

UNIVERSITE KASDI MERBAH – OUARGLA

FACULTE DES SCIENCES DE LA NATURE ET DE LA VIE

Département des Sciences Agronomiques



MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

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

Spécialité : Systèmes Spatiaux et Aménagements Agricoles Sahariens

THEME

**L'eau et l'espace agraire dans la cuvette de Ouargla :
cas de la palmeraie du Ksar**

Présenté et soutenu publiquement par

SIBOUKEUR Abdellah

Devant le jury :

M^{me}. BISSATI Samia	Professeur	U.K.M.Ouargla	Présidente
Mr. DADDI-BOUHOUN Mustapha	M .C. A	U.K.M.Ouargla	Promoteur
Mr. SAKER Mohamed Lakhdar	Professeur	U.K.M.Ouargla	Co-promoteur
M^{me}. BABAHANI Souad	M .C. A	U.K.M.Ouargla	Examinatrice
Mr. IDDER Mohamed Tahar	Professeur	U.K.M.Ouargla	Examineur

Année Universitaire : 2015/2016

Remerciements

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

Il m'est agréable de remercier, vivement mon promoteur Monsieur **DADDI BOUHOUN Mustapha, Maitre de Conférences A**, 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 n'oublierai jamais mon co-promoteur Monsieur **SAKER Mohamed Lakhdar**, Professeur du Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah Ouargla de son important apport dans la finalisation de document. Je tiens à remercier Monsieur **BENSAAD Ali** maitre de conférences à l'Université d'Aix en Provence et Monsieur **COTE Marc** professeur émérite à l'université d'Aix en Provence qui ont contribué à la concrétisation de ce mémoire.

Je remercie Madame **BISSATI Samia**, Professeure, Doyenne de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah Ouargla, d'avoir accepté de présider ce jury.

Je tiens à exprimer mes respectueux et sincères remerciements à Madame **BABAHANI Souad**, Maitre de Conférence A, du Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah Ouargla pour avoir accepté de porter un jugement à ce travail.

A Monsieur **IDDER Mohamed Tahar**, Professeur, du Département des Sciences Biologiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah Ouargla, je tiens à exprimer mes remerciements les plus sincères pour avoir accepté d'examiner ce mémoire.

Je ne saurai oublier, Mesdames, **KHIKHI, GOUASE** et **DJILI** et Messieurs, **KATEB, SIDE, HANNACHI, LAHRECHE, GOUDJIL, KEMASSI, DELILI, AARIF** et **BENHMIDA**, cadres administratifs et fonctionnaires de bureaux d'études à Ouargla, de m'avoir orienté et fournit des documents et des données utilisés dans ce travail.

Je tiens à remercier mes cousins Soufiane, Salah et Ahmed, pour m'avoir prêté main forte lors de l'échantillonnage.

Je remercie également le personnel du laboratoire pédagogique de la Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah Ouargla, particulièrement Monsieur **BEGGARI El-Aich**.

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

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

الملخص

(المياه والأراضي الزراعية في حوض ورقلة : حالة بساتين النخيل بالقصر)

إن حوض منطقة ورقلة يعاني من مشكلة تسيير المياه التي أثرت بصفة سلبية على البيئة الزراعية، خاصة مشكل صعود المياه السطحية ومشكل الملوحة. تهدف هذه الدراسة إلى البحث في إدارة المياه وتأثيرها على المنطقة الزراعية لغابة القصر المكونة من بساتين بني إبراهيم، وبني واقين وبني سيسين. لقد قمنا بعملية أخذ العينات اعتماد على أسلوب منتظم عشوائي، للحصول على 98 عينة في التربة و 97 للمياه الجوفية والقشرة الجبسية.

أظهرت النتائج وجود أربعة أوساط بيئية، مياه جوفية عميقة أو سطحية مع وجود أو عدم وجود القشرة الجبسية. تتميز هذه الأوساط البيئية بمشكلة تملح التربة و صعود مياه جوفية عالية الملوحة مع تكون قشور جبسية. تتميز المياه الجوفية لغابة القصر بمتوسط عمق $80,76 \pm 7,75$ سم، ومتوسط ملوحة يقدر ب $21,32 \pm 3,89$ ديسيسيمنس.م⁻¹. يقدر العمق المتوسط للقشرة الجبسية ب: 127,98 $\pm 7,39$ سم. لقد عززت هذه المعوقات تملح التربة بمعدل يقدر ب: $4,01 \pm 0,59$ ديسيسيمنس.م⁻¹.

