UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Département des Sciences Agronomiques



THESE

En vue de l'obtention du diplôme de Doctorat en Sciences Option: Sciences Agronomiques

THEME

Contribution à l'étude des variations spatiotemporelles de la salinisation de l'environnement oasien du Ksar de Ouargla (Sahara septentrional algérien)

Présenté et soutenu publiquement par SIBOUKEUR Abdellah

Devant le jury:

Mme. BABAHANI Souad	Professeur	U.K.M.Ouargla	Président
Mr. DADDI-BOUHOUN Mustapha	Professeur	U.K.M.Ouargla	Directeur de thèse
Mme. SIBOUKEUR Oumelkheir	Professeur	U.K.M.Ouargla	Co-directrice de thèse
Mr. BEN KHELIFA Mohamed	Professeur	U.A.I.B de Mostaganem	Examinateur
Mr. BENBRAHIM Fouzi	M.C.A	E.N.S. Ouargla	Examinateur
Mme. KOUL Naima	M.R.A	C.R.S.T.R.A Tougourt	Examinateur

Année Universitaire: 2020/2021

Remerciements

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

Il m'est agréable de remercier vivement, mon Directeur de Recherche, Monsieur le Professeur DADDI BOUHOUN Mustapha, du Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah - Ouargla, d'avoir proposé et dirigé ce travail. Je lui atteste ma profonde gratitude pour son encadrement, ses encouragements, ses conseils, ses orientations et sa patience. Je ne saurai oublier mon co-Directeur, Monsieur le Professeur SAKER Mohamed Lakhdar, du Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah - Ouargla "رحمة الله عليه "."

Je tiens également à remercier ma co-Directrice de Recherche, Madame la Professeure **SIBOUKEUR Oumelkheir,** du Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah- Ouargla pour son important apport.

Que Monsieur le Professeur MESSAITFA Amar, Directeur du laboratoire de recherche « Génie de l'eau et de l'Environnement en milieu Saharien », soit assuré de mon éternelle reconnaissance pour m'avoir permis de réaliser mes analyses au sein de son laboratoire ; Qu'il trouve ici l'expression de ma profonde reconnaissance.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude et mes sincères remerciements à Madame BABAHANI **Souad**, Professeure au 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.

Que Monsieur le Professeur **BEN KHELIFA Mohamed**, du Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Abdelhamid Ibn Badis -Mostaganem, trouve ici l'expression de mes remerciements les plus sincères pour avoir accepté d'examiner cette thèse.

A Monsieur **BENBRAHIM Fouzi**, Maitre de Conférences, classe A, de l'Ecole Normale Supérieure de Ouargla, j'adresse mes respectueux et sincères remerciements pour avoir accepté de porter un jugement à ce travail.

J'exprime ma profonde reconnaissance et mes sincères remerciements à Madame **KOUL Naima,** Maître de recherche, classe A, Centre de Recherche Scientifique et Technique sur les Régions Arides (CRSTRA), Touggourt d'avoir accepté de faire partie de jury.

Je ne saurai oublier, Mesdames, KHIKHI, GOUAS et DJILI et Messieurs, KATEB, SID, HANNACHI, LAHRECHE, GOUDJIL, KEMASSI, DELILI, AARIF et BENHMIDA, cadres administratifs et fonctionnaires de bureaux d'études à Ouargla, de m'avoir orienté et fourni des documents et des données utilisés dans ce travail. Je profite de cette occasion pour adresser ma gratitude à Mademoiselle AYACHI Asma, responsable du laboratoire de recherche « Génie de l'Eau et de l'Environnement en Milieu Saharien » pour son aide, combien précieuse.

J'adresse mes remerciements les plus sincères à Messieurs : AZIB Salim, BELAROUSSI Mohamed Elhafed, DJILI Ibrahim, IDDER Abdelhak, KEMASSI Abdellah pour m'avoir encouragé et contribuer à la finalisation de cette thèse.

Je saisis cette occasion pour exprimer mon profond respect et ma reconnaissance à l'ensemble **des enseignants** de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie de l'Université Kasdi Merbah Ouargla, pour avoir participé à ma formation.

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.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail

- > à la mémoire de :
 - mes grand- parents maternels ;
 - 💐 mes grand- parents paternels ;
 - 🏿 mes trois tantes maternelles Safia, Daouia et Rabia ;
 - 💐 mon oncle paternel Abdelaziz.
 - mon cousin Abdenacer;
 - mon neveu Zayd
- À à mes très chers parents qui m'ont toujours encouragé et aidé dans mes entreprises ;
 - 💐 à mon épouse et à ma fille Rym;
 - à ma sœur Amina, à son mari Zoubir et à mes adorables neveux Chayma et Ahmed Mouad;
 - atous mes cousins et cousines;
 - a mes oncles et tantes paternels et maternels ;
 - 💐 au reste de ma famille ;
 - a tous mes amis;
 - 💐 à tous mes enseignants ;
 - 💐 à tous mes collègue à l'université de Ghardaia

SIBOUKEUR Abdallah

المساهمة في دراسة التباين المكاني والزماني في تملح بيئة واحة قصر ورقِلة (شمال الصحراء الجزائرية)

واحات شمال الصحراء الجزائرية مهد موروث ، ويواجه فيها نخيل التمر العديد من المعيقات البيئية ذات مصدر طبيعي واصطناعي يمكن أن يؤدي إلى خلل وانخفاض في الإمكانات الزراعية ، وخاصة في بساتين النخيل القديمة في حوض ورقلة.

يهدف منهج البحث المعتمد لوضع تشخيص مكاني وزماني للظروف البيئة المائية الترابية في بساتين النخيل، عن طريق جمع عينات من التربة والمياه الجوفية على كامل مستوى بساتين القصر، ثم على مستوى بعض البساتين المنتقاة. الهدف الأول هو تقييم الأثر الموسمي لمياه الري والصرف على مستوى المياه الجوفية وملوحة التربة، وأخيرا تقييم أثر إدارة الري التقليدية على تملح التربة في بعض بساتين النخيل.

أظهرت الدراسة أن مستويات المياه الجوفية مرتفعة في كل من الصيف والشتاء بمتوسط عمق يساوي 83.08 \pm 83.08 سم، مع انخفاض طفيف غير دال في الصيف على مستوى الواحة، وارتفاع المياه الجوفية في الوقت نفسه في بعض مناطق المنخفضة ، فيظل التباين الموسمي في ملوحة المياه الجوفية ضئيلاً (فئة "شديدة الملوحة") في جميع الفصول، وتتراوح بين 7.82 و 90.87 و 90.87 ديسيبسيمنز . سم $^{-1}$. ومتوسط عمق القشور الجبسية الضحلة في حدود 113 \pm 2.02 سم. هذا الوضع السطحي للمياه الجوفية والعائق الميكانيكي للقشرة يساعد بشكل كبير تملح وتشبع التربة بالمياه حيث ينخفض متوسط الملوحة الموسمية من 4.05 \pm 2.40 ديسيبل سمسم \pm في الشتاء إلى 2.59 \pm 1.36 ديسيبسيمنز . سم \pm في الصيف. يبدو أن الانخفاض الملحوظ مرتبط بانخفاض الخاصية الشعرية في الصيف بسبب انخفاض مستوى المياه الجوفية، وزيادة ترشيح الأملاح عن طريق الري . في الوقت نفسه تساهم الإدارة التقليدية غير المتجانسة للري وغياب الصرف في بساتين النخيل في بعض الحالات إلى غسيل التربة من الأملاح ، هذا الأخير يتناقص مع ارتفاع المياه الجوفية ، بسبب تراكم الأملاح في بعض الحالات إلى غسيل التربة من الأملاح ، هذا الأخير يتناقص مع ارتفاع المياه الجوفية ، بسبب تراكم الأملاح وزيادة الخاصية الشعرية .

هذه الملاحظة المكانية والزمانية تدل على خلل في البيئة المائية والترابية على نطاق واحة القصر وبساتينه. تظهر النتائج المتحصل عليها تملح في التربة وارتفاع منسوب المياه الجوفية بسبب الإدارة غير العقلانية للري والصرف؛ حيث تعتبر الإدارة المناسبة أمرًا ضروريًا للحد من التدهور وبالتالي ضمان استدامة نظام الواحات.

الكلمات المفتاحية: تملح، تباين مكاني . زماني، بيئة، واحة، قصر، ورقلة.

Résumé

Contribution à l'étude des variations spatio-temporelle de la salinisation de l'environnement oasien du Ksar de Ouargla (Sahara septentrional algérien)

Les oasis du Sahara septentrional algérien, berceau du patrimoine phoenicicole, sont confrontées à de nombreuses contraintes environnementales d'origine naturelleet anthropique. Ces dernières peuvent conduire au dysfonctionnement et à la baisse des potentialités agronomiques, notamment dans les palmeraies ancestrales de la cuvette de Ouargla.

Notre approche de recherche vise à établir un diagnostic spatio-temporel des conditions environnementales hydro-édaphiques en deux temps à l'échelle de la palmeraie du ksar et ensuite dans des jardins sélectionnés de la même palmeraie. Il s'agit d'apprécier en premier lieu l'effet saisonnier (hiver, été) des conditions hydriques de l'irrigation-drainage et de la nappe phréatique sur la dynamique hydro-saline des sols par un échantillonnage systématique aléatoire des eaux phréatique, des sols à trois profondeurs (0-40 cm; 40-80 cm; 80-120cm) et de la croûte gypseuse, et enfin d'estimer l'impact de la gestion traditionnelle de l'irrigation sur la salinisation des sols des jardins de la palmeraie par un échantillonnage ciblé des sols à trois profondeurs (0-40 cm; 40-80 cm; 80-120cm) sur des planches, divisées chacune en trois zones par rapport à l'entrée de l'eau d'irrigation.

L'étude a montré que les niveaux phréatiques sont élevés aussi bien en été qu'en hiver avec une profondeur moyenne égale à de 83,08 ± 29,99 cm, un rabattement généralisé non significatif en été à l'échelle de l'oasis et une remontée phréatique en même temps dans certaines zones de dépressions. La variation saisonnière de la salinité des eaux phréatiques reste non significative (classe « extrêmement salée ») en toutes saisons, oscillant entre 7,82 et 90,87 dS.cm⁻¹. La profondeur moyenne des croûtes gypseuses est superficielle de l'ordre de 113 ± 29,5 cm. Cette situation superficielle de nappe phréatique et l'obstacle mécanique de la croûte favorise significativement l'hydro-halomorphie des sols où la salinité moyenne saisonnière diminue passant de 4,05 ±2,46 dS.cm⁻¹ en hiver à 2,59 ± 1.36 dS.cm⁻¹en été. La diminution constatée semble être liée à celle de la remontée capillaire en été, suite au rabattement des eaux phréatiques, et à l'augmentation de la lixiviation des sels par irrigation. Parallèlement, la gestion traditionnelle hétérogène de l'irrigation et l'absence de drainage au niveau des jardins de la palmeraie, contribuent dans certaines situations à la désalinisation des sols par lixiviation. Cette dernière diminue avec l'élévation des eaux phréatiques, à cause de l'accumulation des sels par l'augmentation de la remontée capillaire.

Ce constat spatio-temporel témoigne d'un dysfonctionnement hydro-édaphique à l'échelle de l'oasis du ksar et ses jardins. Il montre une dégradation hydro-halomorphe des sols due à la gestion irrationnelle de l'irrigation-drainage. Un aménagement adéquat s'impose pour limiter la dégradation et permet ainsi la pérennité du système oasien.

Mots clefs: salinisation, variation spatio-temporelle, environnement, oasis, Ksar, Ouargla.

Abstract

Contribution to the Study of spatio-temporal variation in the salinity of the environment of the oasis of Ksar Ouargla (north of the Algerian desert).

The northern Algerian Sahara oases, which is the cradle of the phoenicultural heritage, face many environmental constraints because of natural and human reasons. These constrains can lead to dysfunction and a decrease in agronomic potential, especially in the ancestral palm groves of the Ouargla basin. The present study aims to establish a spatio-temporal diagnosis of hydro-edaphic environmental conditions in two stages: first at the of the ksar palm grove and second in selective palm grove gardens. The initial goal is to assess the seasonal effect of the water conditions of the irrigation-drainage as well as the water table on the hydro-saline dynamics of the soils and then to estimate the impact of the traditional management of irrigation on the salinization of soils in palm grove gardens. The study showed that the phreatic levels are high both in summer and in winter with an average depth equal to 83.08 ± 29.99 cm while unsignificant generalized drawdown is registered in summer at the palm groves and a rise in phreatic water at the same time in certain areas of depressions. The seasonal variation in the salinity of phreatic water remains insignificant ("extremely salty" class) in all seasons, ranges between 7.82 and 90.87 dS.cm⁻¹. The average depth of the gypsum crusts is shallow in the order of 113 ± 29.5 cm. This superficial situation of groundwater table and the mechanical obstacle of the crust significantly favors the hydro-halomorphy of soils where the average seasonal salinity decreases from 4.05 ± 2.46 dS.cm⁻¹ in winter to 2.59 ± 1.36 dS.cm⁻¹ in summer. The observed decrease seems to be related to that of the capillary rise in summer, following the drawdown of phreatic water, and to the increase in the leaching of salts by irrigation. At the same time, the heterogeneous traditional management of irrigation and the absence of drainage in the palm grove gardens contribute to the desalination of soils in certain situations by leaching. The latter decreases with the rise of groundwater, due to the accumulation of salts by the increase in capillary rise. This space-time observation demonstrates a hydro-edaphic dysfunction across the oasis of Ksar and its gardens. It shows hydro-halomorphic degradation of soils due to irrational management of irrigation-drainage. Thus, proper planning is essential to limit degradation and allows the sustainability of the oasis system.

Keywords: salinization, spatio-temporal variation, environment, oasis, Ksar, Ouargla.

Liste des abréviations

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

C.E._{e1:5} : Conductivité électrique de l'extrait 1:5 des sols

C.E._n : Conductivité électrique des eaux phréatiques

D.R.E.W: Direction Des Ressources En Eau de la Wilaya de Ouargla

FAO: L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture

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

O.N.I.D: Office Nationale de l'Irrigation et du Drainage

O.N.M: Office National de la Météorologie

pH_{e1:5}: pH de extrait 1:5 des sols

pH_n: pH des eaux phréatiques

Liste des figures

Figure 1. Situation de la wilaya de Ouargla	5
Figure 2. Localisation de la cuvette de Ouargla	6
Figure 3. Variation mensuelle des températures moyennes entre 2002 – 2019	7
Figure 4. Variation mensuelle des précipitations moyennes entre 2002 – 2019	8
Figure 5. Variation mensuelle de la vitesse moyenne de vent entre 2002 - 2019	9
Figure 6. Variation mensuelle de l'humidité relative moyenne de vent entre 2002 – 2019	99
Figure 7. Variation mensuelle de l'évaporation moyenne de vent entre 2002 – 2019	10
Figure 8. Variation mensuelle de l'insolation moyenne de vent entre 2002 – 2019	11
Figure 9. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN de Ouargla (2002-2019)	12
Figure 10. Climagramme d'EMBERGER de la région de Ouargla (2002-2019)	13
Figure 11. Coupe géomorphologique schématique de la Vallée de l'Oued Mya d'après	14
Figure 12. Carte géologique de la cuvette de Ouargla	15
Figure 13. Extension des formations du système aquifère du sahara septentrional	16
Figure 14. Coupe hydrogéologique du système aquifère ci et ct du Sahara septentrional	18
Figure 15. Niveau statique des nappes phréatiques dans les palmeraies du Ksar	19
Figure 16. Carte piézométrique de la nappe phréatique en avril 2002	20
Figure 17. Carte des états de surface des sols à Ouargla	22
Figure 18. Délimitation de la palmeraie de Ouargla.	33
Figure 19. Les limites foncières du ksar de Ouargla et sa palmeraie	34
Figure 20. Répartition des forages dans les palmeraies du Ksar	35
Figure 21. Approche méthodologique	38
Figure 22. Les points de sondage après délimitation de la palmeraie de ksar	40
Figure 23. Dimensions de la maille avec le rayon possible de modification d'un point	40
Figure 24. Localisation des jardins phœnicicole dans la palmeraie de Ksar	43
Figure 25. Zones d'échantillonnage du sol dans la planche	44
Figure 26. Niveau statique saisonnier moyen de la nappe phréatique	47
Figure 27. Niveau statique de la nappe phréatique dans les palmeraies du Ksar, en hiver	49
Figure 28. Niveau statique de la nappe phréatique dans les palmeraies du Ksar, en été	50
Figure 29. Effet limitatif du niveau statique de la nappe phréatique sur l'enracineme	ent des
végétaux	51
Figure 30. Niveau piézométrique des nappes phréatiques dans les palmeraies du Ksar e	
Figure 31. Niveau piézométrique des nappes phréatiques en été, dans les palmeraies d	lu Ksar
Figure 32. Degrés de salinité des eaux phréatiques en saison estivale et hivernale	
Figure 33. Salinité des eaux phréatiques de la palmeraie du Ksar en hiver	59
Figure 34. Salinité des eaux phréatiques en été, de la palmeraie du Ksar	60
Figure 35. Variation du pH_n moyen des eaux phréatiques au niveau du Ksar	61
Figure 36. Effet limitatif de la profondeur de la croûte gypseuse sur l'enracineme	ent des
végétaux	63
Figure 37. Variation de la profondeur de la croûte gypseuse en hiver	64
Figure 38. Variation de la profondeur de la croûte gypseuse, en été	65

Figure 39. Effet de la croûte gypseuse sur le niveau statique de la nappe phréatique	66
Figure 40. Effet de la saison sur la salinité des sols de la palmeraie du ksar	67
Figure 41. Classes de salinité des sols dans la palmeraie du ksar	68
Figure 42. Variation de la salinité de la couche 0-40 cm des sols de la palmeraie du	Ksar en
hiver	69
Figure 43. Variation de la salinité de la couche 40-80 cm des sols de la palmeraie du	Ksar en
hiver	70
Figure 44. Variation de la salinité de la couche 80-120 cm des sols de la palmeraie du	Ksar en
hiver	71
Figure 45. Variation de la salinité de la couche 0-40 cm des sols de la palmeraie du Ks	ar en été
	72
Figure 46. Variation de la salinité de la couche 40-80 cm des sols de la palmeraie du	Ksar en
été	73
Figure 47. Variation de la salinité de la couche 80-120 cm des sols de la palmeraie du	Ksar en
été	74
Figure 48. Taux de dégradation des sols par salinisation	76
Figure 49. Taux de dégradation des sols par salinisation en présence ou en absence de	la nappe
phréatique	77
Figure 50. Variation de la salinité moyenne dans les profils des sols	78
Figure 51. Taux des types de profil salin des sols irrigués et non irrigué au Ksar	79
Figure 52. Types de profils salins dans les jardins irrigués et non irrigués au Ksar	81
Figure 53. Estimation des doses d'irrigation apportées par quinzaine	85
Figure 54. Effet des biotopes sur la salinisation du sol des palmeraies	86
Figure 55. Effet des biotopes sur la salinisation du sol des palmeraies	87
Figure 56. Profil salin des jardins irrigués en fonction du biotope	88
Figure 57. Effet des quantités d'eau apportées à la planche, sur la lixiviation des sels	90

Liste des photos

Photos	Titre	Page
Photo 1	Zones de dépression à l'intérieur de la palmeraie	53
Photo 2	Jardins délaissés dans la palmeraie du ksar de Ouargla	54
Photo 3	Jardins entretenus dans la palmeraie du ksar de Ouargla	54

Table des matières

Remerciements	
Dédicace	
الملخص	
Résumé	
Abstract	
Liste des abréviations	
Liste des figures	
Liste des photos	
Introduction générale	1
Première partie : Cadre de l'étude et Problématique	;
Introduction	4
1. Situation géographique	4
2. Climat	
2.1. Températures	7
2.2. Précipitations	8
2.3. Vents	
2.4. Humidité relative de l'air	9
2.5. Evaporation	10
2.6. Insolation	10
2.7. Classification bioclimatique	11
3. Géomorphologie	13
3.1. Plateau	13
3.2. Glacis	14
3.3. Chotts et Sebkhas	14
4. Géologie	14
5. Hydrogéologie	16
5.1. Nappe du continental intercalaire	17
5.2. Nappe du complexe terminal	17
5.3. Nappe phréatique	18
6. Pédologie	21
7 Agriculture	23

7.1. Ancien système	23
7.2. Nouveau système	24
8. Salinisation de l'espace oasien	24
8.1. Causes de la dégradation de l'espace oasien	24
8.1.1. Remontée de la nappe phréatique	24
8.1.2. Salinisation des sols	25
8.2. Dégradation de l'environnement oasien	26
8.2.1. Dégradation physique	26
8.2.2. Dégradation chimique	27
8.2.3. Dégradation biologique	27
Conclusion	30
Deuxième partie : Etude expérimentale	
Chapitre II. Matériel d'étude	32
1.Choix de la région d'étude	32
1.1. Choix de la palmeraie d'étude	32
1.2. Présentation de la palmeraie	33
1.3. Matériel d'étude	36
Chapitre IV. Méthodes d'étude	37
1. Approche méthodologique	37
1.1. Etude des contraintes hydro-halomorphe et mécanique	39
1.1.1. Echantillonnage dans l'espace oasien	39
1.1.2. Étude édaphique	40
1.1.3. Étude hydrique	41
1.1.4. Étude de la formation des croûtes gypseuses	41
1.1.4. Méthode d'élaboration des cartes thématique	41
1.2. Étude de l'effet de l'irrigation et de la nappe phréatique sur la dynamique des	sels42
1.2.1. Échantillonnage du sol	43
2. Paramètres analysés	44
2.1. Mesure de la conductivité électrique du sol	44
2.2. Mesure du pH du sol	44
3. Analyse statistique	44
Chapitre IV : Etude spatio-temporelle de l'environnement hydro-édaphique	46
Introduction	46

1. Etude spatio-temporelle de la nappe phréatique	46
1.1. Variation des niveaux phréatiques	46
1.1.1. Variation des niveaux statiques	46
1.1.2. Variation des niveaux piézométriques	52
1.2. Etude qualitative des eaux phréatiques	56
1.2.1 Variation du degré de salinité	57
1.2.2. pHn des eaux phréatiques	61
2. Etude spatio-temporelle de l'environnement édaphique	62
2.1. Variation des niveaux de la croûte gypseuse	62
2.2. Salinisation du sol	66
2.2.1. Variation de degré de salinité	67
2.2.2. Dynamique des sels	77
Conclusion	82
Chapitre V. Effet des paramètres hydrique sur la salinité du sol	83
Introduction	83
1. Caractérisation des sites de l'étude	83
1.1. Jardin N°1	83
1.2. Jardin N°2	84
1.3. Jardin N° 3	84
1.4. Jardin N° 4	84
1.5. Jardin N° 5	84
2.Effet de la nappe phréatique et de la dose d'irrigation sur la salinité du sol	85
3. Efficacité de l'irrigation	87
Conclusion	91
Références bibliographiques	95
Annexe	107

Introduction générale

Introduction générale

La salinité compte parmi les problèmes majeurs qui affectent les sols et les eaux dans beaucoup de pays du monde (SZABOLOCS, 1979). C'est l'un des principaux facteurs abiotiques qui limitent le rendement agricole (ZID et GRIGNON., 1991; ZHU., 2001) et la productivité végétale (AL-KARAKI, 2000; BAATOUR *et al.*, 2004). Sachant que les terres cultivées dans le monde sont estimées à environ 1556 millions d'hectares (FAO, 2011), la salinité est d'une grande ampleur. En effet, chaque année, les surfaces perdues dans le monde, à cause de la salinité des sols, tournent autour de 20 millions d'ha. Ces dernières sont passées de 48 à 265 millions d'hectares de terres agricoles touchées par la salinité. CHEVERRY (1995) estime que les surfaces agricoles affectées dans le monde sont de 340 millions d'ha, soit 23% des terres cultivées. Selon SZABOLCS (1994), un milliard d'hectares est menacé.

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

D'après l'Institut National des Sols, de l'Irrigation et du Drainage, le problème de la salinité des sols en Algérie touche une grande partie des terres agricoles avec des degrés différents. Une étude réalisée dans les hauts plateaux « steppe », l'Ouest et le Sud algérien a montré l'existence de superficies affectées par la salinité, de l'ordre d'un million, 400 000 et 100 000 hectares, respectivement (INSID, 2016). Une étude rapporte qu'en Algérie, les terres irriguées, dégradées par la salinisation représentent environ 10 à 15 % des périmètres irrigués (HAMDY *et al.*, 1995 in CHEVERY et ROBERT, 1998). Les eaux d'irrigation dans le Sahara algérien contiennent des quantités excessives de sels solubles. Ces sels se concentrent dans la zone racinaire et provoquent la salinité des sols (DAOUD et HALITIM ,1994).

Dans le Sahara algérien, le palmier dattier occupe une place primordiale dans l'agrosystème oasien. En plus des dattes, il offre d'autres produits alimentaires (vinaigre, acides organiques, sirop...etc.) et sous-produits à multiples usages (poutres, couffins, nattes...etc.). Il offre en plus, un microclimat favorable au développement des cultures maraichères sous-jacentes et de certaines espèces fruitières (grenadier, figuier, olivier...etc.). Le patrimoine phoenicicole algérien est ancestrale. Il continue jusqu'à l'heure actuelle à être menacé par plusieurs contraintes environnementales, agricoles et socio-économiques.

En effet, dans les oasis du Sahara septentrionale, les contraintes, abiotique, biotique et anthropique ont conduit à une baisse de rendement, à l'érosion génétique, allant jusqu'au dépérissement des palmiers dattier sensible à la dégradation environnementale notamment hydro-édaphique. Cette dernière situation a été constatée dans les wilayates de Ghardaia, Ouargla, Biskra et El oued (DUTIL, 1971; DADDI BOUHOUN, 1997; HAMDI AISSA, 2001; SAKER, 2000; DADDI BOUHOUN, 2010; DAKHIA et al., 2013).

La cuvette de Ouargla compte parmi les régions sahariennes confrontées à ces innombrables problèmes environnementaux et hydro-édaphiques qui touchent principalement le système agraire des palmeraies. Les principales contraintes qui ont conduit à l'érosion du palmier dattier dans les palmeraies traditionnelles sont la salinisation du sol et la remontée des eaux phréatiques salées. Cette situation a été signalée particulièrement par IDDER (2007); DADDI BOUHOUN et al. (2013); IDDER et al (2014); SIBOUKEUR (2016); FACI et al., (2017); RECIOUI (2020). Certains travaux ont adopté une approche globale par laquelle ils ont étudié la dégradation spatiale de l'environnement du sol dans la cuvette de Ouargla. Néanmoins, les études spatio-temporelles dans les palmeraies traditionnelles à l'échelle globale de la cuvette, comme celle entamée par RECIOUI (2020), restent minimes.

Toutefois, les études à l'échelle du fonctionnement locale oasien sont rares voire inexistantes au ksar de Ouargla. Ces études peuvent mettre en évidence l'impact anthropique de gestion locale dans le niveau de dégradation environnementale des oasis de Ouargla. C'est dans ce contexte que s'intègre la présente étude. Elle vise à estimer la variation du niveau de salinisation de l'environnement hydro-édaphique oasien à l'échelle locale du Ksar par une approche méthodologique qui permet de diagnostiquer l'état spatio-temporel saisonnier de la salinisation globale et d'étudier l'impact de la gestion traditionnelle de l'irrigation sur l'halomorphie.

Notre travail de thèse comporte trois parties principales, à savoir :

- **1.Synthèse bibliographique :** présentant la région d'étude, particulièrement ses potentialités environnementales ainsi que la problématique posée ;
- **2.Matériel et méthodes :** exposant les motifs du choix de la cuvette de Ouargla, de la palmeraie du Ksar et des sites expérimentaux ainsi que l'approche méthodologie adoptée ;

3.Résultats et discussion : dévoilant et interprétant les résultats relatifs à l'étude saisonnière des contraintes hydro-halomorphe et mécanique et à l'étude de l'effet de l'irrigation et de la nappe phréatique sur la dynamique des sels.

Première partie : Cadre de l'étude et Problématique

Introduction

La synthèse bibliographique des données sur la cuvette de Ouargla vont nous permettre de définir le cadre régional de notre étude et les conditions qui favorisent la salinisation de l'environnement.

Les résultats de recherche sur l'hydro-halomorphie nous aiderons à définir la problématique de salinisation posé à l'échelle des oasis de Ouargla. Également, montrer l'importance de l'étude spatio-temporelle de la salinisation de l'environnement hydro-édaphique dans l'oasis du ksar de Ouargla.

1. Situation géographique

Ouargla (la wilaya de Ouargla) fait partie du grand ensemble nommé le Bas-Sahara (Fig.1). La partie la plus active du Sahara, puisqu'il regroupe, en plus des gisements du gaz et de pétrole, les 2/3 des palmeraies et 2/3 des habitants du territoire saharien (CÔTE, 2005). Ce grand ensemble est individualisé en quatre pays distincts du Nord au Sud comme suit : les Ziban, l'Oued Righ, le Souf et le pays de Ouargla (SALHI, 2017).

Ouargla occupe, à elle seule, 71,13% de la superficie totale du territoire du Bas Sahara et représente 24% de sa population (SALHI, 2017). Ouargla, une des villes les plus anciennes du Sahara, doit son rôle historique et son importance actuelle à sa situation remarquable, reliant Nord et Sud saharien, entre le Grand Erg Occidental et le Grand Erg Oriental (CHAOUCHE-BENCHERIF, 2007). En plus de ça d'après SENNOUSSI (1999) Ouargla occupe un rôle stratégique qui a été impulsé par deux principales raisons : la volonté politique de faire de Ouargla le pôle de la moitié Est du Sahara, et les retombées de l'activité pétrolière de Hassi Messaoud et des gisements de la région.

