avec une profondeur oscillant entre 100 et 500 m. Cette nappe regroupe deux systèmes aquifères, appelés nappe des sables et nappe des calcaires (**KHADRAOUI, 2005**).

a. Le Mio-Pliocène : dit nappe de sable, s'écoule du Sud Sud-ouest vers le Nord Nord-est, en direction du chott Mèlghir. Elle est formée d'une alternance de sables et d'argiles et repose en discordance sur le Sénonien. Son épaisseur moyenne est de l'ordre de 150 m ; cette nappe est utilisée en irrigation (**ANRH, 2005 ; SOGREAH, 2009**).

b. Le sénonien : dit nappe de calcaire, est formé de dolomies, de calcaires dolomitiques avec des intercalations de marnes et d'argiles. Il est peu exploité vu son faible débit, sa profondeur d'exploitation varie entre 140 à 200 m ; essentiellement réservé pour l'alimentation en eau potable vu sa faible salinité (**ANRH, 2005 ; SOGREAH, 2009**).

Les eaux du complexe terminal se caractérisent par une température peu élevée ; l'eau est moins chargée en sels sur les bordures et relativement plus chargée au centre (plus de 3g/l) (**KHADRAOUI, 2005**).

- Le continental intercalaire

Ce réservoir présente un volume considérable, dû à la fois à son extension sur 600.000 Km², occupant tout le Sahara septentrional et à son épaisseur, qui peut atteindre 1000 m au Nord- Ouest du Sahara. Sa profondeur varie de 1100 et 1500 m à ouargla et l'écoulement général se fait de Sud vers le Nord (**ANRH, 2005 ; KHADRAOUI, 2005**).

Selon **KHADRAOUI (2005)**, les eaux du continental intercalaire sont caractérisées par une température qui dépasse les 60°C sauf aux endroits où l'aquifère est proche de la surface du sol, une charge en H₂S et CO₂ qui lui donne un caractère corrosif et la minéralisation de cette eau oscille entre 1 et 2 g/l de résidu sec, pouvant atteindre exceptionnellement les 5g/l à GassiTouil.

- **Nappe phréatique**

Aux deux grandes aquifères citées ci-dessus, vient s'ajouter une nappe phréatique superficielle, contenue dans les sables quaternaires. Elle est peu profonde avec une large extension dans les vallées de Ouargla et de Oued Righ(**ANRH, 2005**).

Cette nappe est située à des profondeurs variant de 1 à 3m dans les zones urbaines et de 0,5 à 0,9m dans les zones agricoles et elle affleure dans les Chotts. Le sens de l'écoulement des eaux de la nappe, comme d'ailleurs dans tout le bassin oriental du Bas-Sahara, s'oriente du Sud vers le Nord (**NEZLI et al., 2007**).(**Fig.3**)

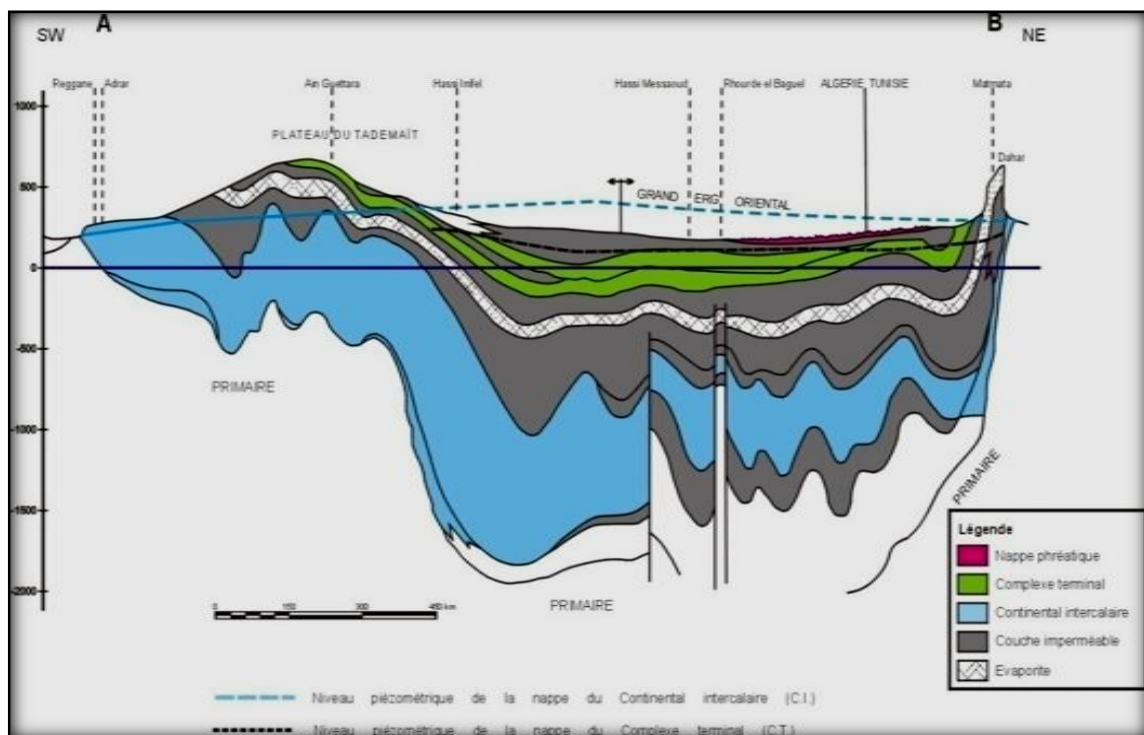


Figure 3. Coupe hydrogéologique à travers le Sahara (**PNUD-UNESCO, 1972**).

I.5. Climat

Selon **ROUVILLOIS-BRIGOL (1975)**, le climat de Ouargla et l'un des climats les plus rudes du Sahara Nord oriental. L'aridité s'exprime non seulement par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air.

Nous avons utilisé les données climatiques fournies par l'Office National de Météorologie (**ONM**) pour la période de (2004-2014), (**Tableau 1**)

Tableau 1. Données climatiques de la région de Ouargla. Période 2004-2014

<i>Paramètres</i>	Températures			Humidité (%)	vent max en Km/h	Précipitations (mm)	Evaporation (mm)	Insolation (heure)
	T min °C	T max °C	T moy °C					
Janvier	5,11	18,77	11,94	61,07	55,60	9,10	90,70	244,77
Février	6,83	21,08	13,96	51,21	60,73	0,64	129,15	241,84
Mars	10,99	25,81	18,40	45,67	60,95	4,30	204,51	259,09
Avril	15,26	30,38	22,82	39,34	72,29	2,11	254,53	280,90
Mai	19,75	34,89	27,32	33,90	66,13	1,47	327,61	301,03
Juin	24,81	40,28	32,54	29,50	57,45	0,74	399,75	253,20
Juillet	28,21	43,71	35,96	25,79	64,53	0,32	464,44	327,18
Aout	27,54	42,84	35,19	28,84	56,11	1,70	419,87	330,68
Septembre	23,51	37,75	30,63	37,90	55,78	3,56	299,57	269,05
Octobre	17,61	32,18	24,89	44,42	48,73	5,72	230,60	265,28
Novembre	10,46	24,16	17,31	54,85	47,64	6,56	124,89	249,68
Décembre	6,02	19,23	12,62	60,54	45,02	4,18	88,80	223,28
Moyenne	16,34	30,92	23,63	42,75	57,58	*40,40	*3034,42	270,50

* Cumulé annuel

(O.N.M., 2015)

I.5.1. Températures

L'analyse des valeurs du tableau ci-dessus montre que la température moyenne annuelle est de 23.63 °C, avec une température moyenne de 35.96°C en juillet, mois le plus chaud, et une température moyenne de 11.94°C en janvier qui est le mois le plus froid.

La moyenne annuelle des températures minimales est de 16.34°C et celle des températures maximales est de 30.92 °C. L'amplitude thermique annuelle peut atteindre, en moyenne 38.6°C, avec 5.11°C en janvier contre 43.71°C en juillet) (**Tableau 1**).

I.5.2. Précipitations

Pour la période 2004-2014, les précipitations étaient très faibles avec un cumul moyen de 40.40 mm, conjuguées à un régime irrégulier très important (irrégularité inter mensuelle et inter annuelle). Les plus grandes quantités sont enregistrées pendant les mois de janvier et de novembre avec respectivement 9.10 mm et 6.56 mm. La période estivale se caractérise par de très faibles quantités (**Tableau 1**).

I.5.3. Humidité relative

L'humidité relative varie sensiblement en fonction des saisons de l'année, mais elle demeure toujours faible, atteignant son maximum au mois de janvier avec un taux de 61.07 %, et une valeur minimale au mois de juillet avec un taux de 25.79 % et une moyenne annuelle de 42.75 % (**Tableau1**).

I.5.4. L'évaporation

Suite à la conjugaison de températures élevées, de la faible humidité de l'air et les radiations solaires intenses ; l'évaporation est très importante dans la région. Elle est surtout accentuée par les vents. Elle est de l'ordre de 3034.42 mm/ an avec un maximum mensuel au mois de juillet (464,44 mm) et un minimum de 90.70 mm au mois de janvier (**Tableau 1**).

I.5.5. L'insolation

Selon **ROUVILLOIS BRIGOL (1975)**, 138 jours de l'année présentent un ciel totalement clair et dégagé. 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**).

Nous constatons un maximum de 330,68 heures enregistré pour le mois de juillet, et un minimum de 223,28 heures pour le mois de décembre. La durée moyenne annuelle d'insolation durant la période étudiée est de 270.50 heures/an (**Tableau 1**).

I.5.6. Le vent

Selon **DUBIEF (1963)**, Ouargla est une région ventée où les vents soufflent du Nord-est et du Sud. Les vents les plus fréquents en hiver sont les vents d'Ouest, tandis qu'au printemps les vents du Nord- Est et de l'Ouest dominant en été ils soufflent du Nord-est et en automne du Nord-est et Sud- ouest.

Les valeurs du tableau montrent que les vents sont fréquents sur toute l'année, avec une vitesse moyenne annuelle de 57,58 Km/h, et un maximum au mois d'avril avec 72,29 Km/h (**Tableau. 1**).

I.6. Classification climatique

Pour classer le climat de Ouargla, nous avons utilisé le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN et le climagramme d'EMBERGER.

I.6.1. Diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN

Le diagramme ombrothermique de BAGNOULS et GAUSSEN (**1953 ; in GAUSSEN, 1955**), est une méthode graphique qui permet de mettre en évidence les périodes sèches d'une région. Il est représenté en abscisse par les mois de l'année, en ordonnée à gauche par les précipitations (en mm) et en ordonnées à droite par les températures moyennes (en °C), avec une échelle de $P=2T$. L'aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche. Pour la région de Ouargla nous remarquons que cette période s'étale sur toute l'année (**Fig. 4**).

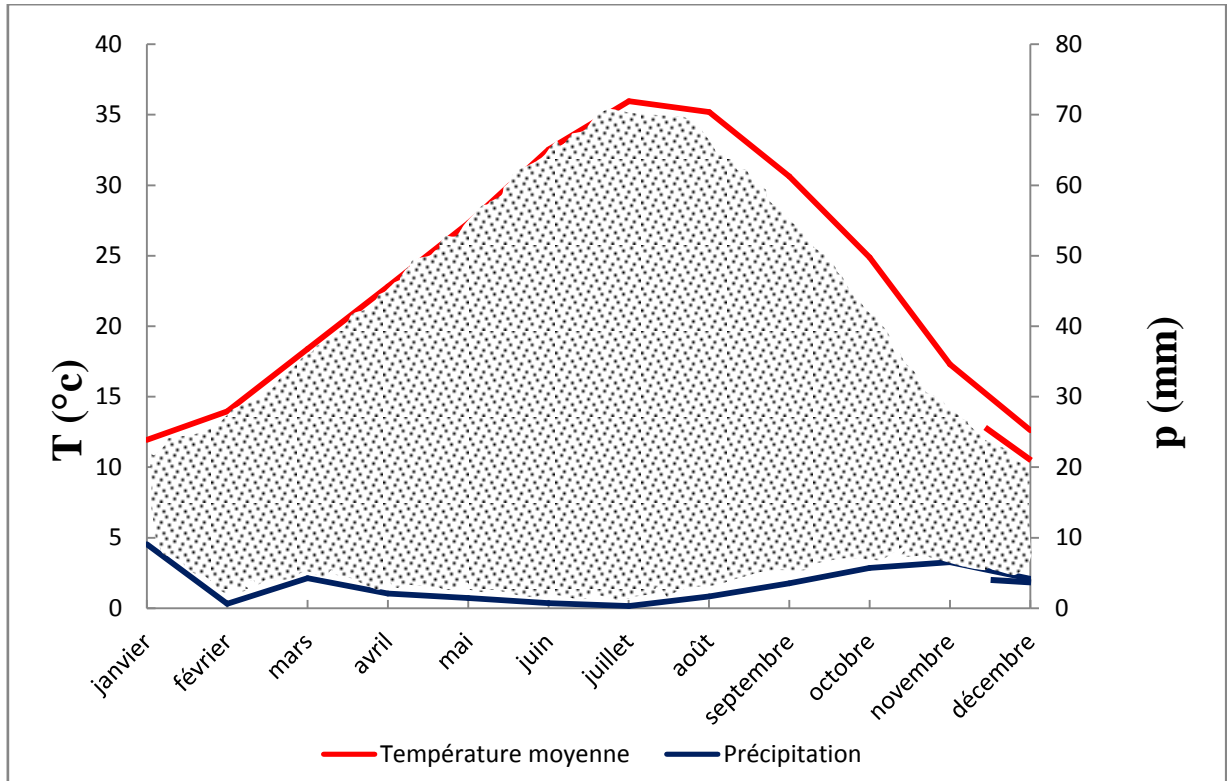


Figure 4. Diagramme ombrothermique de la région de Ouargla pour la période (2004-2014).

I.6.2. Climagramme d'EMBERGER

Le Climagramme d'Emberger permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude.

Il est représenté en axe des abscisses par la moyenne des températures minimales du mois le plus froid et en axe des ordonnées par le quotient pluviothermique (Q3) d'EMBERGER (1933), in LE HOUEROU, 1995). Nous avons utilisé la formule de STEWART (1969 in LE HOUEROU, 1995) adaptée pour l'Algérie, qui se présente comme suit :

$$Q3 = 3,43 P/M-m$$

Avec :

- Q3 : quotient pluviothermique d'EMBERGER
- P : pluviométrie moyenne annuelle en mm
- M : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C
- m : moyenne des minimas du mois le plus froid en °C

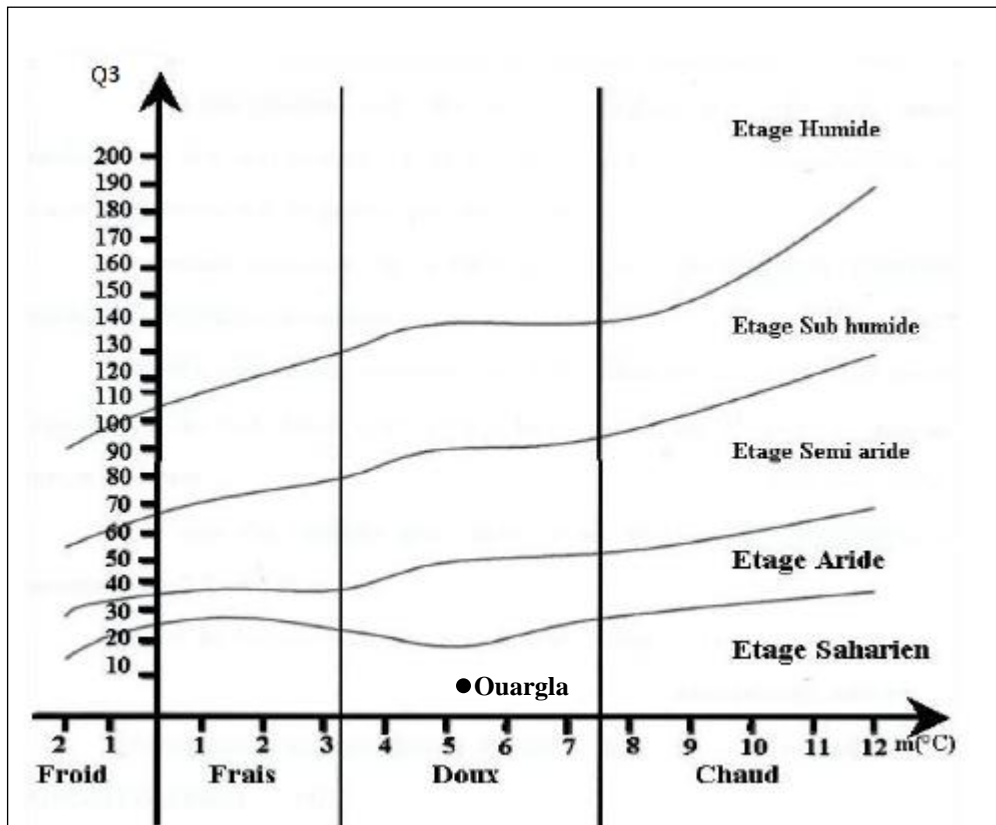


Figure 5. Etage bioclimatique d'Ouargla selon le Climagramme d' EMBERGER.