أظهر التباين المكاني لخصائص المياه و التربة، تدهور حالة بساتين القصر بمستوى متفاوت مع تجاوز ملوحة التربة عتبة تحمل أشجار النخيل مما قد يؤدي إلى انخفاض إنتاج ها. أظهرت هذه الدراسة تحول بعض بساتين النخيل من أراضي زراعية إلى منازل مع إهمال جزء منها لأسباب اجتماعية واقتصادية بما في ذلك الإرث والدخل الزراعي المنخفض. هذا الوضع يتطلب سياسة جديدة للحفاظ على التوازن بين المناطق الزراعية و المناطق الحضرية في القصر لضمان تنمية مستدامة.

الكلمات الأساسية: ماء، مساحة زراعية، النخيل، القصر، ورقلة.

Résumé

(L'eau et l'espace agraire dans la cuvette de Ouargla : cas de la palmeraie du Ksar)

La cuvette de Ouargla souffre d'un problème de gestion des eaux qui a des effets néfastes sur l'environnement agraire, notamment l'hydro-holomorphie. Notre travail consiste à étudier la gestion des eaux et leurs impacts sur l'espace agraire au niveau des palmeraies du Ksar : celle de Beni Brahim, celle de Beni Ouaguine et celle de Beni Sissine. Toute en utilisant la méthode d'échantillonnage systématique aléatoire, pour arriver à échantillonner dans 98 points le sol et dans 97 points l'eau phréatique et la croûte.

Les résultats montrent l'existence de quatre biotopes de types « nappe profonde » et « nappe superficielle » avec ou sans croûte. Ces biotopes se caractérisent par un problème de remontée des eaux phréatiques, la formation des croûtes gypseuses et la salinisation des eaux et des sols. Les eaux phréatiques présentent un niveau statique moyen de $80,76 \pm 7,75$ cm et une salinité moyenne de $21,32 \pm 3,89$ dS.m⁻¹. Le niveau d'obstacle mécanique de la croûte gypseuse est estimé en moyenne à $127,98 \pm 7,39$ cm. Ces deux dernières contraintes favorisent la salinisation des sols estimée à $4,01 \pm 0,59$ dS.m⁻¹, en moyenne.

La variation spatiale des paramètres hydro-édaphiques montre un niveau de dégradation variable entre les palmeraies du Ksar. Toutefois la salinité des sols dépasse le seuil critique de tolérance des palmiers dattiers, responsable fort probablement des chutes de rendements. L'étude montre aussi une progression de l'urbanisation au détriment des palmeraies et le délaissement d'une partie de celle-ci pour des raisons socio-économiques notamment l'héritage et les faibles revenus agricoles. Cette situation exige une nouvelle politique d'aménagement pour maintenir l'équilibre agro-urbain dans la palmeraie du Ksar et assurer un développement durable de celle-ci.

Mots clefs : eaux, espace agraire, palmeraie, Ksar, Ouargla.

Summary

(Water and the agrarian space in the basin of Ouargla: case of Ksar Palm Grove)

The basin of Ouargla suffers from water management that presents harmful effects on the agricultural environment including hydro-holomorphy. Our work is to study water management and their impact on palm grove of Ksar in Beni Brahim, Beni Ouaguine and Beni sissine. We use the systematic random sampling method, to sample 98 points in the soil and the phreatic water 97 points and crust.

The results show the existence of four biotope types, deep water table and surface water table with or without crust. They are characterized by ascended phreatic water, the formation of gypsum crusts and a salinization of phreatic water and soils. The static level of phreatic water has a depth average of $80,76 \pm 7,75$ cm and a salinity average of $21,32 \pm 3,89$ ds.m⁻¹. The level of mechanical obstacle of the gypsum crust is estimated at an average of $127,98 \pm 7,39$ cm, these two latter constraints promote salinization of soils estimated at an average of $4,01 \pm 0,59$ dS.m⁻¹.

The spatial variation of hydro-edaphic parameters showed a variable level of degradation between the palm groves of Ksar. However, soil salinity surpasses the critical threshold of date palms which likely led to a drop in yield. The study also shows an increase in urbanization at the expense of palm groves and neglect of a part of it for socioeconomic reasons, including inheritance and low farm incomes. This situation requires a new planning policy to maintain agro-urban balance and ensure sustainable development in the palm groves of Ksar.