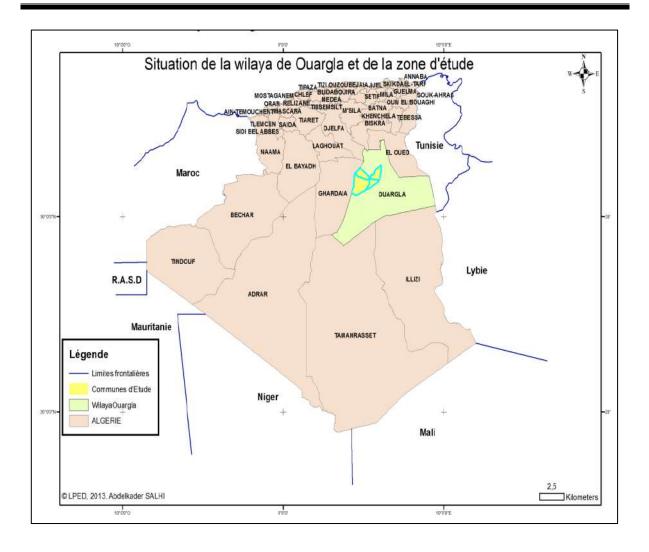


Figure 1. Situation de la wilaya de Ouargla (SALHI, 2017)

La cuvette de Ouargla est située dans la wilaya de Ouargla, Elle inclut les agglomérations de Ouargla, N'Goussa, Rouissat, Aïn El Beïda et Sidi Khouiled (Fig. 2). Elle s'étend sur une superficie de 99000 Hectare ; avec une longueur de 45 km dans la direction Sud-ouest, Nord-est et une largeur de 2 à 5 km, 32° de l'altitude Nord et 5°20′ de longitude Ouest (DJIDEL, 2008).

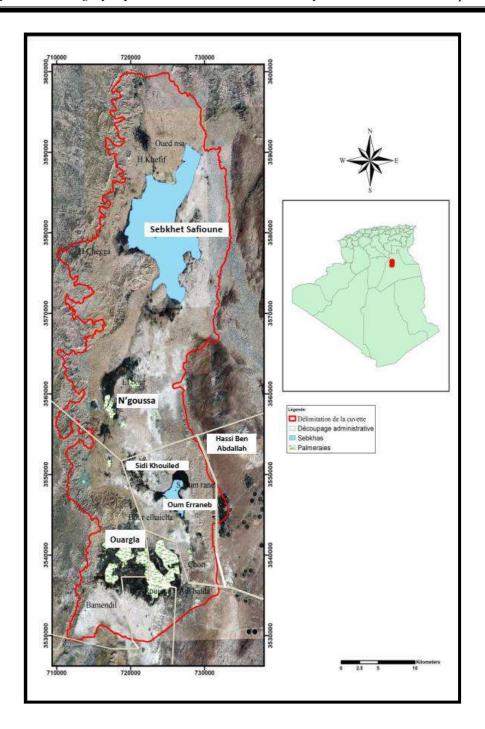


Figure 2. Localisation de la cuvette de Ouargla (RECIOUI, 2020)

La cuvette de Ouargla est limitée :

- •Au Nord par Sebkhet Safioune;
- •À l'Est par les ergs de Touil et Arifdji;
- •Au Sud par les dunes de Sedrata ;
- •À l'Ouest par le versant Est de la dorsale du M'Zab.

2. Climat

D'après DUBIEF (1959) et DUBIEF (1963), Ouargla présente un climat désertique avec un hiver froid et un été chaud. En effet, ROUVILLOIS-BRIGOL (1975) décrive qu'à Ouargla l'aridité s'exprime non seulement par des températures élevées en été et par la faiblesse des précipitations, mais surtout par l'importance de l'évaporation due à la sécheresse de l'air. Nous avons exploité les données climatiques de la station météorologique de Ouargla, de la période s'étalant entre 2002 et 2019 afin de caractériser le climat de la région (Annexe 1).

2.1. Températures

La région de Ouargla est caractérisée par de faibles températures hivernales et des températures estivales élevées accompagnées d'une forte amplitude thermique (Fig.3) ce qui constitue l'une des caractéristiques climatiques de la région. La région de Ouargla est subdivisée en deux périodes :

- •Une première est relativement froide allant du mois de novembre au mois d'avril, avec une température minimale de 4,96°C en janvier et un maximum de 29,13°C en avril (Annexe 1).
- •Une seconde période chaude du mois de mai au mois d'octobre, avec une température minimale de 18,36°C en octobre et un maximum de 43,25°C en avril (Annexe 1).

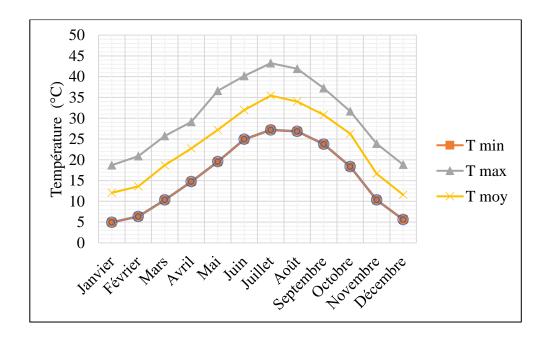


Figure 3. Variation mensuelle des températures moyennes entre 2002 – 2019

D'après GAUCHER et BURDIN (1974), des températures élevées permettent d'augmenter rapidement la solubilité de certains sels tandis qu'elles influent peu pour d'autres.

2.2. Précipitations

Les précipitations sont très rares et irrégulières mensuellement et annuellement (Annexe 1), avec un maximum annuel au mois d'octobre de 8,22 mm et un minimum de 0,05 mm en juillet (Fig.4). Le cumul des précipitations moyennes annuelles enregistré sur 10 ans (2002-2019) est de 42,11 mm (Annexe 1).

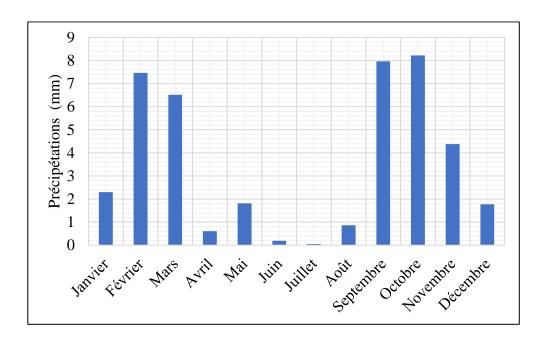


Figure 4. Variation mensuelle des précipitations moyennes entre 2002 – 2019

2.3. Vents

Les vents dans la région de Ouargla soufflent pendant toute l'année avec des vitesses variables, allant de 2,60 m/s en septembre à 13 m/s en juin (Fig.5), avec une moyenne annuelle de 9,41 m/s. Ces vents de la région de Ouargla peuvent produire une érosion éolienne grâce aux particules sableuses qu'il transporte en contrepartie des dépôts également importants qui se transforment en dune de sable (Annexe 1).

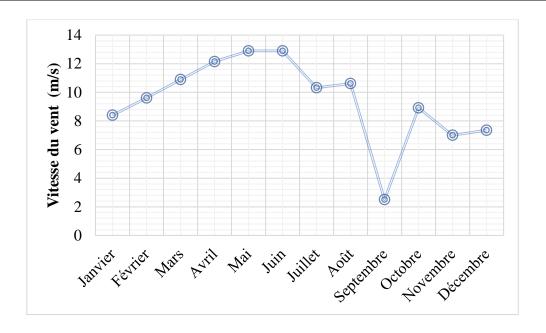


Figure 5. Variation mensuelle de la vitesse moyenne de vent entre 2002 - 2019

2.4. Humidité relative de l'air

L'humidité de l'air est la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air atmosphérique, Elle est représentée par le rapport entre la tension de la vapeur d'eau « e » et la tension maximale de la vapeur d'eau (ew) à une température donnée (DJIDEL, 2008), L'humidité relative de l'air la région de Ouargla est très faible. Elle est de l'ordre de 21,45 % en juillet, atteignant un maximum de 58,39 % au mois de décembre (Fig.6), avec une moyenne annuelle de 38,68% (Annexe 1).

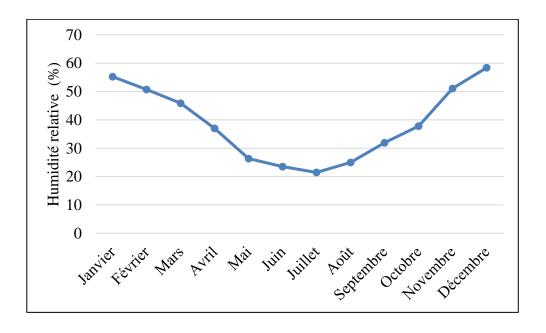


Figure 6. Variation mensuelle de l'humidité relative moyenne de vent entre 2002 – 2019

2.5. Evaporation

La région de Ouargla est caractérisée par une évaporation importante avec une moyenne annuelle de 248,85 mm (Annexe 1), et un maximum mensuel de 496,84 mm en août et un minimum mensuel de 19,95 mm en janvier (Fig.7).

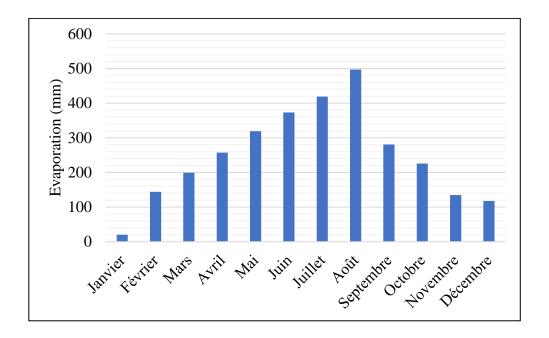


Figure 7. Variation mensuelle de l'évaporation moyenne de vent entre 2002 – 2019

2.6. Insolation

La durée moyenne annuelle de l'insolation (I) est de 229,91 heures avec un maximum de 272,83 heures en août et un minimum de 189,53 heures en décembre (Fig.8).

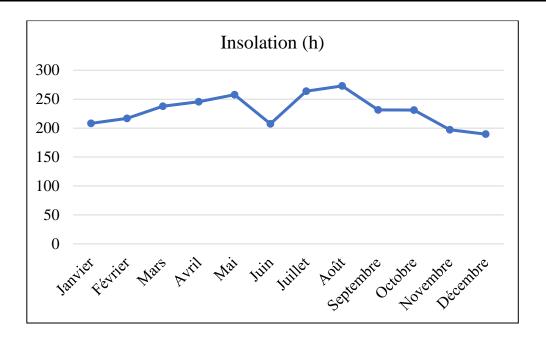


Figure 8. Variation mensuelle de l'insolation moyenne de vent entre 2002 – 2019

2.7. Classification bioclimatique

Nous avons utilisé le diagramme ombrothermique de GAUSSEN afin d'illustré le degré d'aridité et le climagramme d'EMBERGER pour déterminer l'étage bioclimatique de la région de Ouargla.

Le diagramme ombrothermique de Gaussen (1953) consiste à placer en abscisse les mois, en ordonnée les températures (à gauche) et les précipitations (à droite) avec l'échelle P (mm) = 2T (°C).

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN montre que la durée de la période sèche à Ouargla s'étale durant toute l'année, à cause des faibles précipitations et des températures élevées (Fig.9).

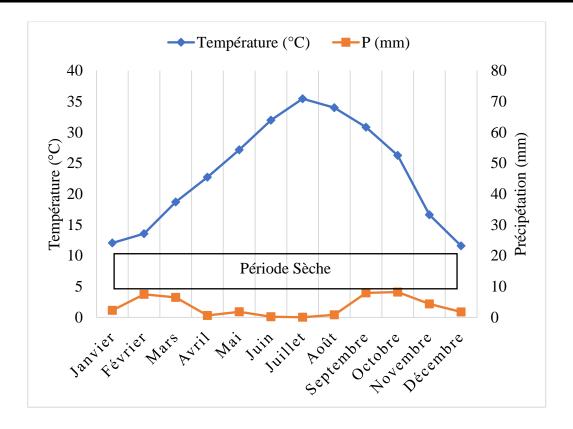


Figure 9. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN de Ouargla (2002-2019)

Le climagramme d'EMBERGER (1971) qui propose un quotient pluviothermique $Q2 = 2000 \ P / M^2$ - m^2 pour l'analyse des formes climatiques méditerranéennes, partant du principe que les précipitations annuelle (P) sont le moyen le plus simple pour caractériser la sécheresse, et que la vie végétale se déroule entre deux pôles thermiques ; la moyenne des maximums du mois le plus chaud (M) et la moyenne des minimums du mois le plus froid (m) (FLORET et PONTANIER, 1984), STEWART (1969 in SLIMANI, 2006) a montré que pour l'Algérie et le Maroc, la dernière formule pouvait être simplifiée pour s'écrire :

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

P: Cumul des précipitations moyennes annuelles en mm;

M : Moyenne des températures maximales quotidiennes du mois le plus chaud en °C ;

m : Moyenne des températures minimales quotidiennes du mois le plus froid en °C ;

Le quotient thermique (Q3) est de 3,77, donc Ouargla est caractérisé par un bioclimat hyperaride (saharien) à hivers doux (Fig. 10).

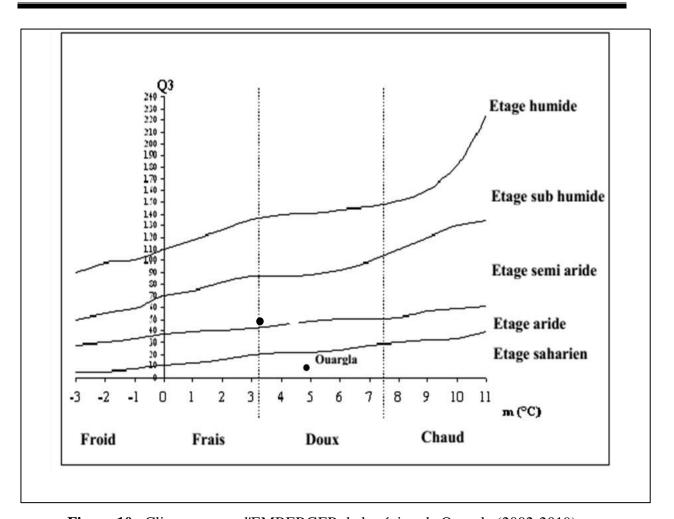


Figure 10. Climagramme d'EMBERGER de la région de Ouargla (2002-2019)

3. Géomorphologie

La cuvette de Ouargla ainsi que l'ensemble du Bas-Sahara est constitué de formations sédimentaires (HAMDI AISSA, 2001).

3.1. Plateau

La région de Ouargla se trouve encaissée au fond d'une cuvette très large de la basse vallée de l'oued Mya (Fig.11). Cette dernière est mise en évidence par une dissymétrie marquée par la présence d'une falaise gréseuse occidentale (le Baten), particulièrement nette et continue, avec une pente très abrupte, tandis que la limite orientale est imprécise (NEZLI, 2004),

A l'Ouest, la vallée est limitée par le plateau de la Hamada Pliocène de 200 à 250 m d'altitude, appelé localement « plateau des Ganntra ». Il s'abaisse dans le paysage une série de buttes témoins (HAMDI AISSA, 2001).

3.2. Glacis

Le versant ouest de la cuvette présente quatre niveaux étagés de glacis caractéristiques (Fig.11), dont le plus ancien recoupe le sommet de la bordure du plateau en buttes ; sa couverture très caractéristique est une croûte gypso-calcaire épaisse de 1,5 m ; son altitude s'abaisse de 225 m à l'Ouest jusqu'à 200 m environ à l'Est (HAMDI AISSA, 2001).

Les glacis de 180 et de 160 m très visibles se caractérisent par l'affleurement du substrat gréseux du Mio-Pliocène. La pente de ce substrat est faible, et est souvent recouverte de sables et de graviers (CÔTE, 1998 in HAMDI AISSA, 2001 ; HAMDI AISSA *et al*, 2000 in HAMDI AISSA, 2001 ; NEZLI, 2004).

3.3. Chotts et Sebkhas

Les formations quaternaires occupent généralement les points bas des grands bassins sédimentaires et forment des zones appelées en terme arabe "Sebkhas" et "Chotts" (Fig.11). Une Sebkha désigne un bas fond fermé et stérilisé par l'accumulation des sels, tandis qu'un Chott, est une zone plus étendue, entourant une Sebkha. Ce sont donc des surfaces d'évaporation et d'exutoire dans lesquelles aboutissent des cours d'eau (NEZLI, 2004).

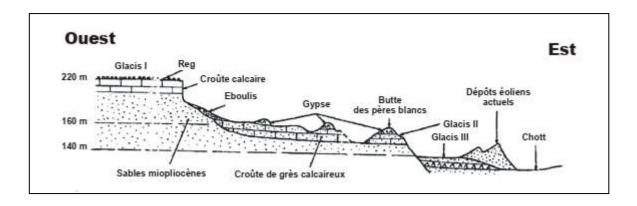


Figure 11. Coupe géomorphologique schématique de la Vallée de l'Oued Mya d'après LELIEVRE (1969) in NEZLI (2004)

4. Géologie

La géologie de la région (Fig.12) est caractérisée par des formations sédimentaires, qui sont accumulées, avec le temps, dans la cuvette, particulièrement le Continental Intercalaire, qui est formé d'une série gréseuse dont l'épaisseur atteint 2000 m. Cette série détritique forme

un important aquifère de 400 m d'épaisseur, reposant sur un substratum correspondant à la série imperméable du cénomanien anhydrite argileux (DUTIL, 1971).

Les crétacés moyen et supérieur se caractérisent par la mise en place des marnes calcaires au cénomanien et des calcaires fissurés au turonien. Ce dernier constitue un aquifère (DUTIL, 1971). Ces deux couches jouent un rôle fondamental dans le paysage morphologique de la région. La superposition de la couche résistante, calcaire du turonien, sur les assises tendres du cénomanien donne des formes plus rigoureuses aux extrémités du PLATEAU (AUMASSIP *et al.*, 1972). Au tertiaire, la mer se retirant définitivement a laissé des bras de mer, lagune et lacs (DUTIL, 1971). La mio-pliocène repose, quant à lui, en discordance sur le sénonien. Il est constitué d'une alternance d'argiles et de sables où l'on constate deux niveaux perméables séparés par une couche d'argiles. Le quaternaire se caractérise par des affleurements d'alluvions récents et des dépôts sableux (AUMASSIP *et al.*, 1972).

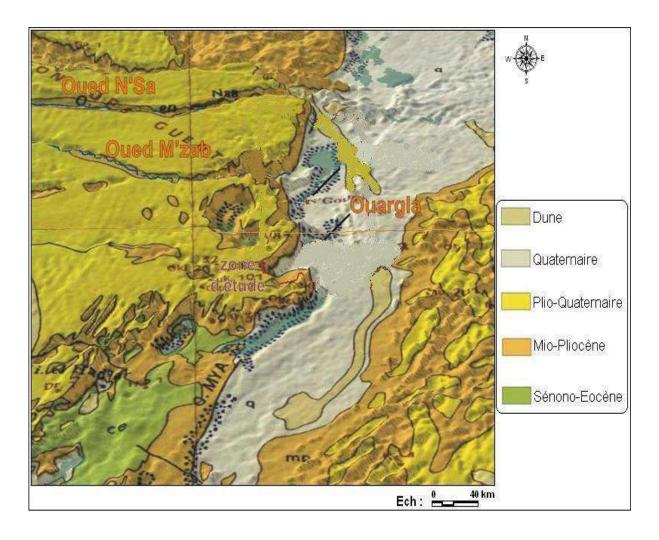


Figure 12. Carte géologique de la cuvette de Ouargla (BONNARD et GARDEL, 2004)

5. Hydrogéologie

La cuvette de Ouargla appartient au Bas-Sahara algérien. Il s'agit d'un immense bassin sédimentaire, en forme de synclinal dissymétrique, particulièrement bien doté en couches perméables favorables à la circulation souterraine des eaux. Certaines, recouvertes de terrains imperméables, assurent l'existence de nappes captives alors que d'autres, situées au sommet des dépôts et sans couverture étanche, permettent la formation de nappes phréatiques (BONNARD et GARDEL, 2002).

Le bassin du Sahara septentrional (Fig.13) constitue un grand bassin hydrogéologique de 780 000 Km² qui se prolonge en Tunisie et en Libye, d'une épaisseur de 4000 à 5000 mètres environ (NEZLI, 2004; HAMDI-AISSA, 2001). Deux ensembles aquifères séparés par d'épaisses séries évaporitiques ou argileuses de la base du crétacé supérieur : l'ensemble inférieur appelé le complexe Intercalaire (CI) ou "Albien" et l'ensemble terminal « CT » (Fig.13).

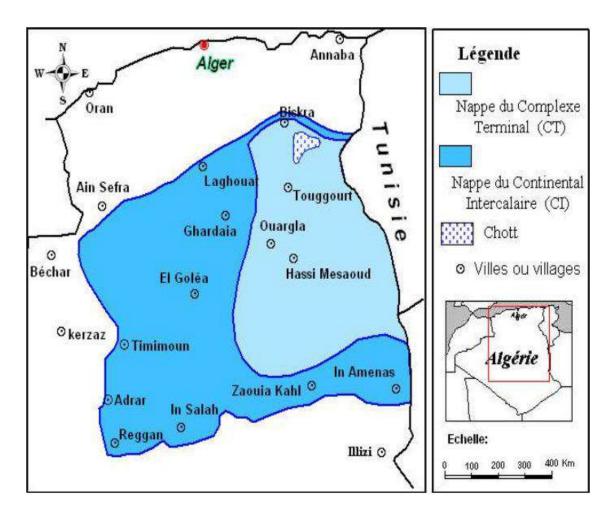


Figure 13. Carte des ressources en eaux souterraines (UNESCO, 1972)

5.1. Nappe du continental intercalaire

L'exploitation de cette nappe à Ouargla remonte à 1960 avec des forages de reconnaissances, et depuis les prélèvements sont en multiplication. Elle est située à une profondeur de 1100 à 1400 mètres, avec une épaisseur utile près de 640 mètres (Fig.14). Elle affleure au Sud-Ouest algérien où depuis longtemps on exploite l'eau par les foggaras de Gourara, du Touat et du Tidikelt (DUBOST, 1992). La nappe devient artésienne et dépasse 1500 m de profondeur au Nord-Est, à Oued Righ et aux Ziban (NESSON, 1978). La nappe est jaillissante et exploitée principalement par des forages destinés à l'A.E.P. Le premier forage d'exploitation est creusé à El Hadeb à l'Est de la région, à une profondeur de 1343 mètres et une température de 51 °C, avec un débit aux essais : 330 l/s (PILLET et IDDER, 1995 ; HAMDI AISSA, 2001 ; NEZLI, 2004). Les forages ont un débit qui oscille entre 250 à 400 l/s (HAMDI AISSA, 2001). Les eaux présentent une teneur nulle en nitrates par rapport à celle du complexe terminal, comprise entre 15 à 47 mg.l⁻¹. La salinité des eaux albiennes oscille entre 1,6 et 3 g.l⁻¹ (A.N.R.H., 2000).

5.2. Nappe du complexe terminal

Le Complexe Terminal (CT) alimente les palmeraies du Bas-Sahara, aux Ziban, Oued Rhir, Oued Souf et Ouargla. Il couvre 350000 km² du bassin oriental du Sahara septentrional (HAMDI-AISSA, 2001). D'après DURAND et GUYOT (1955) les aquifères de CT sont les plus exploitées (Fig.14). Le complexe terminal est représenté par deux aquifères à Ouargla. La première est contenue dans les sables du Miopliocène, à une profondeur qui varie entre 30 et 65 m; et la deuxième, c'est le Sénonien qui se trouve à une profondeur d'environ 200 m (ROUVILLOIS-BRIGOL 1975). L'épaisseur de ces formations géologiques consécutivement de 87 m et 159 m (KARPOFF, 1952). L'écoulement de ces deux aquifères s'effectue du Sud-Ouest vers le Nord-Est (IDDER, 1998 in IDDER, 2005). La première nappe utilisée à Ouargla après les puits artésiens fut celle du Miopliocène en 1883 à une profondeur de 30-60 m (PILLET et IDDER, 1995). Elle s'écoule du Sud-Ouest vers le Nord-Est. La salinité de cette nappe varie de 1,8 à 4,6 g.l⁻¹ (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975). La nappe du Sénonien fut exploitée pour la première fois en 1953 à Mekhadma, à une profondeur de 150-195 m. Elle présente un débit et une salinité plus faibles par rapport au Miopliocène (PILLET et IDDER, 1995; A.N.R.H., 2004).

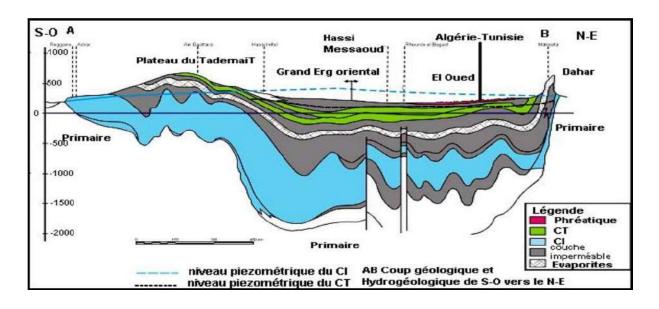


Figure 14. Coupe hydrogéologique du système aquifère ci et ct du Sahara septentrional (UNESCO, 1972)

5.3. Nappe phréatique

La remontée et la salinité des eaux de la nappe phréatique de Ouargla, comme d'ailleurs dans la majorité des régions du bassin oriental du Bas-Sahara, ont fait l'objet d'un bon nombre de travaux antérieurs (LELIEVRE, 1969 ; ENEGEO, 1990 ; GUENDOUZ et al., 1992 ; HAMDI-AISSA, 2001 ; BONNARD et GARDEL 2002 ; BONNARD et GARDEL, 2003 ; BONNARD et GARDEL, 2004 ; BONNARD et GARDEL, 2005 ; NEZLI, 2004 ; DADDI BOUHOUN, 2010 ; SIBOUKEUR, 2016)

La nappe phréatique de Ouargla repose sur un substrat étanche, imperméable, de plus de 20 m d'épaisseur qui empêche toute communication entre la nappe phréatique et la nappe du Miopliocène sous-jacente (BONNARD et GARDEL, 2003). Cette nappe est essentiellement alimentée par les eaux de drainage de la palmeraie et par les eaux urbaines (IDDER, 1998 in IDDER, 2005).

La nappe phréatique dont le niveau est souvent proche de la surface, parfois moins de 1 m, généralement entre 1 et 2 m, peut dépasser 18 m au sud de Ouargla ou sous les reliefs (BONNARD et GARDEL, 2003). En effet, selon SIBOUKEUR (2016) dans la palmeraie de Ksar de Ouargla la nappe atteint une profondeur très faible de 12 cm (Fig.15). Cette nappe s'écoule du Sud vers le Nord (Fig.16), suivant la pente de la vallée (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975; SIBOUKEUR, 2016).

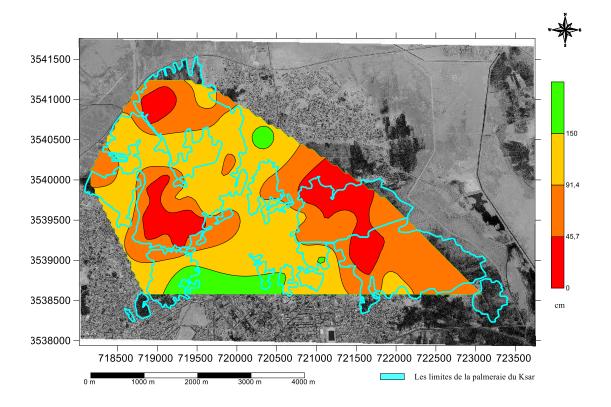


Figure 15. Niveau statique des nappes phréatiques dans les palmeraies du Ksar (SIBOUKEUR, 2016)

Les études effectuées par l'agence nationale des ressources en eau (A.N.R.H., 2001 in DADDI BOUHOUN, 2010), sur quelques piézomètres des palmeraies de la cuvette de Ouargla, montrent que la salinité et le faciès chimique des eaux phréatiques varient au niveau des palmeraies. Les eaux sont excessivement salées dans la palmeraie de Bamendil, du Ksar, de Mékhadma et de Beni Thour, et très excessivement salées à Said Otba.

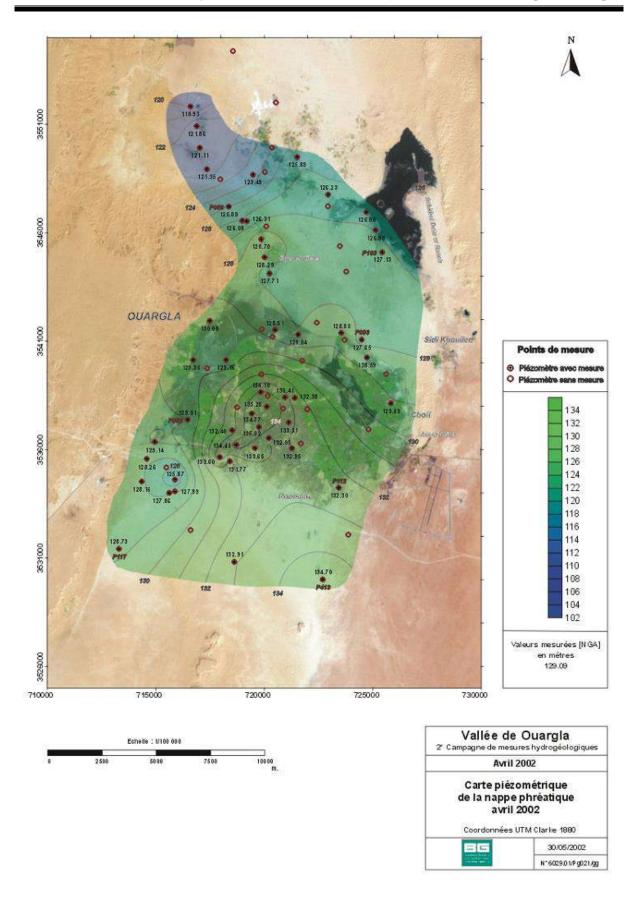


Figure 16. Carte piézométrique de la nappe phréatique en avril 2002 (BONNARD et GARDEL, 2005).

6. Pédologie

Les zones sahariennes sont constituées d'immenses étendues impropres à l'agriculture. Le plus souvent, dans ces régions, on appelle sol agricole, des zones constituées de couches sédimentaires superficielles dont la fertilité et le pouvoir de rétention en éléments fertilisants et en eau sont faibles. Les horizons de surface sont le plus souvent recouverts d'apports sableux éoliens ou sont très argileux ; ou encore encroûtés ou salés. L'agriculture ne peut se pratiquer sans apports fréquents d'éléments fertilisants et d'eau (DJENNANE, 1990).

Sous la palmeraie, les caractéristiques sont imputables au travail humain. En surface, des terres alluviales ou des chotts ; les cultures créent et entretiennent un horizon humifère, parfois important, tandis que l'irrigation joue un rôle complexe, lessivant les terres hautes et bien drainées, mais asphyxiant par ses apports en sels les terres basses des rives des Sebkhas (ROUVILOIS-BRIGOL, 1975).