D'après la figure 05 Ouargla se situe dans l'étage bioclimatique saharien à hiver doux ; son quotient thermique (Q3) est de 6.73.

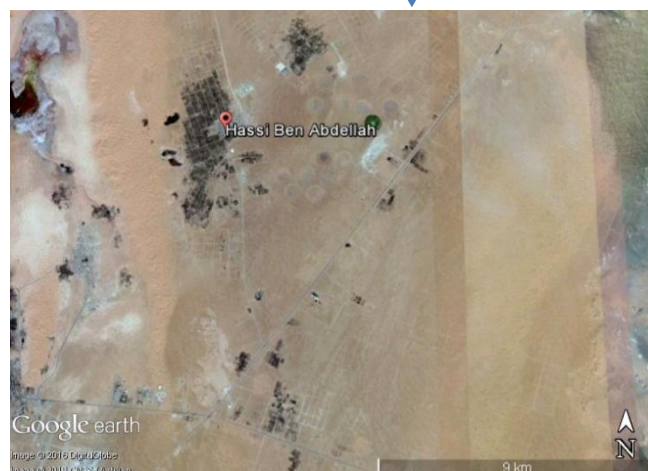
Chapitre II. Matériels d'étude

II.1. Choix de la zone d'étude

La commune de Hassi Ben Abdallah demeure la principale région pilote en matière de mise en valeur agricole. Elle a connu une dynamique notable par rapport aux autres régions de la wilaya de Ouargla où son superficie agricole utile (SAU) est passée selon la DSA (2014) de 3825 ha en 2009 à 7203,31 ha en 2014. Ceci est dû principalement à l'effet conjugué des ressources hydriques abondantes dont l'inventaire réalisé par l'ANRH en 2010 montre que 60 forages sont exploités en irrigation dont 14 Albien et 46 Mio-pliocène. Par ailleurs, d'immenses superficies en terre ont été installées sur un reg (Fig. 7) et ne nécessitant pas donc un réseau de drainage, qui semble s'effectuer naturellement de manière satisfaisante. En outre, la profondeur de la nappe phréatique varie de 30 à 60 m, ce qui élimine le risque de la remontée et de la contamination des sols par cette dernière.



Wikipédia, 2015



Google earth, 2015

Figure 6. Image satellite montrant les périmètres agricoles de Hassi Ben Abdallah

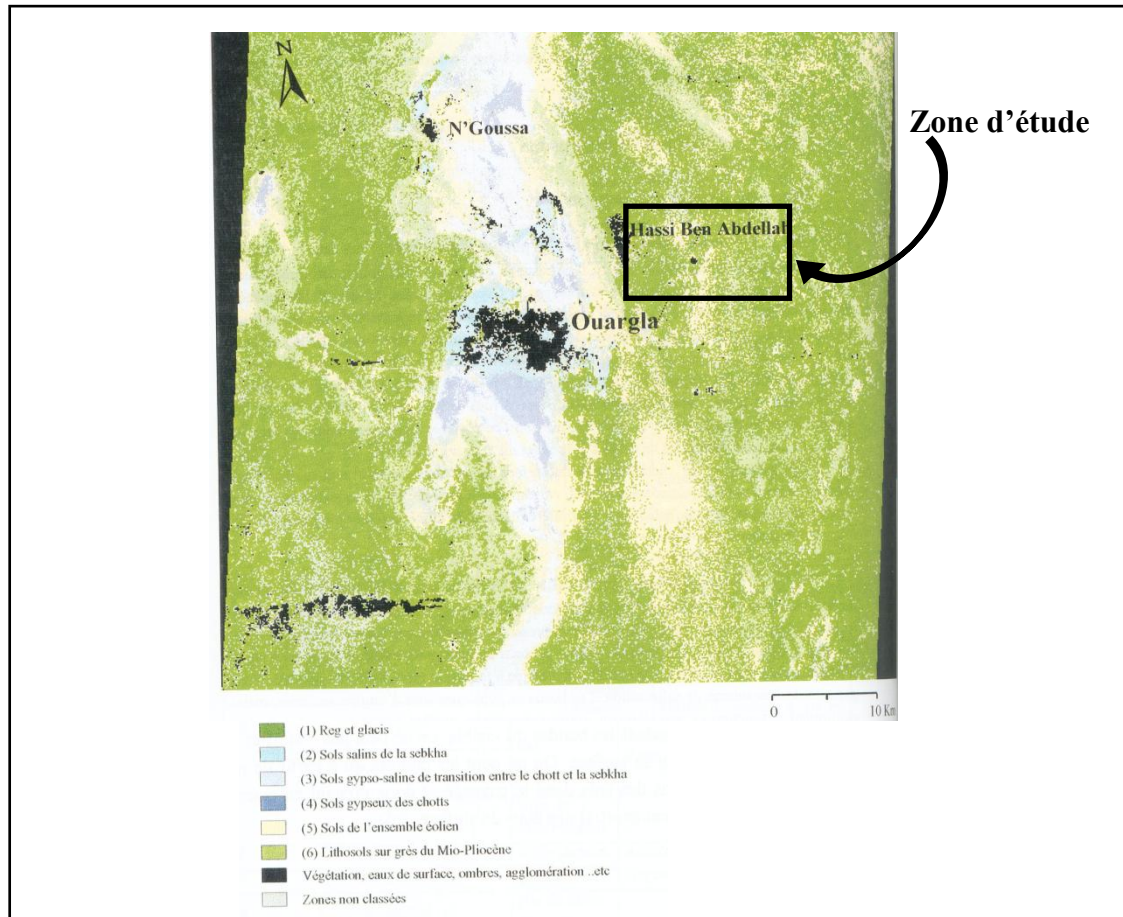


Figure 7. Carte régionale des pédopaysages (Hamdi Aissa, 2001)

II.2. Critères du choix des stations expérimentales

Nous avons choisi six (06) stations expérimentales dont trois irriguées par l'Albien et trois autres par le Mio-pliocène et pour chacune des stations un sol nu non irrigué comme témoin. Ces stations diffèrent par le nombre d'années d'irrigation, à savoir très anciennement irriguées, anciennement irriguées et nouvellement irriguées. Nous nous sommes également assuré qu'elles n'ont pas connu une interruption d'irrigation, qu'elles utilisent la même source d'eau depuis leur mise en culture jusqu'à nos jours et l'absence du mélange d'eau pour les stations irriguées par l'Albien, que ce soit par les eaux de la nappe phréatique ou celles du Mio-pliocène pour le refroidissement. Ceci a été confirmé par la suite sur le terrain. (Fig.8)



Google earth, 2015

Figure 8. Image satellite représentant les stations d'étude (excepté celle de Khchem Rih)

II.3. Présentation des stations d'étude

II.3.1. Stations irriguées par l'Albien

Ce sont des palmeraies de 1.5 à 2 ha qui appartiennent à de grands périmètres collectifs où le palmier dattier constitue la culture principale, associé à quelques cultures maraichères. L'irrigation se fait par submersion (séguia) (**Tableau 2**).

Tableau 2. Stations irriguées par l'Albien

Station	Périmètre	Date de création et mise en culture	Nombre d'heures d'irrigation (h/j)		Tour d'eau (jour/semaine)
			En été	En hiver	
Station très anciennement irriguées (TAI)	Ancienne palmeraie de HBA	Depuis 1970 dans le cadre de la révolution agraire	8h	6h	Chaque 3 jours
Station anciennement irriguées (AI)	El Khalij	Depuis 1990 dans le cadre de l'APFA	6h	6h	Chaque 3 jours
Station nouvellement irriguée (NI)	KhchemRih	Depuis 2006 dans le cadre de la concession	6h	6h	Chaque 3 jours

II.3.2. Stations irriguées par le Mio-pliocène

Ce sont de grands périmètres de 30 à 32 ha, appartenant à des investisseurs privés, cultivés essentiellement en palmier dattier et cultures maraichères avec présence de quelques arbres fruitiers et pivots de céréales (**Tableau 3**). Nous avons sélectionné de chaque périmètre 2 ha seulement, cultivés en palmier dattier associé aux cultures maraichères. L'irrigation est de type localisé.

Etant donné que chaque investisseur possède un forage personnel et que son exploitation dépend de l'énergie électrique, la fréquence d'irrigation par semaine n'est pas uniforme. Chaque investisseur adopte une certaine fréquence et la fait varier selon le besoin de ses cultures et des conditions climatiques.

Tableau 3. Stations irriguées par le Mio-pliocène

Station	Périmètre	Date de création et mise en culture	Nombre d'heures d'irrigation (h/j)	
			En été	En hiver
Station très anciennement irriguée (TAI)	Oujana	Depuis 1985 dans le cadre de l'APFA	8h ou plus	6h
Station anciennement irriguées (AI)	Babziz	Depuis 1991 dans le cadre de l'APFA	8h	6h
Station nouvellement irriguée (NI)	Khoudrane	Depuis 2006 dans le cadre de l'APFA	8h	6h

II.4.Présentation des forages d'irrigation

Les stations retenues sont irriguées par des eaux provenant de 06 forages (**Tableau 4**) situés à l'intérieur des périmètres agricoles pour ceux qui exploitent la nappe du Mio-pliocène et en dehors des périmètres pour ceux qui exploitent la nappe Albienne.

Tableau 4. Quelques caractéristiques des forages étudiés

Nom du forage	Périmètre	Coordonnées			Nappe captée	Année de réalisation
		X	Y	Z		
Oujana I D8F12	Oujana	5°28'33''	31°55'58''	/	Mio-pliocène	1985
Babziz D8F42	Babziz	5°28'08''	31°59'52''	153	Mio-pliocène	1990
Khoudrane	Khoudrane	5°28'55''	31°55'57''	/	Mio-pliocène	2006
Albien à côté de Babziz	Ancienne almerai	5°27'56''	31°59'54''	165	Albienne	1990
Albien SEMPAC	Jeune 1 (El Khali)	5°30'08''	32°02'56''	147	Albienne	1990
KhchemErih GCA F2	KhchemErih	5°41'26''	32°17'23''	134	Albienne	2001

Source : ANRH (2010)



Google earth, 2015

Figure 9. Image satellite présentant les forages étudiés (excepté celui de Khchem Rih)

Chapitre III. Méthodes d'étude

III.1. Approche méthodologique

Le sol est l'un des piliers de l'agriculture durable, sa qualité est essentielle pour le bon fonctionnement des agrosystèmes.

Pour évaluer la qualité d'un sol, U.S.D.A (1999) a proposé deux méthodes :

- Soit par des mesures périodiques au fil du temps pour surveiller les changements ou les tendances de la qualité des sols.
- Soit par la comparaison des valeurs mesurées à un état du sol de référence ou standard.

Notre approche méthodologique a été initiée par la collecte de données sur la zone et les périmètres étudiés, suivie d'une enquête sur terrain. Elle repose sur la caractérisation des sols et des eaux, et la comparaison des valeurs des résultats d'analyse du sol à un état de référence (témoin) afin de déterminer l'effet des eaux d'irrigation sur quelques propriétés physiques et chimiques du sol à savoir : la conductivité électrique, le pH et la sodicité. **(Figure10).**

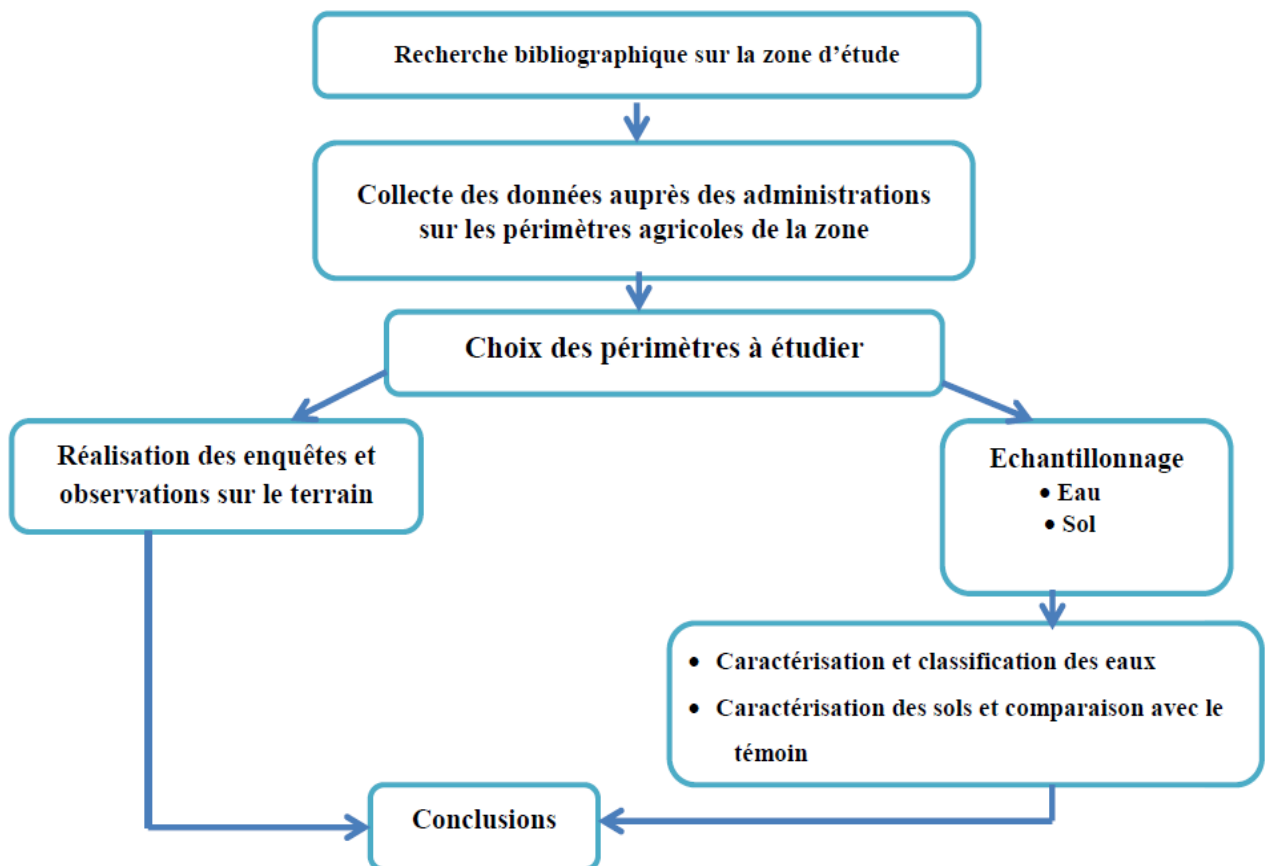


Figure 10. Approche méthodologique adoptée

III.2. Echantillonnage

III.2.1. Echantillonnage du sol

Selon la norme Afnor NF X 31-100 (**MATHIEU et PIELTAIN, 2003**) ; l'échantillonnage d'une parcelle agricole repose sur l'exécution d'un certain nombre de prélèvements élémentaires dans une zone présumée homogène et une couche d'épaisseur choisie et de profondeur donnée.

Nous avons exécuté des prélèvements élémentaires sur le sol des six stations étudiées, considérées comme homogènes. Selon **MATHIEU et PIELTAIN(2003)**, les zones de prélèvement homogènes se caractérisent par la même couleur du sol, le même comportement physique et le même historique cultural (précédents culturaux et fertilisation).

La méthode adoptée est l'échantillonnage aléatoire préconisé par **MATHIEU et PIELTAIN (2003)**. A l'aide d'une tarière de 1.5 m de longueur sur trois profondeurs (0-40 cm, 40-80 cm et 80-120 cm), les prélèvements sont effectués par plusieurs coups pour chaque couche ; et sont mélangés pour avoir un échantillon homogène et représentatif de la couche. Les parcelles non irriguées (témoins) sont échantillonnées de la même manière. Les échantillons sont ensuite séchés à l'aire libre puis broyés pour détruire les agrégats et tamisés à l'aide d'un tamis de 2 mm.

III.2.2. Echantillonnage de l'eau

L'eau des six forages est prélevée et mise dans des flacons en plastique, conservée au froid puis acheminée rapidement au laboratoire pour les analyses physico-chimiques.

III.3. Méthodes d'analyses

III.3.1. Analyses de sol

Les analyses des échantillons prélevés portent sur la granulométrie, la conductivité électrique (CE), le pH et le calcaire total. Elles ont été effectuées au niveau du laboratoire de pédologie de la faculté et les bases échangeables Ca^{++} , Na^+ et Mg^{++} au niveau de l'A.N.R.H.

III.3.1.1. Granulométrie

Nous avons effectué une granulométrie sans décarbonatation, par tamisage voie humide (sous un jet d'eau), méthode validée par rapport à la norme NF X 31-107. Nous avons obtenu 5 fractions pour la partie grossière ($> 50 \mu\text{m}$), classées selon l'échelle d'ATTERBERG de la façon suivante : sables très grossiers (1000-2000 μm), sables grossiers (500-1000 μm), sables moyens (200-500 μm), sables fins (100-200 μm) et sables très fins (50- 100 μm) (AUBERT, 1978). La fraction fine ($< 50 \mu\text{m}$) limon + argile est obtenue par différence.

III.3.1.2. Conductivité électrique (CE)

Elle a été mesurée au conductimètre avec un rapport sol/eau distillée de 1/5 où la conductivité électrique de l'eau distillée est inférieure à 10 $\mu\text{S/cm}$. Elle a été corrigée ensuite à une température de 25°C.