Keywords: waters, agrarian space, palm grove, Ksar, Ouargla.

Liste des abréviations

- A.N.R.H : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Ouargla
- BB : Palmeraie de Beni Brahim
- BO : Palmeraie de Beni Ouaguine
- BS : Palmeraie de Beni Sissine
- 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 : Directions Des Ressources En Eau Des Wilayas, Ouargla
- d_m : Distance minimale qui sépare le drain de point de sondage
- FAO : L'Organisation des Nations unies pour l'alimentation et l'agriculture
- Np : Jardin de nappes profondes sans croûte
- Np-C : Palmeraies de nappes profondes avec croûte
- Ns : Jardin de nappes superficielles sans croûte
- Ns-C : Palmeraies de nappes superficielles avec croûte
- 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
- R._{s,n} : Résidus secs des eaux de la nappe phréatique

Liste des figures

Figures	Titre	Page
Figure 01	Carte topographique de la cuvette de Ouargla	07
Figure 02	Diagramme ombrothermique de GAUSSEN de Ouargla (2004-2014)	10
Figure 03	Climagramme d'EMBERGER de la région de Ouargla (2004-2014)	11
Figure 04	Carte piézométrique de la nappe phréatique en avril 2002 (BONNARD et GARDEL, 2005)	15
Figure 05	Schéma synoptique d'une foggara de l'Ahaggar. Coupe longitudinale (REMINI et ACHOUR, 2013)	20
Figure 06	Schéma d'un Ghout. Les palmiers sont constamment enracinés dans l'eau (REMINI, 2006)	23
Figure 07	Situation des Ghouts avant 1960 : équilibre entre les prélèvements et les rejets (REMINI, 2006)	24
Figure 08	Situation des Ghouts à partir de 1960 : utilisation des forages profonds (REMINI, 2006).	24
Figure 09	Situation des Ghouts à partir de 1980 : augmentation des forages et par conséquent le débit de pompage (REMINI, 2006).	25
Figure 10	Limites foncières du Ksar de Ouargla et sa palmeraie (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975)	29
Figure 11	Répartition actuelle des palmeraies de la cuvette de Ouargla, (BONNARD et GARDEL, 2003 in SLIMANI 2006)	30
Figure 12	Approche méthodologique	32
Figure 13	Dimensions de la maille avec le rayon possible de modification d'un point	34
Figure 14	Points de sondage après délimitation de la palmeraie du Ksar	35
Figure 15	Limites de l'espace agro-urbain du Ksar	42
Figure 16	Evolution de l'espace agro-urbain du Ksar entre 1982 et 2015	43
Figure 17	Répartition des forages dans les palmeraies du Ksar	45
Figure 18	Taux des surfaces irriguées dans les palmeraies du Ksar	47
Figure 19	Réseau de drainage dans les palmeraies du Ksar	49
Figure 20	AFC de la relation entre les paramètres de la gestion des eaux	50
Figure 21	Niveau statique des nappes phréatiques dans les palmeraies du Ksar	53
Figure 22	Effet limitant du niveau statique sur l'enracinement des végétaux au	54

	Ksar	
Figure 23	Carte topographique de la palmeraie du Ksar	56
Figure 24	Niveau piézométrique des nappes phréatiques dans les palmeraies du Ksar	58
Figure 25	Salinité des eaux phréatiques de la palmeraie du Ksar.	61
Figure 26	ACP des paramètres hydro-édaphiques de la palmeraie du Ksar	62
Figure 27	Variation spatiale de la charge saline des eaux phréatiques au Ksar	63
Figure 28	Variation de la charge saline moyenne dans les eaux phréatiques du Ksar	64
Figure 29	Relation entre le degré et la charge saline des eaux phréatiques	65
Figure 30	Variation du pH_n moyen des eaux phréatiques du Ksar	65
Figure 31	Relation entre le degré de salinité et l'alcalinité des eaux phréatiques profonds	66
Figure 32	Variation de la profondeur de croûte dans la palmeraie du Ksar	67
Figure 33	Effet limitant de la croûte sur l'enracinement des végétaux au Ksar	68
Figure 34	Variation de la salinité de la couche 0 - 40 cm des sols de la palmeraie du Ksar	69
Figure 35	Variation de la salinité de la couche 40-80 cm des sols de la palmeraie du Ksar	70
Figure 36	Variation de la salinité de la couche 80-120 cm des sols de la palmeraie du Ksar	71
Figure 37	Taux de dégradation des sols par salinisation	72
Figure 38	Relation entre la salinité du sol et celle des eaux phréatiques superficielles	73
Figure 39	Relation entre la salinité du sol et celle des eaux phréatiques profondes	73
Figure 40	Variation de la salinité moyenne dans les profils des sols	74
Figure 41	Taux des types de profils salins irrigués et non irrigués au Ksar	75
Figure 42	Taux des types de profils salin irrigués et non irrigués au Ksar	76
Figure 43	Variation du $pH_{e1.5}$ moyen des couches du sol au Ksar	77
Figure 44	Effet de la salinité du sol sur le rendement relatif de Deglet Nour au Ksar	78