Ces sols sont caractérisés également par un faible taux de matière organique, une faible teneur en éléments fertilisants et une forte salinité (KHADRAOUI, 2007) ainsi qu'une sodisation des sols (NEZLI et al., 2007). D'après HAMDI-AISSA (2001), les sols dans la cuvette de Ouargla sont à prédominance salsodique, hydro-halomorphe et minéraux bruts (Fig.17).

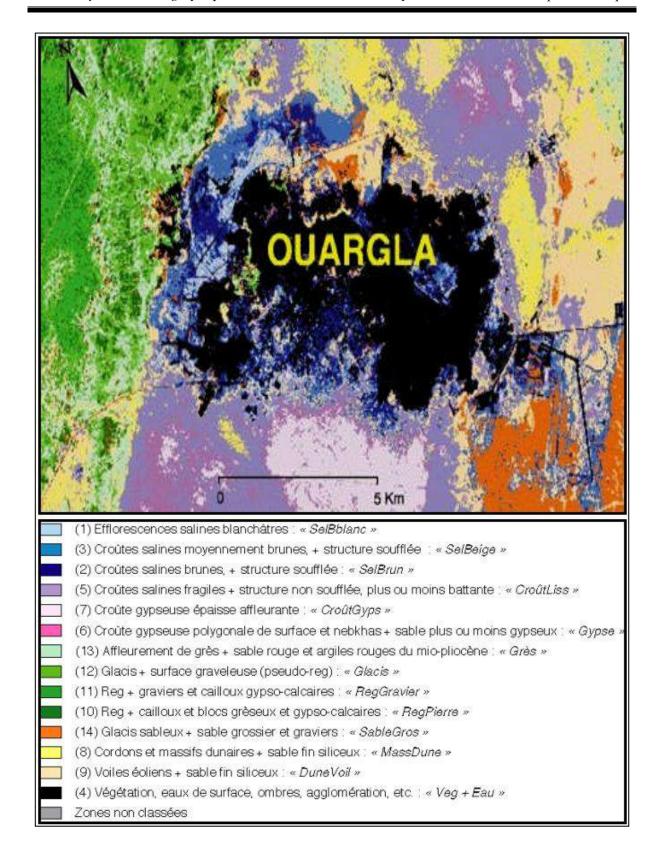


Figure 17. Carte des états de surface des sols à Ouargla (HAMDI-AISSA, 2001)

7. Agriculture

Évoluant dans un environnement climatique et hydraulique sévère, le paysan de cette région a toujours développé un effort pour s'adapter et en tirer un profit maximum des ressources naturelles de son territoire. Les oasis de cette région constituent des formes d'intensification agricole meilleures, puisqu'elles représentent des périmètres agricoles intensivement cultivés dans des régions, où l'agriculture reste aléatoire et peu rentable (CDARS, 2002). Dans la région de Ouargla, l'agriculture est basée essentiellement sur la phœniciculture intercalée dans l'espace par un autre groupe de cultures, grâce au microclimat favorable qu'offre la palmeraie (BAOUIA, 1998 in DADAMOUSSA, 2007). Le palmier dattier occupe une place très importante dans la commune de Ouargla où d'après la DSA (2019), la commune de Ouargla présente un patrimoine phoenicicole qui comprend 295 678 palmiers productifs dans 84 % de la surface agricole utile de la commune soit 2458,8 ha.

L'espace agricole oasien de la région de Ouargla regroupe plusieurs régions homogènes caractérisées essentiellement par deux systèmes agricoles (DADAMOUSSA, 2007)

7.1. Ancien système

L'ancien système agricole ou palmeraies traditionnelles, est en réalité, un ensemble d'exploitations familiales de petite taille, situées près des ksours, où chaque palmeraie porte le nom du ksar avoisinant (ksar de N'gouça, ksar de Adjadja ...etc.). Ces palmeraies ont formé un modèle agricole d'autosubsistance afin d'assurer en premier lieu, la survie de l'exploitant et sa famille; mais loin d'être destinée à produire des surplus commerciaux (BEDDA, 1995 in FACI, 2016). Dans ce système, on peut trouver essentiellement le palmier dattier avec des cultures sous-jacentes associées à un élevage de type familial (DADAMOUSSA, 2007; FACI, 2016).

Environ, la moitié des exploitations cultivent des cultures fourragères (en général la luzerne). Ceci témoigne de la présence d'un élevage familial que l'agriculteur approvisionne et le reste est destiné au marché. Ces fourrages sont aussi destinés à l'alimentation des animaux qu'on utilise comme moyen de transport, et que l'on observe souvent dans la palmeraie et un peu partout dans la ville et sa périphérie. D'autres cultures sont pratiquées : les cultures maraîchères (carottes, oignons, navets, fèves, laitues ...) et des cultures condimentaires : menthe, persil, coriandre, céleri, épinard, ...etc. (BOUAMMAR, 2010).

7.2. Nouveau système

C'est un système issu de la nouvelle dynamique agricole dans les régions sahariennes suite à l'application de la loi 83/18, portant APFA et la loi de mise en valeur agricole par le biais de la concession. Toutes les communes de la région de Ouargla ont bénéficié de ces programmes à des niveaux différents (DADAMOUSSA, 2007). Il est constaté que le système oasien moderne est monovariétal, ou bien avec un nombre très restreint des principaux cultivars de la région d'implantation du périmètre (DJERBI, 1994; DADAMOUSSA et *al.*, 2015; BELAROUSSI, 2019).

8. Salinisation de l'espace oasien

L'environnement hydro-édaphique dans cuvette de Ouargla est confronté à de nombreuses contraintes qui ont conduit à sa dégradation.

8.1. Causes de la dégradation de l'espace oasien

Selon DADDI BOUHOUN (2010), l'environnement hydro-édaphique dans les oasis change en fonction des facteurs internes et externes. Les facteurs internes sont conditionnés par la conduite de la phoeniciculture dans les palmeraies, notamment la conduite du sol et de l'irrigation-drainage. Les facteurs externes sont conditionnés par la gestion des eaux et des sols à l'échelle régionale, notamment au niveau des aménagements hydro-agricoles et de la lutte contre la désertification.

La dégradation hydro-édaphique de l'environnement, au niveau des oasis, varie en fonction de l'origine du problème. Au Sahara algérien, les problèmes recensés ces dernières années, sont principalement la remontée des eaux phréatiques et la salinisation des sols (DUBOST et al., 1983; DUBOST, 1991; SAKER, 2000; HAMDI-AÏSSA, 2001: DADDI BOUHOUN, 2010, SIBOUKEUR, 2016; MEISSA, 2016; KOUZRIT, 2016)

8.1.1. Remontée de la nappe phréatique

De nombreuses études réalisées dans la région de Ouargla, se sont intéressées à la nappe phréatique, source principale des sels, pour étudier son origine, sa qualité et sa fluctuation piézométrique (CÔTE, 1998; NEZLI, 2004; TABOUCHE et ACHOUR, 2004; NEZLI *et al.*, 2007; DJIDEL, 2008; IDDER, 2007). Selon DJIDEL (2008) et NEZLI (2004), les eaux

phréatiques de la cuvette de Ouargla présentent une pollution minérale très marquée surtout au niveau des chotts et des sebkhas.

La remontée des eaux phréatiques dans les régions du Sud-Est algérien est due à différentes causes, d'ordre naturel et/ou anthropique. Il s'agit principalement de la mauvaise gestion des eaux usées et agricoles, jumelée à une prédisposition hydrogéologique et topographique non favorable (DUBOST et al., 1983; DUBOST, 1991; SAKER, 2000; HAMDI-AÏSSA, 2001).

NEZLI (2004) rapporte que les eaux phréatiques, d'origine urbaines et agricoles, maintiennent des niveaux piézométriques très élevés par rapport à la morphologie du terrain (remontée de la nappe) et perturbent sérieusement l'environnement de la cuvette de Ouargla. La nappe phréatique s'écoule selon le même auteur vers le Nord de la vallée de Ouargla, où se situe la Sebkha de Sefioune, un exutoire naturel avec un gradient hydraulique de l'ordre de 0.85 ‰.

8.1.2. Salinisation des sols

L'origine de la salinité des sols est multiple. Elle peut être divisée en deux :

- salinité d'origine primaire, de type marin, volcanique et géologique (GAUCHER et BURDIN, 1974) ;
- salinité d'origine secondaire causée par les eaux d'irrigation salées (CHERBUY, 1991), une mauvaise conduite de l'irrigation-drainage (CHERBUY, 1991), et un excès de fertilisation minérale (ARAGUES, 1983).

La dégradation édaphique des sols oasiens est un sérieux problème environnemental et économique. En effet, ce problème est l'une des principales contraintes ayant conduit à des pertes considérables en sols arables. Selon DADDI BOUHOUN *et al.* (2013) et SIBOUKEUR (2016), le faible niveau statique et la forte salinité des eaux phréatiques constituent les deux contraintes majeures qui contribuent à la salinisation du sol et à la formation de la croûte gypseuses dans la cuvette de Ouargla. En outre, la mauvaise conduite culturale et la gestion irrationnelle de l'irrigation-drainage aggravent la situation dans la cuvette de Ouargla (DADDI BOUHOUN *et al.*, 2013; SIBOUKEUR, 2016).

8.2. Dégradation de l'environnement oasien

D'après DJERBI (1994), la dégradation dans les oasis, des conditions hydroédaphiques, par salinisation du sol et remontée des eaux phréatiques saline, influe d'une manière négative sur le sol et sur le palmier dattier. La remontée des eaux phréatiques salines dans ces agrosystèmes, génère des conséquences néfastes sur le sol (DJERBI, 1994). Ces dernières peuvent être d'ordre physique, chimique et biologique.

8.2.1. Dégradation physique

Les problèmes d'ordre physique sont l'instabilité structurale et la réduction de l'aération des sols (Hydromorphie). Un excès en sodium échangeable couplé à des valeurs de pH élevées rend l'argile dispersée et provoquent une instabilité structurale du sol (MAILLARD, 2001). La pauvreté en oxygène dans les sols produit l'asphyxie et la pourriture racinaire chez les végétaux (CALLOT *et al.*, 1982). D'après DUBOST *et al.* (1983), l'élévation du niveau de la nappe phréatique augmente l'évaporation des eaux phréatiques et les dépôts salins dans le sol. Une étude conduite par une mission soviétique, entre 1964 et 1969 à Sidi Mahdi a montré que les dépôts salins à la surface des sols augmentaient avec la diminution de la profondeur de la nappe phréatique.

Lorsque la teneur en sels croit, le potentiel osmotique de la solution du sol est modifié (CHEVERRY *et al.*, 1996). Selon SONG *et al* (2005), plus elle est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile pour les racines d'extraire l'eau de la réserve du sol, ce qui en résulte un ralentissement de leur croissance. D'après CHINNUSAMY *et al* (2004), la teneur en eau du sol est responsable de la concentration en sels qui augmente avec le desséchement; c'est pourquoi l'excès de sels qui affecte les plantes est atteint beaucoup plus rapidement dans un sol sableux que dans un sol argileux qui piège les ions Na⁺ via les charges négatives de l'argile (CHINNUSAMY *et al*, 2004).

Lorsque le sodium domine dans l'eau, le sol est floculé. Quand le sodium est abondant surtout sur l'argile, le sol a une forte tendance à la dispersion (LEGROS, 2009).

En particulier, quand la concentration en sodium diminue dans l'eau d'imbibition, en relation avec une irrigation à l'eau pure, les ions sodium du milieu extérieur disparaissent. Ceux qui sont accrochés à l'argile y restent et s'hydratent; ils s'entourent d'une fine couche d'eau à l'échelle moléculaire. Cela sert de lubrifiant. Chaque particule se met à flotter dans ce manteau

hydrique, indépendamment de ses voisines tant et si bien qu'on obtient une sorte de purée qui devient béton quand l'eau s'en va (LEGROS, 2009).

8.2.2. Dégradation chimique

Une étude menée par IDDER *et al.* (2014) sur l'accumulation et la compartimentation des sels dans les sols dans la cuvette de Ouargla a révélé que la composante ionique sur les profils étudiés est visiblement déséquilibrée au profit des ions chlorures, sulfate et sodium. Il en résulte une présence massive de sels formés à partir des ions susmentionnés, essentiellement le NaCl et le Na₂SO₄, très nocifs pour le sol à cause de leur extrême solubilité.

L'action néfaste des nappes superficielles sur les propriétés chimiques du sol se traduit par deux phénomènes. Le premier consiste en la modification des formes de fer et magnésium notamment la réduction des oxydes ferriques, en faisant apparaître des tâches verdâtres de gley (DUBOST, 1991). Le deuxième consiste en des accumulations gypseuses ; la remontée des nappes phréatiques chargées en sels, dans les climats hyper-arides, favorisant l'accumulation du gypse (DURAND, 1958). Il a été observé que les sols des zones de nappes peu profondes, présentaient des accumulations gypseuses, gypso-salines et gypso-calcaires (DUTIL, 1971 ; SAKER, 2000 ; HAMDI-AÏSSA, 2001).

L'action du sodium sur les propriétés du sol dépend de la nature de l'anion accompagnateur. Il est prouvé que les carbonates ont un effet inhibiteur et que l'action néfaste des sulfates est plus élevée par rapport à celle des chlorures (LONGENECKER, 1959; DARAB, 1965; EL-SWAIFY, 1973; DAOUD et ROBERT, 1989; DAOUD et al., 1993). L'effet du sodium est plus important dans les sols de texture fine (MCNEAL, 1968; PUPISKY et SHAINBERG, 1979), riches en argiles expansibles ou smectites (HALITIM et al., 1984), et pauvres en potassium et en silice soluble (U.S.S.L., 1954). L'humus dans les sols, agit contre l'action du sodium, mais ce dernier inhibe l'activité biologique et présente ainsi une action néfaste sur l'évolution de la matière organique (GOLDBERG et al., 1988; MALLOHI, 1982; MALLOHI et JACQUIN, 1988; MALLOHI, 1989).

8.2.3. Dégradation biologique

La salinité constitue un facteur limitant non négligeable pour l'agriculture mondiale (HILLEL, 2000). Son effet se manifeste généralement chez la plupart des plantes cultivées par une réduction de leur croissance et leur développement (MUNNS *et al.*, 1983).

Cet effet néfaste se traduit par des changements morphologiques, physiologiques, biochimiques et moléculaires qui impactent négativement la croissance et la productivité végétale (ASHRAF et HARRIS, 2004).

Les conséquences d'un stress salin peuvent résulter de trois types d'effets que le sel provoque chez les plantes :

- Le stress hydrique : une forte concentration saline dans le sol est tout d'abord perçue par la plante comme une forte diminution de la disponibilité en eau. Cela nécessite un ajustement osmotique ;
- le stress ionique : en dépit d'un ajustement osmotique correct, la toxicité ionique survient lorsque l'accumulation de sels dans les tissus perturbe l'activité métabolique ;
- le stress nutritionnel : des concentrations salines trop fortes dans le milieu provoquent une altération de la nutrition minérale. En particulier, vis-à-vis des transporteurs ioniques cellulaires, le sodium entre en compétition avec le potassium et le calcium, les chlorures avec les nitrates, les phosphates et les sulfates (PARIDA et DAS, 2005).

Si les sels se trouvent en concentration excessive ou en proportion anormale, ils peuvent affecter la balance nutritionnelle chez les plantes (SNOUSSI et HALITIM, 1998). MAILLARD (2001) affirme qu'un excès d'ions sodique, chlorique et borique peut provoquer une augmentation du pH du sol, ce qui altère le processus d'absorption des ions ferreux, phosphates, zinc et manganèse, indispensables pour la croissance des plantes.

Une carence en certains ions peut provoquer un déficit en N, P, Mo, Cu, Zn, Fe, B, ... etc.) et avoir des conséquences importantes sur le développement des plantes. En revanche, un excès en minéraux Al, Na, Cl, ... etc., peut générer des effets toxiques (MONNEVEUX et THIS ,1997). Une forte concentration des ions Cl⁻ dans la solution de sol peut provoquer une brûlure des extrémités des feuilles et un jaunissement prématuré de celles-ci. Cependant, les symptômes de toxicités typiques aux ions sodium Na⁺ sont des brûlures de feuilles, le dessèchement et la mort des tissus sur les bords externes des feuilles, contrairement aux symptômes causés par des ions Cl⁻ qui apparaissent normalement à l'extrême pointe des feuilles (MAILLARD, 2001).

D'après HAOUALA *et al.* (2007), l'accumulation des ions Na⁺ limite d'une part l'absorption des cations indispensables comme K⁺ et Ca⁺², dans le sens où il y aurait une

compétition entre Na⁺ et Ca⁺² pour les mêmes sites de fixation apoplasmique, d'autre part elle s'accompagne d'une réduction de la concentration en Mg, K, N, P, et Ca dans la plante. Ce déséquilibre nutritionnel qui se manifeste par la carence de quelques ions essentiels comme K⁺, Ca⁺² ou NO³⁻ (facteurs limitants) sera la cause possible de réduction de croissance de la plante (HAOUALA *et al.*, 2007). De leur part, TESTER et DAVENPORT (2003) in JABNOUNE (2008) ajoutent que les effets osmotiques du stress salin peuvent également limiter les possibilités d'absorption des éléments nutritifs du sol et donc entraver la croissance des racines.

8.2.3.1. Effet de la salinité sur la partie végétative

La salinité diminue la croissance végétative (ARMSTRONG, 1960). En Californie, les palmiers dans les parcelles très salées possèdent peu de palmes et peu de régimes et les palmes sont petites et jaunâtres (ARMSTRONG, 1960). Le palmier peut se développer végétativement, sans production, dans des sols qui contiennent jusqu'à 3 à 4 % de sels (AHMED *et al.*, 1979).

HEWITT (1963) a montré que l'irrigation des jeunes palmiers issus de noyaux "Deglet-Nour" par des solutions salées, ont des effets négatifs sur leur croissance. Celle-ci commence à diminuer à partir d'une concentration égale à 10 g.l⁻¹. Elle s'abaisse radicalement à 20 g.l⁻¹ et est bloquée pour les concentrations dépassant 30 à 34 g.l⁻¹.

Les essais réalisés aux U.S.A., sur des palmiers issus de noyaux sur les cultivars "Deglet-Nour" et "Medjhoul" (FURR *et al.*, 1966), et en Egypte sur les cultivars "Sakkoti" et "Baratmuda" (HUSSEIN *et al.*, 1996), montrent que l'augmentation de la salinité des eaux d'irrigation diminue la croissance des palmes. Le pourcentage de croissance des palmes par rapport au témoin, passe de 50 % à 16 %, quand la salinité des eaux d'irrigation passe de 11 à 38 dS.m⁻¹ (FURR *et al.*, 1966), et de 95,4 % à 22,5 % quand la salinité des eaux d'irrigation passe de 5,81 à 29,5 dS.m⁻¹ (HUSSEIN *et al.*, 1996).

Lorsque la concentration des sels dans le sol augmente, la croissance et le poids sec des organes végétatifs des jeunes palmiers dattiers, issus de graines de "Deglet-Nour" et de "Medjhoul" diminuent. Cela est dû essentiellement à la pression osmotique des eaux d'irrigation et à l'accumulation de Cl et Na dans les organes végétatifs (FURR et REAM, 1967).

8.2.3.2. Effet de la salinité sur le système racinaire

Dans les sols où la nappe est proche de la surface, le système racinaire est peu profond et sa croissance est affectée. D'après SIMMONS (1926) l'enracinement du palmier dattier en

Arizona est de 1,2 à 1,5 m de profondeur avant le drainage des sols et avec une nappe peu profonde. Après le rabattement de la nappe phréatique, les racines suivent le niveau de la nappe phréatique pour atteindre 3 à 4 m.

Le contact des racines avec des eaux phréatiques très salées provoque une chute de rendements (DADDI BOUHOUN, 2010). Le drainage devient primordial dans ces conditions (WEEKS, 1957). L'engorgement des sols par l'eau est dangereux au niveau des palmeraies algériennes (DADDI BOUHOUN, 2010). Il crée des conditions d'anaérobiose à l'origine de la nécrose et de la pourriture des racines (DUBOST, 1991).

Des travaux réalisés dans la cuvette de Ouargla ont montré que la densité racinaire diminue au contact de la nappe phréatique et que les racines ne dépassent pas 0,6 m de profondeur (DADDI BOUHOUN et BRINIS, 2006).

8.2.3.3. Effet de la salinité sur la production

Les nappes phréatiques superficielles provoquent un ralentissement de la croissance du palmier dattier (DJERBI, 1994). En effet, le niveau élevé de la nappe phréatique et les eaux de marée augmentent la salinité des sols et diminuent leur aération. Ces problèmes exercent un effet négatif sur la croissance et la production dattière. Celle-ci chute considérablement, pouvant atteindre 5 kg / palmier, dans les sols très salés où le niveau des eaux phréatiques est proche de la surface du sol (FURR, 1975). En Algérie, à Sidi Mahdi, l'accumulation saline a entraîné un jaunissement des palmes, dû à une carence en azote, accentuée par la salinité. Ce mauvais état végétatif, s'accompagne d'une floraison défaillante (40 % d'arbres fleuris) et d'une production moyenne insignifiante de 2 à 3 kg / palmier (DUBOST et al., 1983).

Conclusion

Le cadre régional de notre étude montre l'existence d'une hyperaridité dans la cuvette de Ouargla, qui lui procure un potentiel évaporative important. Dans ses conditions l'irrigation devient obligatoire avec tous les risques de salinisation des sols quel se lève, vue la nature lithologique gypso-calcaire, la charge saline des ressources en eau et le manque d'exutoire naturel pour les eaux de drainage dans la cuvette de Ouargla. Les risques de salinisation s'avèrent concrétisés par la gestion irrationnelle des eaux conventionnelle et non conventionnelle. En définitif la dégradation de l'environnement hydro-édaphique par l'hydro-

halomorphie et d'origine primaire et secondaire à Ouargla. Cela risque de mettre en péril l'agrosystème oasien avec tous les retombés socio-économiques probables.

Les investigations bibliographiques de recherche révèlent un effort dans le domaine de l'étude du fonctionnement agricole oasien, notamment le savoir-faire, et la salinisation de l'environnement dans la cuvette de Ouargla. Toutefois, plusieurs lacunes de recherches subsistent à l'échelle spatiale cuvette-hors cuvette afin de révéler l'ensemble des facteurs naturels et anthropiques de dégradation.

Les études sont en générale d'approche globale et pour cela il est nécessaire d'aborder plus de thématique de recherche spatio-temporelle dans les palmeraies ancestrales, base de système oasien. Les résultats peuvent servir à mettre sur pied un schéma d'aménagement pour la sauvegarde de l'environnement contre l'hydro-halomorphie.

La palmeraie du ksar représente le noyau de l'agrosystème oasien à Ouargla qui risque d'être disloqué par dégradation environnementale et de même pour tout l'agrosystème. La salinisation dans celle-ci semble généralisée où notre recherche spatio-temporelle contribuera à dévoiler les causes et les effets de dégradation hydro-édaphique.

Deuxième partie: Etude expérimentale

Chapitre II. Matériel d'étude

1. Choix de la région d'étude

Notre recherche a été réalisée dans la région de Ouargla à cause de plusieurs critères, à savoir que cette région présente :

- •Une importance socioéconomique et un potentiel phoenicicole relativement important au Sud-Est algérien, couvrant 18 % de la production de cette zone après El Oued et Biskra (BOUGUEDOURA *et al.*, 2015) ;
- •Un dysfonctionnement oasien lié à plusieurs contraintes environnementales, notamment la dégradation des sols et des eaux phréatiques par l'hydro-halomorphie (HAMMDI AISSA, 2001 ; DADDI BOUHOUN, 2010 ; SIBOUKEUR, 2016).
- •Un manque d'études spatio-temporelles sur le fonctionnement de la salinisation primaire et secondaire.

1.1. Choix de la palmeraie d'étude

L'étude de la salinisation de l'environnement oasien a été réalisée dans la palmeraie du ksar (Fig.18), pour plusieurs raisons :

- La palmeraie est antique, présentant un intérêt socio-économique et culturel pour la population locale ;
- L'ancienne oasis traditionnelle est située dans la cuvette de Ouargla où la dégradation hydro-édaphique est maximale, à cause de l'engorgement et de la salinisation ;
- La palmeraie a fait l'objet d'étude spatiale auparavant (SIBOUKEUR, 2016) et cette recherche spatio-temporelle est un complément indispensable pour comprendre le processus de salinisation dans cette région.



Figure 18. Délimitation de la palmeraie de Ouargla (C.D.A.R.S.,2016)

1.2. Présentation de la palmeraie

La palmeraie du ksar est divisée en trois parties : la palmeraie de *Beni Brahim*, celle de *Beni Ouagguine* et celle de *Beni Sissine*, elle-même divisée en deux. Chacune des trois palmeraies se situe en face du « quartier » des habitants de la tribu du même nom (Fig.19).

L'irrigation dans la palmeraie du ksar se fait par submersion. Elle comprend 27 forages (Fig.20) du Mio-pliocène et un forage du Sénonien (D.R.E.W., 2015).

La palmeraie de Ksar est soumise à de nombreuses contraintes d'ordre écologique, hydro-édaphique et anthropologique dont la remontée et la salinité des eaux phréatiques, la mauvaise gestion de l'irrigation-drainage et la formation des croûtes gypseuses, d'origine phréatique. Ces contraintes seraient en grande partie responsables de la dégradation de l'espace oasien de cette palmeraie et de la chute de production de dattes de la région de Ouargla (SIBOUKEUR, 2016). L'avancement de l'urbanisme, le délaissement de l'activité agricole au profit de l'activité administrative et pétrolière et le problème de l'héritage ont conduit aussi à des pertes énormes en terres phoenicicoles dans la palmeraie du Ksar de Ouargla (IDDER T., 2005; BOUAMMAR B., 2010; IDDER et al., 2011)

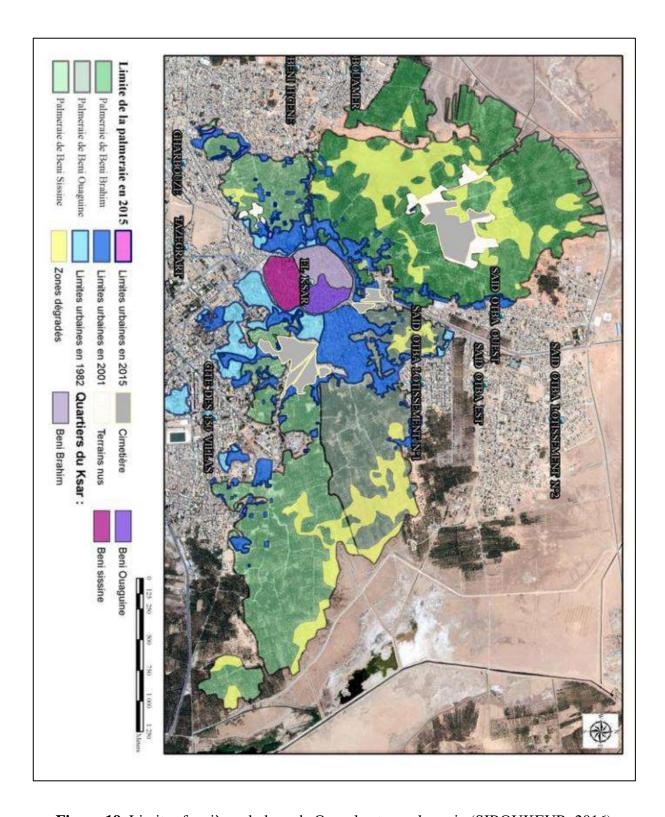


Figure 19. Limites foncières du ksar de Ouargla et sa palmeraie (SIBOUKEUR, 2016)

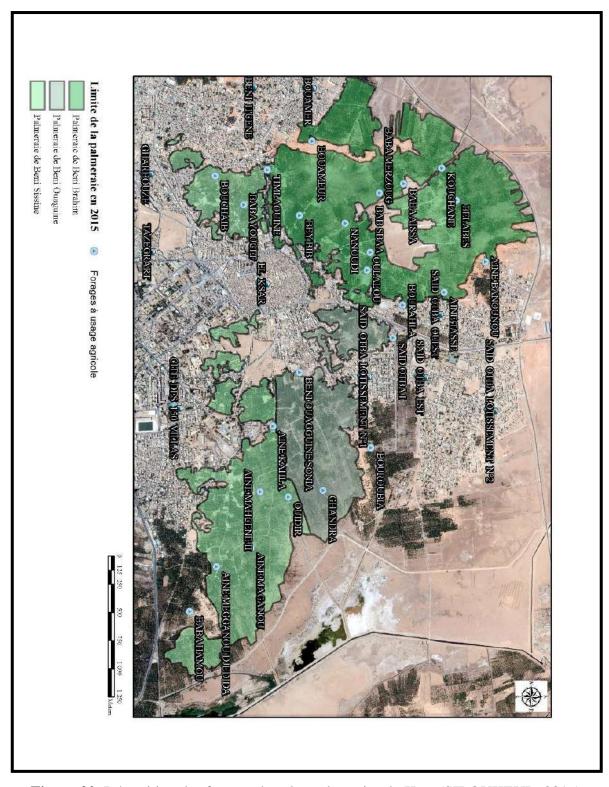


Figure 20. Répartition des forages dans les palmeraies du Ksar (SIBOUKEUR, 2016)

1.3. Matériel d'étude

Le traitement des données est réalisé en utilisant trois logiciels à savoir :

- Google earth : permettant d'avoir des images satellitaires à utiliser ensuite comme une base pour les données recueillies ;
- Surfer : permettant de créer des cartes de variation spatiale des paramètres physicochimiques mesurés ;
- R project : permettant de réaliser les analyses statistiques sur les données collectées sur le terrain.

Chapitre IV. Méthodes d'étude

1. Approche méthodologique

L'approche méthodologique adoptée consiste à effectuer un échantillonnage hydroédaphique pour étudier le processus de salinisation de l'environnement oasien du ksar de Ouargla. Cette démarche spatio-temporelle est réalisée en trois phases, comme suit (Fig.21) :

- **Phase I :** étude saisonnière des contraintes hydro-halomorphe et mécanique entre 2016 et 2017 ;
- **Phase II :** étude de l'effet de l'irrigation et de la nappe phréatique sur la dynamique des sels en condition de sols sans obstacle mécanique de croûte gypso-calcaire.
- **Phase III :** Recommandation d'aménagement de la palmeraie de la gestion de l'espace agraire, la gestion des eaux et des sols et la conduite et optimisation des rendements culturaux.