Les classes de la salinité du sol de l'extrait aqueux (1/5) à 25°C ont été déterminées en utilisant la classification établie par MATHIEU et PIELTAIN (2003).

III.3.1.3. pH

Mesuré au pH mètre avec un rapport sol/eau de 1/5. Pour l'interprétation des résultats nous avons utilisé l'échelle établie par MATHIEU et PIELTAIN (2003).

III.3.1.4. Calcaire total

Déterminé à l'aide du calcimètre de Bernard, en mesurant le gaz carbonique dégagé lors de la décomposition de carbonate de calcium (CaCO_3), sous l'action de l'acide chlorhydrique (AUBERT, 1978). Une fois les résultats de l'analyse connus, nous avons utilisé les appréciations proposées par GEPPA in BAIZE (2000) pour leur classification.

III.3.1.5. Bases échangeables

- Dosage de Ca^{+2} et Na^{+}

Les deux cations ont été déterminés par spectrophotométrie à flamme sur la solution du sol, filtrée de l'extrait sol/eau 1/5. Le spectrophotomètre est de type 410 CORNING, et les réactifs utilisés sont les solutions étalons de chaque élément.

- **Dosage de Mg²⁺**

Le dosage du Magnésium se fait par complexométrie.

Réactifs : - Sel disodique de l'acide Ethylène Diamino Tétra Acétique (E.D.T.A)

- Solution tampon (pH=10)

-Indicateur coloré (Noir d'iriochrome T)

III.3.2. Analyses de l'eau

Les analyses de l'eau prélevée, à savoir la conductivité électrique (CE), le pH, le résidu sec à 105°C, les cations et les anions ont été réalisées au laboratoire de l'A.N.R.H.

III.3.2.1. Conductivité électrique (CE)

Mesurée par une lecture directe au conductimètre étalonné, de type HD 34 06.2 (Deta OHM) à électrode en verre.

III.3.2.2. pH

Mesuré par une lecture directe au pH mètre étalonné type 720 (WTW inolab).

III.3.2.3. Résidu sec

Soit (P₀) le poids d'un bécher vide de 100 ml, on le remplit avec 50 ml de l'échantillon, puis on le place dans l'étuve pendant 24 h à 105°C jusqu'à évaporation totale de l'eau. Le bécher est ensuite refroidi au dessiccateur pendant 15 min puis on mesure son poids (p₁).

Le résidu sec (R.S) dans (1000 ml d'eau) est calculé comme suit :

$$\frac{(P_1 - P_0) \times 1000}{50} \text{ Exprimé en mg/l.}$$

III.3.2.4. Dosage des cations

- **Ca²⁺, Na⁺ et K⁺**

Déterminés par spectrophotométrie à flamme.

- Appareil : Spectrophotomètre de type 410 CORNING à une longueur d'onde de 422.50 nm pour le Na⁺, 585.00 nm pour le Ca²⁺ et 7.66.50 nm pour le K⁺.

- Réactifs : solutions étalons de chaque élément.

- **Mg²⁺**

Son dosage a été déterminé par complexométrie

- Réactifs : Sel disodique de l'acide Ethylène Diamino Tétra Acétique (E.D.T.A), solution tampon (pH=10) et indicateur coloré (Noir d'iriochrome T).

III.3.2.5. Dosage des anions

- **bicarbonates (HCO₃⁻)**

Le dosage a été effectué par potentiométrie.

- Appareil : pH mètre type 720 (WTW inolab).
- Réactifs : H₂SO₄ à 0.01N

- **sulfates (SO₄²⁻)**

Ils ont été déterminés par spectrométrie

- Appareil : spectrophotomètre type DR 2000 (HACH) à la longueur d'onde 495 nm.
- Réactifs : Gélatine et solution étalon de sulfate

- **Les chlorures (Cl)**

Ils ont été déterminés par spectrométrie

- Appareil : spectrophotomètre type DR 2000 (HACH) à la longueur d'onde 470 nm.
- Réactifs : solution saturée de Thiocynate Mercurique, solution d'Alun Ferrique et solution étalon de chlorures.

- **Les Nitrates (NO₃⁻)**

Les nitrates ont été déterminés par spectrométrie

- Appareil : spectrophotomètre type DR 2000 (HACH) à la longueur d'onde 520 nm.

III.3.3. Analyses statistiques :

III.3.3.1. Analyse factorielle des correspondances (AFC)

Elle a été élaborée dans le but de savoir la relation entre le type de nappe utilisée et les paramètres étudiés.

III.3.3.2. Analyse de la variance à un facteur (ANOVA)

Nous avons procédé à une analyse de la variance à un facteur entre les échantillons du sol témoin et ceux du sol cultivé, ainsi qu'entre les échantillons du sol de chaque type d'âge de mise en irrigation pour chaque paramètre et pour les deux type de nappe.

Cette analyse va permettre la mise en évidence de l'existence ou pas des différences entre les moyennes et la signification de cette différence si elle existe.

Nous avons retenus les seuils de signification suivants :

- Non Significatif (NS) $F > 0.05$
- Significatif (S) $F < 0.05 > 0.01$
- Hautement Significatif (HS) $F < 0.01 > 0.001$
- Très Hautement Significatif (THS) < 0.001

Le logiciel utilisé pour les analyses statistiques est le R (version 3.2 0(16-04-2015).

Partie II
Résultatset
Discussions

Chapitre IV. Caractéristiques et classification des eaux d'irrigation

IV.1. Caractérisation des eaux d'irrigation

Les eaux d'irrigation, par leur composition peuvent avoir une influence sur le sol (Coutinet, 1965). De ce fait, une analyse de leur qualité physico-chimique s'avère nécessaire pour la détermination de la part de leur influence sur les sols.

L'évaluation de la qualité de l'eau d'irrigation nécessite l'utilisation d'une grille de qualité à laquelle on doit se référer pour juger si une eau convient ou non à l'irrigation. Pour ce faire, nous avons opté pour les normes proposées par la FAO (1976) pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Tableau 5).

Tableau 5. Directives pour l'interprétation de la qualité d'une eau d'irrigation (Bulletin FAO n° 29 ; 1976)

Nature des problèmes	Unité	Guide pour la qualité de l'eau		
		Pas de problèmes	Problèmes croissants	Problèmes graves
Salinité C_E	mS/cm	< 0.75	0.75 - 3.0	> 3
SAR	/	< 6	6.0 - 9	> 9
Toxicité spécifique de certains ions.				
Sodium (Na)	SAR _{aj}	< 3	3-9	>9
Chlore (Cl⁻)	meq/l	< 4	4.0 – 10	>10
Effets divers				
Azote (NO ₃ ⁻)	mg/l	< 5	5.0 – 30	> 30
Bicarbonate (HCO ₃)	meq/l	< 1.5	1.5 – 8.5	> 8.5
pH	/	<6.5	6.5 -8.4	>8.4

Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux utilisées pour l'irrigation des six stations étudiées, issues de forages Albien et Miopliocène, sont indiqués dans le tableau 6.

Tableau 6. Résultats des analyses de l'eau d'irrigation

Forages		AL Ap	AL J1	Al KR	MpOj	Mp B	MpKh
		Paramètres					
pH		7.82	7.71	7.55	7.85	7.85	7.63
Résidu sec (en g/l)		2	1.96	1.66	7	4.48	5.15
CE à 25 °C en (mS/cm)		2.46	2.44	1.95	7.61	5.45	6.13
Cations solubles (Meq/l)	Na ⁺	19.13	19.13	11.63	41.74	28.91	33.70
	K ⁺	1.04	1.04	0.46	1.73	1.06	1.16
	Ca ⁺⁺	6.25	6.25	8	13.5	6.43	10.38
	Mg ⁺⁺	6.21	6.32	5.37	10.95	13.70	13.28
Anions solubles (meq/l)	Cl ⁻	19.35	19.35	8.05	34.27	24.86	28.87
	SO4 ⁻	36.98	23.13	25	9.65	10.94	13.14
	HCO ₃ ⁻	3.25	3.20	3.30	2.65	2.50	2.50
	NO ₃ ⁻ (mg/l)	00	00	00	06	5.50	1.50
SAR		7.66	7.66	4.49	11.93	9.11	9.80

AL Ap : Albien de l'Ancienne palmeraie

AL J1 : Albien du périmètre Jeune 1

Al KR : Albien du périmètre Khchem Rih

MP Oj : Miopliocène du périmètre Oujana

MP B : Miopliocène du périmètre Babziz

MP Kh : Miopliocène du périmètre Khoudrane

IV.1.1. Salinité

Selon **SERVENT(1978)** ; la salinité est ordinairement exprimée par la conductivité électrique à 25 °C. La conductivité électrique des eaux d'irrigation des forages Albien est de 1.95 mS/cm \leq CE à 25°C \leq 2.46 mS/cm. Ce sont des eaux fortement à très fortement salées et celles des forages Miopliocène, de 5.45 mS/cm \leq CE à 25°C \leq 7.61 mS/cm ; ce sont des eaux excessivement salées, selon l'échelle de l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation proposée par **DURAND (1958)** pour l'Algérie (**Voir Annexe II**).

D'après la directive (**Tableau 5**), la conductivité électrique des eaux d'irrigation des forages Albien pose un problème croissant. Par ailleurs elle est supérieure à la limite standard du seuil de la salinité (>3 mS/cm) pour les eaux d'irrigation des forages Miopliocène, ce qui constitue donc un problème grave.

IV.1.2. pH

Le pH des eaux d'irrigation des stations d'étude, varie légèrement entre les forages Albien et Miopliocène. Il est de 7.55 \leq pH \leq 7.85, il est donc alcalin. Ces valeurs circonscrites au domaine de (6.5-8.4) (**Tableau 5**).

IV.1.3. Cations

La concentration en Na⁺ est la plus importante dans les eaux d'irrigation aussi bien dans le forage Albien que le Miopliocène. Elle est de l'ordre de 11.63 meq/l pour l'Al KR et de 19.3 meq/l pour Al Ap et Al J1. Pour les forages Miopliocène, elle varie de 28.91 meq/l à 41.74 meq/l.

La teneur en K⁺ est pratiquement négligeable par rapport aux autres éléments dans les eaux d'irrigation des deux forages. Elle est comprise entre 0.46 à 1.04 pour les forages Albiens et de 1.06 à 1.73 pour les forages Miopliocène.

La teneur en Ca⁺⁺ est de 6.25 meq/l au niveau des deux forages Al Ap et Al J1 et de 8 meq/l pour le forage AL KR. Pour les forages Miopliocène, la concentration en Ca⁺ varie de 6.43 meq/l à 13.5 meq/l,

Les ions Mg⁺⁺ présentent une concentration qui varie de 5.37 meq/l à 6.32 meq/l Pour les forages Albien, et de 10.95 meq/l à 13.7 meq/l pour les forages Miopliocène.

IV.1.4 Anions

Pour ce qui est des anions, les chlorures (Cl^-) sont les plus dominants, 19.35 meq/l pour Al Ap et Al J1, 8.05 meq/l pour Al KR et 34.27 meq/l, 24.86 meq/l et 28.87 pour MP Oj, MP B et MP Kh respectivement.

Les sulfates (SO_4^{2-}) viennent en seconde position avec des concentrations qui varient de 23.13 meq/l à 36.98 meq/l pour les eaux des forages Albien et de 9.65 meq/l à 13.14 meq/l pour les eaux des forages Miopliocène.

Les carbonates (HCO_3^-) se manifestent par des faibles concentrations par rapport aux deux anions précédents, avec une concentration légèrement supérieure dans les eaux des forages Albien par rapport à celle des forages Miopliocène.

Les Nitrates (NO_3^-) présentent des teneurs négligeables dans les eaux des forages Miopliocène et sont totalement absents dans les eaux des forages Albien.

Au regard des résultats obtenus, les eaux d'irrigation des stations d'études présentent un risque de toxicité par les ions sodium et par les ions chlore, classant ainsi les eaux dans la catégorie de « problème grave » (**Tableau 5**).

Les teneurs élevées en sodium dans l'eau d'irrigation, provoquent la détérioration de la structure du sol, le rendant ainsi imperméable à l'eau et à l'air. Ce dernier a un impact direct sur la santé et la productivité des plantes par manque d'infiltration d'eau d'irrigation dans le sol (**BEMMOUSSAT et al., 2014**). Il est à signaler que la toxicité des ions Mg^{++} serait plus élevée que celle de Na^+ à la même concentration (**SZABOLCS et DARAB in DAOUD et HALITIM, 1994**).

Les teneurs en chlorures peuvent limiter certaines cultures et constituer probablement une des raisons de la faiblesse des rendements obtenus dans certains périmètres nouvellement irrigués (**DAOUD et HALITIM, 1994 ; RODIER et al., 2009**). Le chlore n'est présent dans le sol que dans la solution du sol, sous forme de Cl^- . Il n'est pas fixé et ne participe en aucun cas à des précipitations (**RODIER et al., 2009**).

IV.1.5. Sodicité (Alcalinité)

Au Sahara, le SAR des eaux varie de 2.3 à 32. Des valeurs acceptables autour de 10 ont peu d'action sur les propriétés des sols tant que la salinité globale est suffisante (> 0.7 dS/m) mais peuvent provoquer une toxicité par le sodium (FAO, 1976).

Au niveau de nos stations d'études, le SAR des eaux d'irrigation extraites de l'Albien est inférieur à celui du Miopliocène. Il est de 4.49 pour Al KR et 7.66 pour Al Ap et Al J1 ; pour le Miopliocène il est de 11.93, 9.11 et 9.80 pour MP Oj, MP B et MP Kh respectivement.

IV.1.6 Faciès chimique

Le Faciès chimique représente le/les cation (s) et anion (s) prédominants dans l'eau ou dans la solution du sol.

Le diagramme de Piper est utilisé pour la représentation du faciès chimique, il est divisé en deux triangles de classification (triangle de droite pour le faciès anionique, triangle de gauche pour le faciès cationique) (Fig.11). A partir des deux faciès, nous déterminons le faciès global où la dénomination anionique précède toujours celle cationique.

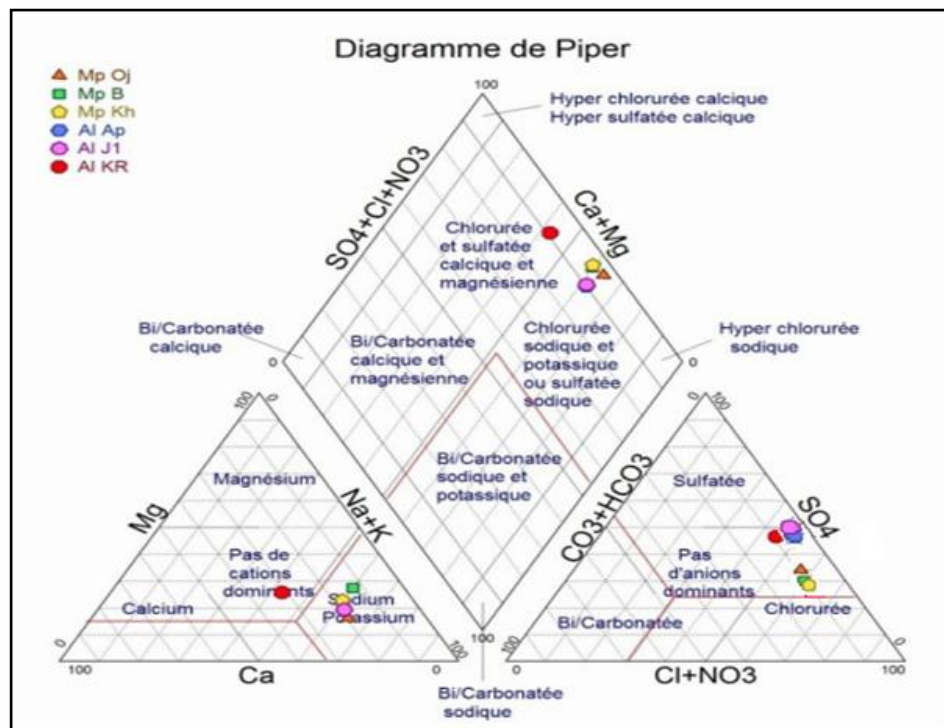


Figure 11. Diagramme de piper des eaux d'irrigation des stations d'étude

Selon ce diagramme, nous pouvons déduire que les eaux des forages Albien n'ont pas le même faciès chimique global. Il est sulfaté sodique pour Al Ap et Al J1 et sulfaté calcique pour Al KR ; ceci est probablement dû à la distance relativement importante du forage Al KR par rapport aux deux autres forages (plus de 60 Km) ce qui induit un changement de la composition chimique de l'eau. Selon (**DAOUD et HALITIM ,1994**), la qualité de l'eau au Sahara se détériore du sud au nord à cause des changements dans la lithologie de réservoir.

Par ailleurs, les eaux des forages Miopliocène présentent une grande ressemblance hydrochimique. Le diagramme indique qu'elles se caractérisent par un faciès sulfaté dominant des anions et sodique dominant des cations ; ce qui donne un faciès global chloruré sodique.