Liste des photos

Photos	Titre	Page
Photo 01	Paysage de la ville d'El Oued et les Ghouts qui l'entourent	22
Photo 02	Canal d'acheminement des eaux « Hammala » vers les jardins	47
Photo 03	Stagnation des eaux et ensablement des drains au Ksar	48
Photo 04	Hydromorphie en zone de dépression dans la palmeraie du Ksar	55
Photo 05	Jardins délaissé dans la palmeraie de Beni Brahim	57
Photo 06	Jardin entretenu dans la palmeraie de Beni Brahim	59

Table des matières

Introduction	3
PARTIE I : SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE	
Chapitre I. Présentation de la cuvette de Ouargla	
1. Situation géographique	7
2. Climat	8
2.1. Températures	8
2.2. Précipitations	9
2.3. Vents	9
2.4. Humidité relative de l'air	9
2.5. Evaporation.....	9
2.6. L'insolation	9
2.7. Classification bioclimatique	9
3. Géomorphologie.....	11
3.1. Le plateau	11
3.2. Les glacis	11
3.3. Chotts et Sebkhas	12
4. Hydrogéologie	12
4.1. Nappe du continental intercalaire	12
4.2. Nappe du complexe terminal	12
4.3. Nappe phréatique	13
5. Pédologie.....	13
6. Agriculture	13
6.1. Ancien système.....	14
6.2. Nouveau système.....	14
Chapitre II. L'eau et l'espace agraire au Sahara	16
1. Concepts du système en agriculture	16
2. Systèmes agraires au Sahara	16
2.1. Types de systèmes agraires.....	16
2.1.1. Exploitation des eaux des puits	17
2.1.2. Exploitation des eaux des foggaras	19
2.1.3. Exploitation des eaux des Ghouts.....	21
2.1.4. Exploitation des eaux fluviales.....	25

PARTIE II : EXPERIMENTELE

Chapitre III. Matériels d'étude

1. Choix de la région.....	28
2. Choix de la palmeraie.....	28
3. Présentation de la palmeraie	28

Chapitre IV. Méthodes d'étude

1. Approche méthodologique.....	31
1.1. Etude de l'espace agraire.....	31
1.1.1. Délimitation et évolution de l'espace agro-urbain	31
1.1.2. Échantillonnage dans l'espace agraire.....	34
1.1.3. Description du système agraire	35
1.2. Etude de la gestion des eaux dans l'espace agraire	35
1.3. Etude de l'impact de la gestion des eaux sur l'espace agraire.....	36
2. Méthode d'analyse.....	37
2.1. Méthodes d'analyses des eaux.....	37
2.2. Méthodes d'analyses des sols	38

RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre V. Gestion agro-environnementale au Ksar

1. Description du système agraire au Ksar	40
2. Gestion de l'espace agro-urbain au Ksar	41
2.1. Délimitation de l'espace agro-urbain	41
2.2. Evolution de l'espace agro-urbain.....	41
3. Gestion des eaux au Ksar.....	44
3.1. Gestion des eaux d'irrigation.....	44
3.1.1. Ressources en eau.....	44
3.1.2. Système d'irrigation	47
3.1.3. Qualité des eaux	48
3.2. Gestion des eaux de drainage	48
3.3. Gestion des eaux usées :	49
4. Conclusion	50