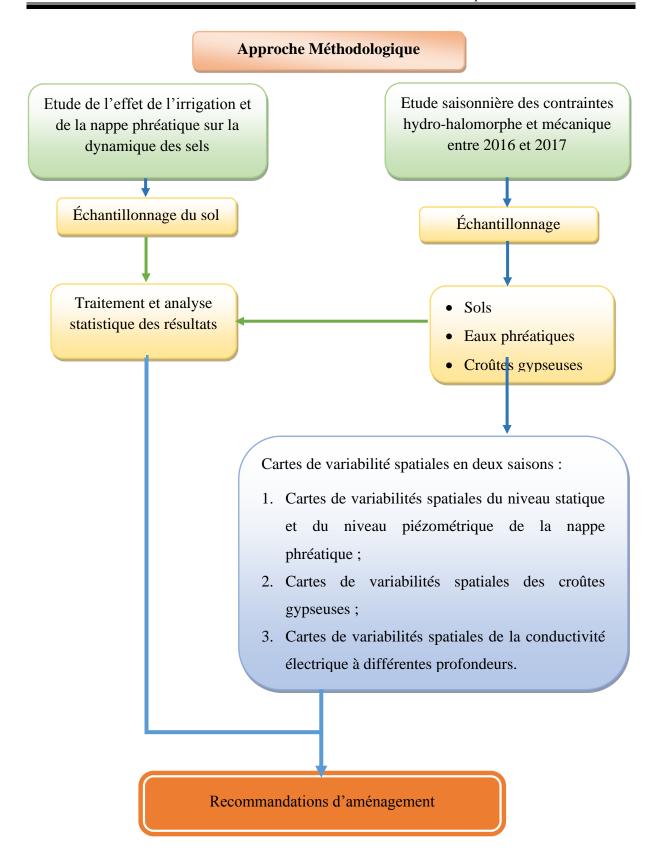


Figure 21. Approche méthodologique

1.1. Etude des contraintes hydro-halomorphe et mécanique

1.1.1. Echantillonnage dans l'espace oasien

L'échantillonnage a été réalisée sur deux périodes afin de faire apparaître la variation spatio-temporelle de l'état hydro-édaphique de l'environnement oasien du ksar de Ouargla. L'étude en période hivernale a été réalisé de 17 décembre 2016 jusqu'à 23 janvier 2017 sur 89 points. Quant à la période estivale, l'échantillonnage a été réalisé durant le mois de juillet 2017 sur 84 points. Durant les deux périodes on a échantillonné le sol et les eaux phréatiques et la croûte gypso-calcaire.

Afin d'arriver à des données bien réparties par rapport à la superficie de la palmeraie du ksar estimé selon SIBOUKEUR (2016) par 561 hectares, on a utilisé la méthode d'échantillonnage systématique aléatoire (MATHIEU et PIELTAIN, 2009 ; LAPERCHE et MOSSMANN, 2004).

Cette méthode consiste à prélever des échantillons selon une structure régulière. Il existe différentes formes de structures réalisées sur les logiciels SIG. Les échantillons peuvent être prélevés soit à chacune des intersections du maillage, au centre de celui-ci ou au hasard à l'intérieur de chacune des mailles. Cette méthode permet une couverture totale du terrain à l'étude et elle est simple à réaliser. De plus, elle facilite la cartographie des données et l'interprétation des résultats d'analyses (CEAEQ ,2008).

Les dimensions des mailles sont fixées selon la précision désirée, les moyens disponibles et selon d'autres contraintes rencontrées sur le terrain. On a choisi de fixer les dimensions des mailles à $250 \text{ m} \times 250 \text{ m} = 6,25 \text{ ha}$, donc un sondage pour chaque 6,25 ha.

Le maillage a été réalisé sur une image satellitaire prélevée de google Earth. L'image a été géoréférencée sur ArcGIS version 10.2.2. Ensuite on effectue un maillage de la palmeraie. Les points d'échantillonnage sont au centre de chaque maille (Fig. 23). Les cordonnées des points (système de coordonnées WGS 1984, UTM zone 31N) sont transférer vers une application GPS sur smartphone.

Les contraintes rencontrées au cours de l'échantillonnage nous ont obligée à modifier certains points de sondage en tenant compte de la distance entre le point initiale et le point modifié qui ne dépasse pas les 125 m de rayons, pour ne pas sortir de la maille (Fig. 22).

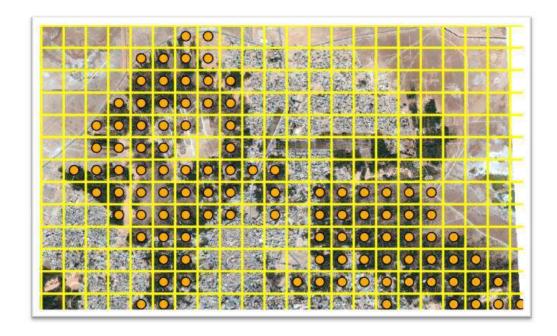


Figure 22. Points de sondage après délimitation de la palmeraie de ksar (SIBOUKEUR, 2016)

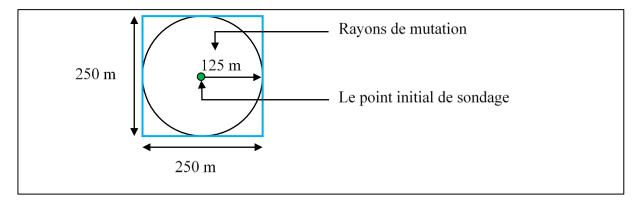


Figure 23. Dimensions de la maille avec le rayon possible de modification d'un point

1.1.2. Étude édaphique

Le sondage du sol est fait à l'aide d'une tarière. On effectue le sondage à trois profondeurs (0 - 40 cm, 40 - 80 cm et 80 -120 cm), à chaque profondeur des trois le sol est pris par plusieurs coups de tarière ensuite on mélange le sol sur une bâche pour avoir un échantillon homogène et représentatif de la couche du sol. Les échantillons sont séchés à l'air libre pour stopper l'activité microbienne qui peut modifier certain aspect chimique du sol (SIMON-SYLVESTRE, G., et BEAUMONT, A., 1982)

L'étude des contraintes mécanique a été focalisé sur la croûte gypso calcaire. À chaque point d'échantillonnage du sol et des eaux phréatiques nous avons signalé la présence ou

l'absence de la croûte et sa profondeur.

1.1.2. Étude hydrique

Nous avons approfondi le trou de sondage du sol jusqu'à 2 mètres. Ensuite on attend un peu pour que la charge hydraulique se stabilise au niveau de trou, on prend la mesure de niveau statique de l'eau à l'aide d'une sonde électrique.

Après la mesure du niveau statique de l'eau, on prélève un échantillon d'eau pour analyser. L'analyse du pH et de la conductivité électrique sont faite rapidement. L'échantillon est stocké dans des faibles températures.

1.1.3. Étude de la formation des croûtes gypseuses

L'étude de la formation des croûtes gypseuses a été effectuer parallèlement au sondage des nappes phréatiques. Cette étude a consisté à signaler la présence des croûtes suivie par la mesure de sa profondeur.

1.1.4. Méthode d'élaboration des cartes thématique

Le krigeage est une méthode stochastique d'interpolation spatiale qui prévoit la valeur d'un phénomène naturel en des sites non échantillonnés par une combinaison linéaire sans biais et `a variance minimale des observations du phénomène en des sites voisins. (BAILLARGEON, 2005).

La cartographie automatique d'un phénomène comme la salinité par exemple a pour but de rétablir la répartition spatiale réelle sous forme d'une surface ou de quelques contours d'une variable mesurée à partir de points de coordonnées GPS connues. L'échantillonnage fournit des informations exactes sur le sol aux points d'où proviennent les données. Mais, cela ne représente pas ce qui se passe entre ces points. Donc une méthode précise doit être utilisée afin d'estimer les valeurs aux points intermédiaires ou les moyennes sur un ensemble. Le krigeage est une méthode d'estimation qui tient compte d'un certain nombre de facteurs. Il fournit la moyenne pondérée des valeurs des échantillons qui conduit à l'erreur d'estimation de la variance minimale (ARMSTRONG et CARIGNAN, 1997).

Dans ce travail, nous avons utilisé le krigeage de type point afin d'interpoler une surface à partir des points échantillonnés par l'utilisation de l'outil de système d'information

géographique « Surfer (version : 16.0.330) ».

1.2. Étude de l'effet de l'irrigation et de la nappe phréatique sur la dynamique des sels

Afin d'étudier l'effet de l'irrigation et de la nappe phréatiques sur la dynamique des sels dans les palmeraies du ksar on a choisi d'effectuer un échantillonnage ciblé. Le choix des jardins phœnicicole a été effectuer en respectant les critères ci-dessous :

- •Les palmeraies sont irriguées avec un seul forage agricole ;
- •Les palmeraies sont irriguées avec le même système d'irrigation ;
- •La fréquence d'irrigation adopté est la même ;
- •La profondeur de la nappe phréatique (nappe superficielle ou peu profonde).

Les critères cités auparavant nous a permet de cibler 5 jardins phœnicicoles situés dans la palmeraie du ksar de Ouargla. Les jardins numérotés 1 ,2 et 3 ont été créé dans une zone où la nappe phréatique est profonde avec un niveau statique supérieur à un mètre vingt. Pour les jardins numérotés 4 et 5 sont situés dans une zone avec une nappe phréatique superficielle où le niveau statique est inférieur à un mètre vingt (Fig.24). Tous les jardins ciblés sont irrigués avec le même forage et avec la même technique d'irrigation soit une irrigation par submersion. En ce qui concerne la fréquence d'irrigation est la même dans tous les cinq jardins choisis soit une seule irrigation tous les quinze jours.

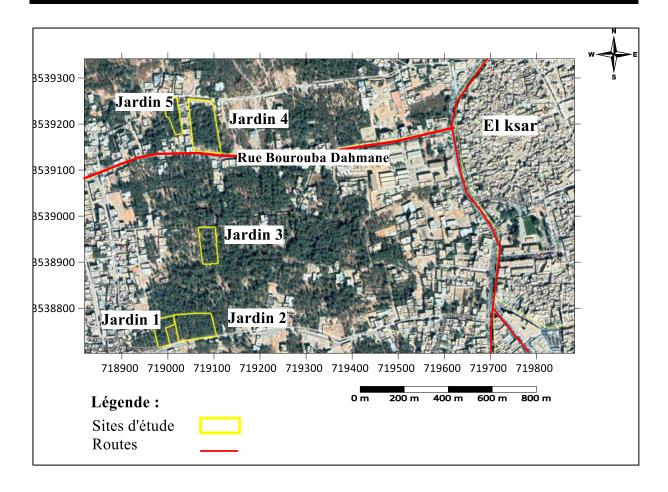


Figure 24. Localisation des jardins phœnicicole dans la palmeraie de Ksar

1.2.1.Échantillonnage du sol

L'échantillonnage du sol a été réalisé en fonction des observations effectuées lors de la première étude où nous avons constaté que la profondeur du sol mouillé est très différente dans la même planche à cause de la mauvaise gestion de l'irrigation. En supposant que le sol n'a pas reçu la même quantité d'eau dans les planches échantillonnées on a échantillonné en prenant en considération les points suivants :

- Nous avons sélectionné trois zones de prélèvement dans une planche (Fig.25). La première zone de sondage est située près de la tête de la planche, la deuxième située au centre de la planche et la troisième située à l'extrémité de la planche.
- Les échantillons ont été prélevés selon trois profondeurs (0 40 cm, 40 80 cm et 80 -120 cm).
- Les échantillons ont été séchés à l'air libre ensuite ramener au laboratoire afin de mesurer leurs conductivités électriques et leur pH.

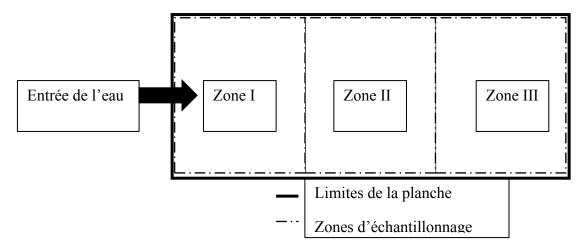


Figure 25. Zones d'échantillonnage du sol dans la planche

2. Paramètres analysés

2.1. Mesure de la conductivité électrique du sol

La conductivité est en fonction de la concentration de sels dissous dans la solution du sol. Elle a été déterminée par un conductimètre avec un rapport de 1/5 de l'extrait du sol/eau distillée avec une conductivité électrique inférieure à $10~\mu\text{S/cm}$ et corrigée à une température de 25°C .

Pour déterminer la classe de la salinité du sol de l'extrait aqueux (1/5) à 25° C on a utilisé la classification (Annexe.4) établit par MATHIEU et PIELTAIN (2009).

La salinité de sol influe sur les plantes avec différente degrés, cette influence est classée selon RICHARD (1954) in LALLEMAND-BARRÉ (1980), cette classification permet de connaître l'effet de la salinité du sol sur les plantes (Annexe.5).

2.2. Mesure du pH du sol

La mesure du pH a été effectuée sur un extrait 1/5 de (Eau / sol). Le pH a été mesuré à l'aide d'un pH mètre. Pour l'interprétation de résultats on a exploité l'échelle établit par MATHIEU et PIELTAIN (2009).

3. Analyse statistique

L'analyse statistique des résultats obtenus a été effectuée en suivant plusieurs étapes hiérarchiques. Premièrement, nous avons testé la normalité des données. Si les données suivent

la loi normale on effectue des tests paramétriques, dans le cas contraire on effectue des tests non paramétriques (Tab.1).

Tableau 1. Paramètres statistique utilisés

Test statistique	Application
Test des Signes de Wilcoxon	●Effet des saisons sur le niveau statique.
	•Effet des saisons sur la salinité des eaux
	phréatique
Test de Khi deux	•Effet des saisons sur le taux des classes de
	l'action limitative du niveau statique
	•Effet des saisons sur le taux des classes de
	l'action limitative des croûtes
Test de t student	•Effet de la croûte gypseuse sur le niveau
	statique
	●Effet de la croûte gypseuse sur le niveau
	piezométrique
Test de corrélation	Sur l'ensemble des paramètres quantitatifs
Test de Krukal-Wallils	Effet des saisons sur la salinité des couches
	du sol
Teste de Fligner-Killeen suivi par le test	Comparaison de la salinité du sol entre les
post-Hoc de « Ansari-Bradley »	différentes couches et classification

RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre IV: Etude spatio-temporelle de l'environnement hydro-édaphique

Introduction

L'étude des contraintes hydro-halomorphes et mécaniques du système oasien a été réalisée à deux périodes de l'année (hivernale et estivale). Ce travail comporte l'étude de la charge saline, celle du niveau des eaux phréatiques et celle de la salinité des sols. Il permettra de faire ressortir l'état hydro-édaphique de la palmeraie et d'établir des cartes thématiques de variabilité spatiale et saisonnière des différents paramètres étudiés.

1. Etude spatio-temporelle de la nappe phréatique

L'étude spatio-temporelle du niveau des eaux phréatiques et de leurs salinités révèle une contrainte hydrique au niveau de la palmeraie du Ksar.

1.1. Variation des niveaux phréatiques

La présente étude montre une variation spatiale et saisonnière des niveaux statiques et piézométriques.

1.1.1. Variation des niveaux statiques

Le sondage saisonnier de la profondeur de la nappe phréatique jusqu'à 2 mètres, nous a permis de mesurer le niveau phréatique dans seulement 43,93% des points échantillonnés. La profondeur maximale enregistrée dans ces sites est superficielle selon la classification d'EDMONDS et *al.*, (1998) et de DADDI BOUHOUN (2010) puisqu'elle ne dépasse pas 1,5 mètres. La nappe phréatique dans les 56,07% des points d'échantillonnage restants est moyennement profonde à profonde (Fig. 27; Fig. 28).

Il a été constaté que la nappe phréatique se trouve à un niveau relativement faible, avec une différence de moyenne non significative selon le « test des Signes de Wilcoxon » en hiver par rapport à l'été. En hiver la profondeur moyenne enregistrée est de $79,10 \pm 24,47$ cm, avec un minimum de 20 cm et un maximum de 140 cm. A l'inverse, nous avons constaté un rabattement phréatique en période estivale de 15,91%. La profondeur moyenne enregistré en été est de $91,69 \pm 24,92$ cm avec un minimum de 34 cm et un maximum de 136 m (Fig.26).

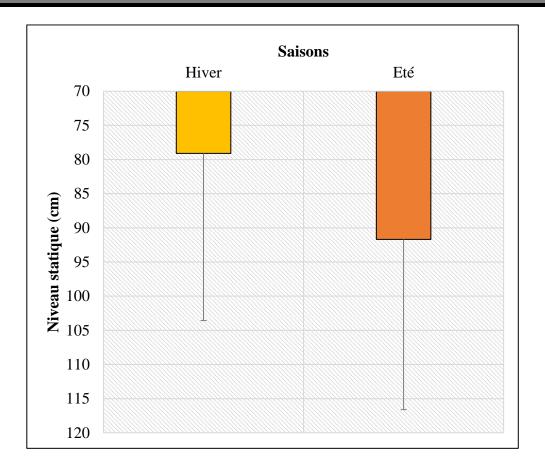


Figure 26. Niveau statique saisonnier moyen de la nappe phréatique

La fluctuation saisonnière du niveau phréatique est liée à plusieurs facteurs dont le niveau des apports hydriques conventionnels et non conventionnels et les pertes hydriques climatique et culturale.

La remontée de la nappe phréatique en hiver, serait vraisemblablement due à la diminution des besoins en eaux d'irrigation des cultures et à l'évapotranspiration durant la période d'échantillonnage. En effet, l'évaporation enregistrée dans la région d'étude durant la période hivernale 2016-2017 (110,7 mm), représente environ moins de 4,56 fois l'évaporation maximale estivale enregistrée en 2017 (O.N.M., 2019). A cela s'ajoute, l'effet d'une pratique irrationnelle de l'irrigation-drainage par rapport au débit (accordé aux agriculteurs) qui est compris entre 0,4 à 1 l/ha/s, les intrants et le mauvais assainissement des eaux usées (IDDER, 2007; DADDI BOUHOUN, 2010; SIBOUKEUR, 2016). Dans une étude menée par DADDI BOUHOUN et *al.* (2010) dans les palmeraies de la cuvette de Ouargla, il a été défini que le faible niveau statique de la nappe phréatique engendre une réduction de la capacité de lixiviation du sol et favorise l'asphyxie racinaire par remontée capillaire des eaux phréatiques.

En revanche, en été, nous constatons un rabattement de la nappe phréatique à cause de la forte demande hydrique climatique et culturale. Dans ce contexte, une étude expérimentale menée en Arabie Saoudite, sur trois années et portant sur les besoins en eau du palmier dattier, rapporte que dans sept régions étudiées, le coefficient cultural est toujours à son maximum en été par rapport à l'hiver (ALAMOUD *et al.*, 2012). Il en ressort qu'en saison hivernale, la faible évaporation en eau du sol, l'énorme quantité d'eau d'irrigation apportée et la faible demande en eau du palmier dattier serait responsable de la remontée du niveau de la nappe phréatique.

En utilisant la classification d'EDMONDS et *al.* (1998), les niveaux statiques des eaux phréatiques seraient évalués, en fonction de leurs actions limitatives sur l'enracinement des arbustes et des arbres, en en trois groupes : « sévère », « modéré » et « insignifiant », selon les groupes de profondeurs respectives à savoir de 0-45,7 cm, de 45,7-91,4 cm et supérieurs à 91,4 cm. Toutefois, l'action limitative racinaire et les rendements des palmiers dattiers dépendraient des biotopes oasiens. DADDI BOUHOUN (2010) a proposé à cet effet une autre classification de performance racinaire dans les biotopes oasiens où l'action limitative des nappes et des croûtes sur l'enracinement serait : « sévère », « modérée » ou « insignifiante » correspondant à trois groupes de profondeur qualifiée de superficielle, moyenne et profonde, selon les intervalles respectifs suivants : 0-1,5 m, 1,5-3 m et supérieures à 3 m.

Selon la classification de EDMONDS *et al.*, (1998) et DADDI BOUHOUN (2010), les niveaux statiques enregistrés en hiver et en été présentant des effets sévères sur le palmier dattier suivant les niveaux phréatiques. Ces effets sur les arbustes et les arbres varient selon les niveaux phréatiques. En effectuant le test statistique « khi deux », nous avons constaté que la saison n'avait pas un effet significatif sur le taux des « classes des effets limitatifs » de la nappe phréatique. Toutefois, 65,24 % des points échantillonnés en hiver, présentent des nappes phréatiques avec des effets sévères à modérés sur l'enracinement des arbres et arbustes. Néanmoins, en été, l'effet de eaux phréatiques devient insignifiant dans 50 % des points échantillonnés (Fig.29).

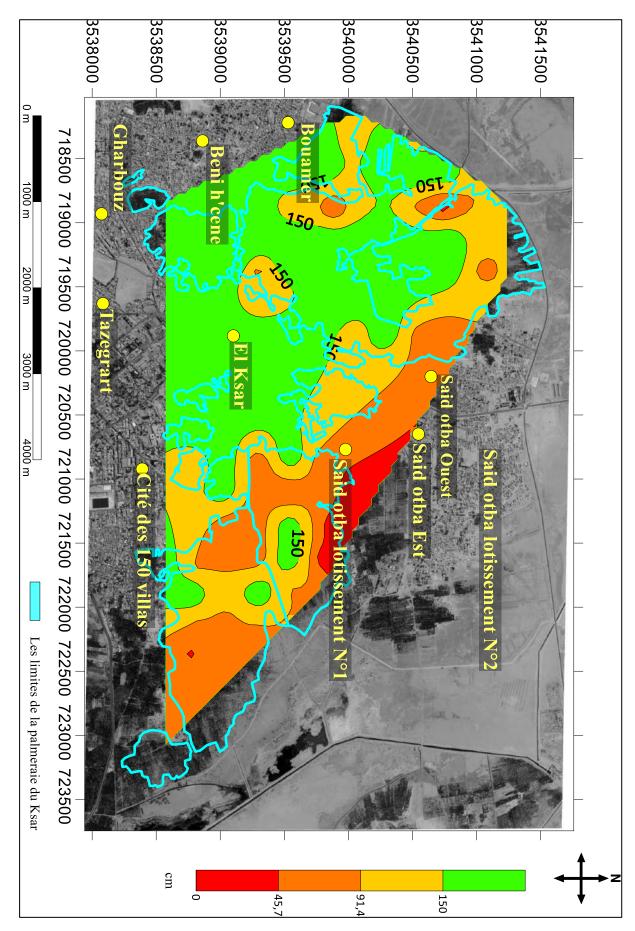


Figure 27. Niveau statique de la nappe phréatique dans les palmeraies du Ksar, en hiver

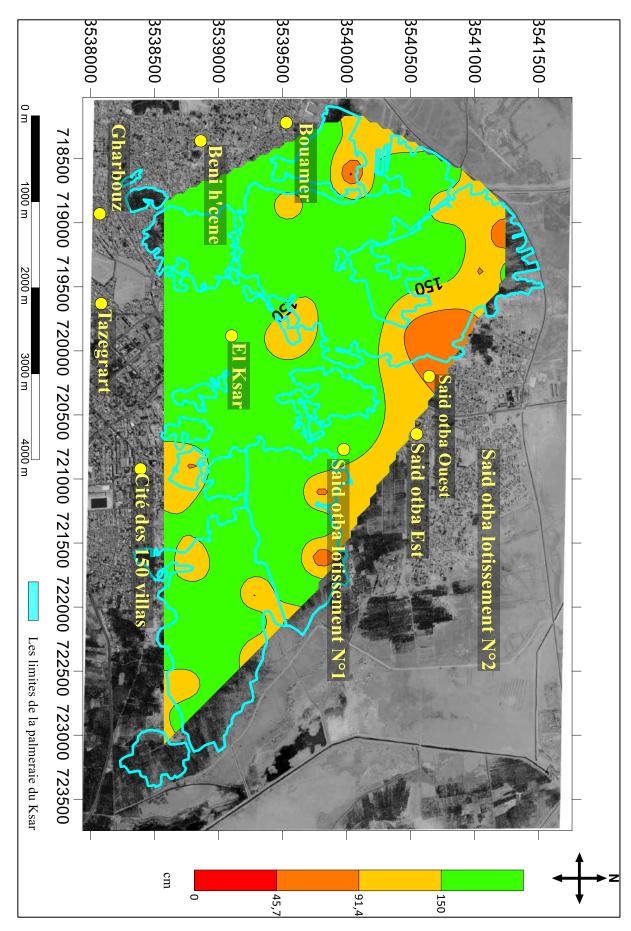


Figure 28. Niveau statique de la nappe phréatique dans les palmeraies du Ksar, en été

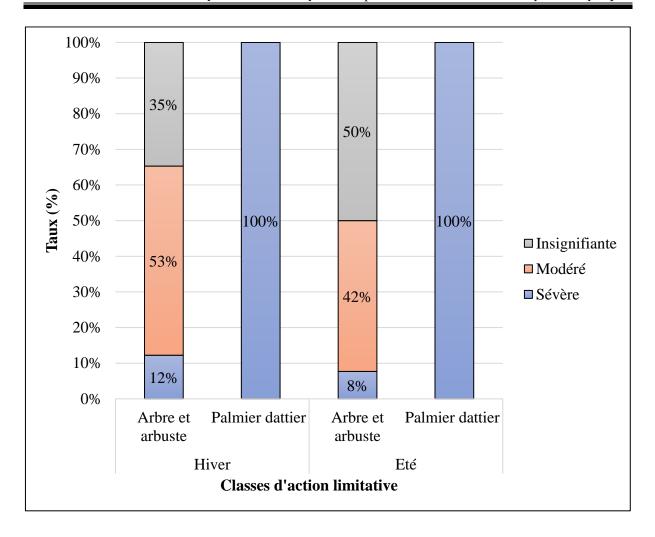


Figure 29. Effet limitatif du niveau statique de la nappe phréatique sur l'enracinement des végétaux

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

Les rendements du palmier dattier enregistrés dans les conditions hydro-édaphiques du Ksar sont faibles (FACI et *al.*, 2017) et varient avec les biotopes (DADDI BOUHOUN, 2010). Ils sont affectés par l'hydromorphie en conditions de remontée des eaux phréatiques. Ces rendements augmentent avec la profondeur des nappes phréatiques et l'absence des croûtes gypseuses, atteignant des taux compris entre 56,81 et 90,99 kg/palmier pour le cultivar Deglet Nour (DADDI BOUHOUN, 2010). Selon FURR (1975), la production du palmier dattier chute considérablement, atteignant 5 kg / palmier, dans les sols très salés où le niveau des eaux phréatiques est proche de la surface du sol.

1.1.2. Variation des niveaux piézométriques

Le niveau piézométrique est conditionné par l'altitude et le niveau statique. L'étude de MNT dont la résolution est de 1,20 m, de la région de ksar de Ouargla, réalisée par SIBOUKEUR (2016) a montré la présence de six zones de dépression réparties dans la palmeraie. Les dépressions dans la topographie du Ksar peuvent gêner l'écoulement des eaux phréatiques, favorisant ainsi la dégradation hydrique des jardins.

Le niveau piézométrique au Ksar varie de 128,8 à 150,2 m en hiver et de 121,5 à 143,4 m en été (Fig. 30 ; Fig. 31) où une différence très hautement significative (p-value 2,36 x 10^{-07}) dans le niveau piézométrique entre le saison hivernale et estivale dont la moyenne est de 141,02 \pm 4,71 et 133,06 \pm 5,67 m respectivement est notée. En se basant sur le niveau piézométrique moyen, on constate qu'il est plus élevé en hiver par rapport à l'été. Les conditions climatiques caractérisées par des fortes températures en été soit un maximum de 43,25°C, favorisent les pertes en eau par évapotranspiration et donc une baisse du niveau piézométrique.

Nous remarquons qu'une partie de la zone Sud-Ouest de la palmeraie située près de Beni h'cene et Gharbouz est moins affectée par la remontée de la nappe phréatique avec les altitudes les plus élevées, comprises entre 140,5 m et 158,81 m. Ces constations corroborent celles évoquées par SIBOUKEUR (2016).

BONNARD et GARDEL (2004) et DJIDEL (2008) rapportent dans le même contexte, que les zones dans lesquelles la nappe phréatique est la plus profonde, sont situées à des points hauts de la topographie, à savoir le Sud-Ouest d'Ouargla, le Sud de Oum Raneb et les versants Nord-Est de N'Goussa.