IV.2 Classification des eaux d'irrigation

La classification des eaux d'irrigation, tient compte des conditions d'utilisation de ces eaux et des caractéristiques du sol, tels que le taux d'infiltration, le drainage ainsi que la tolérance des cultures (**DURAND, 1983**). Pour répondre à la question de la qualité de l'eau d'irrigation et du choix des sols irrigables ; le laboratoire de Riverside (**RICHARD et al., 1954**) a proposé une solution à ce problème en classant les eaux d'irrigation en fonction de deux caractères principaux :

- La salinité de l'eau qui permet de déterminer 4 classes d'eau d'après la relation entre la conductivité spécifique à 25 °C de l'eau d'irrigation et celle de l'extrait saturé du sol.
- Danger d'alcalinisation du sol, estimé en fonction du sodium adsorbable par le sol. Là encore 4 classes ont été distinguées.

Ce classement se présente sous forme d'un diagramme où les conductivités sont présentées en abscisse et les SAR en ordonnée. Il a été modifié par **DURAND (1958)** pour être utilisé d'une manière plus générale, par l'addition d'une cinquième classe de salinité (la classe C5), correspondant à des salinités supérieures à celles des eaux utilisées aux États-Unis. Les classes déterminées sont représentées en Annexe II.

La représentation graphique des analyses des eaux de nos stations d'études par le diagramme de Riverside est indiquée dans la figure 12 et le résultat de classification dans le tableau 7.

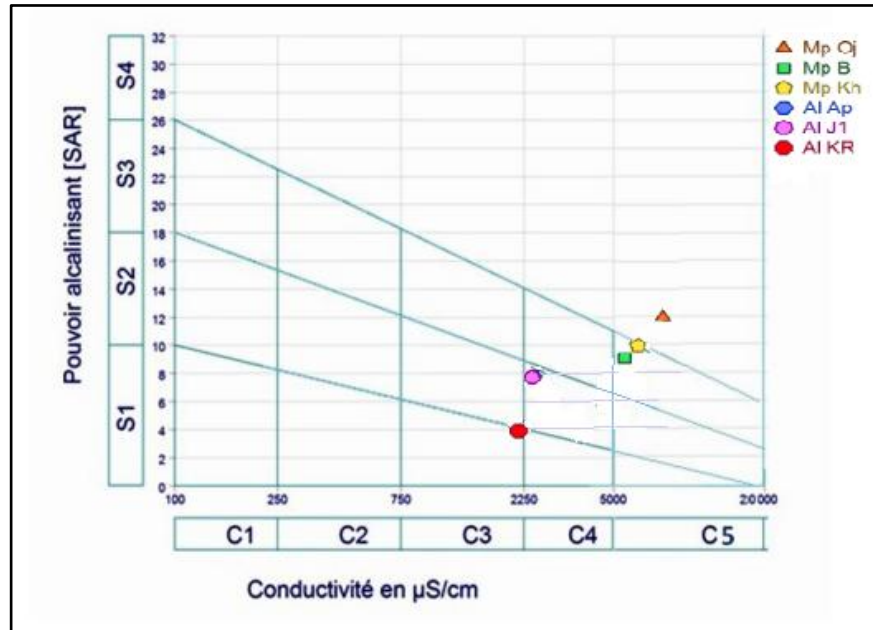


Figure 12. Classification des eaux d'irrigation des stations d'études selon le diagramme de RIVERSIDE (1954) modifié par Durand (1958).

Tableau 7. Classe d'eau d'irrigation des stations d'études

Forages	Classements
MpOj	C5-S4
Mp B	C5-S3
MpKh	C5-S3
AL Ap	C4-S2
Al J1	C4-S2
Al KR	C3-S1

Cette classification montre que les eaux d'irrigation extraites des forages Miopliocène (MpOj, Mp B et MpKh) appartiennent toutes à la classe C5. Elles présentent un risque de salinisation très élevé et un danger d'alcalinisation qui varie de très fort (S4) pour MpOj à fort (S3) pour Mp B et MpKh et qui a tendance à devenir très fort puisque la position du point MpKh est sur la ligne séparant la classe (C5-S3) et (C5-S4). Ces eaux sont normalement inutilisables pour l'irrigation sauf pour le sable drainé et pour la culture du palmier dattier (DURAND, 1958)(Voir Annexe II).

Quant aux eaux d'irrigation extraites des forages Albien, elles appartiennent aux classes de salinité C4 et C3 et d'alcalinité S2 et S1. Cependant, les eaux de forage Al KR ont

beaucoup plus tendance à appartenir à la classe C4-S2 étant donné la position du point sur le diagramme. Ces eaux présentent un risque de salinisation élevé avec un risque de sodicité moyen. Le danger d'alcalinisation du sol est appréciable dans les sols à texture fine et à forte capacité d'échange, particulièrement dans les conditions de faible lessivage. Ces eaux sont utilisables sur des sols à texture grossière (**DURAND, 1958**)(Voir Annexe II).

Chapitre V : Caractéristique du sol des stations d'études

V.1. Granulométrie

L'analyse granulométrique de la terre fine de nos stations d'étude (**tableau 8**), montre que la texture de tous les horizons est sableuse, dominée par le sable grossier. Sa proportion est relativement importante en surface (0-40 cm), elle varie de 45.94% à 56.45%. En effet, l'érosion éolienne transporte les particules fines et éléments grossiers qui se concentrent en surface du sol. Cette fraction grossière augmente en allant vers la profondeur et peut atteindre jusqu'à 75% de la fraction minérale totale du sol pour certaines stations ; contrairement au sable fin dont la teneur diminue avec la profondeur pour toutes les stations. La fraction fine représentée par le limon+ argile est faible et est répartie de manière hétérogène entre les horizons de toutes les stations. La valeur la plus élevée est de 16.14%, enregistrée dans l'horizon de surface (0-40 cm) pour la station MP TAI ; tandis que la plus faible (2.37%) est au niveau de l'horizon moyen (40-80 cm) du témoin de la station MP NI.

Les résultats montrent également une légère variation de pourcentage des fractions granulométriques entre le sol irrigué et son témoin, où le pourcentage du sable grossier est légèrement peu élevé chez le témoin qu'en sol irrigué. Concernant les pourcentages du sable fin et limon+argile, ils sont légèrement plus élevés en sol irrigué qu'en témoin, particulièrement dans l'horizon de surface (0-40 cm) ; ceci est probablement dû à l'amendement sableux que les agriculteurs pratiquent.

Tableau 8.Granulométrie du sol des stations d'étude

Granulométrie %									
Stations	Horizons								
	0-40 cm			40-80 cm			80-120 cm		
	SG	SF	Limon+ arg	SG	SF	Limon+ arg	SG	SF	Limon+ arg
AL TAI	51,84	36,74	11,42	59,73	25,35	14,92	74,49	17,93	7,58
Témoin	55,23	36,24	8,53	64,15	24,36	11,49	75,71	12,99	11,3
AL AI	49,19	35,41	15,4	49,12	36,64	14,24	55,43	33,78	10,79
Témoin	56,45	32,26	11,29	51,59	37,34	11,07	55,57	32,01	12,42
AL NI	47,21	40,73	12,06	63,95	26,39	9,66	74,35	17,89	7,76
Témoin	50,69	37,7	11,61	68,42	22,95	8,63	72,57	20,01	7,42
MP TAI	45,94	37,92	16,14	58,74	34,6	6,66	59,4	27,74	12,86
Témoin	51,53	34,4	14,07	58,37	33,2	8,43	61,37	30,41	8,22
MP AI	47,68	37,11	15,21	62,11	23,06	14,83	71,3	18,62	10,08
Témoin	51,87	38,88	9,25	58,05	28	13,95	66,05	23,37	10,58
MP NI	47,57	37,34	15,09	57,15	31,3	11,55	72,95	16,69	10,36
Témoin	59,02	31,6	9,38	64,14	33,49	2,37	71,18	15,33	13,49

V.2. Calcaire total (CaCO₃)

Les résultats de dosage du calcaire total montrent que :

Pour les stations irriguées par le miopliocène ; la teneur en calcaire varie de $2,58 \pm 0,42 \leq \text{CaCO}_3(\%) \leq 11,99 \pm 3,88$ dans la station très anciennement irriguée, de $7,04 \pm 1,86 \leq \text{CaCO}_3(\%) \leq 17,12 \pm 2,68$ dans la station anciennement irriguée et de $2,01 \pm 0,90 \leq \text{CaCO}_3(\%) \leq 3,48 \pm 1,53$ dans la station nouvellement irriguée. En revanche dans les sols témoins (non irrigués) correspondant à chaque station, la teneur en calcaire varie de $3,41 \leq \text{CaCO}_3(\%) \leq 11,98$ pour la station très anciennement irriguée, de $7,84 \leq \text{CaCO}_3(\%) \leq 14,46$ pour la station anciennement irriguée et de $2,5 \leq \text{CaCO}_3(\%) \leq 11,83$ pour la station nouvellement irriguée. Ces résultats indiquent que le sol de ces stations est peu à modérément calcaire (BAIZE, 2000).

Selon les profils (Fig. 13), nous observons une augmentation du CaCO₃ avec la profondeur, pour toutes les stations. Cela montre une accumulation du calcaire dans les horizons profonds, ce qui met en évidence un gradient de décarbonatation (DUCHAUFOR, 1977 ; BAIZE, 2000).

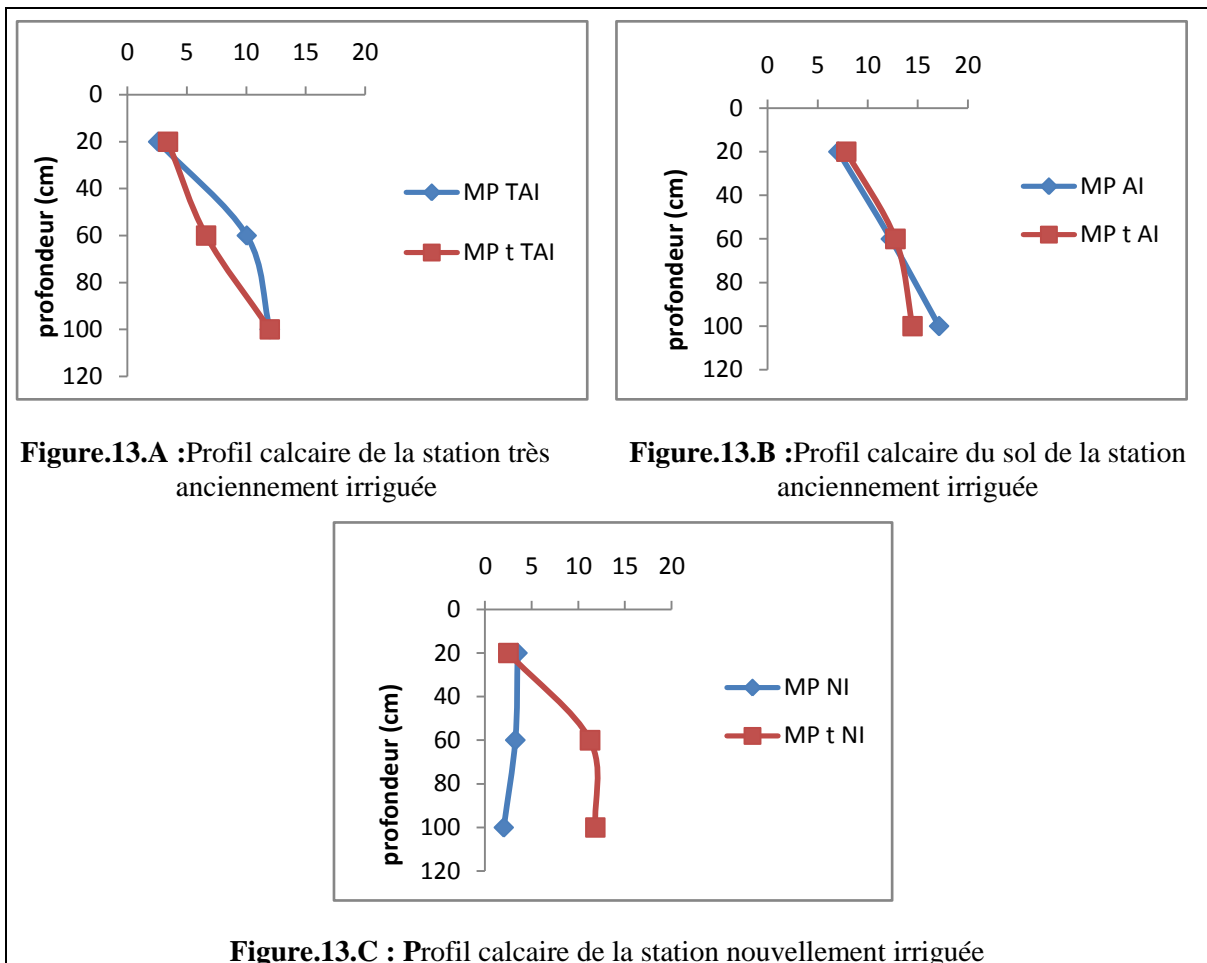


Figure 13. Profil calcaire des stations irriguées par le Miopliocène

Pour les stations irriguées par l'albien ; les valeurs de CaCO_3 varient de $2,47 \pm 0,67 \leq \text{CaCO}_3(\%) \leq 4,87 \pm 3,71$ dans la station très anciennement irriguée, $1,24 \pm 1,11 \leq \text{CaCO}_3(\%) \leq 3,78 \pm 1,25$ dans la station anciennement irriguée et de $2,6 \pm 0,44 \leq \text{CaCO}_3(\%) \leq 3,8 \pm 0,27$ dans la station nouvellement irriguée. Parallèlement, les valeurs de CaCO_3 des sols témoins correspondant à chaque station, varient de $2,6 \leq \text{CaCO}_3(\%) \leq 6,24$ pour la station très anciennement irriguée, de $1,9 \leq \text{CaCO}_3(\%) \leq 3,42$ pour la station anciennement irriguée et de $2,4 \leq \text{CaCO}_3(\%) \leq 5,4$ pour la station nouvellement irriguée. Ceci indique que le sol de ces stations est peu calcaire (BAIZE, 2000). (Fig. 14).

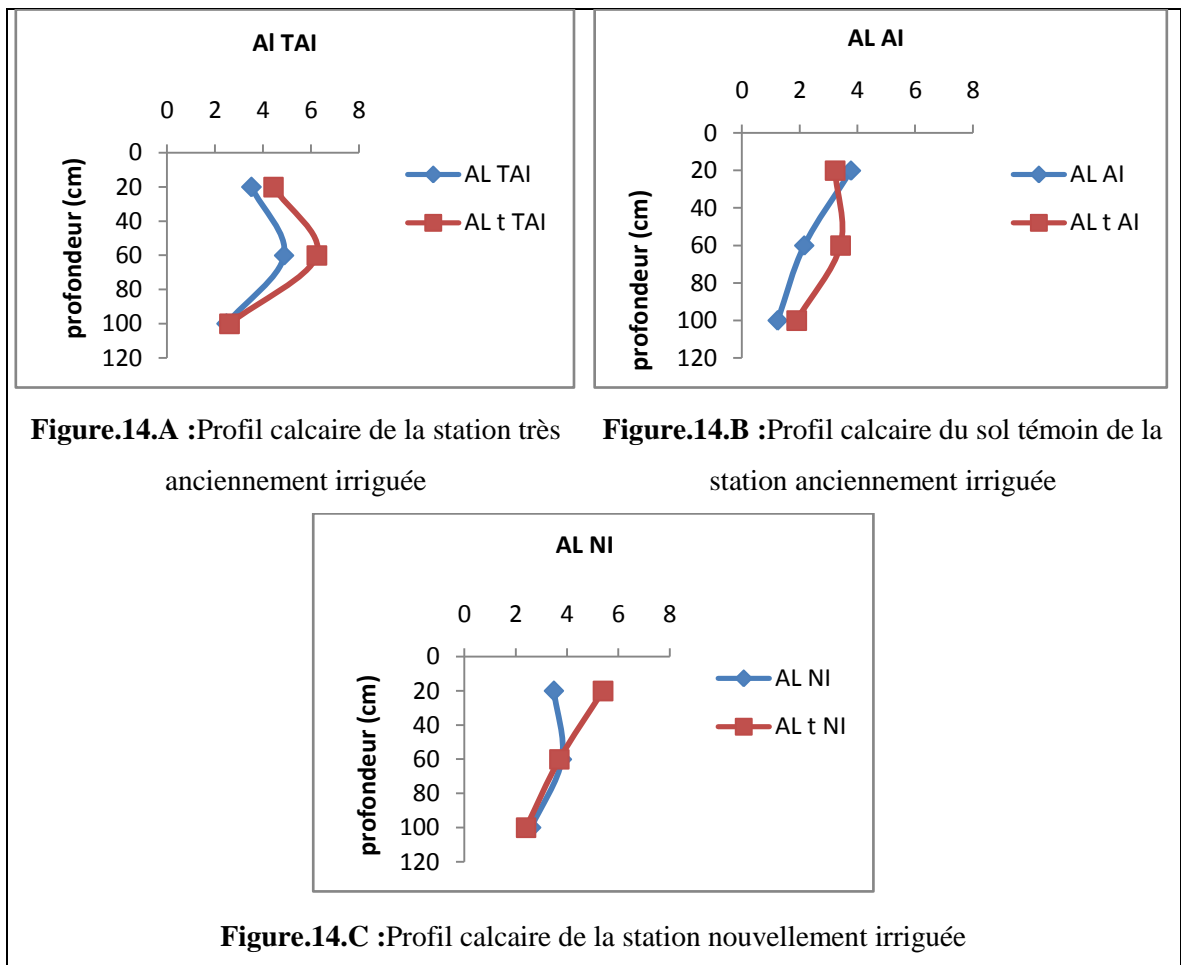


Figure 14. Profil calcaire des stations irriguées par l'Albien

Chapitre VI : Impact de l'eau d'irrigation sur les paramètres du sol étudiés

La qualité des eaux d'irrigation est un paramètre important à considérer, non seulement dans l'étude de l'impact direct sur les produits agricoles, mais aussi sur les sols, par modification de leurs propriétés physico-chimiques (SUAREZ et al., 2006). Les résultats d'analyses du sol des stations d'études ainsi que leurs témoins sont présentés dans l'annexe III.