Chapitre VI. Evaluation de la dégradation hydro-édaphique au Ksar

1. Dégradation hydrique au Ksar.....	52
1.1. Niveaux de la nappe phréatique.....	52

1.1.1. Niveau statique	52
1.1.2. Niveau piézométrique.....	54
1.2. Qualité des eaux phréatiques	59
1.2.1. Degrés de salinité	59
1.2.2. Charge saline	62
1.2.2. pH _n des eaux phréatiques	65
2. Dégradation édaphique au Ksar	66
2.1. Niveau des croûtes au Ksar	66
2.2. Salinisation des sols.....	68
2.2.1. Degré de salinité	68
2.2.2. Dynamique des sels	73
2.2.3. pH _{e1:5} des sols	77
5. Impact de la salinité du sol sur le rendement du palmier dattier	77
6. Conclusion	78
Conclusion générale.....	81
Références bibliographiques.....	84
Annexe	96

Introduction

Introduction

L'Organisation de l'Agriculture et de l'Alimentation, estime que la population mondiale atteindra 9,1 milliards d'habitants en 2050 (FAO, 2009). Cette augmentation de la population mondiale nécessite un accroissement des disponibilités alimentaires mondiales. Quarante pour cent de ces dernières ont bénéficié de l'irrigation, avec des visions d'augmentation de ce taux malgré les problèmes de gestion et de défaillance des systèmes d'irrigation, affectant environ 20% des terres irriguées, aboutissant à leur salinisation et à leurs engorgement par l'eau (FAO, 2016). Parallèlement, les ressources hydriques limitées, le gaspillage des eaux dans leurs exploitations favorisent la déficience en l'irrigation. L'amélioration de l'efficacité de cette dernière, qui demeure un objectif crucial, est estimée à l'heure actuelle à 40 % (FAO, 2016).

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

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

La cuvette de Ouargla compte parmi les régions sahariennes confrontées à de nombreux problèmes environnementaux et hydro-édaphiques de différentes natures qui touchent principalement le système agraire des palmeraies. Elle a fait l'objet de nombreuses études agronomiques, notamment les ressources phoenicoles et les conduites agricoles (BABA HANI, 2008a ; BABA HANI, 2008b). Certaines d'entre elles, se sont intéressées à l'environnement hydrique de la nappe phréatique, source principale de sels, pour étudier son origine, sa qualité, sa fluctuation piézométrique (CÔTE, 1998 ; NEZLI, 2004 ; TABOUCHE et ACHOUR, 2004 ; NEZLI *et al.*, 2007 ; DJIDEL, 2008 ; IDDER, 2007) ainsi que l'effet de la gestion des eaux en palmeraies sur l'hydro-halomorphie des sols (HAMDI AISSA, 2001 ; BENCHELLAL *et al.*, 2009; DADDI BOUHOUN et BRINIS, 2006 ; DADDI BOUHOUN *et*

al., 2008 ;) et l'enracinement (DADDI BOUHOUN *et al.*, 2009 ; DADDI BOUHOUN, 2010) et le rendement du palmier dattier (DADDI BOUHOUN *et al.*, 2011 ; DADDI BOUHOUN *et al.*, 2012). Ces approches de recherche ont permis d'apprécier les problèmes et le niveau de dégradation de l'environnement agraire oasisien dans la cuvette de Ouargla, notamment ceux dus à la gestion des eaux conventionnelles et non conventionnelles.

Ces recherches ont permis d'étudier l'environnement hydro-édaphique et d'estimer le niveau de dégradation de certaines palmeraies, l'ancienne palmeraie du Ksar de Ouargla, en l'occurrence. Elles montrent que la cuvette de Ouargla ne présente pas d'exutoire naturel pour les eaux excédentaires de drainage et d'assainissement, ce qui favorise leur stagnation et la salinisation des sols. Toutefois, ces travaux restent limités dans l'espace et non spécifiques à chaque palmeraie. Ils ne montrent pas l'impact des contraintes socio-économiques et du processus d'urbanisation des palmeraies par l'accroissement démographique ainsi que les effets engendrés, sur le dysfonctionnement spatial et l'exploitation des ressources hydro-édaphiques et agricoles.

Des facteurs socio-économiques, rapportés par certains auteurs suite à l'analyse du dysfonctionnement phoenicicole (enquêtes menées auprès des administrations concernées et des citoyens), favorisent la dégradation de la palmeraie du Ksar (IDDER, 2005 ; BOUAMMAR et BEKHTI., 2008 ; IDDER *et al.*, 2011). Mais ces études ne montrent pas l'impact de l'urbanisation et/ou la gestion des eaux sur l'espace agraire du Ksar.