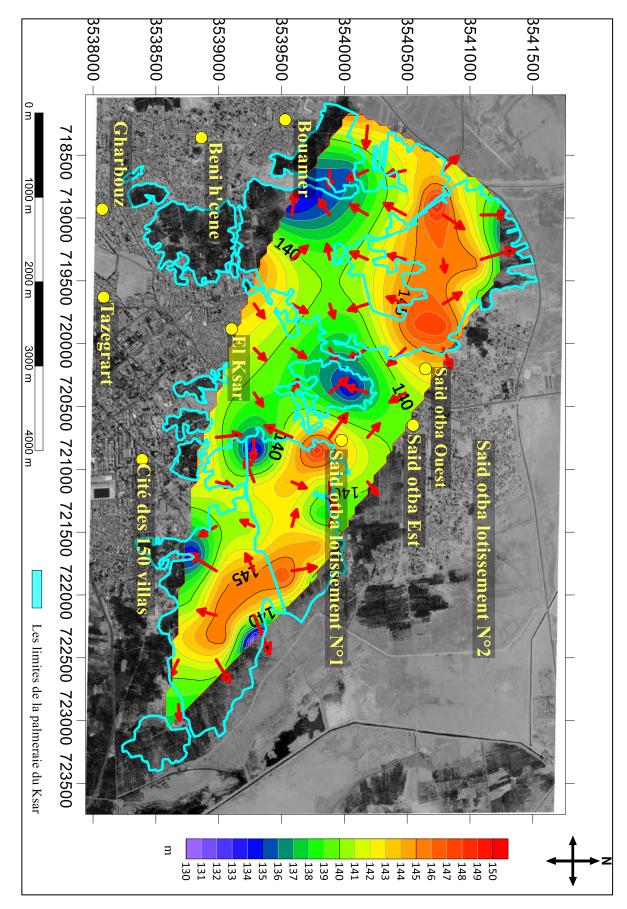


Figure 30. Niveau piézométrique des nappes phréatiques dans les palmeraies du Ksar en hiver

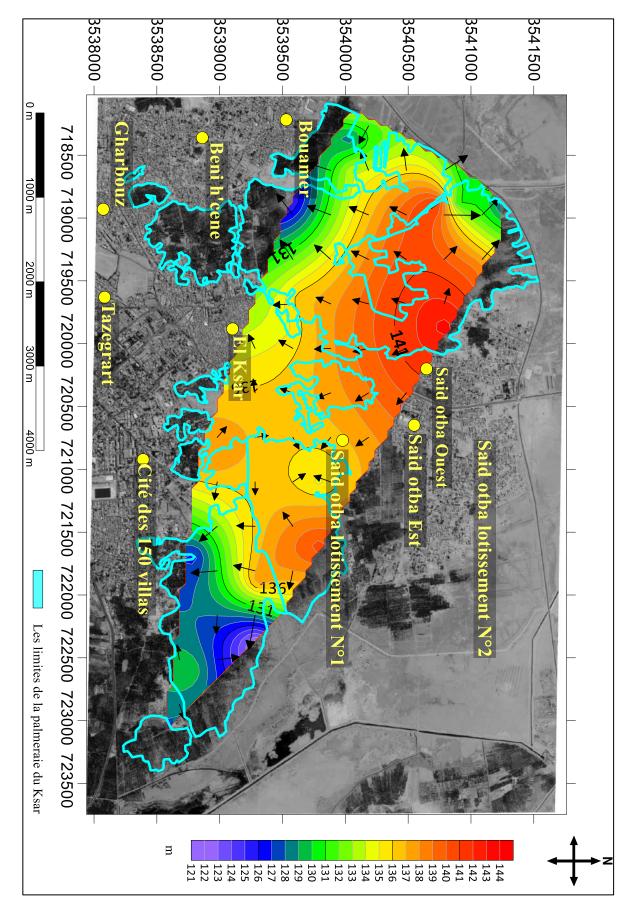


Figure 31. Niveau piézométrique des nappes phréatiques en été, dans les palmeraies du Ksar

On constate à partir des cartes piézométriques (Fig. 30 ; Fig. 31), que l'écoulement de la nappe phréatique, en hiver ou en été, s'effectue selon les trois directions suivantes :

1. Vers les zones de dépression (photo1) à l'intérieur de la palmeraie où nous avons remarqué des états de dégradation variables entre les jardins, suite à la remontée des eaux des jardins morts (photo 2) à d'autres en bon état (photo 3). La dégradation semble due à l'asphyxie du palmier dattier par les eaux phréatiques du fait de l'état défectueux des drains ;

- 2. Vers sebkhet safioune au Nord de la palmeraie de Ksar à une distance de 31 km;
- 3. Vers le chott d'Aïn Beïda au Nord-Est de la palmeraie de Ksar. Ce chott se situe sur les zones préférées de la palmeraie.

Toutefois, nous remarquons que l'étendue de la stagnation des eaux dans la dépression située au Sud-Est de la palmeraie a augmenté de l'hiver à l'été. Cela est peut-être dû aux fortes quantités d'eau d'irrigation versées dans cette dépression.



Photo 1. Zones de dépression à l'intérieur de la palmeraie



Photo 2. Jardins délaissés (Palmeraie du ksar de Ouargla)



Photo 3. Jardins entretenus (Palmeraie du ksar de Ouargla)

1.2. Etude qualitative des eaux phréatiques

La présente étude montre la variation spatiale dans le degré de salinité et le potentiel

hydrogène des eaux phréatiques. Ces deux paramètres ont une importance primordiale permettant de situer l'état de l'environnement oasien.

1.2.1 Variation du degré de salinité

La salinité des eaux phréatiques entre la saison hivernale et la saison estivale est comparable avec une moyenne de 29,91 ± 17,73 dS.m⁻¹ en hiver et 29,72 ± 15,50 dS.m⁻¹ en été et une différence non significative (Fig. 32). Néanmoins, le degré de salinité des eaux phréatiques au niveau du site de la présente étude reste très élevé. Il dépasse largement le seuil de tolérance du palmier dattier, estimée à 3 dS.m⁻¹ par AYERS et WESTCOT (1976). Une salinité aussi prononcée peut être attribuée à un faible niveau statique de la nappe phréatique. Selon la FAO et l'UNESCO (1973) une remontée de la nappe phréatique peut en effet, être accompagnée par une augmentation de la teneur en sel des eaux.

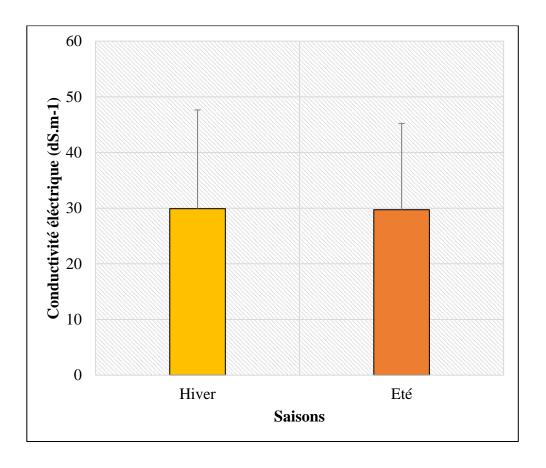


Figure 32. Degrés de salinité des eaux phréatiques en saison estivale et hivernale

La carte de salinité des eaux phréatiques en hiver, établies à partir des résultats relatifs à la conductivité électrique, indiquent que durant cette période, où elle varie de 7,82 à 90,65 dS.m⁻¹, elle atteint le niveau « très excessivement salé » (Fig.33).

En été, les valeurs oscillent entre 13,93 et 65,7 dS.m⁻¹ font donc correspondre la salinité des eaux phréatique à la même classe : « très excessivement salé » (Fig.34). Les eaux phréatiques de la palmeraie du Ksar appartiennent donc, à la classe C5, conformément à la classification de DURAND (1958) in DAOUD et HALITIM (1994).

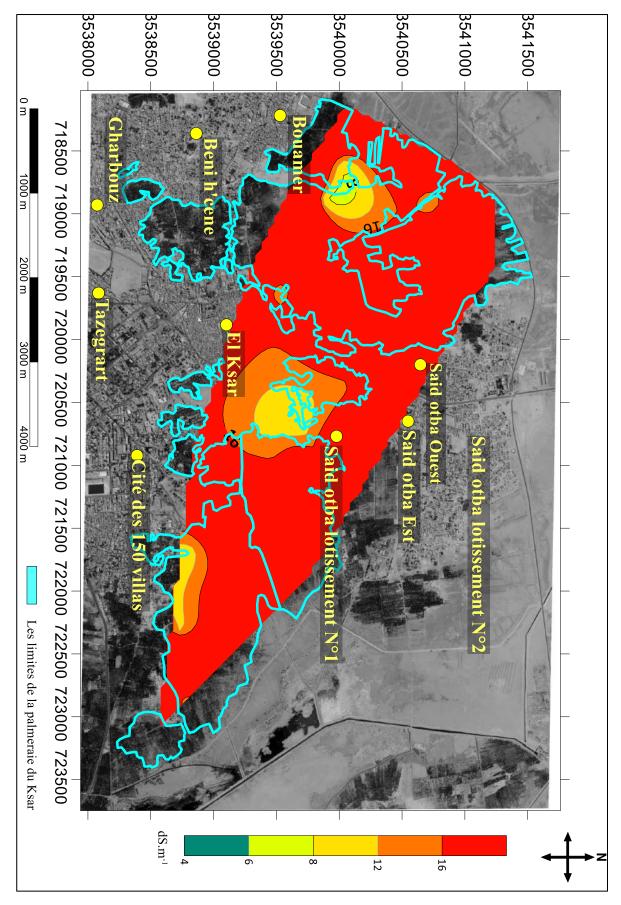


Figure 33. Salinité des eaux phréatiques de la palmeraie du Ksar en hiver

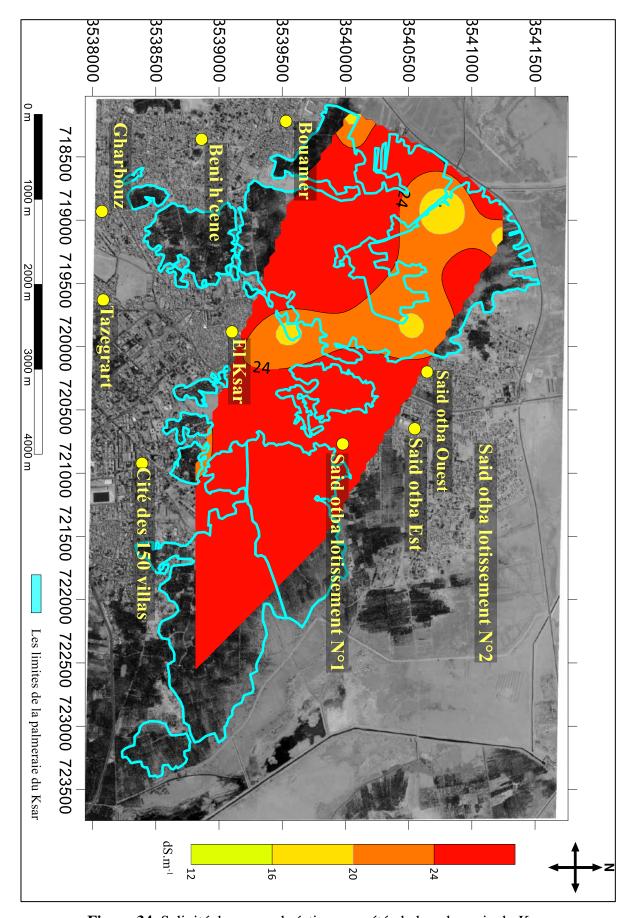


Figure 34. Salinité des eaux phréatiques en été, de la palmeraie du Ksar

Les relevés établis par l'A.N.R.H entre les années 2007 et 2013 concernant la cuvette de Ouargla, semblent conforter la classification que nous avons affectée aux eaux phréatiques de la palmeraie du Ksar. Elle corrobore également celles déduites d'autres travaux de recherche réalisés dans cette même région et qui s'accordent sur le caractère « très excessivement salé » de ses eaux phréatiques (HAMDI (2001); NEZLI (2004); TABOUCHE et ACHOUR (2004); IDDER (2007); DJIDEL (2008); DADDI BOUHOUN (2010)).

Ces eaux phréatiques présentes dans 43,93% des jardins visités durant les deux campagnes d'échantillonnage, contribuent donc à la salinisation du sol de la palmeraie. Selon DADDI BOUHOUN (2010), la remontée de ces eaux chargées en sels, peut avoir des effets néfastes sur les végétaux au contact de leur système racinaire. Ces eaux produisent une hydrohalomorphie qui aboutit à une pourriture racinaire par anoxie et à une mauvaise alimentation hydrique et minérale par stress salin exercé sur le palmier dattier. Cette situation impacte directement le rendement en dattes.

1.2.2. pHn des eaux phréatiques

L'eau de la nappe phréatique du Ksar est alcaline probablement à cause de la présence de cations alcalins et des bicarbonates. Nous avons constaté parallèlement que cette alcalinité était relativement faible quelque soit la saison de prélèvement des échantillons. Ces valeurs de pHn sont comprises entre 7,1 et 8,13 avec une moyenne de 7,63 \pm 0,23 en hiver et entre 7,13 à 7,76 avec une moyenne de 7,44 \pm 0,18 en été (Fig. 35).

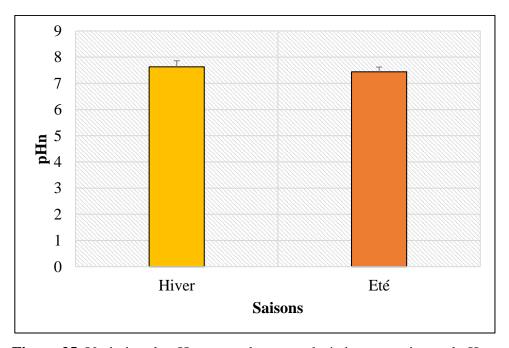


Figure 35. Variation du pH_n moyen des eaux phréatiques au niveau du Ksar

2. Etude spatio-temporelle de l'environnement édaphique

Ce travail se focalise sur l'étude de la variation spatiale du degré de salinité et du potentiel hydrogène des sols, associée à celle des croûtes gypseuses potentiellement présentes dans la palmeraie du Ksar. Ces paramètres nous conduiront à une évaluation de l'état de l'environnement édaphique de la palmeraie.

2.1. Variation des niveaux de la croûte gypseuse

Nous avons enregistré dans 23,60 % des sites visités en hiver et dans 31% de ceux visités en été, la présence d'une croûte gypseuse, soit 28,17 % en moyenne, pour les deux campagnes de prélèvements. Sa profondeur varie de 60 à 180 cm avec une valeur moyenne de l'ordre de 113 ± 30 cm (Fig. 37 ; Fig. 38). Cette croûte influe d'une manière très variable sur le palmier dattier et les cultures sous-jacentes.

D'après le test de « khi deux » le niveau de dégradation due à la croûte gypseuse n'est pas lié aux saisons. Que ce soit en saison estivale ou hivernale, dans 23.08 à 38.01 % des sites visités, la croûte a une profondeur comprise entre 45,7 et 91,4 cm et ne limite donc que modérément, le développement des arbustes et des arbres. Toutefois, dans 61,9 à 76.92 % des sites où la croûte a une profondeur comprise entre 91,4 cm et 150 cm, le développement des arbustes et des arbres n'est pas affecté. Cependant, 84,62 à 85,71 % des sites présentent un niveau de croûte plus profond, de l'ordre de 150 cm et plus. Dans ce cas, la croûte gypseuse semble avoir une action limitative sévère sur enracinement du palmier dattier. En définitif, nous pouvons conclure que pour l'ensemble des jardins visités, la croûte gypseuse limite sévèrement le développement racinaire et le rendement dattier (Fig. 36).

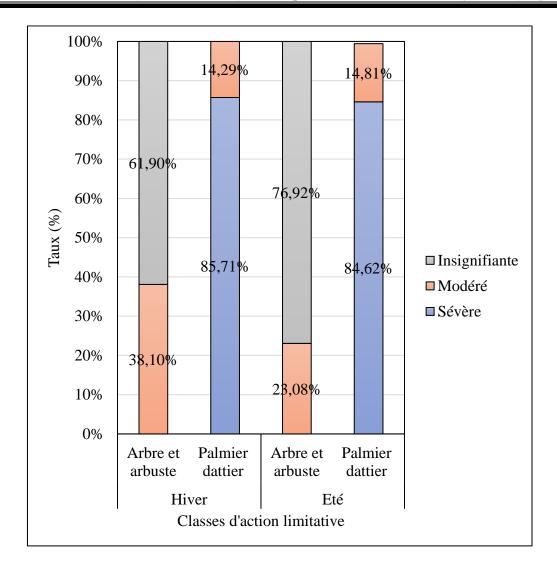


Figure 36. Effet limitatif de la profondeur de la croûte gypseuse sur l'enracinement des végétaux

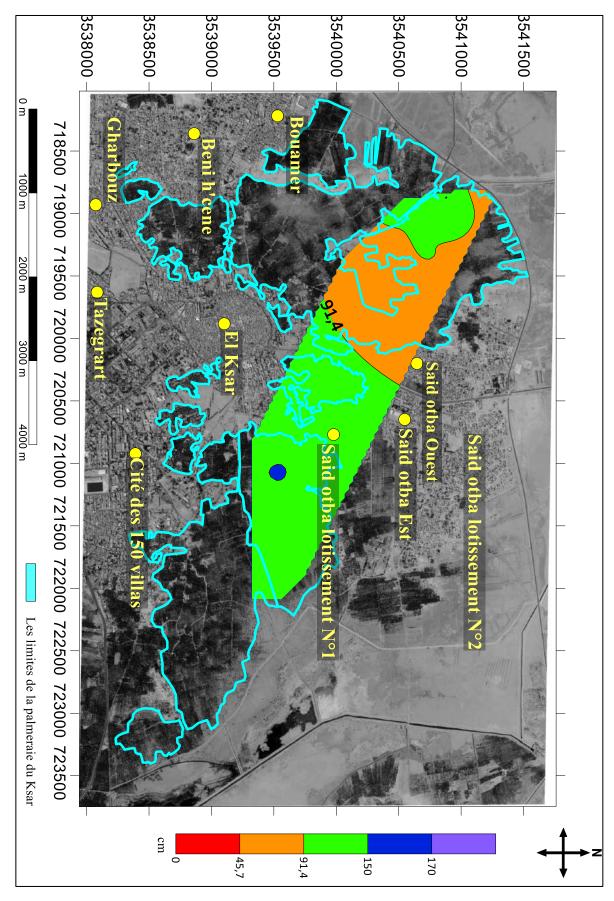


Figure 37. Variation de la profondeur de la croûte gypseuse en hiver

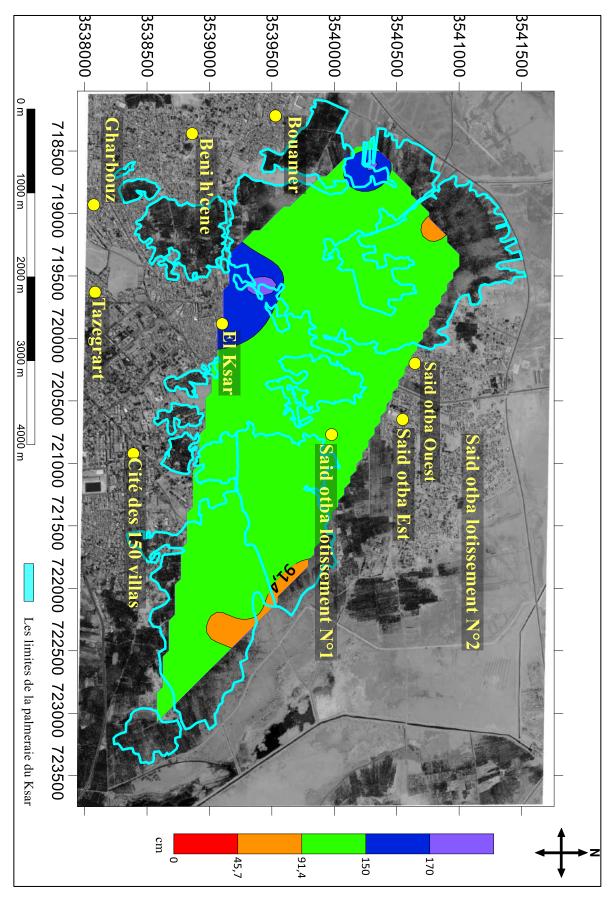


Figure 38. Variation de la profondeur de la croûte gypseuse, en été

Nous avons constaté lors de nos investigations, que la nappe phréatique se trouvait à un niveau relativement faible dans les jardins présentant une croûte gypseuse soit $70,12 \pm 25,26$ cm en moyenne versus $87,67 \pm 30,62$ cm en moyenne, dans les jardins sans cette croûte (Fig. 39). La présence de la croûte gypseuse influe en effet, d'une manière significative sur le niveau statique (p-value 0,026). Elle renforce simultanément, l'action limitative de la nappe phréatique. Dans ce contexte, DADDI BOUHOUN (2010) a montré qu'en l'absence de croûte gypseuse et entre une situation stable de remontée des eaux, le niveau statique devient non limitatif pour la variété de dattes « Deglet Nour » à partir d'une profondeur comprise entre 112 cm et 214 cm, soit 163 cm en moyenne.

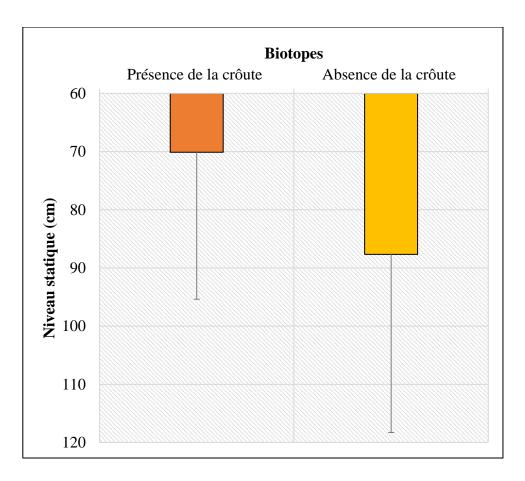


Figure 39. Effet de la croûte gypseuse sur le niveau statique de la nappe phréatique.

2.2. Salinisation du sol

Les résultats relatifs à la conductivité électrique et au pH de l'extrait 1:5 des sols montrent une variation du degré de salinité et d'alcalinité dans les couches de sols de la palmeraie du Ksar.

2.2.1. Variation de degré de salinité

L'étude de la variation spatiale et saisonnière du degré de salinité des différentes couches du sol de la palmeraie du Ksar, révèle l'existence d'une dégradation variable causée par une salinisation, comprise entre 0,16 et 15,91 dS.m⁻¹. Selon la classification de MATHIEU et PIELTAIN (2009) les sols sont classés de « non salés » à « extrêmement salés » (Fig. 42 ; Fig. 43 ; Fig. 45 ; Fig. 46 ; Fig. 47). Nous remarquons que dans la majorité des cas, les couches des sols sont classées de « très salées » à « extrêmement salées ».

La salinité du sol est fortement influencée par la saison où on a enregistré une différence de moyenne très hautement significative entre les saisons avec des p-value égale à 0,0003, 2,6 * 10⁻⁰⁷ et 1,43*10⁻¹¹ pour l'horizon superficiel (0 - 40 cm), moyen (40 - 80 cm) et profond (80 – 120 cm) respectivement (Fig. 40). L'effet de la saison se manifeste plus dans les horizons moyens et profonds. Cela est peut-être dû à la fluctuation de la nappe phréatique entre la saison hivernale et la saison estivale et son impact sur ces 2 horizons. Toutefois, on remarque que la salinité moyenne des trois horizons est plus élevée en saison hivernale par rapport à la saison estivale du fait probablement de la remontée des eaux phréatiques chargées en sel.

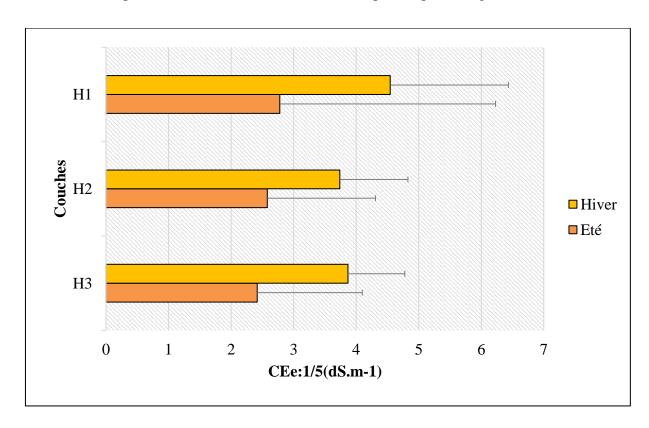


Figure 40. Effet de la saison sur la salinité des sols de la palmeraie du ksar

En appliquant la classification de MATHIEU et PIELTAIN (2009), les valeurs de la conductivité électrique des extraits aqueux 1/5, nous permettent de tirer les conclusions suivantes, valables pour les trois horizons :

- •en, hiver, les classes de salinité les plus dominantes sont les classes « très salées » et « extrêmement salées » avec un taux variant de 38 % à 55 % (Fig. 41) ;
 - •seuls 1 % à 2 % des sols sont classés « non salés » (Fig. 41) ;
- •le taux de la classe « extrêmement salée » est faiblement représenté en été surtout dans l'horizon moyen et profond (Fig. 41) ;
- •en été, les classes prédominantes sont les classes « salées » à « très salées » avec un taux variant de 27 % à 62% et la classe « non salée » est relativement faible et ne représente que 1 à 4 % (Fig. 41).

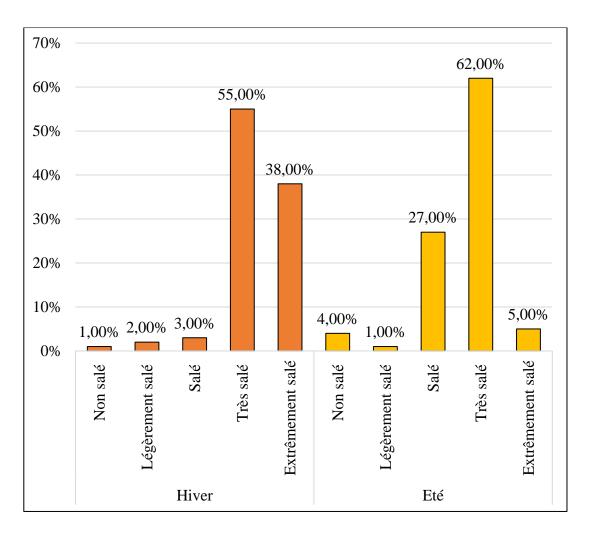


Figure 41. Classes de salinité des sols dans la palmeraie du ksar

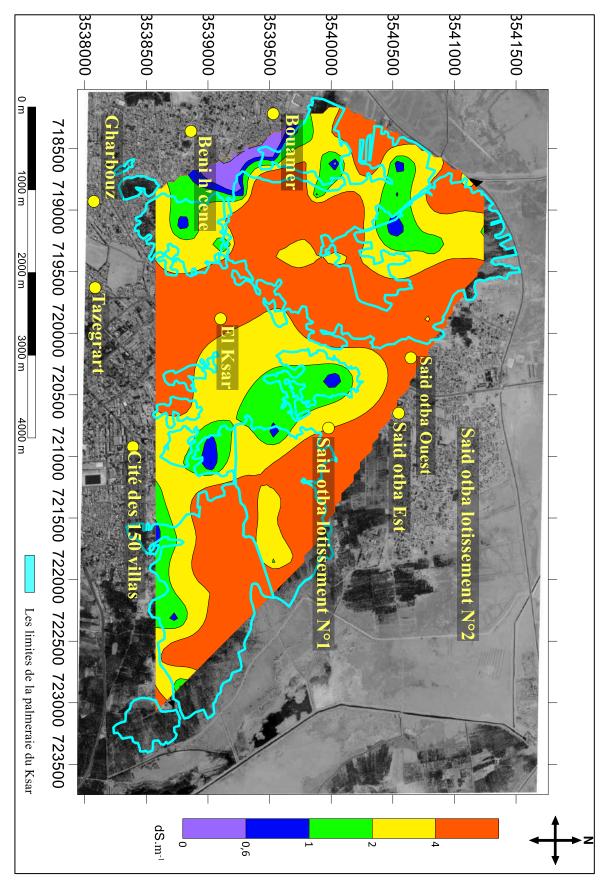


Figure 42. Variation de la salinité de la couche 0-40 cm des sols de la palmeraie du Ksar en hiver

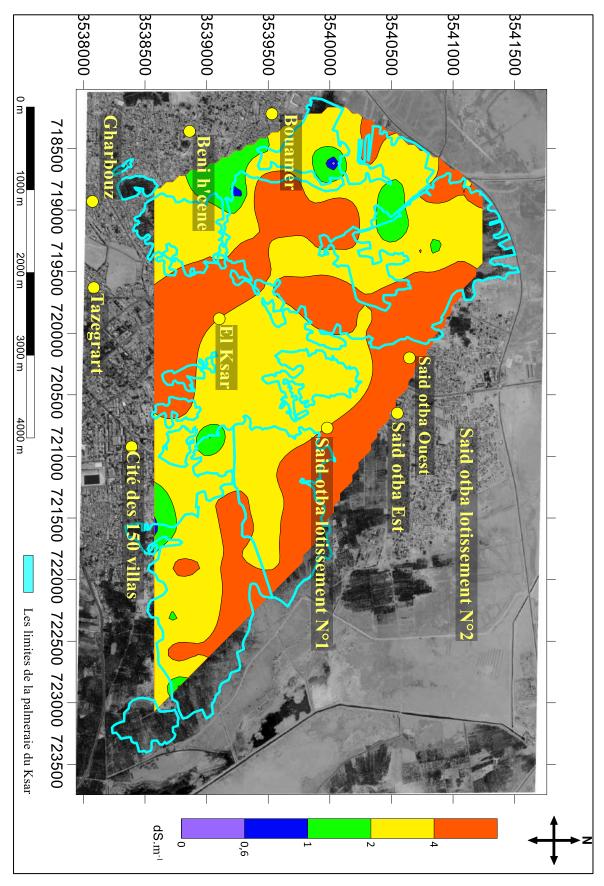


Figure 43. Variation de la salinité de la couche 40-80 cm des sols de la palmeraie du Ksar en hiver

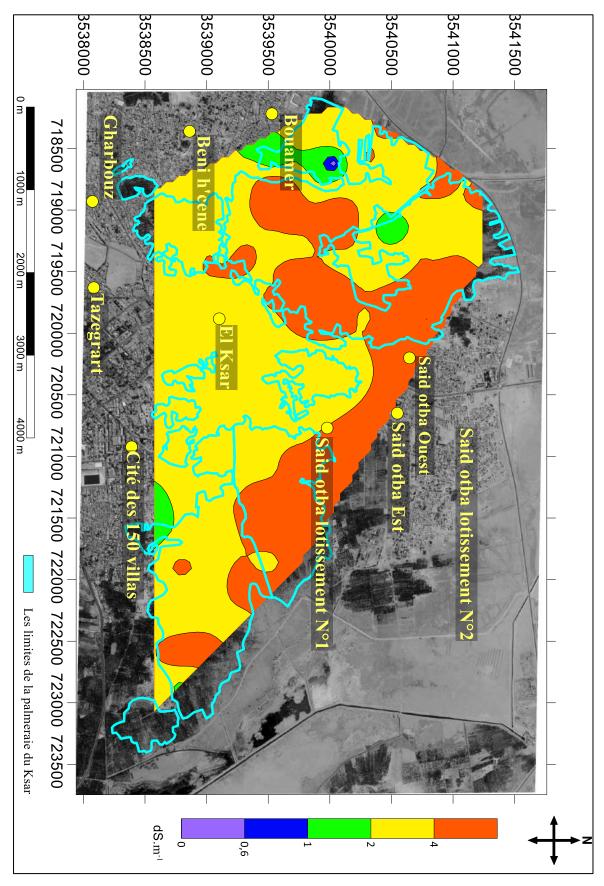


Figure 44. Variation de la salinité de la couche 80-120 cm des sols de la palmeraie du Ksar en hiver