Une approche statistique des analyses physico-chimiques du sol a été élaborée, suivie d'une analyse factorielle des correspondances (AFC), dont l'interprétation met en évidence les conséquences de l'utilisation de l'eau des forages albien et Miopliocène sur le sol des stations d'études.

La **figure 15** montre que les échantillons du sol irrigués par l'albien sont à l'opposé de ceux irrigués par le Miopliocène par rapport à l'axe F1. Les échantillons du sol irrigués par l'albien se distinguent par la différence de leur pH par rapport à ceux irrigués par le Miopliocène. Ceux-ci se caractérisent surtout par là CE, le SAR, le CaCO₃ du sol et les paramètres physico- chimiques de l'eau (CE, pH, SAR).

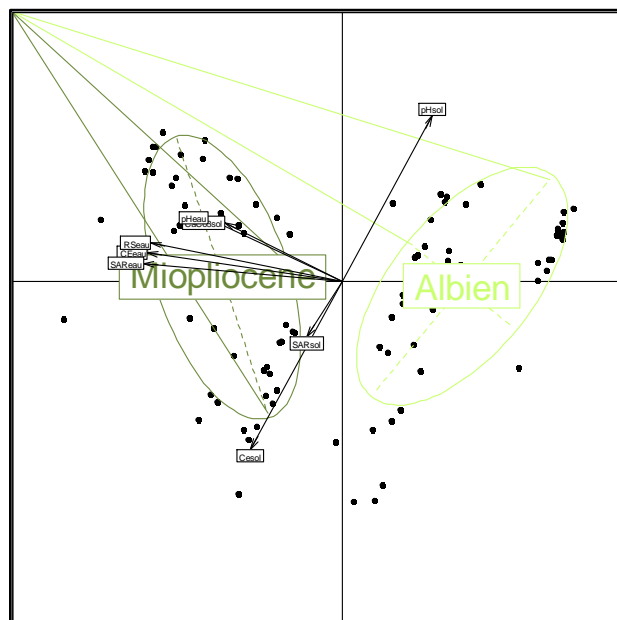


Figure 15. AFC de la relation entre type de nappe utilisée et paramètres étudiés

VI.1. Impact sur le pH du sol

VI.1.1. Stations irriguées par le Miopliocène

Les valeurs du pH mesurées, varient de $8.5 \pm 0.08 \leq \text{pH} \leq 8.6 \pm 0.14$ (témoin : $8.46 \pm 0.08 \leq \text{pH} \leq 8.61 \pm 0.26$) dans la station très anciennement irriguée, de $8.29 \pm 0.25 \leq \text{pH} \leq 8.47 \pm 0.07$ (témoin : $8.13 \pm 0.07 \leq \text{pH} \leq 8.23 \pm 0.10$) dans la station anciennement irriguée et de $8.12 \pm 0.11 \leq \text{pH} \leq 8.23 \pm 0.05$ (témoin : $7.85 \pm 0.25 \leq \text{pH} \leq 8.24 \pm 0.05$) dans la station nouvellement irriguée. Selon **MATHIEU ET PIELTAN (2009)**, ces valeurs montrent que le sol de ces stations est alcalin. **BENBRAHIM (2006), ZAHRI (2010) ET BOUHANNA (2011)** confirment ces résultats.

VI.1.2. Stations irriguées par l'Albien

Les valeurs du pH mesurées, varient de $8.37 \pm 0.26 \leq \text{pH} \leq 8.61 \pm 0.20$ (témoin : $8 \pm 0.08 \leq \text{pH} \leq 8.14 \pm 0.08$) dans la station très anciennement irriguée, de $8.11 \pm 0.23 \leq \text{pH} \leq 8.37 \pm 0.25$ (témoin : $8.42 \pm 0.07 \leq \text{pH} \leq 8.81 \pm 0.10$) dans la station anciennement irriguée et de $8.74 \pm 0.15 \leq \text{pH} \leq 8.87 \pm 0.04$ (témoin : $8.80 \pm 0.16 \leq \text{pH} \leq 8.88 \pm 0.10$) dans la station nouvellement irriguée. Selon **MATHIEU et PIELTAN (2009)**, ces valeurs montrent que le sol de ces stations est alcalin. Ces résultats ont été également obtenus par **BENBRAHIM (2006), ZAHRI (2010) ET BOUHANNA (2011)**.

L'analyse de la variance entre la combinaison type de nappe-âge de mise en irrigation pour la variation du pH (**Fig.16**), montre une différence très hautement significative ($F < 2^{-16}$ THS) entre les parcelles irriguées par l'albien et celles irriguées par le Miopliocène. Nous constatons que pour les parcelles irriguées par le Miopliocène, le pH a tendance à augmenter avec l'âge de mise en irrigation de la parcelle, où les valeurs les plus élevées sont représentées par l'âge 1 (TAI). Concernant les parcelles irriguées par l'albien, la variation est inversée. En effet, le pH a tendance à diminuer avec l'âge mais demeure toujours dans l'alcalinité, où les valeurs les plus élevées sont représentées par l'âge 3 (NI).

Ces variations de pH du sol en fonction de type de nappe est probablement dû à la forte salinité des eaux d'irrigation du Miopliocène (CE varie de 5.45 à 7.61 mS/cm), par rapport à celle de l'albien dont la CE varie de 1.95 à 2.46 mS/cm. De plus, la concentration des ions Na^+ et Mg^{++} est beaucoup plus importante dans les eaux d'irrigation du Miopliocène

que celles de l'Albien ; ce qui augmente la charge saline avec le temps dans le sol (irrigué par le Miopliocène) et par conséquent l'accumulation de sels alcalinisants.

Selon **MADANI (2008)**, le pH est indicateur de la réaction du sol. Les sols salés présentent des pH basiques (>7) car les hydroxydes sont plus prépondérants que les hydrogènes. Certains auteurs ont mentionné que l'accroissement du pH reflète la saturation du Na^+ sur le complexe d'échange et l'état de la saturation du sol (**AUBERT, 1983 ; BRIDGES, 1978 ; DUCHAUFFOUR, 1969**). Un pH compris entre 8 et 9 est retenu généralement comme limite de la dégradation de la structure (**AUBERT, 1983 ; BRIDGES, 1978**). Sans oublier l'effet du calcaire sur l'augmentation de pH du sol (**DEMELON, 1966**) dont sa proportion est beaucoup plus élevée dans les stations irriguées par Miopliocène (peut atteindre plus de 17%) que celles irriguées par l'albien.

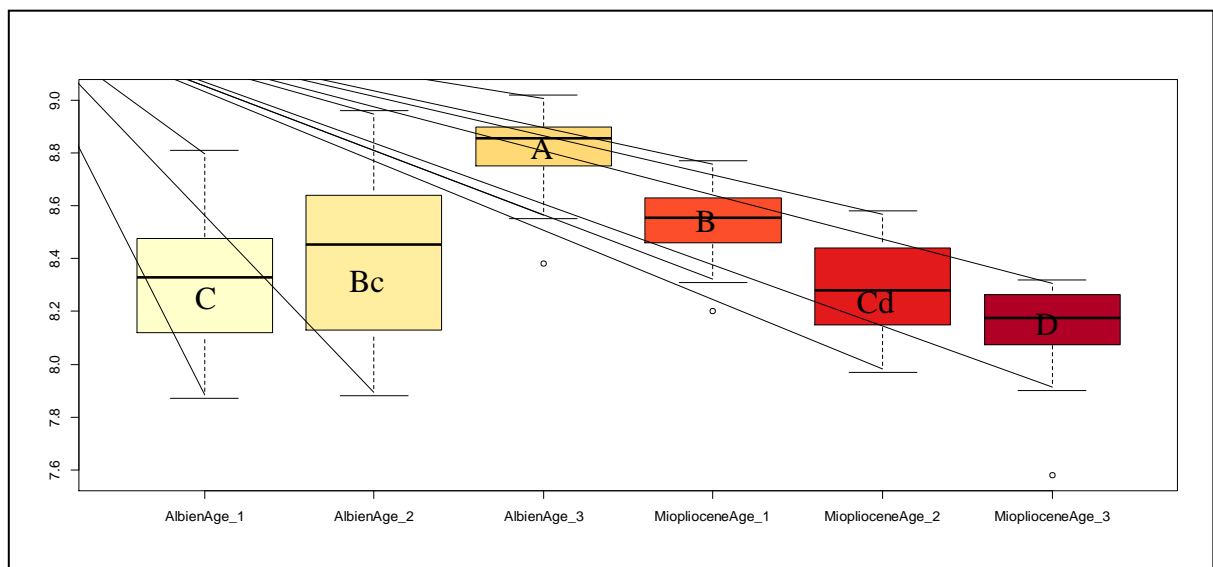


Figure 16. Boîtes à moustaches de la variation du pH sol de la combinaison type de nappe-âge de mise en irrigation.

Le test de Tukey a révélé 6 groupes : le groupe A est l'Albien Age_3 qui présente les valeurs du pH les plus élevées, suivi des groupes B et C qui sont le Miopliocène Age_1 et Albien Age_1 respectivement. Le groupe D représente le Miopliocène Age_3 qui comporte les valeurs du pH les plus faibles et enfin le groupe Bc qui est Albien Age_2 et Cd qui est Miopliocène Age_2 sont des groupes intermédiaires. Le pH de l'ensemble de ces groupes reste toujours alcalin mais à des degrés d'alcalinité différents, ce qui montre que l'effet de type nappe combiné à l'âge de mise en irrigation reste toujours vérifié.

L'analyse de la variance entre la combinaison type de nappe – type de parcelle (**Fig.17**), montre une différence très hautement significative ($F < 0.000822$ THS) entre les parcelles non cultivées et celles cultivées (irriguées) pour les deux types de nappes. Nous constatons que le pH des parcelles cultivées et irriguées par l'albien est nettement inférieur à celui des parcelles témoin (non cultivées) correspondantes. En revanche, le pH des parcelles cultivées irriguées par le Miopliocène est supérieur à celui des parcelles témoin (non cultivées) correspondantes. Cela est attribué comme nous l'avons déjà signalé à l'apport des sels alcalinisants par l'eau d'irrigation et la proportion relativement élevée du calcaire total dans le sol.

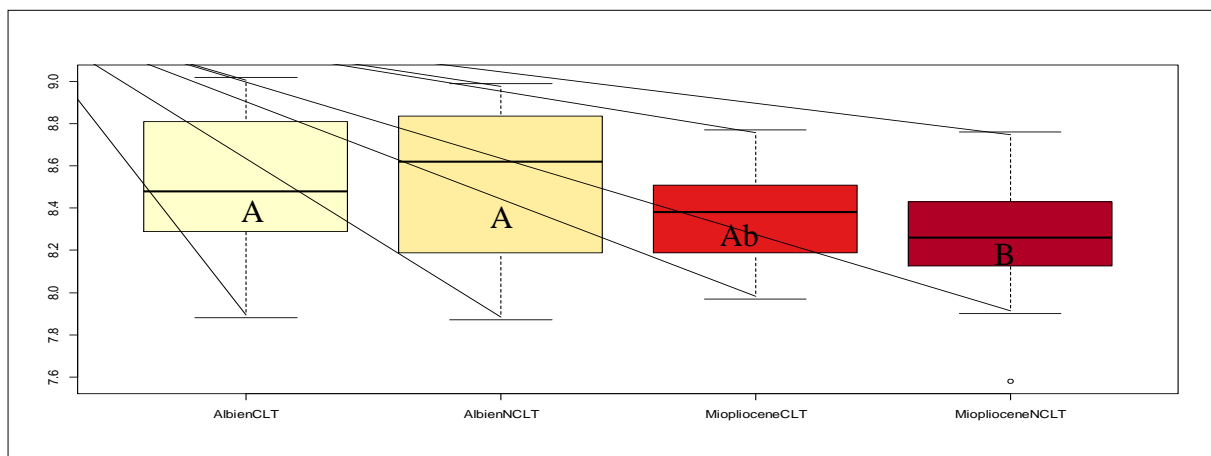


Figure 17. Boîtes à moustaches de la variation du pH sol de la combinaison type de nappe-type de parcelle.

Le test de Tukey a révélé 3 groupes : le groupe A représenté par Albien cultivé et Albien Non Cultivé ; ce qui indique qu'ils appartiennent à la même classe d'alcalinité, bien que les valeurs du pH du sol cultivé soient inférieures à celles de leurs témoins. Pour le Miopliocène, le sol cultivé est représenté par le groupe intermédiaire Ab et son témoin par le groupe B ; ce qui montre un changement de classe d'alcalinité.

Ces résultats nous ont permis de conclure et pour nos conditions d'étude que l'eau d'irrigation albienne influe sur le pH du sol par sa diminution. Toutefois, cette influence ne modifie pas la classe d'alcalinité du sol. Cependant, l'effet est inversé pour les eaux d'irrigation Miopliocène, pouvant même changer la classe d'alcalinité du sol.

VI.2. Impact sur la conductivité électrique (CE)

VI.2.1. Stations irriguées par le Miopliocène

Les valeurs de la CE varient de $0,602 \pm 0,28 \leq CE \leq 0,733 \pm 0,79$ (témoin : $0,327 \pm 0,16 \leq CE \leq 0,509 \pm 0,01$) dans la station très anciennement irriguée, de $0,714 \pm 0,16 \leq CE \leq 1,37 \pm 0,55$ (témoin : $0,681 \pm 0,02 \leq CE \leq 1,71 \pm 0,06$) dans la station anciennement irriguée et de $1,34 \pm 0,40 \leq CE \leq 1,76 \pm 0,41$ (témoin : $0,210 \pm 0,005 \leq CE \leq 1,40 \pm 0,08$) dans la station nouvellement irriguée. Selon **MATHIEU ET PIELTAN (2009)**, ces valeurs indiquent que le sol de ces stations est légèrement salé à salé. **BENBRAHIM (2006), ZAHRI (2010) ET BOUHANNA (2011)** confirment ces résultats.

VI.2.2. Stations irriguées par l'Albien

Les valeurs de CE enregistrées sont de $0,229 \pm 0,03 \leq CE \leq 0,403 \pm 0,11$ (témoin : $0,799 \pm 0,03 \leq CE \leq 2,12 \pm 0,10$) dans la station très anciennement irriguée, $0,455 \pm 0,11 \leq CE \leq 1,03 \pm 0,26$ (témoin : $0,138 \pm 0,02 \leq CE \leq 0,275 \pm 0,02$) dans la station anciennement irriguée et de $0,256 \pm 0,05 \leq CE \leq 0,391 \pm 0,34$ (témoin : $0,148 \pm 0,02 \leq CE \leq 0,195 \pm 0,01$) dans la station nouvellement irriguée. Ces résultats indiquent selon **MATHIEU ET PIELTAN (2009)**, que le sol de ces stations est dans l'ensemble non salé sauf le sol témoin de la station (TAI) qui est salé. **BENBRAHIM (2006), ZAHRI (2010) ET BOUHANNA (2011)** confirment ces résultats.

L'analyse de la variance entre la combinaison type de nappe – âge de mise en irrigation pour la variation de la CE (**Fig.18**), montre une différence très hautement significative ($F < 2^e$ 08 THS) entre les stations irriguées par l'Albien et celles irriguées par le Miopliocène. Nous constatons que pour les stations irriguées par le Miopliocène, la CE du sol est élevée comparativement à celle de l'Albien. Cela est dû à l'action de l'irrigation par une eau salée dont la salinité varie de 5,15 dS/m à 7,61 dS/m (**AUBERT, 1975 ; SERVENT, 1978 ; DAOUD ET HALITIM, 1994 ; CHEVERRY et ROBERT, 1998**).