C'est dans ce contexte que s'intègre la présente étude. Elle vise à étudier la gestion des eaux et son impact sur le système agraire du Ksar ainsi que l'incidence de l'urbanisme et les problèmes socio-économiques sur l'espace agraire à savoir : sur les palmeraies de Beni Brahim, de Beni Ouaguine et de Beni Sissine.

L'approche méthodologique adoptée consiste à établir dans un premier temps, un diagnostic spatial agro-environnemental par la description du système agraire, de l'espace agro-urbain et de la gestion des eaux au Ksar. Dans un second temps, nous essayerons d'évaluer le niveau de dégradation des palmeraies par l'étude des contraintes hydro-édaphiques et leurs impacts agricoles. Enfin, nous tenterons de proposer sur la base de nos constats des recommandations appropriées d'aménagements.

Notre mémoire comporte trois parties principales, à savoir :

- 1. Synthèse bibliographique :** Elle présente la région d'étude de Ouargla, particulièrement les potentiels hydro-édaphiques et agricoles de la cuvette de Ouargla ainsi que la relation entre l'eau et l'espace agraire.
- 2. Matériel et méthodes :** Elle expose les motifs de choix de la cuvette de Ouargla et de

la palmeraie du Ksar et des sites expérimentaux ainsi que l'approche méthodologie adoptée.

- 3. Résultats et discussion :** Elle dévoile et interprète les résultats sur la gestion agro-environnementale et évalue la dégradation hydro-édaphique au Ksar.

SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I. Présentation de la cuvette de Ouargla

1. Situation géographique

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. 1).