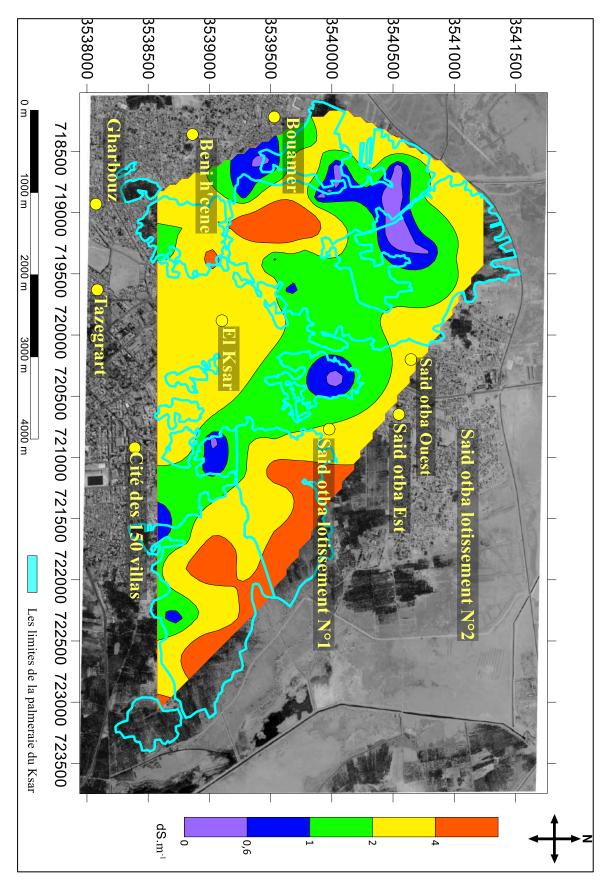


Figure 45. Variation de la salinité de la couche 0-40 cm des sols de la palmeraie du Ksar en été

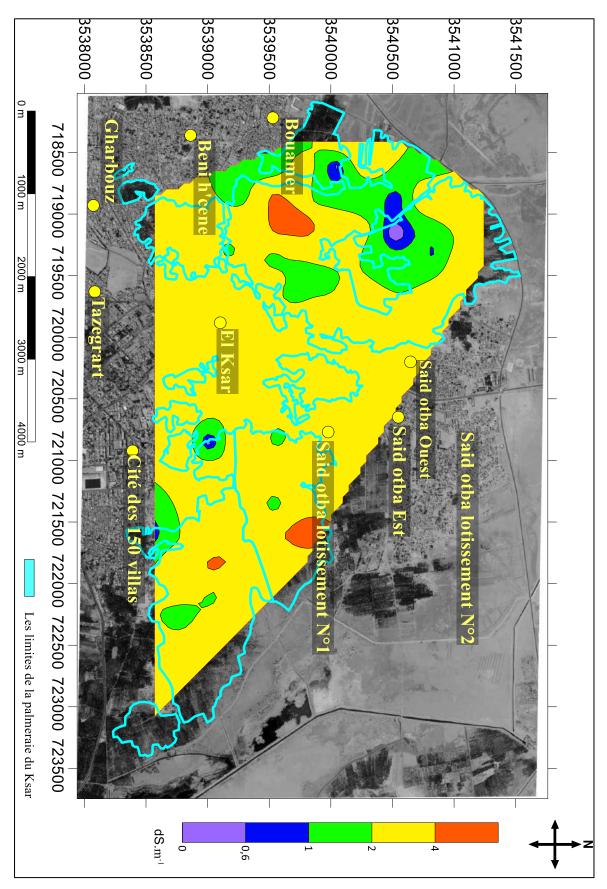


Figure 46. Variation de la salinité de la couche 40-80 cm des sols de la palmeraie du Ksar en été

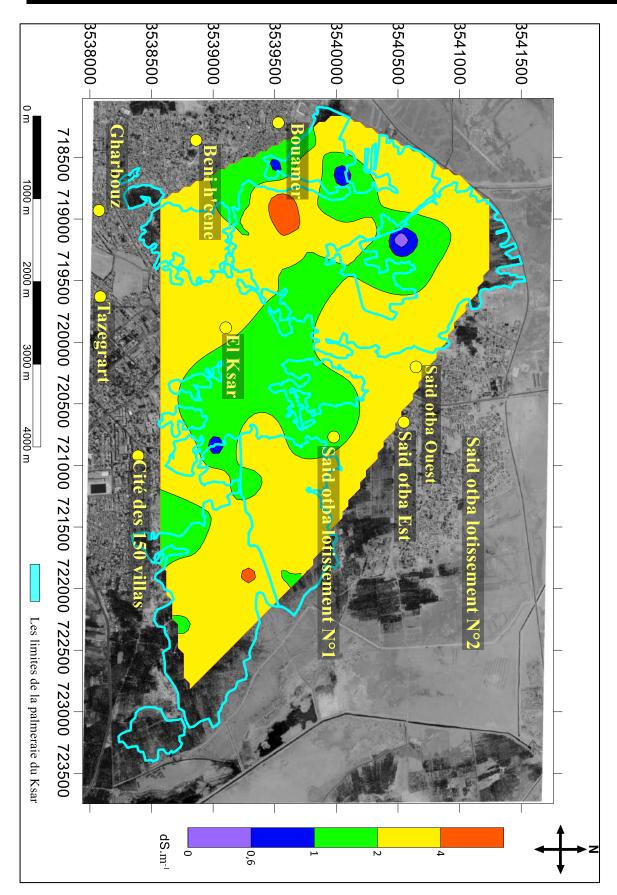


Figure 47. Variation de la salinité de la couche 80-120 cm des sols de la palmeraie du Ksar en été

Afin d'estimer la dégradation des sols, causée par leur salinisation, nous avons rassemblé les classes de salinité de ces sols dans 2 catégories ou classes de sols, caractérisant leur niveau de dégradation : « sols non dégradés » et « sols dégradés » :

- Les « sols non dégradés » regroupent les classes de salinité du sol « non salées » et « légèrement salées » ;
- Les « sols dégradés » regroupent les classes « salées », « très salées » et « extrêmement salées ».

L'étude a montré que la classe des « sols dégradés » est prédominante puisqu'elle représente entre 79 à 97 % quel que soit la saison de prélèvements et l'horizon considérés.

En revanche, la classe des « sols non dégradés » est très faiblement représentée avec des taux allant de 3 à 8 %. Néanmoins, elle est mieux représentée dans l'horizon superficiel avec des taux de 19 % en hiver et 21 % en été mais ces derniers restent faibles par rapport à la classe des « sols dégradés » (Fig. 48). La salinisation est vraisemblablement due l'action concomitante de la conduite culturale, de la mauvaise gestion de l'irrigation-drainage et de la remontée des eaux phréatiques. Ces résultats sont confortés par ceux rapportés par HAMDI AISSA, (2001); IDDER, (2007); BENCHELLAL et al, (2009); DADDI BOUHOUN, (2010); SIBOUKEUR (2016).

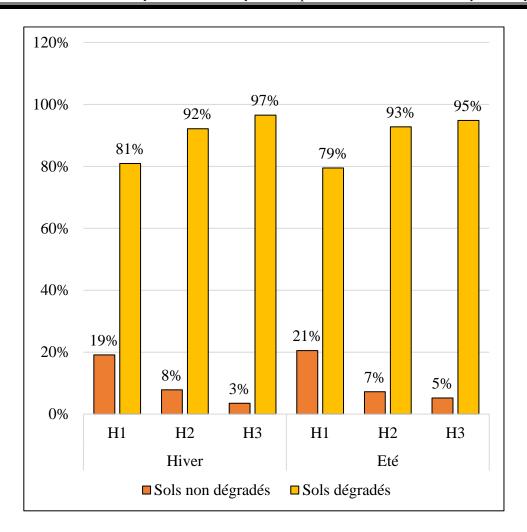


Figure 48. Taux de dégradation des sols par salinisation

Dans les sols à texture à prédominance sableuse, la remontée des eaux phréatiques sous la surface du sol, conduit à un bilan salin positif dans la zone racinaire et à un engorgement chronique (ASKRI et al., 2010). Les résultats obtenus révèlent que la présence des eaux phréatiques salées accentue la salinité du sol. La différence est très hautement significative par rapport au biotope sans la présence de la nappe phréatique soit une p-value de 9.722*10⁻⁰⁵, 2.652*10⁻⁰⁵ et 3.175*10⁻⁰⁵ pour l'horizon de surface, moyen et profond respectivement (Fig. 41). L'analyse des résultats montre également une corrélation positive entre la conductivité électrique des eaux phréatiques et les trois couches du sol avec un coefficient de corrélation (r) de 0,71, 0,79 et 0,78 pour la couche de surface, moyenne et profonde respectivement (Annexe 7).

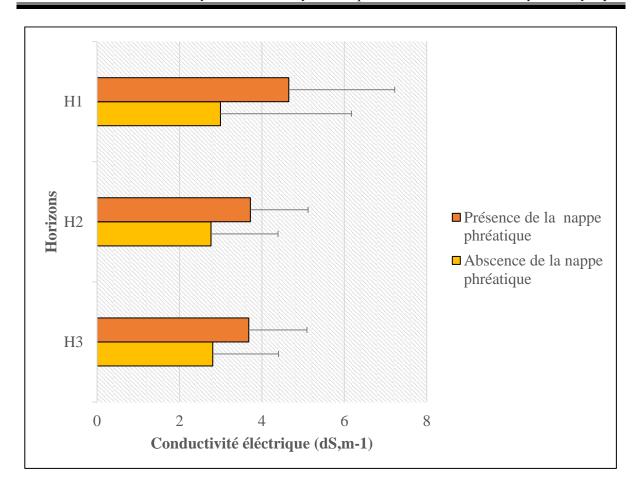


Figure 49. Taux de dégradation des sols par salinisation en présence ou en absence de la nappe phréatique

2.2.2. Dynamique des sels

Dans les régions sahariennes, il est important de bien apprécier les risques de salinisation et la dynamique des sels dans le système eau-sol-palmeraie (DADDI BOUHOUN et BRINIS, 2006) afin de déterminer l'efficacité de la gestion de l'irrigation-drainage.

La dynamique des sels dans les profils des sols de la palmeraie du Ksar est très variable. La salinité du sol en horizon de surface est plus élevée et très variable par rapport aux horizons moyens et aux horizons profonds avec un intervalle de 0,32 à 12,24 dS.m⁻¹. La différence entre les trois horizons est très hautement significative (p-value 7.236*10⁻¹¹). Cependant, elle varie de 0,57 à 8,64 dS.m⁻¹ pour la couche moyenne profondeur (H2) et de 1,22 à 6,08 dS.m⁻¹ pour la couche profonde (H3) (Fig. 50). Cette différence peut avoir comme origine l'intervention de nombreux facteurs biotiques et abiotiques qui conduisent à des niveaux très variables de dégradation au sein de la même couche et entre les différentes couches. Cette situation est particulièrement perceptible au niveau de la couche de surface (0 – 40 cm) par rapport à la

couche moyenne et la couche profonde. Le test post-Hoc de « Ansari-Bradley » a permis de confirmer cette thèse. En effet, aucune différence significative n'a été trouvée entre les couches, moyenne et profonde. On peut donc supposer que ces couches sont influencées par les mêmes facteurs biotiques et abiotiques et constituent un seul groupe. Toutefois, la couche de surface présente une variance plus élevée et diffère très significativement par rapport à la couche moyenne (p-value $2*10^{-6}$) et profonde (p-value $1*10^{-7}$). De ce fait, il constitue un groupe à part étant donné qu'il est peut-être le plus influencé par les facteurs de dégradation.

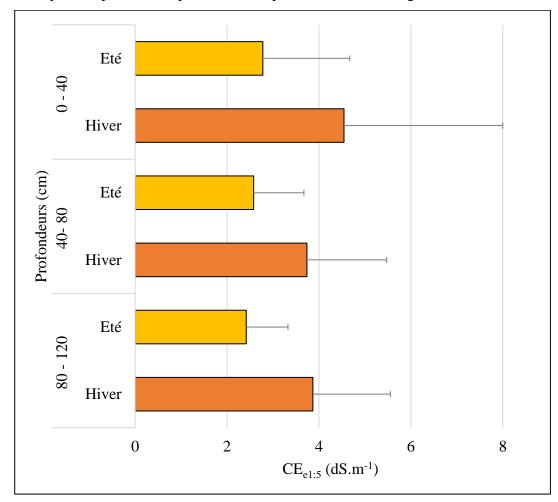


Figure 50. Variation de la salinité moyenne dans les profils des sols

Les quatre profils salins (SERVANT, 1978) à savoir A, B, C et D sont présents dans les sols de la palmeraie du Ksar (Fig.52). Ceci montre que ces sols ont subi différentes dynamiques de sels suivant deux situations : sol irrigué et sol non irrigué.

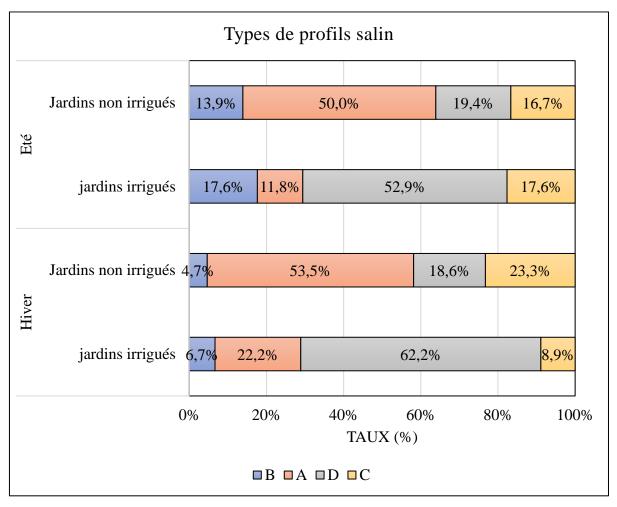


Figure 51. Taux des types de profil salin des sols irrigués et non irrigué au Ksar

Que ce soit en saison hivernale ou en saison estivale, nous constatons que les différents taux des types de profils salins sont comparables pour les jardins irrigués et ceux non irrigués (Fig.51)

Dans les jardins irrigués, on remarque que le profil salin de type descendant est prédominant soit un taux de 52,9% et 62,2% en saison estivale et hivernale respectivement. Selon SERVANT (1975), ce type de profil à gradient de salinité dirigé vers le bas avec un maximum en profondeur serait le résultat d'une désalinisation du sol. Il indique en général que le sol a subi une lixiviation des sels solubles sous l'effet des eaux d'irrigation.

Dans les jardins non irrigués de la palmeraie, le profil salin de type ascendant « A » prédomine. Il représente 50 % des profils des jardins visités en saison estivale et 53,5 % en saison hivernale. Selon SERVANT (1976), ce type de profil à gradient de salinité dirigé vers le haut avec un maximum en surface résultant d'une salinisation ascendante du sol et serait dû à la remontée capillaire des eaux phréatiques superficielles et/ou à une forte évaporation du sol.

La variation de la salinité est soumise aux mouvements de sels ascendants par remontée capillaire et descendants par lixiviation. Le premier mouvement est favorisé par la

remontée des nappes phréatiques, le niveau de drainage et l'évapotranspiration élevée au Sahara. Le second varie avec la gestion des eaux d'irrigation dans les différents jardins de la palmeraie où existe une hétérogénéité dans la conduite de l'irrigation avec des fréquences et des doses d'irrigation non conformes aux besoins des cultures et du lessivage.

Les résultats ont montré que seulement 43 % en saison hivernale et 73 % en saison estivale des profils du sol échantillonnés dans la palmeraie du ksar possède au moins un horizon avec une conductivité électrique qui ne dépasse pas les 4 dS.m⁻¹. D'après DADDI BOUHOUN et *al.* (2010) la production de dattes peut être impactée négativement lorsque la salinité de l'extrait 1:5 du sol atteint les 4 dS.m⁻¹. Elle diminuerait de moitié lorsque la salinité du sol atteint les 8 dS.m⁻¹. RAMOLIYA et *al.* (2003) a constaté que le seuil critique du palmier dattier est de 4 dS.m⁻¹ et qu'au-dessus de cette valeur, la production en dattes diminuerait de 3.6% pour chaque unité de plus.

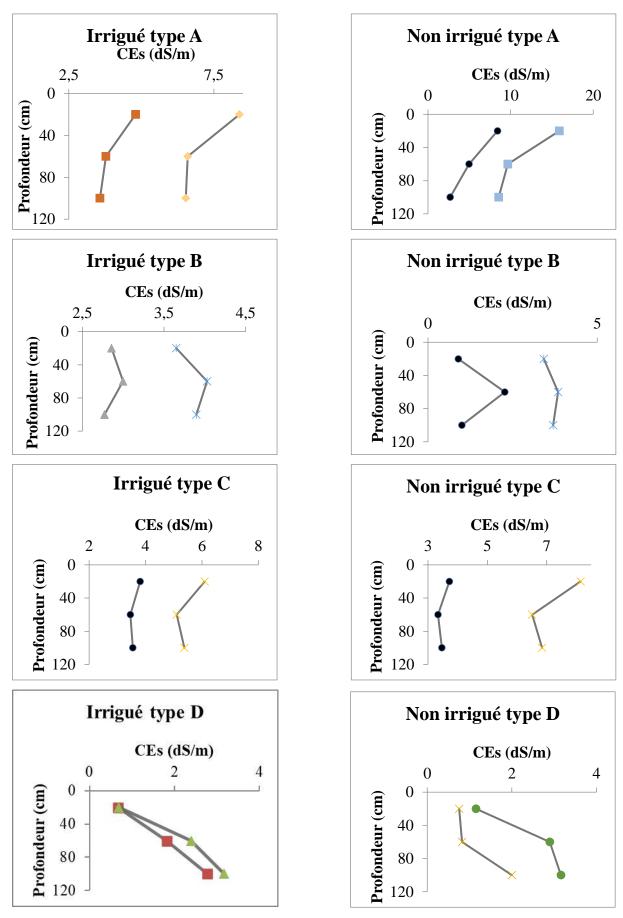


Figure 52. Types de profils salins dans les jardins irrigués et non irrigués au Ksar

Conclusion

L'étude de la variation spatiale et saisonnière de la nappe phréatique au Ksar, montre un niveau statique faible prédominant dans la palmeraie du Ksar située dans la région de Ouargla. Cette situation est persistante en été et en hiver et susceptible de limiter l'enracinement et le développement des arbres, des arbustes et du palmier dattier, clef de voûte du système oasien susceptible de limiter de ce fait sa production.

Les mesures piézométriques dévoilent que la zone Sud-Ouest de la palmeraie est la moins affectée par la remontée de la nappe phréatique. Les directions de l'écoulement de l'eau phréatique n'est pas liée à la variation saisonnière. L'écoulement des eaux s'effectue vers les zones Nord, Nord-Est et à l'intérieur de la palmeraie. Ces dernières sont des zones de dépression naturelle. Cette situation favorise l'hydromorphie et risque d'être aggravée par la présence des drains défectueux ou par leur absence.

Les eaux phréatiques restent très excessivement salées et alcalin en hiver et en été dans la totalité des sites. Elles sont susceptibles d'induire un stress salin alcalin avec des conséquences grave sur la nutrition des cultures.

Les cartes de variation spatiale de la salinité des couches de sols, montrent une faible alcalinisation et une salinisation généralisée dépassant le seuil critique de tolérance du palmier dattier, notamment en saison hivernale. La prédominance de la salinité dans la palmeraie est la résultante d'une remontée des eaux phréatiques chargée en sels et la présence d'un obstacle mécanique de croûtes gypseuses qui favorisent les accumulations ascendantes des sels. Toutefois, la bonne gestion d'irrigation dans certains jardins favorise les accumulations descendantes des sels, par lixiviation au-delà de 1,2 m. Au-dessus de ce niveau la salinité reste inférieure au seuil critique de tolérance du palmier dattier.

Enfin, toutes ces constations révèlent un dysfonctionnement spatial et saisonnier dans les composantes hydro-édaphiques de l'environnement oasien au ksar. Le problème de l'hydro-halomorphie semble prédominant. Il est lié aux contraintes naturelles et à la gestion traditionnelle des palmeraies d'où la nécessité d'un aménagement adéquat pour assurer la réhabilitation et la pérennité de l'ancienne palmeraie du Ksar de Ouargla.

Chapitre V. Effet des paramètres hydrique sur la salinité du sol

Introduction

L'étude de l'effet de l'irrigation et de la nappe phréatique sur la dynamique des sels a été réalisée au-cours de trois irrigations successives, dans deux biotopes différents : le premier caractérisé par une nappe phréatique superficielle (NS) et le second par une nappe phréatique peu profonde (NPP). Cette étude a été réalisée dans le but de déceler l'impact de l'irrigation et /ou de l'obstacle hydrique sur la salinisation des sols sous palmier dattier.

1. Caractérisation des sites de l'étude

L'étude a été effectuée dans la palmeraie traditionnelle de Beni Brahim et celle de Beni Sissine. La superficie globale de la palmeraie du Ksar a été estimée à 561 Ha par SIBOUKEUR (2016). Celle de Beni Brahim repose sur une superficie de 259 Ha, ce qui représente 46,17 % de la totalité de la palmeraie du Ksar et celle de Beni Sissine sur une superficie de 197 Ha, ce qui représente 35,2 % de ce site d'étude SIBOUKEUR (2016). La zone d'échantillonnage est irriguée par un seul forage nommé « BABA YOUCEF (D1 F111) » dont les coordonnées sont les suivantes: Est : 5°19'11", Nord : 31°57'55" (D.R.E.W., 2015). Ce forage du Miopliocène est caractérisé par un débit exploité, de 20 l.s⁻¹ et une charge saline de 1,7g.l⁻¹(D.R.E.W., 2015).

Trois jardins (N°1, N° 2, N° 3) situés dans la palmeraie de Beni Sissine et deux autres (N°4 et N°5) situés dans celle de Beni Brahim ont fait l'objet de cette partie de l'étude. Leurs coordonnées respectives sont les suivantes :

1.1. Jardin N°1

- Coordonnées géographiques : Est : 5°19'02,07"; Nord : 31°57'49,09";
- Superficie globale : 1963 m²;
- Dose d'irrigation : 15033,6 m³ par quinzaine (Fig. 53);
- Durée d'irrigation :10 heures
- Niveau statique de la nappe phréatique supérieur à 120 cm.

1.2. Jardin N°2

- Coordonnées géographiques : Est : 5°19'04,68" ; Nord : 31°57'49,11" ;
- Superficie globale : 4458 m²;
- Dose d'irrigation : 75168,8 m³ par quinzaine (Fig. 53) ;
- Durée d'irrigation :10 heures
- Niveau statique de la nappe phréatique supérieur à 120 cm.

1.3. Jardin N° 3

- Coordonnées géographiques : Est : 5°19'05,98"; Nord : 31°57'54,89";
- Superficie globale : 2807 m²;
- Dose d'irrigation : 18779,04 m³ par quinzaine (Fig. 53);
- Durée d'irrigation : 6 heures
- Niveau statique de la nappe phréatique supérieur à 120 cm.

1.4. Jardin N° 4

- Coordonnées géographiques : Est : 5°19'05,89"; Nord : 31°58'03,50";
- Superficie globale: 4873 m²;
- Dose d'irrigation : 1961,28 m³ par quinzaine (Fig. 53) ;
- Durée d'irrigation : 4 heures
- Niveau statique de la nappe phréatique inférieur à 120 cm.

1.5. Jardin N° 5

- Coordonnées géographiques : Est : 5°19'03,41"; Nord : 31°58'04,26";
- Superficie globale :1900 m²;
- Dose d'irrigation : 9650,88 m³ par quinzaine (Fig. 53) ;
- Durée d'irrigation : 2 heures
- Niveau statique de la nappe phréatique inférieur à 120 cm.

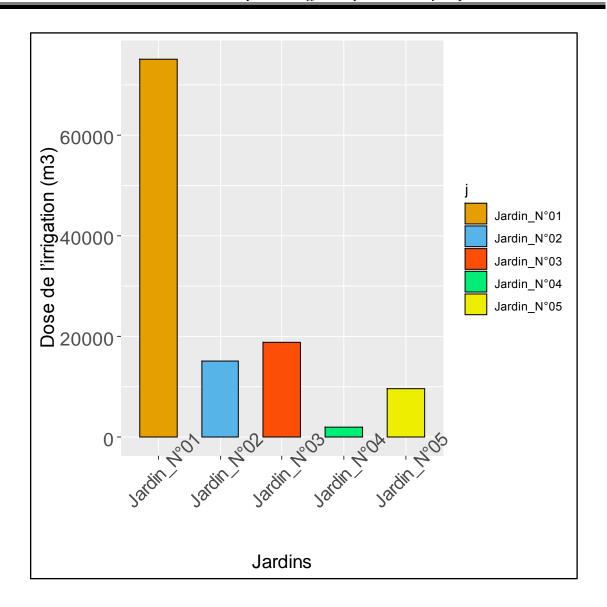


Figure 53. Estimation des doses d'irrigation apportées par quinzaine

2. Effet de la nappe phréatique et de la dose d'irrigation sur la salinité du sol

Nous constatons que dans les cinq jardins étudiés, situés dans les deux biotopes différents (NPP et NS) (Fig.54), la quantité d'eau apportée exerce une influence très hautement significative sur la salinisation du sol (Fig. 54; Fig. 55).

La salinité moyenne du sol dans les jardins où la nappe phréatique est superficielle « NS » est supérieure par rapport à celle enregistrée dans les jardins à « NPP », soit $1,51\pm0,45$ dS.m⁻¹ contre $0,90\pm0,66$ dS.m⁻¹. La différence enregistrée est très hautement significative (p-value $2,2*10^{-16}$).

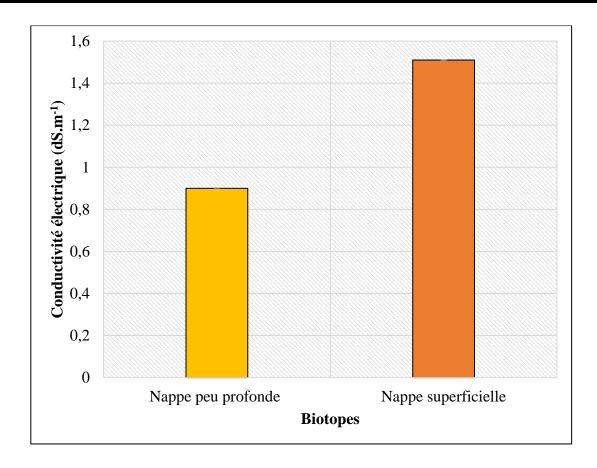


Figure 54. Effet des biotopes sur la salinisation du sol des palmeraies

Nous remarquons parallèlement qu'au niveau du biotope « NPP » où la nappe phréatique ne semble pas exercer un effet sur la salinisation du sol et où seule l'irrigation reste l'élément discriminant de la salinisation du sol, le jardin N°2 possède une salinité élevée et qui diffère d'une manière très hautement significative par rapport aux jardins N°1 et N°3 soit une moyenne de $1 \pm 0,66$ dS.m⁻¹ contre $0,72 \pm 0,60$ dS.m⁻¹ et $0,58 \pm 0,50$ dS.m⁻¹ respectivement. Toutefois, la salinité est semblable entre les jardins N°1 et N°3 dont la différence est non significative (Fig. 55).

Par contre, au niveau du biotope « NS » la salinité du sol est comparable entre les deux jardins (N°4 et N°5) situés dans la palmeraie Beni Brahim, avec une différence non significative soit $1,60 \pm 0,43$ dS.m⁻¹ contre $1,53 \pm 0,48$ dS.m⁻¹ (Fig. 55). Cela serait vraisemblablement dû à une entrave de la nappe phréatique superficielle à la lixiviation des sels et/ou à une faible influence de la dose d'irrigation, sur cette dynamique des sels.

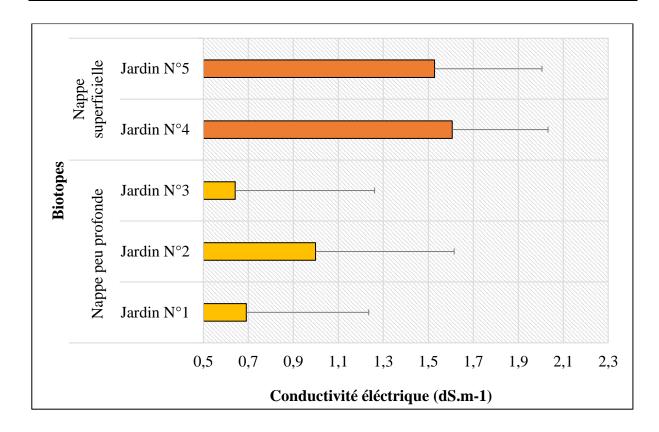


Figure 55. Effet des biotopes sur la salinisation du sol des palmeraies

3. Efficacité de l'irrigation

Les profils salins dans les jardins sont de type D, quelque soit le biotope considéré (nappe superficielle ou peu profonde). Ceci dénote une efficacité de la lixiviation des sels par les eaux d'irrigation (Fig.56) entrainant une désalinisation permanente. Le degré de salinité reste toutefois relativement élevé en nappe superficielle par rapport à la nappe profonde. Il oscille en effet, entre 1,04 et 1.89 dS.m⁻¹ dans le premier cas contre 0,19 et 1,63 dS.m⁻¹ dans le second. En effet, la majorité des sols de biotope nappes superficielle sont classés « Salé » soit 97 % des sols du biotope « nappe superficielle » appartiennent à la classe « salée » et seulement 3 % à la classe « légèrement salée ». En revanche, 57 % seulement des échantillons provenant des sols du biotope « nappe peu profonde », appartiennent à la classe « légèrement salés » et 43 % à la classe « salée ».

Ce résultat est de nature à suggérer que la présence de la nappe phréatique superficielle s'oppose au changement du profil salin du profil type D vers le profil type B. Ce dernier est caractérisé, selon SERVANT (1975), par une désalinisation temporaire due à un mauvais drainage dans les sols irrigués. La présence de cette nappe aurait en revanche, une influence importante sur l'augmentation de la salinité de toutes les couches du sol.