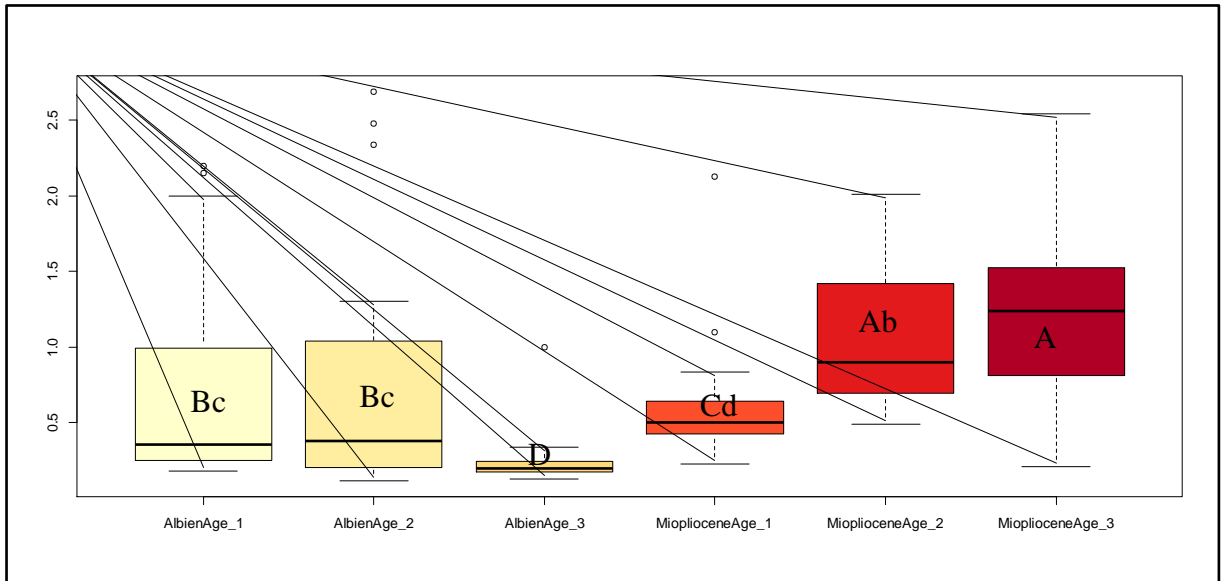


Figure 18. Boîtes à moustaches de la variation de la CE sol de la combinaison type de nappe-âge de mise en irrigation.

Toutefois, l'effet âge de mise en irrigation est inversé pour les stations irriguées par le Miopliocène; la CE du sol a tendance à diminuer avec l'âge de mise en irrigation où les valeurs les plus élevées sont représentées par l'âge 3 (NI). Ceci est probablement dû à la forte salinité de l'eau d'irrigation (5.15 g/l) (Voir photo 1). FERERS (1983) a montré que la salinisation est normalement un processus de long terme, néanmoins, de faibles irrigations avec une eau chargée en sels, peuvent saliniser le sol en une seule campagne.



Photo 1. Accumulation du sel en surface du sol dans la station (NI)

L'eau d'irrigation de la station (TAI) est plus chargée en sel (7g/l), que celle de la station (NI), mais la CE du sol est faible ce qui nous laisse dire que dans ce cas

l'accumulation du sel dans le sol n'est pas dû seulement à l'eau d'irrigation mais elle est liée à d'autres facteurs. Nos observations et enquêtes sur terrain (**Voir Annexe III**) nous confirment que le sol de la station (TAI) subit un renouvellement périodique ; l'agriculteur pratique l'amendement en sable pour remédier justement au problème de la salinité, ce qui n'est pas le cas pour la station (NI) (**Voir photo 2**). Par ailleurs, les conditions climatiques très arides provoquent une forte évaporation qui concentre la solution du sol (**CHEVERRY et ROBERT, 1998**). L'évaporation est influencée par l'écartement entre les pieds des palmiers et la densité du couvert végétal.

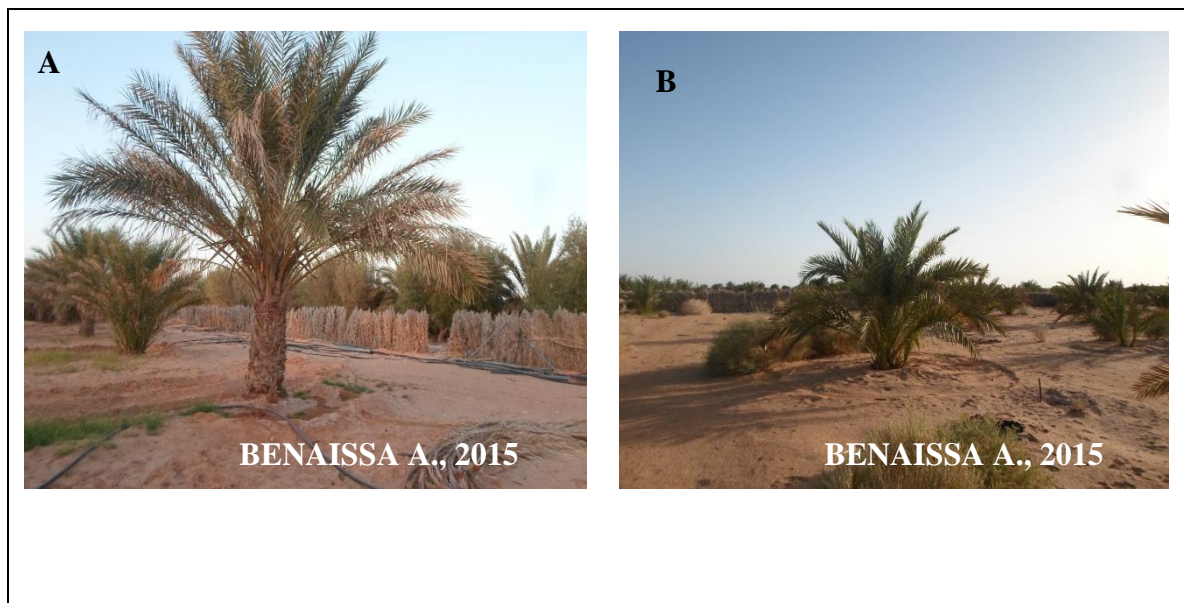


Photo.2. A : station TAI

Photo.2. B : station NI

Photo 2. Stations irriguées par le Miopliocène

Pour les stations irriguées par l'Albien, l'effet âge de mise en irrigation n'est pas apparent. Le sol est moins salé, sa CE est la même pour l'âge 1 (TAI) et l'âge 2 (AI) et plus faible pour l'âge 3 (NI) ; la salinité de l'eau d'irrigation dans les trois stations ne dépasse pas 3dS/ml. Selon **AYERS ET WESTCOT (1985)**, le seuil de la salinité des eaux d'irrigation est de 3 ds/m (2g/l). Jusqu'à une concentration de 2g/l, les eaux sont de qualité excellente pour l'irrigation (**DUBOST, 1994**). Sachant que le substrat est sableux, il ya donc une bonne lixiviation des sels ; ce qui explique la faible salinité dans les trois stations.

Le test de Tukey a révélé 05 groupes, avec 01 groupe homogène et 02 groupes intermédiaires : le groupe A par Miopliocène_Age3, le groupe Ab par Miopliocène_Age2, le

groupe Bc représenté par Albien_Age1 et Albien_Age2, le groupe D par Albien_Age3 et enfin le groupe Cd par Miopliocène_Age1. Cela signifie que l'eau d'irrigation albienne n'a pas un grand effet sur la CE du sol en fonction de l'évolution d'âge de mise en irrigation. Toutefois, l'effet inverse est constaté pour les stations irriguées par le Miopliocène car les trois types d'âge appartiennent à des groupes différents.

L'analyse de la variance entre la combinaison type de nappe – type de parcelle (**Fig.19**), montre une différence très hautement significative ($F < 0.000315$ THS) de la CE entre les stations cultivées et irriguées par le Miopliocène et leur témoin (parcelles non cultivées) et les stations cultivées et irriguées par l'albien et leur témoin. Nous observons l'absence de différence entre la CE du sol des stations cultivées et irriguées par l'albien et leur témoin correspondant. En revanche, cette différence est nettement apparente pour les stations irriguées par le Miopliocène ; où la CE du sol est beaucoup plus élevée au niveau des stations cultivées par rapport aux témoins (non cultivées). Cela confirme l'effet de l'eau d'irrigation Miopliocène sur la CE du sol ; même si le substrat est sableux avec présence de lessivage. Cependant, l'accumulation de sels apparait avec une eau très chargée, aboutissant à un sol impropre au développement des plantes (**LALLEMAND- BARRES, 1980**).

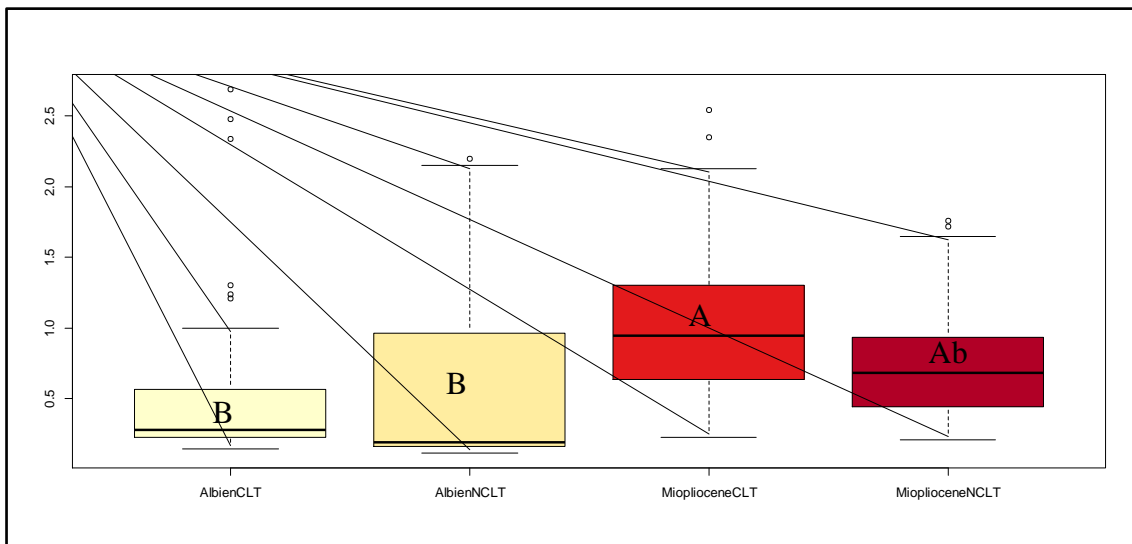


Figure 19. Boîtes à moustaches de la variation de la CE du sol de la combinaison type de nappe- type de parcelle.

Le test de Tukey a révélé 03 groupes : un groupe homogène B représenté par Albien CLT et Albien NCLT, le groupe A représenté par Miopliocène CLT et un groupe

intermédiaire Ab représenté par Miopliocène NCLT. Cela confirme comme nous l'avons déjà signalé, l'effet de l'eau d'irrigation Miopliocène sur la CE du sol.

VI.3. Impact sur le SAR du sol

VI.3.1. Stations irriguées par le Miopliocène

Les valeurs du SAR varient de $1,46 \pm 0,21 \leq \text{SAR} \leq 2,06 \pm 0,51$ (témoin : $0,19 \pm 0,04 \leq \text{SAR} \leq 0,43 \pm 0,07$) dans la station très anciennement irriguée, de $1,52 \pm 0,30 \leq \text{SAR} \leq 2,55 \pm 2,06$ (témoin : $0,59 \pm 0,01 \leq \text{SAR} \leq 0,71 \pm 0,07$) dans la station anciennement irriguée et de $2,18 \pm 1,22 \leq \text{SAR} \leq 4,98 \pm 1,85$ (témoin : $0,52 \pm 0,46 \leq \text{SAR} \leq 2 \pm 0,21$) dans la station nouvellement irriguée. Ces valeurs indiquent que le sol de ces stations est non sodique ($\text{SAR} < 10$) (CHERBUY, 1991).

VI.3.2. Stations irriguées par l'Albien

Les valeurs du SAR varient de $0,97 \pm 0,53 \leq \text{SAR} \leq 1,18 \pm 0,83$ (témoin : $0,49 \pm 0,03 \leq \text{SAR} \leq 1,09 \pm 0,04$) dans la station très anciennement irriguée, de $1,43 \pm 0,44 \leq \text{SAR} \leq 2,43 \pm 1,22$ (témoin : $0,63 \pm 0,08 \leq \text{SAR} \leq 1,14 \pm 0,15$) dans la station anciennement irriguée et de $0,55 \pm 0,18 \leq \text{SAR} \leq 0,61 \pm 0,16$ (témoin : $0,40 \pm 0,06 \leq \text{SAR} \leq 0,70 \pm 0,31$) dans la station nouvellement irriguée. Ces valeurs montrent que le sol de ces stations est non sodique ($\text{SAR} < 10$) (CHERBUY, 1991).

L'analyse de la variance entre la combinaison type de nappe – âge de mise en irrigation pour la variation du SAR de sol (**Fig.20**), montre une différence très hautement significative ($F < 4,95 \times 10^{-5}$ THS) entre les stations irriguées par l'Albien et celles irriguées par le Miopliocène. Nous observons que pour les stations irriguées par le Miopliocène, le SAR du sol est élevé comparativement à celle irriguées par l'Albien. Cela est justifié par l'apport important de sodium à la solution du sol par les eaux d'irrigation Miopliocène (faciès géochimique sulfaté sodique). Ce constat a été évoqué au Maroc par Badraoui (2003), et en Algérie dans la région de Hassi Ben Abdellah par BENBRAHIM (2006) ; précisant que la sodicité du sol a augmenté en fonction de l'irrigation avec une eau chargée en sodium.

L'allure de la variation du SAR suit celle de la CE que ce soit pour les stations irriguées par l'Albien ou par le Miopliocène. Selon GOUAIDIA *et al.* (2012), l'irrigation avec des eaux riches en sels, peut entraîner la fixation du sodium par le complexe adsorbant

du sol, donc un processus de salinisation, avec ses conséquences éventuelles pour les propriétés du sol.

L'effet âge de mise en irrigation n'est pas toujours apparent. Pour les stations irriguées par l'Albien, les trois types d'âge présentent des valeurs équivalentes du SAR; et pour les stations irriguées par le Miopliocène, c'est l'âge 3 qui présente le SAR le plus élevé et l'âge 1 le plus faible. Le sol demeure non sodique. Rappelons que la présence du calcaire fait que le complexe adsorbant se sature d'une façon préférentielle par le calcium (DUCHAUFFOUR, 1977 ; HALITIM, 1988). Ceci concerne les sols des stations irriguées par le Miopliocène, riches en calcaire d'où l'absence de sodicité, malgré le pouvoir alcalinisant très fort de l'eau d'irrigation (classes C5S3 et C5S4).

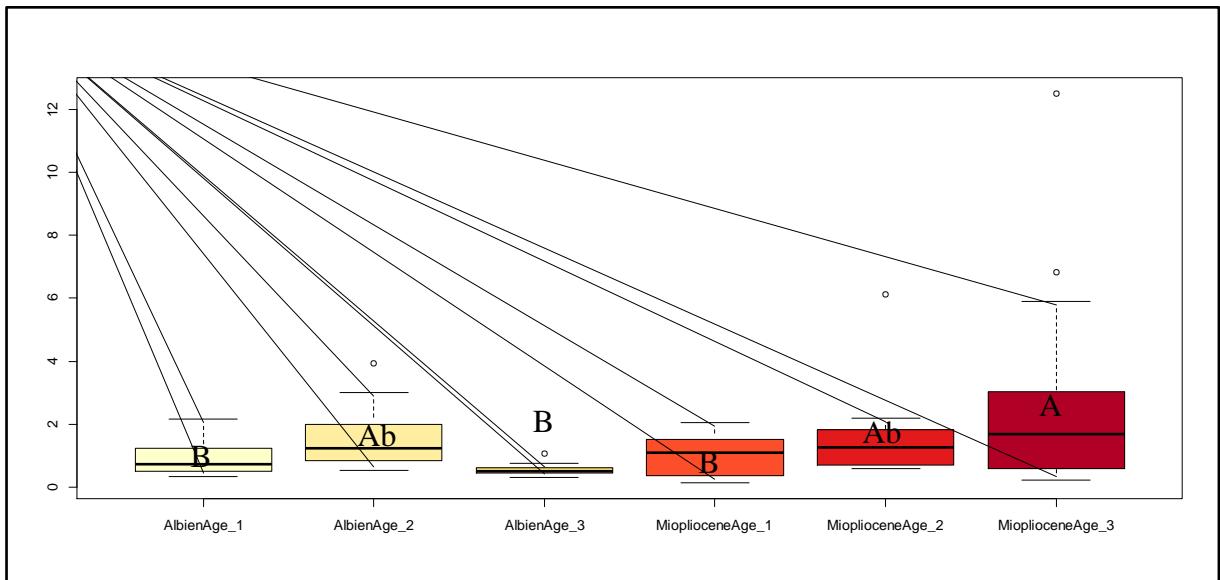


Figure 20. Boîtes à moustaches de la variation du SAR de sol de la combinaison type de nappe- âge.

Le test de Tukey a révélé 03 groupes : un groupe homogène B, représenté par Albien Age_1, Albien Age_3 et Miopliocène Age_1, un groupe intermédiaire Ab représenté par Albien Age_2 et Miopliocène Age_2, et enfin le groupe A représenté par Miopliocène Age_3. Cela signifie toujours que l'effet âge de mise en irrigation n'est pas apparent.

L'analyse de la variance entre la combinaison type de nappe – type de parcelle (Fig.21), montre une différence très hautement significative ($F < 1.28^{e-08}$ THS) du SAR entre

les stations cultivées et irriguées par le Miopliocène et leur témoin (non cultivées) et les stations cultivées et irriguées par l'albien et leur témoin.

Nous observons que les stations cultivées et irriguées par l'albien présentent les mêmes valeurs du SAR que leurs témoins. En revanche, les stations irriguées par le Miopliocène, leur SAR du sol est beaucoup plus élevé que celui de leurs témoins. Cela confirme comme nous l'avons déjà signalé, l'apport du sodium par l'eau d'irrigation Miopliocène.

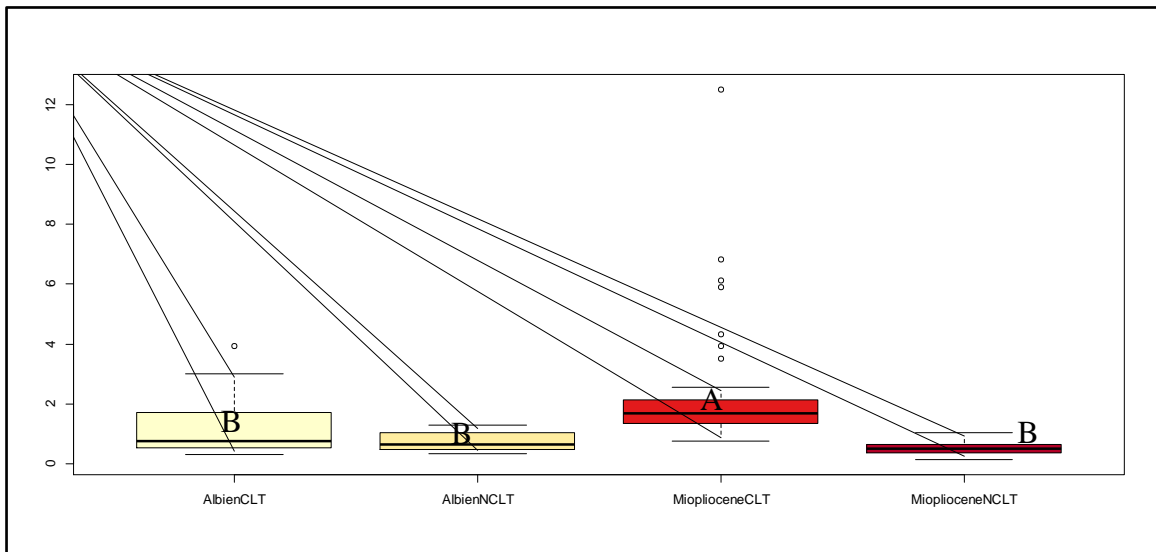


Figure 21. Boîtes à moustaches de la variation du SAR sol de la combinaison type de nappe-type de parcelle.

Le test de Tukey a révélé 03 groupes : le groupe A représenté par Miopliocène CLT . Un groupe homogène B représenté par Albien CLT, Albien NCLT et Miopliocène NCLT.

Pour ce qui est des profondeurs de prélèvement, nous observons d'après la **figure 22**, la présence de légères différences pour l'ensemble des paramètres étudiés concernant les horizons de prélèvements, à savoir 0-40 cm, 40-80 cm et 80-120 cm. En effet, les sols de Hassi Ben Abdellah sont connus pour être peu différenciés (**BENBRAHIM, 2006**). Ainsi, les différents prélèvements ne coïncident pas avec les couches des profils pédologiques et sont pratiquement réalisés sur la même couche du sol.

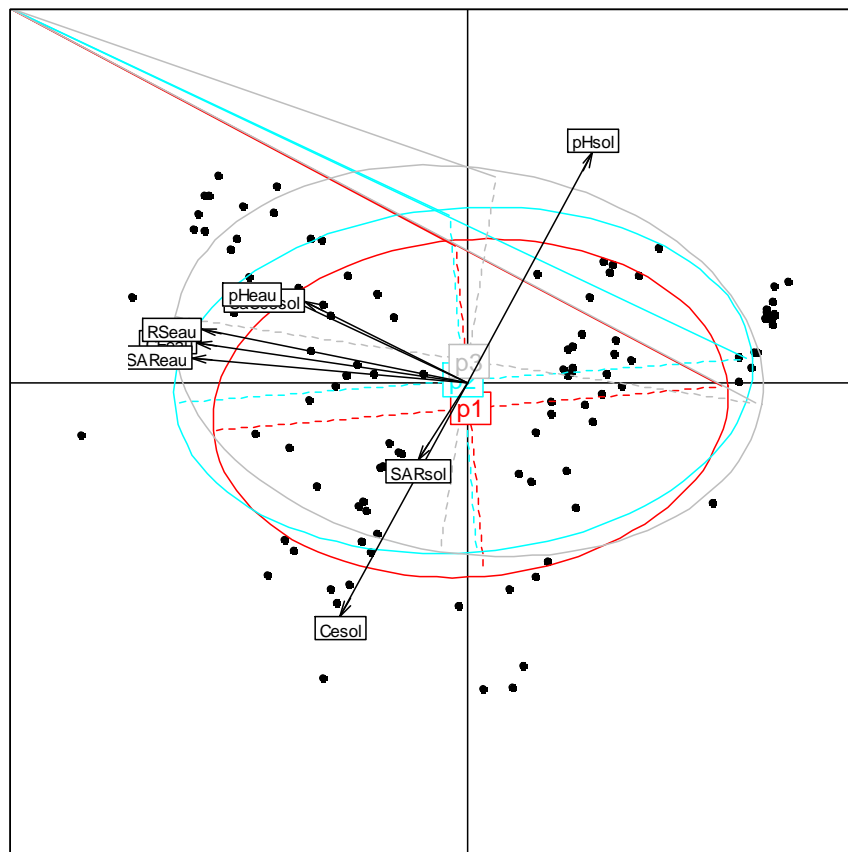


Figure 22. AFC de la relation entre la profondeur de prélèvement et les paramètres étudiés

Conclusion Générale

Conclusion générale

L'étude de l'impact des eaux des forages Albien et Miopliocène sur quelques paramètres physico-chimiques du sol dans la région de Hassi Ben Abdellah (Ouargla) a permis de caractériser les eaux d'irrigation et les sols de la région, à travers l'évolution de la réaction du sol, la salinité et la sodicité (SAR) d'un sol irrigué selon trois ages de mise en irrigation différent, afin de prédire la durabilité de la mise en valeur dans cette région.

Les analyses des eaux d'irrigation extraites des forages Albien et Miopliocène de nos stations d'études dans la zone de Hassi Ben Abdellah ont révélé que :

Les eaux d'irrigation des forages Albien sont fortement à très fortement salées, leur pH tend vers l'alcalinité (>7) ; avec un faciès dominant chloruré sodique et sulfaté calcique d'après le diagramme de Piper. Ces eaux présentent un risque d'alcalinisation moyen avec un rapport d'adsorption de sodium (SAR) oscillant de 4,49 à 7,66, pouvant provoquer une toxicité par le sodium dont la teneur est supérieure à 9 meq/l (**FAO, 1976**). Le diagramme de Riverside montre que ces eaux appartiennent à la classe C4S2 et C3S1, ce qui leur confère une mauvaise qualité pour l'irrigation mais elles peuvent être exceptionnellement utilisées sur des sols très perméables avec un bon drainage (**DURAND, 1958**).

Par ailleurs, les eaux d'irrigation des forages Miopliocène sont excessivement salées avec un pH alcalin. Leur faciès chimique dominant est sulfaté sodique, la concentration du sodium dans ces eaux varie de 28.91 meq/l à 41.74 meq/l, ce qui est excessif, pouvant provoquer une toxicité (**FAO, 1976**). Le risque d'alcalinisation à son tour est très fort, avec un SAR qui varie de 9.11 à 11.93. Selon le diagramme de Riverside, ces eaux appartiennent à la classe C5S4 et C5S3 ce qui les rend inutilisables pour l'irrigation sauf pour sable drainé et pour des cultures de type palmier dattier (**DURAND, 1958**).

Les analyses du sol de nos stations d'études montrent qu'il est sableux à dominance du sable grossier que ce soit pour le sol irrigué ou le témoin. Il est peu à modérément calcaire pour les stations irriguées par Miopliocène et peu calcaire pour les stations irriguées par Albien.

L'étude de l'évolution de pH du sol, de la salinité et du SAR en fonction d'âge de mise en irrigation, pour les stations irriguées par Albien et celles irriguées par le miopliocène a révélé que:

- Le pH du sol de toutes nos stations d'étude est alcalin ; cependant il existe une différence très hautement significative entre le pH des parcelles irriguées par l'Albien et celles irriguées par le Miopliocène. On note que l'eau d'irrigation Miopliocène a influencé sur l'augmentation de pH du sol irrigué par rapport au témoin, mais aussi l'augmentation de pH en fonction de l'âge de mise en irrigation, où les valeurs les plus élevées ont été enregistrées au niveau de l'âge 1(TAI) ; ce qui est totalement inversé pour l'eau d'irrigation Albienne.
- La présence d'une différence très hautement significative entre la CE des stations irriguées par Albien et celles irriguées par Miopliocène. Ces dernières se caractérisent par une CE du sol élevée, comparativement à celles irriguées par Albien. Nous constatons aussi que pour les stations irriguées par Miopliocène, l'eau d'irrigation a influencé l'augmentation de la CE du sol irrigué par rapport au témoin, ce qui n'est pas le cas pour l'Albien où la CE du sol irrigué est proche de celle du témoin.
- L'eau d'irrigation Albienne n'a pas influencé l'augmentation de la CE du sol en fonction de l'âge de mise en irrigation de la station, où les trois types d'âge présentent des valeurs de CE très proches.
- L'irrigation avec une eau trop chargée en sel, accompagnée d'un amendement sableux et un bon lessivage, peut diminuer considérablement la CE du sol qui peut même se rapprocher à la CE d'un sol irrigué par l'Albien ce qui est le cas de l'âge 1 (TAI) irrigué par Miopliocène .
- L'allure de la variation du SAR suit celle de la CE que ce soit pour les stations irriguées par Albien ou par Miopliocène. On note donc la présence d'une différence très hautement significative entre le SAR des stations irriguées par Albien et celles irriguées par Miopliocène. L'eau d'irrigation Miopliocène a influencé sur l'augmentation du SAR du sol irrigué par rapport au témoin ; contrairement à l'eau d'irrigation Albienne où le sol irrigué et témoin présentent des valeurs de SAR trop proches.

Ces résultats nous ont permis de constater que malgré l'influence de l'eau d'irrigation sur l'évolution des paramètres physico-chimiques du sol étudiés ; l'eau d'irrigation Albienne présente le moins d'effet à court, moyen et long terme, donc elle peut garantir la durabilité de la mise en valeur du sol ; comparativement à l'eau d'irrigation Miopliocène. Où sont effet et beaucoup plus prononcé surtout à long terme. Cependant, on ne peut pas prédire avec exactitude l'évolution de cette influence et par conséquent la durabilité d'un périmètre de mise en valeur irrigué par miopliocène, car l'homme constitue un facteur primordial pouvant intervenir à n'importe quel moment pour diminuer l'influence d'une eau saline sur le sol.

Ce modeste travail sur l'effet de l'eau d'irrigation Albien et Miopliocène sur quelques paramètres physico-chimiques du sol peut servir comme un moyen d'aide aux décideurs des services agricoles dans le choix de l'eau d'irrigation appropriée et par conséquent le choix de la politique de mise en valeur : des périmètres collectifs irrigués par Albien ou encore des grands périmètres privés, irrigués par Miopliocène. Il mérite d'être complété en tenant compte des éléments suivants :

- L'étude d'effet de la qualité de ces eaux d'irrigation sur les cultures en particulier le palmier dattier.
- L'étude de la variation saisonnière de la solution du sol en fonction de l'irrigation, pour mieux gérer le problème de la salinité, sodicité et alcalinité du sol.

Enfin, nous pouvons avancer que la région de Hassi Ben Abdellah possède des potentialités hydriques importantes qui peuvent la classer première commune de la production agricole dans la wilaya de Ouargla. Et comme à évoquer **DAOUD et HALITIM (1994)**, qu'au moment où l'Algérie, sous la pression d'une forte croissance démographique, doit rapidement développer une agriculture irriguée rénovée au Sahara, il est important de dresser un bilan des potentialités agricoles de ce désert et de bien apprécier les risques de ce projet. De ce fait il est donc impératif d'installer des réseaux d'observation et de suivi des projets de mise en valeur agricole des terres dans les régions sahariennes susceptibles de fournir des informations sur l'état de ces projets et contribuer à la mise en œuvre des programmes de développement et/ou d'aménagement à la disponibilité des agriculteurs.

C'est à ce prix là que l'agriculture saharienne pourra s'inscrire dans une perspective de développement durable.

Références

Bibliographiques

Références bibliographiques

ANRH 2010 - Agence Nationale des Ressources Hydriques. Inventaire des forages de la wilaya de Ouargla. données statistiques.

ANRH, 2005 - Rapport de synthèse des résultats de l'inventaire des forages et enquête sur les débits extraits. Ouargla. 07 p.

AUBERT G., 1963 - Transformation des sols de la zone aride sous l'Influence des Irrigations - Wasserwirtschaft In Africa. pp : 75-82.

AUBERT G., 1975 - les sols sodiques en Afrique du Nord. Annale de L'I.N.A. Alger 6(1). pp : 185-195.

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 sals sodiques. Cash. ORSTOM.ser. ped. Vol. xxx n°1. pp: 73-78.

AYERS R.S, WESTCOT D.W., 1985 - Water quality for agriculture. FAO, Irrigation and drainage paper 29. Rome. Italy.174 P.

BADRAOUI M., SOUDI B., FARHAT A., 1998 - Variation de la qualité des sols : une base pour l'évaluation de la durabilité de la mise en valeur agricole sous irrigation par pivot au Maroc. Etude et gestion des sols 5(4). pp :277-234.

BAGNOLS F. et GAUSSEN H., 1953 - Saison sèche et indice xérothermique. Volume I. Doc. Carte des productions végétales. art. 8. Toulouse (France). 47p.

BAIZE D., 2000 - Guide des analyses en pédologie. 2^{ème} édition. Edition INRA. Imprimé en France. 257p.

BEMMOUSSAT A., ADJIM M., BENSAOULA F., 2014 - Etude des eaux souterraines de la plaine d'HENAYA (BASSIN DE LA TAFNA - NW ALGERIEN). Larhyss Journal. ISSN 1112-3680. n°18. Juin 2014. pp : 63-76.

BENBRAHIM F., 2006 - Evaluation de la durabilité de la céréaliculture sous pivot par l'étude de la salinisation du sol dans la région de Ouargla (cas de Hassi Ben Abdellah). Mémoire magister en Agronomie.Université de Ouargla. 101 p.

BOUHANNA A., 2011- Effet de la mise en culture d'une fabacées fourragère: la luzerne (*Medicago sativa* L.) sur quelques paramètres physico-chimiques du sol. Cas de Hassi ben Abdallah Ouargla. Mémoire d'ingénieur en Agronomie.Université de Ouargla. 67 p.

BOULAIN J., 1957- Etude des sols des plaines de Chelif. Thèse d'Etat. Univ d'Alger. 582 p.

BRIDGES E. M., 1978 - World soils. Cambridge University. Press. 2^{ème} édition. pp: 95- 97.

CHERBUY B., 1991- Les sols salés et leur réhabilitation étude bibliographique. Cemagraf, école. Nat. Renne. 170 p.

CHEVERRY CL., 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 de gestion des sols 5 (4). pp : 217-226.

D.P.A.T, 2006 - Annuaire statistique de la wilaya de Ouargla, 193 p.

DAOUD Y., 1993 - Contribution à l'étude des sols des plaines du Chelif. Le phénomène de salinisation, conséquences sur les propriétés physiques des sols argileux. Thèse de Doctorat d'Etat. INA Alger. 233 p.

DAOUD Y., HALITIM A., 1994 - Irrigation et salinisation au Sahara Algérien. Sécheresse. Vol.5. N°(3). pp : 151-160.

DEMELON A., 1966 - Dynamique du sol. Tome I. 5^{ème} Ed. Dunod. Paris. 520 p.

DOUAOUI A., et HARTANI. T., 2007 - Impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols de la plaine du Bas-Chélif. Actes du troisième atelier régional SIRMA (Nabeul, Tunis), CD-Rom, Edit. CIRAD, Montpellier, 5 p.

DSA ,2014 - Direction des Services Agricoles. Données statistiques.

DUBIEF J., 1963 - Le climat de Sahara. Mémoire. Institut de recherches Saharienne. Alger. Tome I. 298 p.

DUBOST D., 1994 - Pratique de l'irrigation au Sahara. CIHEAM / IAM.

DUCHAUFFOUR P., 1969 - Précis de pédologie. ed. Masson. Paris. 192 p.

DUCHAUFFOUR P., 1977 - Pédologie. Pédogenèse et classification. Tome I. Ed. Masson. Paris. 477 p.

DURAND J. H., 1958 - Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imbert. Alger. 190 p.

DURAND J. H., 1973 - Utilisation des eaux salines pour l'irrigation. Institut national de la recherche agronomique. CRA du Sud-Ouest - Domaine de la Grande Ferrade 33 - Pont-de-la-Maye. 20 p.

DURAND J. H., 1983 - Les sols irrigables. Etude pédologique. Ed. Imprimerie Boudin. Paris. 339 p.

FAO, 1976 - La qualité de l'eau en agriculture. Bulletin d'irrigation et de drainage. pp :29-82.

FAO, 2014 - Zones équipées pour l'irrigation et pourcentage des terres cultivées. AQUASTAT Base de données . <http://www.fao.org/nr/aquastat> et FAOSTAT Base de données . <http://faostat.fao.org/>.