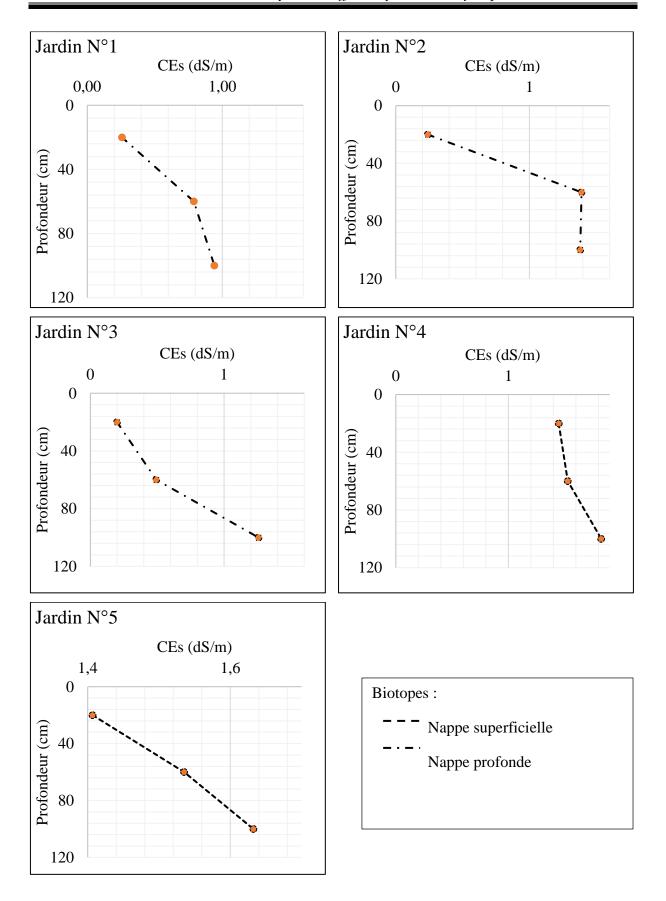
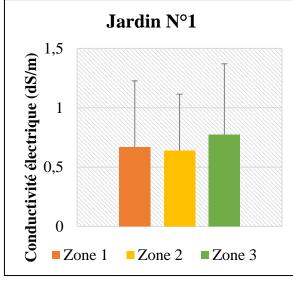
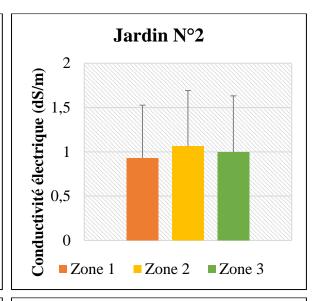
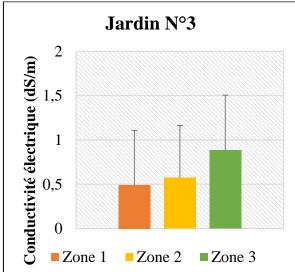


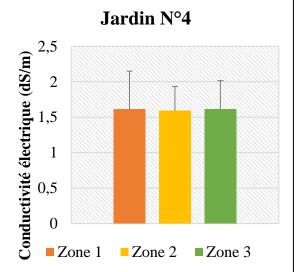
Figure 56. Profil salin des jardins irrigués en fonction du biotope

L'irrigation dans les planches échantillonnées des jardins N°1, 2, 4 et 5 semble s'être effectuée d'une manière homogène vu qu'aucune différence significative n'a été enregistrée dans la conductivité électrique du sol de ces planches (Fig. 57). Cela indique que la quantité d'eau apportée supposée similaire au sein du même jardin, aurait entraîné une homogénéité dans la lixiviation des sels dans toute la planche. Toutefois, dans le jardin N°3 on a enregistré une forte salinité dans les deux zones 2 (centre de la planche) et 3 (fin de la planche) situées loin du début de la planche soit une moyenne de $0,57 \pm 0,59$ dS.m⁻¹ et de $0,88 \pm 0,62$ dS.m⁻¹ respectivement contre une faible conductivité électrique dans le début de la planche « zone N° 1 » soit une moyenne de $0,49 \pm 0,61$ dS.m⁻¹ (Fig. 57). Cette situation indique une hétérogénéité de la quantité d'eau apportée aux différentes zones de la planche de jardin N°3. En effet, l'absence de maitrise de l'irrigation peut conduire à une lixiviation hétérogène des sels dans la planche donc à une variabilité significative de la salinité du sol.









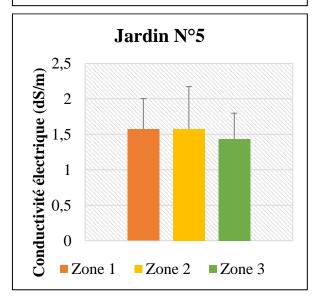


Figure 57. Effet des quantités d'eau apportées à la planche, sur l'homogénéité de la lixiviation des sels

Conclusion

Les résultats auxquels nous sommes parvenus, sont de nature à suggérer que l'effet concomitant de l'irrigation et de la nappe phréatique contribue grandement à l'augmentation de la salinisation du sol de la palmeraie du Ksar.

L'étude de l'effet de l'irrigation montre une dynamique descendante par lixiviation dans l'ensemble des profils salins au cours des irrigations.

La distribution moyenne des sels dans les planches d'irrigation reste homogène en sol de nappe superficielle où l'engorgement prédomine. Elle devient hétérogène avec l'approfondissement de la nappe où la lixiviation prédomine sous différents degrés.

Le niveau élevé de la nappe phréatique contribue à l'augmentation de la salinité du sol par une dynamique ascendante des sels. Cet effet diminue avec l'approfondissement de la nappe phréatique, combiné à une lixiviation probable des sels par irrigation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Au terme de cette étude, nous pouvons conclure que la variation saisonnière de la nappe phréatique n'était pas significative pendant la période d'étude. Néanmoins, le faible niveau statique et la salinité excessive de celle-ci constituent des facteurs limitatifs pour la productivité du palmier dattier et des cultures intercalaires associées, en créant un état d'hydromorphie et de salinisation du sol décelé à travers les profils réalisés. Cette situation laisse prédire fort probablement une dégradation significative à long terme et d'après les études antérieures, elle peut entraver le développement racinaire du palmier dattier et diminuer son potentiel d'absorption hydrominérale et les rendements à cause du stress hydrosalin et de l'anoxie.

L'écoulement des eaux de drainage déterminé via l'établissement des cartes piézométriques, s'effectue selon la même direction que ce soit en été ou en hiver. Il s'effectue vers le chott de Ain Beida, les zones périphériques Nord de l'oasis du Ksar et les dépressions de cette palmeraie où l'hydro-halomorphie s'accentue. Toutefois, la gestion irrationnelle de l'irrigation et l'absence de drainage, aggravent la situation d'hydro-halomorphie, en été, dans certaines zones de dépression.

Parallèlement, la présence des croûtes gypseuses d'origine phréatique, produit un stress mécanique qui accentue l'effet du stress hydrosalin sur les végétaux. Il est connu que la résistance mécanique des croûtes réduit la pénétration racinaire du palmier dattier. Cette dernière est limitée par l'augmentation de la densité apparente des obstacles mécaniques des sols, notamment les croûtes.

L'étude de la variation spatio-temporelle de la salinité des sols dans l'oasis du ksar montre une dynamique saline ascendante, liée à l'élévation du niveau des eaux phréatiques et descendante, liée à la gestion de l'irrigation et drainage. Il est par conséquent clair que l'environnement hydro-édaphique actuel de l'ancienne palmeraie du Ksar de Ouargla est sérieusement menacé de dégradation. Cette situation impacte incontestablement la durabilité de l'agro-système oasien, le mode de vie de la population autochtone et aussi la biodiversité, avec un risque de disparition de certains cultivars sensibles à la dégradation hydro-édaphique.

Le diagnostic agro-environnemental de l'oasis du Ksar est pour le moins alarmant. Il nous conduit à proposer certaines recommandations d'aménagement pour remédier aux

problèmes posés. Ces recommandations sont d'ordre environnemental, agricole et socioéconomique.

A l'échelle environnementale, nous recommandons essentiellement une lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Pour cela il est indispensable d'intégrer l'oasis du Ksar dans le réseau de drainage de refoulement des eaux vers Sebkhet Sefioune. Il serait aussi judicieux de renforcer le potentiel de drainage existant (limité) par le biodrainage. Nous recommandons pour cela l'utilisation des essences végétales hydro-halophytes (le pin, l'eucalyptus...) susceptibles d'assécher la nappe phréatique et réduire les accumulations de sels. En parallèle sous ses conditions de dégradation, il faut aussi introduire des cultures consommatrices et accumulatrices de sels comme la betterave sucrière, le pourpier...etc. afin d'améliorer la rentabilité des sols.

Les recommandations agricoles concernent la gestion des ressources hydriques et l'irrigation-drainage. Pour une gestion rationnelle des ressources hydriques, il est nécessaire d'apporter des améliorations aux réseaux d'irrigation à l'intérieur et à l'extérieur des palmeraies en se réorientant vers des systèmes d'irrigation en PEHD ou en PVC, notamment le goutte à goutte. Ces systèmes permettront d'économiser l'eau lors de son acheminement jusqu'aux planches et jardins et d'augmenter le rendement des cultures. Il faut également introduire des méthodes modernes de conduite, plus fiables pour une bonne estimation des besoins culturaux en eau comme les sondes à neutrons. Le renouvellement du système de drainage actuel s'avère une nécessité incontournable pour couvrir l'ensemble des jardins de l'oasis du ksar et de le relier au nouveau système de la cuvette. Il faut veiller à l'installation des stations de pompage au niveau des zones des dépressions et à l'entretien quotidien des drains par le désherbage et le nivellement de ces derniers.

La lutte contre l'hydro-halomorphie contribue au développement socio-économique de la population de la cuvette de Ouargla. Ce dernier lié entre autres, au développement agricole dans les anciennes oasis notamment au ksar et à l'activité agricole permet de subvenir aux besoins d'une partie de la population locale en garantissant une certaine sécurité alimentaire, une production artisanale, des matériaux de construction et un lieu de détente touristique.

En définitif, ces recommandations visent à assurer la pérennité de l'oasis par la réhabilitation du patrimoine phoenicicole à l'échelle du Ksar dégradé en particulier et par une remédiation du disfonctionnement à l'échelle de la cuvette. Cette approche constitue une phase

préliminaire incontournable pour la sauvegarde de la palmeraie du ksar et un modèle d'aménagement à adopter pour les oasis de dégradation similaire dans la cuvette de Ouargla.

Afin de mieux cerner les facteurs environnementaux qui entravent le fonctionnement des agrosystèmes oasien fragiles, il est impératif de généraliser et d'approfondir les recherches sur la salinisation hydro-édaphique à l'ensemble des palmeraies de la cuvette de Ouargla. A partir de notre étude, certaines recommandations sont à privilégier tels que l'augmentation de la durée de l'étude spatio-temporelle à l'échelle du Ksar et au niveau des jardins et l'approfondissement du diagnostic environnemental par l'introduction de nouveaux paramètres à étudier (sodicité, alcalinité, facièce ...etc.). L'élaboration d'un modèle de fonctionnement environnemental à l'échelle des oasis et de la cuvette pour prédire par simulation le développement de l'hydro-halomorphie serait également nécessaire.

La lutte contre la contrainte hydro-halomorphe contribue à la sauvegarde de l'environnement oasien ancestrale et la valorisation de leur potentialité hydro-édaphique dans une perspective de développement agricole et socio-économique durable dans les oasis sahariennes. Enfin toutes ces approches de diagnostic vont nous permettre de dégager des solutions d'aménagement pour lutter efficacement contre l'hydro-halomorphie et de contribuer ainsi à la sauvegarde de l'environnement oasien ancestrale. La valorisation des potentialités hydro-édaphique à Ouargla et dans les régions sahariennes reste une perspective de développement agricole et socio-économique durable et respectueuse de l'environnement.

Références bibliographiques

Références bibliographiques

A.N.R.H., 2000 - Note relative à la remontée des eaux dans la cuvette de Ouargla. Rapport Agence Nationale Ressources Hydrauliques, Ouargla, 8 p.

A.N.R.H., 2004 - Synthèse sur les ressources des eaux de la wilaya de Ouargla. Rapport Agence Nationale Ressources Hydrauliques, Ouargla, 16 p.

AHMED F.H., EL-GAHTANY M.S. et WALY Y.A., 1979 - Culture des palmiers et production des dattes dans les deux mondes arabes et musulmans. Impr. Univ. Aïn Chamse, Aïn Chamse, 200 p. (en arabe).

ALAMOUD A. I., MOHAMMAD F. S., AL-HAMED S. A., & ALABDULKADER A. M., 2012 - Reference evapotranspiration and date palm water use in the Kingdom of Saudi Arabia. International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science, 2(4), 155-169.

ARAGUES R., 1983 - The quality and availability of water used in irrigation systems. Proc.

17 th coll. Int. Potash Institued Bern, CRIDA, Zaragoza: 315-323.

ARMSTRONG M. et CARIGNAN J., 1997 - Géostatistique linéaire. Application au domaine minier. Les presses de l'École des mines. Paris. 115 p.

ARMSTRONG W.W., 1960 - Conditions affecting salt accumulation in Coachella Valley date gardens. Ann. Rep. Date Growers' Inst., 37: 18-22.

ASHRAF M et HARRIS., 2004 - Potential biochemical indicators of salinity tolerance in plants.Plant Sci., 166: 3-6.

ASKRI B., AHMED A. T., ABICHOU T., & BOUHLILA R., 2014 - Effects of shallow water table, salinity and frequency of irrigation water on the date palm water use. Journal of hydrology, pp: 81-90.

AUMASSIP, G., DAGORNE, A., ESTORGES P., LEFEVRE-WITIER, P., MAHROUR, F., NESSON, C., ROUVILLOIS- BRIGOL, M. et TRECOLLE G. 1972 - Aperçus sur

l'évolution du paysage quaternaire et le peuplement de la région de Ouargla. Libyca. T XX, pp. 205-257.

AYERS R.S. et WESTCOT D.W., 1976 - La qualité de l'eau en agriculture. Bull. F.A.O. Irrig. Drain., Rome, pp. 29-97.

BAILLARGEON S., 2005 - Le krigeage: revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations..

BELAROUSSI M E., 2019 - Etude de la production du palmier dattier (Phoenix dactylifera L.) variété Deglet Nour: cas des régions de Oued Mya et Oued Righ. Thèse de doctorat. Université Kasdi Merbah Ouargla.

BONNARD et GARDEL., 2002 - Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission IA : Reconnaissance et diagnostic de l'assainissement. 164 p

BONNARD et GARDEL., 2003 - Etudes d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation. Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Volet étude d'impact sur l'environnement. Mission IIB : Caractérisation environnementale de la situation actuelle. 37 p

BONNARD et GARDEL., 2004 - Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Mission II : rapport final investigations, essais de pompage et bilans d'eau, établissement des cartes piézométriques, diagnostic des captages d'eau et mesures de réhabilitation, de protection des ressources en eau. 164 p

BONNARD et GARDEL., 2005 - Etudes d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. 109 p

BOUAMMAR B., 2010 - Le développement agricole dans les régions sahariennes. Etude de cas de la région d'Ouargla et la région de Biskra. Thèse de doctorat. Université Kasdi Merbah Ouargla. p 293.

BOUGUEDOURA N., BENNACEUR M., BABAHANI S., & BENZIOUCHE S. E., 2015

- Date palm status and perspective in Algeria. In Date palm genetic resources and utilization (pp. 125-168). Springer, Dordrecht.

CALLOT G., CHAMAYOU H., MAERTENS C., SALSAC L., 1982 - Les interactions sol racine : incidence sur la nutrition minérale. I.N.R.A., Paris, 325 p.

Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec (CEAEQ)., 2008- Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales. Cahier 5 échantillonnage des sols. Edition courante. 57 p.

CHAOUCHE-BENCHERIF M., 2007 - La Micro-urbanisation et la ville-oasis; une alternative à L'équilibre des zones arides pour une ville saharienne durable CAS du Bas-Sahara (Doctoral dissertation, Thèse de Doctorat en Sciences, Université de Constantine).

CHERBUY B., 1991 - Les sols salés et leur réhabilitation. Cemagref, Rennes, 124 p.

CHEVERRY, C. et BOURRIE, G., 1998. La salinisation des sols. "Sol interface fragile". INRA, Paris: 109-127.

CHINNUSAMY V., SCHUMAKER K., et ZHU, J. K., 2004 - Molecular genetics perspectives on cross-talk and specificity in abiotic stress signalling in plants. Journal of Experimental Botany.pp225-236.

Commissariat de Développement de l'Agriculture dans les Régions Sahariennes (C.D.A.R.S)., 2016 - Statistiques Agricoles .Rapport annuel (2015-2016).

COTE M., 1998 - Des oasis malades de trop d'eau?, Science et changements planétaires/Sécheresse, vol. 9, no 2, p. 123-130.

COTÉ M.,2005- La ville et le désert : le Bas-Sahara algérien. Karthala Éditions.

D.S.A.O., 2006 - Les problèmes de la mise en valeur posés à Touggourt et les possibilités d'amélioration. Direction des services agricoles. Ouargla. 15 p.

DADAMOUSSA M L., 2007 - Les effets induits des différents programmes de développement agricole sur la préservation de l'écosystème saharien, cas de la région d'Ouargla. Mémoire de magister. Université Kasdi Merbah Ouargla. 145 p

DADAMOUSSA M. L., SENOUSSI A., IDDER M. A., BELAROUSSI M. E., IDDER-IGHILI H. et BOUMADA A., 2015- La petite mise en valeur au Sahara septentrionale algérien: entre politiques de développement et réalité; cas de Ouargla, Ghardaïa et El-Oued. Livestock Research for Rural Development. Volume 27, Article #210

DADDI BOUHOUN M et BRINIS L., 2006 - Etude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigué gypso-salin : cas d'une palmeraie de la cuvette de Ouargla. Journal Algérien des Région Arides, N° spécial. pp :17-20.

DADDI BOUHOUN M. et BRINIS L., 2006 - Etude de la dynamique des sels solubles dans un sol irrigue gypso-salin : cas d'une palmeraie de la cuvette de Ouargla. J. Alg. Rég. Arides, Numéro spécial : 17-20.

DADDI BOUHOUN M., 2010 - Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est algérien). Thèse de Doctorat . Université BADJI Mokhtar, Annaba. 365 p.

DADDI BOUHOUN M., BOUTOUTAOU, D., SAKER, M. L., et OULD EL HADJ M. D., 2013 - Impact de l'environnement oasien de ouargla sur la salinisation des sols. Proceeding-du Séminaire International sur Hydrogéologie et Environnement, Ouargla.

DADDI BOUHOUN M., MARLET S., BRINIS L., SAKER M. L., RABIER J. et CÔTE M., 2011 - A survey of the combined effects of water logging and salinity on fruit yield in the date palm groves of the Wargla basin, Algeria. Fruits. V 1.66. N° 1. pp : 11 - 24.

DAOUD Y et HALITIM O., 1994 - Irrigation et salinisation au Sahara algérien. Sécheresse. V 5. N° 3. pp : 151 – 160.

DAOUD Y. et ROBERT M., 1989 - Influence de la nature de l'anion, et du pH sur la conductivité hydraulique et la rétention en eau des pâtes de Kaolinite sodique. Agronomie, 9:629-633.

DAOUD Y., CHEVERRY C. et ROBERT M., 1993 - Rôle physico-chimique du magnésium dans les sols salés des plaines du Cheliff (Algérie). Sci. Sol, 31(4): 281-293.

DARAB K., 1965 - The chemical and physico-chemical effects of sodium carbonate in soils. Agrokèmia ès Talajtan, 14 : 175-181.

Direction des ressources en eau de la wilaya de ouargla (D.R.E.W)., 2015 – fichier excel.

DJENNANE A., 1990 - Constat de situation dans des zones Sud des oasis algériennes.

DJERBI M., 1994 - Précis de phéniciculture. F.A.O., Rome, 192 p.

DJIDEL M., 2008 - Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). Thèse de Doctorat. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR-ANNABA. Faculté des Sciences de la Terre. Département de Géologie. 164 p.

DUBIEF J., 1959 - Le climat du Sahara. Institut de recherche Saharienne. Alger. Tome I, 298 p.

DUBIEF J., 1963 - Le climat du Sahara. Institut de recherche Saharienne. Alger. Tome II, 262 p.

DUBOST D., 1991 - Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse Doct., Université François Rabelais, Tours, 544 p.

DUBOST D., 1991 - Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis algériennes. Thèse Doct., Université François Rabelais, Tours, 544 p.

DUBOST D., 1992- Aridité, agriculture et développement : le cas des oasis algériennes. Sécheresse, no 2. Vol. 3. 85-96.

DUBOST D., HADDAD D., KAFI A. et MAANE H., 1983 - Rapport préliminaire sur les essais d'irrigation localisée du palmier dattier à la station expérimentale de Sidi Mahdi (Touggourt). Bull. Agr. Saha., 5 : 26-60

DURAND J. H. et GUYOT J. 1955- Irrigation des cultures dans l'Oued Righ. Travaux de l'IRS. Tome 13. Univ. D'Alger.

DURAND J.H., 1958 - Les sols irrigables. Etude pédologique. Impr. Imbert, Alger, 191 p.

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

DUTIL P., 1971 - Contribution à l'étude des sols et des paléosols du Sahara. Thèse Doct. Es Sci. Naturelles, Univ. Strasbourg, Strasbourg, 346 p.

EDMONDS W.J., THOMAS P.J., SIMPSON T.W., BAKER J.C., 1998 - Land judging and soil evaluation. Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia. 26 p.

EL-SWAIFY S.A., 1973 - Structural changes in Tropical soils due to anions in irrigation water. Soil Sci., 115 (1): 64-72.

ENAGEO., 1990 - Etude hydrogéologique de la nappe phréatique de la cuvette de Ouargla. Rapport.

FACIM., 2016 - L'agriculture oasienne : entre déclin et réhabilitation. Sarrebruck : Editions Universitaires Européennes.

FACI M., 2017 - Evaluation des changements socioéconomiques dans les anciennes palmeraies (cas de la région d'Ouargla). International Journal of Innovative Research in Human Sciences, V1(N01), pp : 017-034.

FAO et UNESCO., 1973- Irrigation, Drainage and Salinity. Edition: Hutchinson & Co. 510 p.

FLORET C et PONTANIER R., 1984 - Aridité climatique, aridité édaphique, Bulletin de la Société Botanique de France. Actualités Botaniques. pp : 265 – 275.

FURR J.R., 1975 - Water and salinity problems of Abadan Island date gardens. Rapport du 52^{ème} annuel de l'institut des phoeniciculteurs. Etats-Unis. pp : 14 - 17.

FURR J.R., REAM C.L. et BALLAR A.L., 1966 - Growth of young date palms in relation to soil salinity and chloride content of the pinnae. Ann. Rep. Date Growers' Inst., 43: 4-8.

GAUCHER G., BURDIN S., 1974 - Géologie, Géomorphologie et Hydrologie des terrains salés. P.U.F., Paris, 231 p.

GOLDBERG S., SUAREZ D.L. et GLAUBIG R.A., 1988 - Factors affecting clay dispersion

and aggregate stability of arid zone soils. Soil Sci., 146 (5): 317-325.

HALITIM A., ROBERT M., TESSIER D. et PROST R., 1984 - Influence des cations échangeables (Na+, Ca++, Mg++) et de la concentration saline sur le comportement physique

(rétention en eau, conductivité hydraulique) de la montmorillonite. Agronomie, 4 (5) : 452-459.

HAMDI-AISSA B., & GIRARD M. C., 2000 - Utilisation de la télédétection en régions sahariennes, pour l'analyse et l'extrapolation spatiale des pédopaysages. Science et changements planétaires/Sécheresse, 11(3), 179-88.

HAMDI-AISSA B., 2001 - Fonctionnement actuel et passé de sols du Nord du Sahara (cuvette de Ouargla). Approches micromorphologique, géochimique et minéralogique et variabilité spatiale. Thèse de doctorat. Institut National Agronomique. Paris-Grignon, 310 p.

HAOUALA F., FERDJANI H. et BEN ELHADJI S, 2007 - Effets de la salinté sur la répartition des cations (Na+, K+, et Ca++) et du chlore (CL-) dans les parties aèriennes et les racines du ray gras anglais et du chiendent.Biotechnology, Agronomie, Société et Environnement, vol .11, N°. 3:235-244.

HEWITT A.A., 1963 - Effects of different salts and salt concentration on the germination and subsequent growth of "Deglet-Noor" date seeds. Ann. Rep. Date Growers' Inst., 40: 4-6.

HILAL M.H., 1989 - Studies on irrigation and fertilization of date palm. The second symposium on the date palm in Saudi Arabia (3-6 march 1986, Al-Hassa). Mars Publishing House, Vol. 1, Riyadh: 286-302.

HUSSEIN F., KHALIFA A.S. et ABDALLA K.M., 1996 - Effect of different salt concentrations on growth and salt uptake of dry date seedlings. The third symposium on the date palm in Saudi Arabia (17-20 junury 1993, Al-Hassa). Mars Publishing House, Vol. 1, Riyadh: 299-304.

IDDER A., IDDER T., NEZLI I. E., HAMDI-AÏSSA B., CHELOUFI H., DOSSO, M., et PHILIPPON O., 2014 - Compartimentation et accumulation estivale des sels neutres dans les aridisols sableux nus de la cuvette d'Ouargla (sahara algérien). Lebanese Science Journal, 15(1), 41.

IDDER M. A., BOUAMMAR B., et IDDER-IGHILI H., 2011 - La palmeraie du Ksar d'Ouargla; entre dégradation et réhabilitation. Revue des Sciences et Technologie – Université KASDI Merbah - Ouargla. V 3. N° 1.

IDDER T., 2005 - Contribution à l'étude des principaux facteurs de dégradation de l'oasis du Ksar de Ouargla. Mémoire d'ingénieur en agronomie saharienne. Université Kasdi Merbah. Ouargla. 93 p.

IDDER T., 2007 - Le problème des excédents hydriques à Ouargla : situation actuelle et perspectives d'amélioration, Sécheresse. V 18. N° 3. pp : 161 - 167.

JABNOUNE M., 2008 - Adaptation des plantes au stress Salin : caractérisation de la transporteur de sodium et potassium de la famille HKT chez le riz .Thèse doctorat, univ Montpellier II. Job, J.O., Tabbagh, A. and Hachicha, M., 1995. Détermination par la méthode électromagnétique de la concentration en sel d'un sol irrigué. Can. J. of Soil Sci., 75: 463-469.

KARPOFF R., 1952 - Observation préliminaire sur l'hydrologie du Bas-Sahara. In: "l'hydrogéologie des régions arides et sub-arides". XIX Congrès Géol. Intern., Alger : 201 231.

KHADRAOUI A., 2007 - Eau et impact environnementale dans le Sahara algérien. Définition- évaluation et perspectives de développement. Ed, ISBN. 299 p.

KOUZRIT D.,2016 - L'eau et l'espace agraire dans la vallée du M'Zab: cas de la palmeraie de Ghardaïa. Mémoire de magister en sciences Agronomiques. Université Kasdi Merbahe Ouargla.

LALLEMAND-BARRES A., 1980 - Aménagement des sols salés, irrigation avec des eaux salées. Etude documentaire.

LAPERCHE et MOSSMANN., 2004 - Protocole d'échantillonnage des sols urbains pollués

par du plomb. 26 p

LEGROS J.P., 2009 - La salinisation des terres dans le monde. Académie des Sciences et Lettres de Montpellier, conference n°4069, Bull. (40):257–269.

LELIEVRE R. F., 1969- Assainissement de la cuvette de Ouargla. Ministère des Travaux Publiques et de la Construction, Rapport Geohydraulique, (2).

LONGENECKER D.E., 1959 - Influence of soluble anions on some physical and physicochemical properties of soils. Soil Sci., 88: 185-191.

MAILLARD J., 2001. Le point sur l'Irrigation et la salinité des sols en zone sahélienne. Risques et recommandations. Handicap International. Novembre 2001, 34 p.

MALLOHI N., 1982 - Contribution à l'étude de l'influence de la salinité sur l'évolution de la matière organique. Thèse Doct. Etat, I.N.P.L., Nancy, 127 p.

MALLOHI N., 1989 - Etude de la dynamique de la matière organique dans les sols affectés par la salinité. Tropicultura, 7 (3) : 90-97.

MALLOHI N., JACQUIN F., 1988 - Influence des ions sodium sur les mécanisme d'humification. Sci. Sol, 26 (4) : 215-222.

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

MCNEAL B.L., 1968 - Prediction of the effects of mixed-salt solutions on soil hydraulic conductivity. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 32: 190-193.

MEISSA B., 2016 - L'eau et l'espace agraire dans l'Oued Souf: cas de l'ancienne palmeraie. Mémoire de magister en sciences Agronomiques. Université Kasdi Merbahe Ouargla.

MONNEVEUX P. et THIS D., 1997 - La génétique face au problème de tolérance des plantes à la sécheresse : espoirs et difficultés. Sécheresse n° 1 vol. 8 pp. 29 – 37.

MUNNS R., 2005 - Genes and salt tolerance: bringing them together. New Phytologist, 167(3): 645-663.

NEZLI I.E., 2004 - Mécanismes d'acquisition de la salinité et de la fluoruration des eaux de la nappe phréatique de la basse Vallée de l'Oued Mya (Ouargla). UNIVERSITE Badji Mokhtar - Annaba. Faculté des sciences de la terre. Département de Géologie Mémoire de magister en Géologie. 90 p.

NEZLI I.E., ACHOUR S et DJABRI L., 2007- Approche géochimique des processus d'acquisition de la salinité des eaux de la nappe phréatique de la basse vallée de l'oued m'ya (Ouargla). Larhyss Journal, N° 6. pp : 121-134.

O.N.M. Ouargla., 2020 - Données météorologiques de la station pluviométrique de Aine beida (2005-2014).

OMM., 2005 - Le climat et la dégradation des sols. N° 989.

OSS., 2003- SYSTEME AQUIFERE DU SAHARA SEPTENTRIONAL gestion commune d'un bassin transfrontière.

PARIDA A. K. et DAS A. B., 2005 - Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. Ecotoxicology and environmental safety, 60(3), 324-349.

PILLET D., 1995 - Repères pour l'histoire de Ouargla de 1872-1992. 2èmé édition. Traduction arabe de Ali IDDER. 120 p.

PUPISKY H. et SHAINBERG I., 1979 - Salt effects on the hydraulic conductivity of a sandy soil. Soil Sci. Soc. Am. J., 43: 429-433.

RAMOLIYA P. J., & PANDEY A. N., 2003 - Soil salinity and water status affect growth of Phoenix dactylifera seedlings. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science, 31(4), 345-353.

RECIOUI I., 2020 - Etude spatio-temporelle de l'impact des conditions hydriques sur la salinisation des sols au Sahara algérien (Cas de la cuvette de Ouargla). Thèse de Doctorat.

ROUVILLOIS-BRIGOL M., 1975-Le pays de Ouargla (Sahara Algerien). Variations et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Département de géographie de l'Université de Paris-Sorbonne. 389 p.

SAKER M.L., 2000 - Les contraintes du patrimoine phoenicicole de la région de l'Oued Righ et leurs conséquences sur la dégradation des palmeraies. Problèmes posés et perspectives de développement. Thèse de Doct., Université Louis Pasteur, Strasbourg, 335 p.

SALHI A., 2017 - Transformations spatiales et dynamiques socio-environnementales de l'oasis de Ouargla (Sahara algérien). Une analyse des perspectives de développement. Thèse de Doctorat en Géographie (Doctoral dissertation).

SENOUSSI A., 1999 - Gestion de l'espace saharien en Algérie: symbiose ou confrontation entre systèmes productifs en milieu agricole et pastoral (cas de la région de Ouargla) (Doctoral dissertation, Toulouse 2).

SERVANT J.M., 1975 – Contribution a l'étude pédologique des terrains halomorphes, L'exemple des sols salés du Sud et du Sud-Ouest de la France. Thèse de Doctorat en ES-Sciences Naturelles. Université des sciences et techniques du LANGUEDOC. France. Tome 1. 190p.

SERVANT J.M., 1978 - La salinité dans le sol et les eaux: caractérisation et problèmes d'irrigation-drainage. Bull. B.R.G.M., Sect. III. N°2. pp : 123 - 142.

SIBOUKEUR A., 2016 - L'eau et l'espace agraire dans la cuvette de Ouargla: cas de la palmeraie du Ksar. Mémoire de magister en sciences Agronomiques. Université Kasdi Merbah Ouargla. 104p.

SIMMONS L.T., 1926 - Rooting habits of date palm. Ann. Rep. Date Growers' Inst., 3: 1-3.

SLIMANI R., 2006 - Contribution à l'évaluation d'indicateurs de pollution environnementaux dans la région de Ouargla: Cas des eaux de rejets (agricoles et urbaines). Mémoire de magister en agronomie saharienne. Université Kasdi Merbah Ouargla.

SNOUSSI S.A et HALITIM A., 1998 - Valorisation des eaux salines pour la nutrition minérale des plantes cultivées. Etude et gestion des sols, pp289-298.

SONG J., Feng, G. U., Tian, C., & Zhang, F., 2005. Strategies for Adaptation of Suaedaphysophora, Haloxylonammodendron and Haloxylonpersicum to a Saline Environment during Seed-Germination Stage. Annals of Botany.pp399-405.

TABOUCHE N. et ACHOUR S., 2004 - Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien, Larhyss Journal, n°3, 99-113

TRON S., LAIO F., RIDOLFI L., 2014 - Effect of water table fluctuations on phreatophytic root distribution. Journal of Theoretical Biology. pp : 102–108.

U.S.S.L., 1954 - Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. U. S. Salinity Laboratory, U.S. Dept. Agr., Handbook, 60, Washington, 160 p.

UNESCO., 1972 – Etude des ressources en eau du Sahara septentrional. Rapport sur les résultats du projet. Paris 78p.

WEEKS L.O., 1957 - Agricultural drainage in Coachella Valley. Ann. Rep. Date Growers' Inst., 34: 14-15.



Annexe 1. Données climatiques de la région de Ouargla entre 2002 et 2019 (ONM, 2019).

Paramètres	I		P (mm)	Hr (%)	E (mm)	I (h)	V (m/s)	
Mois	Min	Max	Moy					
Janvier	4,96	18,70	12,06	2,30	55,25	19,95	208,06	8,40
Février	6,34	20,88	13,58	7,46	50,73	143,79	216,77	9,61
Mars	10,34	25,73	18,70	6,51	45,87	198,70	237,68	10,89
Avril	14,73	29,13	22,73	0,61	36,97	256,92	245,63	12,15
Mai	19,53	36,60	27,18	1,81	26,30	318,96	257,73	12,90
Juin	24,94	40,18	31,97	0,19	23,48	373,12	207,24	13
Juillet	27,19	43,25	35,45	0,05	21,45	419,01	263,71	10,32
Août	26,83	41,91	34,00	0,86	24,95	496,84	272,83	10,62
Septembre	23,75	37,24	30,82	7,96	31,92	280,68	231,39	2,50
Octobre	18,36	31,66	26,25	8,22	37,78	225,72	231,15	8,91
Novembre	10,34	23,90	16,64	4,38	51,07	134,90	197,25	7,00
Décembre	5,62	18,84	11,59	1,77	58,39	117,71	189,53	7,35
Moyen	16,08	30,67	23,41	3,51	38,68	248,86	229,91	9,47
Cumule	-	-	-	42,11	-	2986,3	2759,02	-
* cumul P : Précipitations			npérature i ité relative				npérature m se moyenne	

E : Evaporation **I**: Insolation

Annexe 2. Liste descriptive des forages agricole dans la palmeraie du Ksar (DREW, 2015 ;ANRH, 2015).

Palmeraie	N°	Nom	X	y	Année de réalisation	Débit mob	Débit exp	Résidus sec mg/l	Nappe
	D1 F97	BABA AISSA	5°19'05"	31°58'41"	1961	20	15		MIO-PLIOCENE
	D1 F106	KOUCHANE	5°19'00"	31°58'52"	1966	17	12	2 800	MIO-PLIOCENE
E	D1 F109	BABA MERZOUG	5°19'08"	31°58'34"	1962	17	12	2 100	MIO-PLIOCENE
Palmeraie de Beni Brahim	D1 F125	BAB SBAA	5°19'28"	31°58'31"	1978	30	20		MIO-PLIOCENE
i Bı	D1 F130	NANOUDI	5°19'18"	31°58'24"	1982	30	20	2 300	MIO-PLIOCENE
Веп	D1 F136	OULALOU	5°19'34"	31°58'30"	1988	35	20	2 700	MIO-PLIOCENE
e de	D2 F53	A.TASSE	5°19'42"	31°58'52"	1963	20	15	3 330	MIO-PLIOCENE
eraic	D2 F54	A.BANOUNOU	5°19'32"	31°59'04"	1966	20	20	3 444	MIO-PLIOCENE
alme	D2 F67	BOURAHLA	5°19'46"	31°58'40"	1989	30	20	4 100	MIO-PLIOCENE
	D1 F100	BELABES	5°19'11"	31°58'56"	1963	25	20	4 546	MIO-PLIOCENE
	D1 F133	BOUAMEUR	5°18'50"	31°58'15"	1985	40	20		MIO-PLIOCENE
	D1 F129	BEY BIB	5°19'15"	31°58'11"	1982	30	20	1 200	MIO-PLIOCENE
e ne	D2 F61	SAID OTBA I	5°19'57''	31°58'37''	1974	20	20	1 568	SENONIEN
ie d guii	D2 F70	B.OUAGGUINE SONIA	5°20'08"	31°58'10"	1993	30	20		MIO-PLIOCENE
Palmeraie de Beni Ouaguine	D2 F56	A.BAISSA	5°20'10"	31°58'22"	1962	11	10		MIO-PLIOCENE
Paln emi (D2 F59	BOUROUBIA	5°20'34"	31°58'30"	1966	15	10	1 484	MIO-PLIOCENE
n a	D2 F63	BENI OUAGGUINE (henich)	5°20'02"	31°58'28"	1985	30	20	4 800	MIO-PLIOCENE
e	D4 F106	BABA HAMOU	5°21'28"	31°57'37"	1990	30	20	3 900	MIO-PLIOCENE
ssin	D1 F104	BOUCHAIB	5°19'01"	31°57'47"	1962	20	20		MIO-PLIOCENE
ii Si	D1 F111	BABA YOUCEF	5°19'11"	31°57'55"	1969	28	20	1 700	MIO-PLIOCENE
Веп	D2 F52	TIMLAOUINE	5°20'13"	31°58'02"	1960	20	15		MIO-PLIOCENE
e de	D2 F58	A.KAHLA	5°20'26"	31°58'02"	1962	20	20		MIO-PLIOCENE
erai	D2 F60	GHANDRA	5°20'48"	31°58'16"	1973	20	20		MIO-PLIOCENE
Palmeraie de Beni Sissine	D2 F65	OUIDIR	5°20'50"	31°58'06"	1988	30	20	3 410	MIO-PLIOCENE
ă.	D2 F57	A.MAHCENE II	5°20'48"	31°57'58"	1962	15	12		MIO-PLIOCENE

	D4 F70	A.MEGGANOU DJEDIDA	5°21'13"	31°57'45"	1962	20	15	MIO-PLIOCENE
	D4 F109	AIN MAGANOU	5°21'07"	31°57'55"	1995	30	20	MIO-PLIOCENE

Annexe 3. Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique des eaux d'irrigation (DURAND, 1958 in DAOUED et HALITIM, 1994)

Conductivité électrique dS.m ⁻¹ à 25 °C	Différentes classes d'eaux
CE< 0,25	C1 Eaux faiblement salines
$0.25 < CE \le 0.75$	C2 Salinité moyenne
$0.75 < \text{CE} \le 2.25$	C3 Salinité forte
$2,25 < CE \le 5$	C4 Très forte salinité
CE > 5	C5 Eaux à salinité excessive

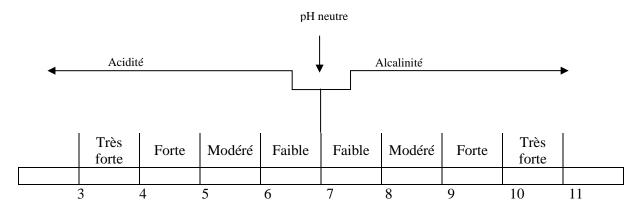
Annexe 4. Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 à 25 °C (MATHIEU et PIELTAIN, 2009)

CE _{e1:5} à 25 °C	Classe de salinité
CE _{e 1:5} ≤ 0,6	Non salé
$0.6 < \text{CE}_{e \ 1.5} \le 1$	Légèrement salé
$1 < CE_{e \ 1:5} \le 2$	Salé
$2 < CE_{e \ 1:5} \le 4$	Très salé
CE e 1:5>4	Extrêmement salé

Annexe 5. L'influence de la salinité du sol sur les plantes (RICHARDS., in LALLEMAND-BARRE., 1980)

C.E. 25°C mmhos/cm	Réponse des plantes
0-2	Effet sur les plantes, négligeable
2-4	Les récoltes des cultures très sensibles peuvent
	être réduites. En quantité et en qualité
4-8	Seules les cultures tolérantes donnent de bonnes
	récoltes.
8-16	Seules les cultures très tolérantes donnent des
	bonnes récoltes
>16	Seules les cultures très tolérantes donnent des
	récoltes

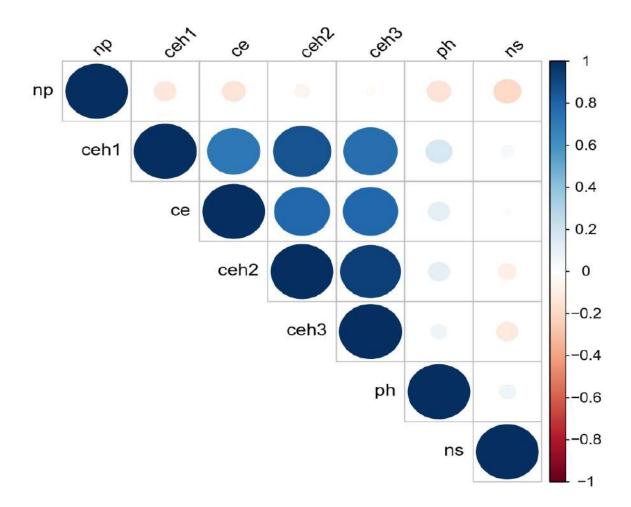
Annexe 6. Normes d'interprétation du pH-eau du sol MATHIEU et PIELTAIN (2009)



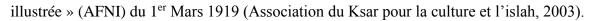
Annexe 7. Paramètres des modèles de rendement linéaire dans les zones hydro-édaphiques de la cuvette de Ouargla.

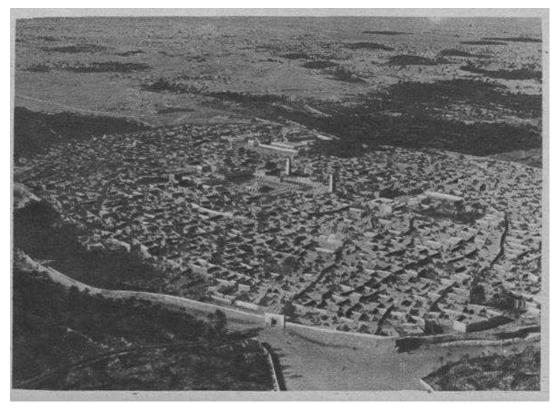
Types de zones	Paramètres	Paramètres des rendements r		Régressions par classes de salinités		
		a'	b'			
	C.E. _{e1:5}	1,200	17,457	Y_{penp} = -24,315*CE _{e1:5} + 168,46; R^2 = 0,994		
Croûtes-nappes profondes	C.E.	1,124	33,223	$C.E{e1:5} = 1,9031*C.E{i} - 0,9393$; $R^{2} = 0,9939$		
Passants	P.c.	85,696	- 5,946	$C.E{e1:5} = -0.3406*P.c. + 30.388$; $R^2 = 0.948$		
Nappes profondes	C.E. _{e1:5}	1,200	5,644	Y_{pnp} = -4,5337C.E. _{e1.5} + 85,77; R^2 = 0,9584		
	C.E.i	2,159	12,343	$C.E{e1:5} = 2,1869*C.E{i} - 3,5222 ; R^{2} = 0,7014$		
	C.E. _{e1:5}	1,200	14,468	Y_{pens} = - 12,156*C.E. _{e1:5} + 98,607; R^2 = 0,7736		
	C.E.i	1,314	38,748	$C.E{e1:5} = 2.6782*C.E{i} - 2.3198 ; R^{2} = 0.9821$		
Croûtes-nappes superficielles	C.E.	10,193	7,852	$C.E{e1:5} = 0.5427*C.En - 4.3316$; $R^2 = 0.9351$		
superments	P.n.	97,135	- 2,081	$C.E{e1:5} = -0.1438*P.n. + 15.168; R^2 = 0.9538$		
	P.c.	91,859	- 2,747	$C.E{e1:5} = -0.1899*P.c. + 18,644; R^2 = 0.9999$		
Y	C.E. _{e1:5}	1,200	9,948	Y_{pns} = -8,0452*C.E. _{e1:5} +90,53; R^2 = 0,9636		
Nappes superficielles	C.E.	1,291	18,108	$C.E{e1:5} = 1,8203*C.E{i} - 1,1504 ; R^{2} = 0,7999$		
	C.E.n	10,841	4,661	$C.E{e1:5} = 0.4686*C.E{n} - 3.88 ; R^2 = 0.9419$		
	P.n.	127,132	- 0,770	$C.E{e1:5} = -0.0774*P.n. + 11.04 ; R^2 = 0.9742$		

Annexe 8. Corrélation entre les différents paramètres mesuré.



Annexe 7. La première photo aérienne de Ouargla est publiée dans la revue « l'Afrique du Nord





Annexe 8. Le Ksar est vu du sud en 1932. (Photo SHAA n°390) (Association du Ksar pour la culture et l'islah, 2003)



Annexe 9. Une vue aérienne du Bordj Chandez (Bordj Lahmer) (une vue de la zone Sud-

Ouest de la ville et de la palmeraie du Ksar en 1932) (PILLET, 1995)



Annexe 10. Vue aérienne du sud de la ville et de la palmeraie du Ksar en 1956: (PILLET, 995) ;



Annexe 11. Le marché actuel et la Mairie en 1961 (PILLET, 1995).



Spatio-temporary diagnosis of hydro-halomorphia in the Algerian southeast: The case of soils palm groves of the Ksar of Ouargla

A. Siboukeur, and M. Daddi Bouhoun

Citation: AIP Conference Proceedings 1968, 020008 (2018); doi: 10.1063/1.5039167

View online: https://doi.org/10.1063/1.5039167

View Table of Contents: http://aip.scitation.org/toc/apc/1968/1

Published by the American Institute of Physics

Articles you may be interested in

Effect of irrigation water salinity on the organic carbon mineralization in soil (laboratory incubation) AIP Conference Proceedings **1968**, 020007 (2018); 10.1063/1.5039166

Spatio-Temporary Diagnosis of Hydro-Halomorphia in The Algerian Southeast: The Case of Soils Palm Groves Of The Ksar Of Ouargla

A. Siboukeur^{1,a)}, M. Daddi Bouhoun^{1,b)}

¹Univ Ouargla, Lab. Ecosystem Protection in Arid and Semi Arid Zones, P.Box 511 Ouargla 30 000,

Algeria

a) siboukeur.abd@gmail.com

b) daddibm@yahoo.fr

Abstract. The palm grove of Ksar is one of the oldest date palm groves in the region of Ouargla which is located in south-eastern Algeria. Although it is distinguished by an extraordinary genetic diversity, these groves are threatened by many socioeconomic and environmental constraints. Indeed, we witness year after year the degradation of this precious heritage. Our work aims to highlight the hydro-edaphic degradation of the date palm environment in Ksar of Ouargla. For this, we opted for a geographical approach using systematic random sampling methods. We conducted two campaigns: one in winter 2015 on 97 points and the second in winter 2016 on 89 points. Soil samples were taken at the 0-40 cm surface layer in parallel the water table was registered up to 2 m deep. This methodological approach has enabled us to achieve spatial and temporal evolution salinity cards of soil and water table, and estimate the level of degradation in Ksar palm grove. The soil salinization was the focus of the study in both years. In fact, 82.80% of the soils belong to the classes: salty, very salty and extremely salty, ranging from 0.18 to 15.91 dSm-1. The recorded values exceed the critical tolerance limit of the date palm. Fifty-tree points sixty-six percent (53.66%) of the phreatic waters are excessively salty which can reduce further yield of dates. This diagnosis shows a significant hydro-edaphic degradation in the palm grove. The management and rehabilitation of this old palm remains essential to ensure the sustainability of date palm groves heritage.

Keywords: Diagnosis, spatio-temporary, hydro-halomorphic, soils, Ouargla

INTRODUCTION

In Algeria, date palm cultivation is the mainstay of the oasis ecosystem. It occupies 80% of the territory. However, this crop suffers from numerous environmental and socio-economic constraints, which limit its extension and date yields [1]. According to Jorenush and Sepaskhah (2002), soil salinization is the major problem in arid and semi-arid regions. It is influenced by several parameters such as climate, soil type, crops, quality and management of irrigation water and the depth and salinity of the water table [2].

The agro-environmental problems mainly hydro-halomorphy in the Algerian northern Sahara are one of the causes that leads to the degradation of oases. The National Institute of Soils, Irrigation and Drainage report that the problem of soil salinity in Algeria affects a large part of agricultural land to different degrees. The study conducted on the highlands "the steppe", the West and South of Algeria showed areas affected by salinity of the order of one million, 400,000 and 100,000 hectares, respectively [3]. Other studies carried out on Ouargla basin have made it possible to determine the negative impact of hydro-halomorphy on the root zone of the date palm, especially in the palm groves of the bottom of the basin like those of Ksar [4]. In this context, the palm grove of Ksar presents a spatial dysfunction linked to the irrational use of hydraulic resources and the rise of the saline water table. This has had repercussions on the soil, thus favouring its degradation [5,6]. The present work aims to study the hydroedaphic environment and estimate the level of

MATERIAL AND METHODS

Study Site

We establish the study in the palm grove of Ksar of Ouargla (Fig.1). Ouargla is a region located in the northern Algerian Sahara. The palm grove of Ksar is divided into three parts according to the tribal affiliation: the palm grove of BeniBrahim, that of BeniOuaguine and that of BeniSissine.

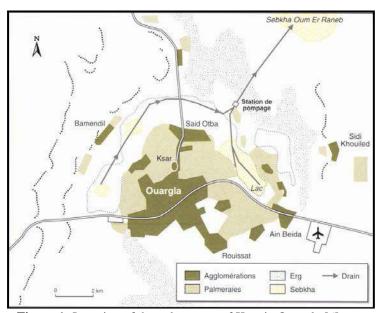


Figure 1.-Location of the palm grove of Ksar in Ouargla [6].

Methodological approach

We opted for the random systematic sampling with a mesh size of $250 \times 250 \text{ m}$ (Fig.2) [7,8]. This method allows the measurement data to be well distributed on the surface of the palm grove. The study was conducted on two winter sampling campaigns, on 97 and 89 points (in 2015 and 2016 respectively). Soil samples had taken at the surface layer (0-40 cm). They had dried at ambient air and then sieved (2 mm). The determined analytical parameter is the electrical conductivity of the soil extract (1: 5). In parallel, the same parameter was determined on water samples taken from the shallow water table to a depth of 2 meters.



Figure 2. Points sampling after delimitation of the palm grove of Ksar

RESULTS AND DISCUSSION

Edaphic degradation

The results show a large variation of soil salinity in the Ksar palm grove. The degree of salinity in the surface layer of the studied soil grove shows a degradation to varying degrees due to salinization (fig.3, fig.4).

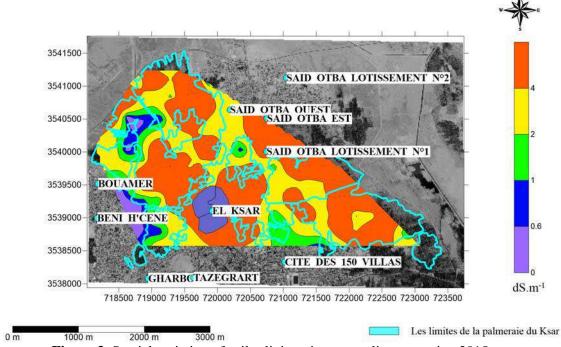


Figure 3. Spatial variation of soil salinity winter sampling campaign 2015

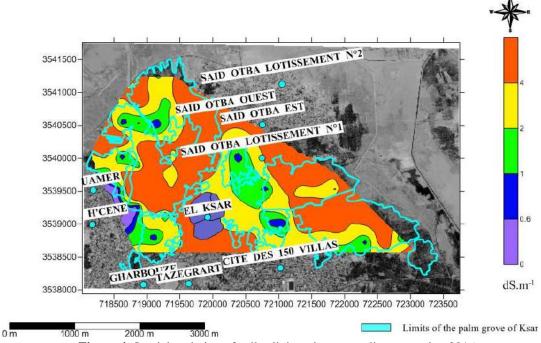


Figure 4. Spatial variation of soil salinity winter sampling campaign 2016

The recorded salinity is between 0.18 and 13.62 dS.m-1 and between 0.19 and 15.91 dS.m-1 respectively for samples taken in 2015 and 2016. The results also indicate that the soil of the palm classified as "no saline soil" to "extremely saline soil" with a predominance of very saline and extremely saline soils, 38 and 40% respectively for samples taken in 2015. Those of the 2016 campaign reveal that the "saline class" represents 43% and "the extremely saltine class" 45%. These results are almost similar in the two sampling campaigns where the wilcox test shows a non-significant difference between the salinity levels of the samples taken and the sampling campaigns with a p-value equal to 0.904. This salinization is probably due to the cultural management, poor management of irrigation-drainage and / or the rise of the shallow saline water table. Our results are comforted to those reported by other authors [9,10,11,12].

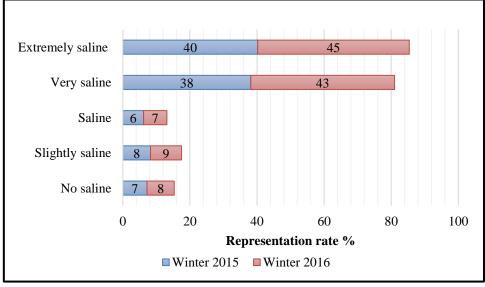


Figure 5. Classes of soil salinity of the Ksar of Ouargla palm grove (2015 and 2016)

Hydric degradation

The results relating to the spatial variation of the salinity of phreatic waters are illustrated by the two maps below (Figures 6 and 7). They indicate that the salinity of the phreatic waters varies from 2.77 to 64.44 dSm⁻¹ and 7.82 to 90.65 dSm⁻¹ respectively for 2015 and 2016 sampling campaign corresponding to the "slightly saline" classes and to "excessively saline".

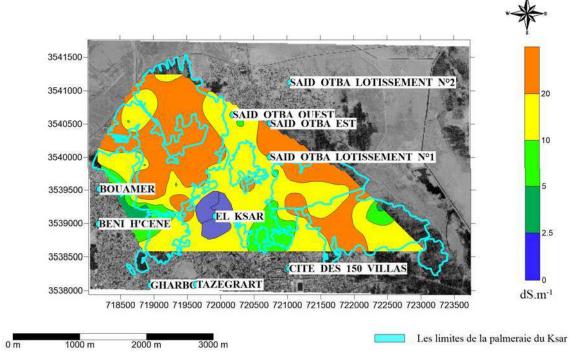


Figure 6. Spatial variation of the salinity of phreatic waters in the Ksar palm grove (winter 2015)

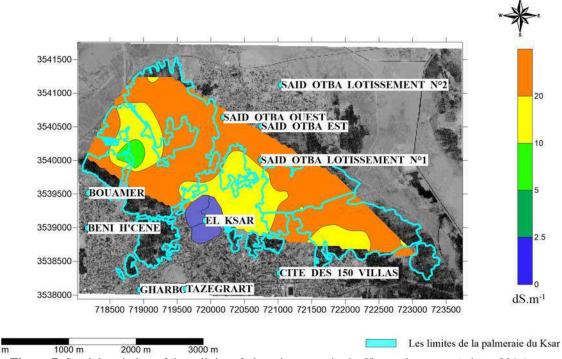


Figure 7. Spatial variation of the salinity of phreatic waters in the Ksar palm grove (winter 2016)

The results show that the "very saline" and "excessively saline" classes with a percentage of 32 and 46% respectively in 2015 and 29 and 65% respectively in 2016 are predominant (fig.8). This salinity of the waters accentuates the salinity of the soil of the palm grove. The rise of saline shallow water table has a negative impact on plant development. The consequent hydro-halomorphy causes root rot by anoxia.

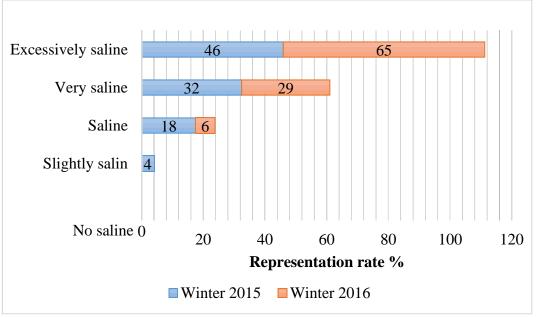


Figure 8. Classes of the salinity of phreatic waters in the palm grove of Ksar of Ouargla

The data established by A.N.R.H during the years 2007 to 2013 in Ouargla basin confirm the results recorded in this study. Similar findings have also been reported by other researchers [11,12,13,14,15].

CONCLUSION

Maps of spatio-temporal variation in the salinity of the surface layer of soils show widespread salinization during the two campaigns where "saline and extremely saline classes" are predominant. In most cases, the degree of salinity exceeds the critical threshold of tolerance of Ksar date palm. At the same time, the presence of saline shallow water table promotes the accumulation of salts in the soil by the capillary rise. In addition to these constraints, the irrational management of irrigation-drainage accentuates the salinization of the soil of one of the oldest palm groves of basin of Ouargla. The rehabilitation of the palm grove is an absolute necessity for sustainable development. To establish this aim we must:

- lowing the shallow water table level beyond the root zone of the date palm by improving the current draining system and ensuring its maintenance;
- Leaching the soil salinity by rational irrigation.

REFERENCES

- Touzi, Algerian experience in preserving fragile ecosystems from desertification, a paper presented
 at "Fifteenth OSCE Economic and Environmental Forum-Part 2:"Key challenges to ensure
 environmental security and sustainable development in the OSCE area: Land degradation, soil
 contamination and water management" Prague, 21-23 May 2007. Session IV: Challenges to the
 management of water resources and to countering desertification in the Mediterranean region,
 Organization for Security and Cooperation in Europe Secretariat, 2007.
- 2. M. H. Jorenush and A. R. Sepaskhah, Modelling capillary rise and soil salinity for shallow saline water table under irrigated and non-irrigated conditions. Agricultural water management, 2003, vol. 61, no 2, p. 125-141.

- 3. INSID., Le Drainage en Algérie. République algérienne démocratique et populaire. Ministère de l'agriculture et du développement rural. L'institut national des sols de l'Irrigation et du Drainage, 2016, 18 p.
- 4. M. daddi bouhoun, L. Brinis and M. L. Saker. Effects of hydro-edaphic environment on the rooting of date palm (Phoenix dactylifera L.) Deglet Noor in the Ouargla Basin (south-east algeria). Ecologia mediterranea, 2009, vol. 35, p. 41-48.
- 5. M. A. Idder, B. Bouammar and H. Idder-Ighili, La palmeraie du Ksar d'Ouargla; entre dégradation et réhabilitation. Annales des Sciences et Technologie, 2011, vol. 3, no 1, p. 18-19.
- M. Côte, Des oasis malades de trop d'eau?. Science et changements planétaires/Sécheresse, 1998, vol. 9, no 2, p. 123-130.
- 7. Mathieu, F. Pieltain and E. Jeanroy, Analyse chimique des sols: Méthodes choisies. Tec & doc, 2003.
- 8. V. Laperche, et J. R. Mossmann, Protocole d'échantillonnage des sols urbains pollués par du plomb. Editions BRGMP/RP, 2004.
- Hamdi Aissa, Le fonctionnement actuel et passé de sols du Nord Sahara(cuvette de Ouargla)
 Approches micromorphologique, géochimique, minéralogique et organisation spatiale. 2006. Thèse de doctorat.
- A. Benchallal, A. Oukil and A. belhajd-aissa, Identification et détection, par imagerie satellitaire, de la dégradation des sols par la salinité dans la cuvette de Ouargla, sud de l'Algérie. Journées d'Animation Scientifique (JAS09) de l'AUF Alger, 2009, p. 1-6.
- 10. T. Idder, Le problème des excédents hydriques à Ouargla: situation actuelle et perspectives d'amélioration. Science et changements planétaires/Sécheresse, 2007, vol. 18, no 3, p. 161-167.
- 11. M. daddi bouhoun, Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est algérien). Th. Doc., Université BADJI Mokhtar, Annaba, 2010.
- M. Djidel. Pollution minérale et organique des eaux de la nappe superficielle de la cuvette de Ouargla (Sahara septentrional, Algérie). 2008. Thèse de doctorat. Université Badji Mokhtar de Annaba.
- 13. E. Nezli, Mécanismes d'acquisition de la salinité et de la fluoruration des eaux de la nappe phréatique de la basse Vallée de l'Oued Mya (Ouargla). Mémoire de magister, Université d'Annaba, Algérie, 100p, 2004.
- 14. N. Tabouche and S.Achour, Etude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien. Larhyss Journal, 2004, vol. 3, p. 99-113.