FERERES E., 1983 - Short and long term effects of irrigation on the fertility and productivity of soils. In. Nutrient Balances and the need for fertilizers in semi arid and arid regions. Proceedings IPI. Morocco. pp: 283 – 304.

GOUAIDIA L., GUEFAIFIA O., BOUDOUKHA A., LAIDHEMILA M. et MARTIN C., 2012 - « Évaluation de la salinité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risques de dégradation des sols : exemple de la plaine de Meskiana (Nord-Est Algérien) », *Physio-Géo* [En ligne], Volume 6 , mis en ligne le 04 septembre 2012, consulté le 05 Aout 2016. URL : <http://physio-geo.revues.org/2632> ; DOI : 10.4000/physio-geo.2632.

HALILAT M. T., 1993 - Etude de la fertilisation azotée et potassique sur le blé dur (variété aldura) en zones sahariennes (région de Ouargla). Thèse Mag. Univ. Batna. 130 p.

HALITIM A., 1988 - Sols des régions arides d'Algérie. Ed. O.P.U., Alger. 384 p.

HAMDI AISA B., MICHEL CLAUDE G., 2000 -Utilisation de la télédétection en régions sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. Science et changements planétaires. Sécheresse. Volume 11. Numéro 3. pp : 179-88.

HAMDI AISSA B., 2001 - Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara (Cuvette de Ouargla). Approche micro morphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. Thèse Doctorat. Institut Nationale Agronomique. Paris. Grignon. 283 p.

KHADRAOUI, 2005 - Eaux et sols en Algérie : gestion et impact sur l'environnement, recueil des communications. 392 p.

KOULL K., KHERRAZE M.H., LAKHDARI K., BENZAOUI T., HELIMI S., LAOUISSAT M.S. et BENZAOUZ M. T., 2013 -Eaux d'irrigation et salinisation des sols des périmètres irrigués dans la vallée de l'Oued Righ. Journal Algérien des régions arides. Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides. Numéro spécial n° 12-2013. pp : 97-102.

LALLEMAND- BARRES A., 1980 - Aménagement des sols salé- Irrigation avec des eaux salées. Etude documentaire. Département EAU. B.P.6009. 45060 Orléans Codex. 35 p.

LE HOUEROU H. N., 1995 - Bioclimatologie et biogéographie des steppes arides du Nord de l'Afrique « diversité biologique développement durable et désertisation ». Option méditerranéenne. Sér. B. N°10. Montpellier. 396 p.

LELIEVRE RF., 1969 - Assainissement de la cuvette de Ouargla. Ministère des travaux publics et de la construction.Rapports géo hydraulique n°2. 18 p. n°3. 84 p.

MADANI D., 2008 - Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone à déficit hydrique. Mémoire magister en Agronomie.Université d'El Hadj Lakhdar Batna. 118 p.

MATHIEU C et PIELTAIN F, 2009 - Analyse chimique des sols: méthodes choisies. 2^{ème} édition. Edition Tec & Doc Lavoisier. 317 p.

- NEZLI I.E., ACHOUR S., DJABRI L., 2007** - Approche géochimique des processus d'acquisition de la salinisation des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'Oued M'ya (Ouargla). Larhyss Journal. ISSN 1112-3680. n° 06. pp : 121-134.
- O.N.M., 2015** - Données climatologique. Office national de la météorologie Ouargla. Algérie.
- OZENDA P., 1991**- Flore du Sahara. Ed. Centre National de la Recherche Scientifique (C.N.R.S), Paris (France).625 p.
- RICHARD L. A., 1954** - Diagnosis and improvement of Salians alkali soils. U.S.D.A. Handbook N°60.Washington. 160 p.
- RODIER J., LEGUBE B., MARLET N. et Coll., 2009** - L'analyse de l'eau. 9^{ème} Ed. DUNOD, Paris, 1511 p.
- ROUABHIA A.E.K. et DJABRI L., 2010** - L'irrigation et le risque de pollution saline. Exemple des eaux souterraines de l'aquifère miocène de la plaine d'El Ma Labiod. Larhyss Journal (<http://larhyss.net/journal.html>),n° 8, p. 55-67.
- ROUVILLOIS –BRIGOL M., 1975** - Le pays de Ouargla (Sahara Algérien) variation et organisation d'un espace rural au milieu désertiques. PUBL. Univers. SORBONE. Paris. 52 p.
- SALIM S., et TESSIER D., 1998** - Evolution des propriétés physiques et physico-chimiques de sol salées de la basse vallée de l'Euphrate (Syrie). Etude et gestion des sols 5(4). pp : 277-288.
- SERVENT J. M., 1970** - Contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes. Thèse Doct. Univ. du Languedoc. 194 p.
- SERVENT J. M., 1978** - La salinité dans les sols et les eaux : caractérisation et problèmes d'irrigation drainages. Bull. B.R.G.M., Sect. N° 2. pp : 123-142.
- SOGREAH, 2009** - Etude d'inventaire et de développement de la PMH. Partie1 : Rapport définitif RA3 Wilaya de Ouargla. 398 p.
- SUAREZ D.L., WOOD J.D., LESCH S.M., 2006** - Effect of SAR on water infiltration under a sequential ram irrigation management system. Agric water Manage 86. pp:150-64.
- SZABOLCS I., DARAB K., 1979** - Water quality for irrigation and salinization problems. Proceedings 3, Symposium of CIEC. Benghazi. Libya. pp: 51-69.
- U.S.D.A , 1999** - Soil Quality Test Kit Guide. Pub. United States Department of Agriculture, Agricultural Research Service.Natural Ressources Conservation Service. Soil Quality Institut. 82 p.
- UNESCO, 1972** - Projet reg 100. Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet. Paris. 78 p.

ZAHRI A., 2010 - Préservation et développement des ressources phylogénétiques, espèces maraichères annuelles sous serre (Hassi Ben Abdallah). Mémoire d'ingénieur en Agronomie. Université de Ouargla. 98 p.

Références Web

Google earth, 2015.<https://www.google.com/intl/fr/earth/>.

Wikipédia, 2015. www. Wikipédia.org.

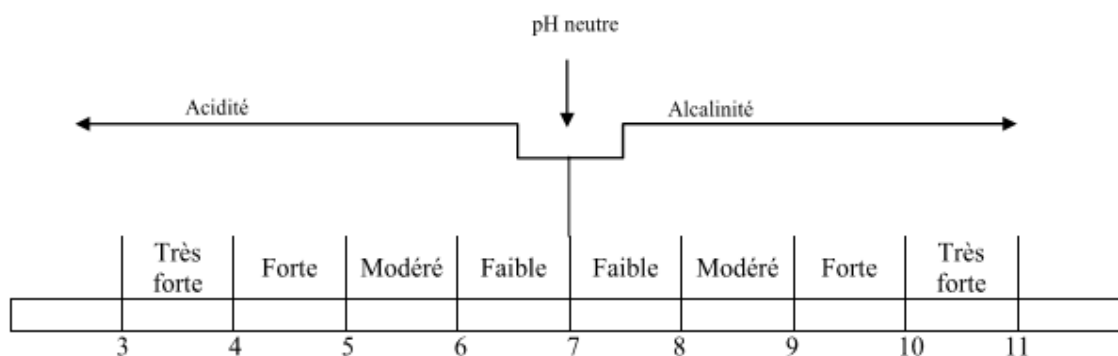
Annexes

Annexe I

- **Classe de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 à 25 C° (MATHIEU et PIELTAIN, 2009).**

CE _{e1:5} à 25 °C	Classe de salinité
CE _{e1:5} ≤ 0,6	Non salé
0,6 < CE _{e1:5} ≤ 1	Légèrement salé
1 < CE _{e1:5} ≤ 2	Salé
2 < CE _{e1:5} ≤ 4	Très salé
CE _{e1:5} > 4	Extrêmement salé

- **Normes d'interprétation du pH-eau du sol (MATHIEU et PIELTAIN, 2009).**



- **Normes d'interprétation de calcaire proposées par GEPPA in BAIZE, 2000**

- < 1% horizon non calcaire
- 1 à 5 % horizon peu calcaire
- 5 à 25 % horizon modérément calcaire
- 25 à 50 % horizon fortement calcaire
- 50 à 80 % horizon très fortement calcaire
- > 80 % horizon excessivement calcaire

Annexe II

- L'échelle de l'évaluation de la qualité des eaux d'irrigation proposée par (Durand 1958 in DAOUD et HALITIM , 1994) pour l'Algérie

Conductivité électrique dS.m ⁻¹ à 25 °C	Différentes classes d'eaux
CE < 0,25	C1 Eaux faiblement salines
0,25 < CE ≤ 0,75	C2 Salinité moyenne
0,75 < CE ≤ 2,25	C3 Salinité forte
2,25 < CE ≤ 5	C4 Très forte salinité
CE > 5	C5 Eaux à salinité excessive

- Les différentes classes des eaux d'irrigation

D'après Durand (1958), la salinité de l'eau permet de déterminer cinq classes d'eau :

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

- Les quatre classes de SAR distinguées par la classification d'U.S.S.L (1954) sont :

SAR	utilisation
S1	eau faiblement sodique: utilisable pour l'irrigation de presque toutes les classes de sols, avec risque d'alcalinisation minimum. Toutefois à noyaux peuvent accumuler dans leur feuille des quantités de sodium.
S2	eau moyennement sodique: peut présenter un risque d'alcalinisation modérée dans les sols à textures fine (argile) sauf si ces derniers contiennent du gypse utilisable dans les sols grossiers (sableux) ou organiques.
S3	eau fortement sodique: fort risque d'alcalinisation dans la plupart des sols. Précaution particulière nécessaires: bon drainage, abondant lessivage et addition de matières organique. Dans les sols à forte teneur en gypse l'apparition des effets nuisibles du sodium sera retardée. En l'absence de gypse les sols surtout amendes à l'aide de ce dernier ou l'autre produits similaires.
S4	eau très fortement sodique: généralement inutilisable pour l'irrigation excepte à des niveaux de faible ou de moyenne salinité seulement après amendement des sols au gypse ou à d'autres additifs.

Annexe III

1- Analyses du sol des statios irriguées par Albien et leurs témoins

catégorie stations/témoins	Analyses			
	pH	CE	S.A.R	Ca CO3
AL TAI (p1)	8,37+/- (0,26)	0,255+/- (0,02)	1,03+/- (0,54)	3,52+/- (0,31)
AL TAI (p2)	8,4+/- (0,18)	0,403+/- (0,11)	1,18+/- (0,83)	4,87+/- (3,71)
AL TAI (p3)	8,61+/- (0,20)	0,229+/- (0,03)	0,97+/- (0,53)	2,47+/- (0,67)
AL t TAI (p1)	8,13+/- (0,25)	0,799 +/- (0,03)	1,09 +/- (0,04)	4,43
AL t TAI (p2)	8+/- (0,08)	2,12 +/- (0,10)	0,65+/- (0,02)	6,24
AL t TAI (p3)	8,14+/- (0,08)	1,06 +/- (0,10)	0,49+/- (0,03)	2,6
AL AI (p1)	8,11+/- (0,23)	1,36+/- (0,78)	2,43+/- (1,22)	3,78+/- (1,25)
AL AI (p2)	8,37+/- (0,25)	0,832+/- (0,85)	1,74+/- (0,53)	2,16+/- (1,65)
AL AI (p3)	8,26+/- (0,23)	1,04+/- (0,90)	1,43+/- (0,44)	1,24+/- (1,11)
AL t AI (p1)	8,42+/- (0,12)	0,275+/- (0,02)	0,63+/- (0,08)	3,23
AL t AI (p2)	8,81+/- (0,01)	0,138+/- (0,02)	1,14+/- (0,15)	3,42
AL t AI (p3)	8,77+/- (0,17)	0,161+/- (0,01)	0,95+/- (0,26)	1,9
AL NI (p1)	8,74+/- (0,15)	0,256+/- (0,05)	0,61+/- (0,16)	3,49+/- (0,53)
AL NI (p2)	8,87+/- (0,04)	0,193+/- (0,03)	0,56+/- (0,12)	3,8+/- (0,27)
AL NI (p3)	8,81+/- (0,25)	0,391+/- (0,34)	0,55+/- (0,18)	2,6+/- (0,44)
AL t NI (p1)	8,80+/- (0,16)	0,195+/- (0,01)	0,70+/- (0,31)	5,4
AL t NI (p2)	8,80+/- (0,13)	0,164+/- (0,01)	0,44+/- (0,04)	3,7
AL t NI (p3)	8,88+/- (0,10)	0,148+/- (0,02)	0,4+/- (0,06)	2,4

2- Analyses du sol des statios irriguées par Mio-pliocène et leurs témoins

catégorie	Analyse sol				
	stations/témoins	pH	CE	S.A.R	Ca CO3
MP TAI (p1)		8,5 +/- (0,08)	0,716 +/- (0,09)	1,46 +/- (0,21)	2,58 +/- (0,42)
MP TAI (p2)		8,52 +/- (0,20)	0,733 +/- (0,79)	2,06 +/- (0,51)	10,03 +/- (5,63)
MP TAI (p3)		8,59 +/- (0,14)	0,602 +/- (0,28)	2,03 +/- (0,45)	11,99 +/- (3,88)
MP t TAI (p1)		8,61 +/- (0,26)	0,327 +/- (0,16)	0,19 +/- (0,04)	3,41
MP t TAI (p2)		8,46 +/- (0,08)	0,509 +/- (0,01)	0,36 +/- (0,01)	6,62
MP t TAI (p3)		8,56 +/- (0,07)	0,429 +/- (0,02)	0,43 +/- (0,07)	11,98
MP AI (p1)		8,29 +/- (0,25)	1,37 +/- (0,55)	2,55 +/- (2,06)	7,04 +/- (1,86)
MP AI (p2)		8,3 +/- (0,16)	0,931 +/- (0,47)	1,74 +/- (0,42)	12,29 +/- (3,67)
MP AI (p3)		8,47 +/- (0,07)	0,714 +/- (0,16)	1,52 +/- (0,30)	17,12 +/- (2,68)
MP t AI (p1)		8,18 +/- (0,14)	0,681 +/- (0,02)	0,69 +/- (0,02)	7,84
MP t AI (p2)		8,13 +/- (0,07)	1,71 +/- (0,06)	0,71 +/- (0,07)	12,75
MP t AI (p3)		8,23 +/- (0,10)	0,919 +/- (0,03)	0,59 +/- (0,01)	14,46
MP NI (p1)		8,23 +/- (0,05)	1,76 +/- (0,41)	4,98 +/- (1,85)	3,48 +/- (1,53)
MP NI (p2)		8,12 +/- (0,11)	1,34 +/- (0,40)	3,93 +/- (4,81)	3,26 +/- (0,63)
MP NI (p3)		8,16 +/- (0,14)	1,37 +/- (0,67)	2,18 +/- (1,22)	2,01 +/- (0,90)
MP t NI (p1)		8,24 +/- (0,05)	0,210 +/- (0,005)	0,52 +/- (0,46)	2,5
MP t NI (p2)		7,85 +/- (0,25)	1,40 +/- (0,08)	0,48 +/- (0,08)	11,25
MP t NI (p3)		8,18 +/- (0,13)	0,740 +/- (0,02)	21,87 +/- (37,27)	11,83

Annexe IV

Fiche d'enquête

I- Identification de l'exploitation

Nom :

Nom de l'exploitant :

Localisation/ Coordonnées :

Date de création :

Statut juridique :

II- Aspect hydrologique

- Identification de l'ouvrage de prélèvement (Forage)

Nom et code de forage :

Coordonnées de forage :

Date de mise en service :

Profondeur de forage :

III- Aspect agricole

Superficie agricole totale :

Superficie agricole irriguée :

Activité exercée :

a)- Phoeniculture

Nombre de palmier dattier :

Quantité de dattes produite en kg/ palmier :

Quantité de dattes produite en kg/ ha :

Présence de cultures sous- jacentes : Oui Non

Type de cultures sous- jacentes :

b)- Polyculture

Type de cultures :

Superficie agricole occupée par le palmier dattier :

Superficie agricole occupée par les autres types de cultures :

Nombre de palmier dattier :

Quantité de dattes produite en kg/ palmier :

Quantité de dattes produite en kg/ ha:

Amendement organique utilisé : fumier engrais

Mode d'irrigation : Submersion Goutte à goutte Aspersion

Période d'irrigation : Jour Nuit

Fréquence d'irrigation (h/j) : Eté :.....

Hiver :.....

Tour d'eau : Eté.....

Hiver.....

IV- Aspect pédologique

Type du sol :

Qualité du sol selon l'exploitant : Bonne Moyenne Mauvaise

Présence d'amendement sableux : Oui Non

Fréquence de la pratique d'amendement en sable :

Autres observations :.....

.....

Annexe V

a)- Stations irriguées par Albién



Station très anciennement irriguée (palmeraie Belahcen)



Station anciennement irriguée (palmeraie dans le périmètre Jeune 1)



Station nouvellement irriguée à Khchem Rih

b)- Station irriguées par Miopliocène



Station très anciennement irriguée (périmètre Oujana)



Station anciennement irriguée (périmètre Babziz)



Station nouvellement irriguée (périmètre Khoudrane)



Forage Albien à Khchem Rih