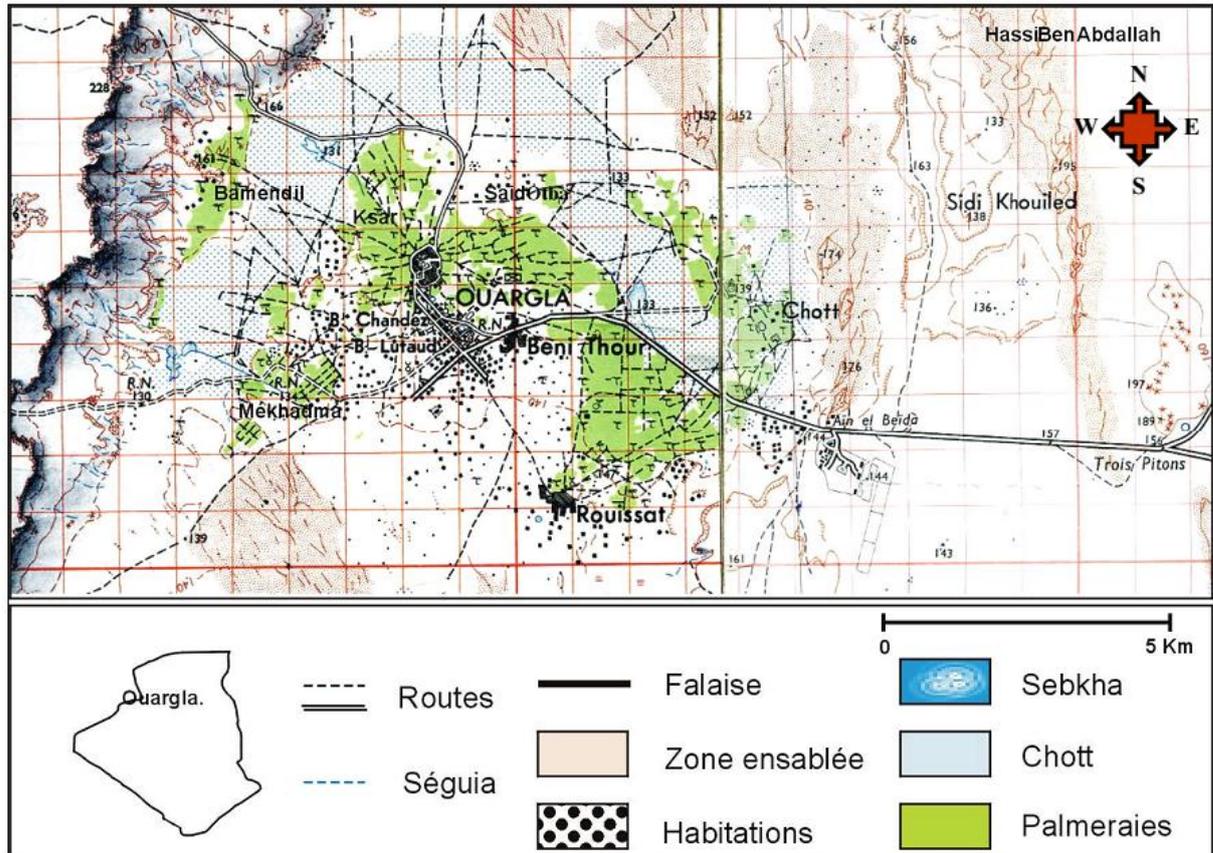


Figure 1. Carte topographique de la cuvette de Ouargla (I.G.N., 1960 in DADDI BOUHOUN, 2010)

La cuvette de Ouargla s'étale sur une longueur d'environ 55 km, orientée Sud-Ouest / Nord-Est. Elle est limitée :

- Au Nord par Sebket 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.

Elle présente une superficie totale de l'ordre de 95000 ha qui s'étend entre les coordonnées

UTM de Clarke 1880 suivantes:

1. X = 710'000 ; Y = 3'530'000
2. X = 730'000 ; Y = 3'600'000 (BONNARD et GARDEL, 2002)

2. Climat

Ouargla présente un climat désertique avec un hiver froid et un été chaud (DUBIEF, 1959 ; DUBIEF, 1963). 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 (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975). Nous avons exploité les données climatiques de la station météorologique de Ouargla, de la période s'étalant entre 2004 et 2014 pour caractériser le climat de la région (Tabl.1).

Tableau 1. Données climatiques de Ouargla entre 2004 et 2014
(O.N.M. Ouargla, 2015)

Mois	T min (°C)	T max (°C)	T moy (°C)	H (%)	V (km/h)	Insolation (h)	P (mm)	E (mm)
Janvier	5,11	18,77	11,94	61,07	55,60	244,77	9,10	90,70
Février	6,83	21,08	13,96	51,21	60,73	241,84	0,64	129,15
Mars	10,99	25,81	18,40	45,67	60,95	259,09	4,30	204,51
Avril	15,26	30,38	22,82	39,34	72,29	280,90	2,11	254,53
Mai	19,75	34,89	27,32	33,90	66,13	301,03	1,47	327,61
Juin	24,81	40,28	32,54	29,50	57,45	253,20	0,74	399,75
Juillet	28,21	43,71	35,96	25,79	64,53	327,18	0,32	464,44
Août	27,54	42,84	35,19	28,84	56,11	330,68	1,70	419,87
Septembre	23,51	37,75	30,63	37,90	55,78	269,05	3,56	299,57
Octobre	17,61	32,18	24,89	44,42	48,73	265,28	5,72	230,60
Novembre	10,46	24,16	17,31	54,85	47,64	249,68	6,56	124,89
Décembre	6,02	19,23	12,62	60,54	45,02	223,28	4,18	88,80
Moyenne	16,34	30,92	23,63	42,75	57,58	270,50	3,37	252,87
						cumul	43,76	3287,29

2.1. Températures

La région de Ouargla est caractérisée par de faibles températures hivernales et des températures estivales élevées. La température moyenne annuelle est de l'ordre de 23,63°C, avec un maximum en juillet de 35,96°C (maxima moyenne 43,71°C), et un minimum en janvier de 11,94°C (minima moyenne 5,11°C) (Tabl.1).

2.2. Précipitations

Les précipitations sont très rares et irrégulières (irrégularités mensuelles et annuelles), avec un maximum annuelle au mois de janvier de 9,1 mm. Le cumul des précipitations moyennes annuelles sur 10 ans (2004-2014) est de 43,76 mm (Tabl.1).

2.3. Vents

Les vents dans la région de Ouargla soufflent pendant toute l'année avec des vitesses variables, allant de 45,02 km/h en décembre à 72,29 km/h en avril (Tabl.1). Les vents de la région de Ouargla peuvent produire une érosion éolienne.

2.4. Humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air est très faible. Elle est de l'ordre de 25,79 % en juillet, atteignant un maximum de 61,07 % au mois de janvier, avec une moyenne annuelle de 42,75% (Tabl.1).

2.5. Evaporation

La région de Ouargla est caractérisée par une évaporation importante avec une moyenne annuelle de 252,87 mm, et un maximum mensuel de 464,44 mm en juillet et un minimum mensuel de 88,80 mm en décembre (Tabl.1).

2.6. L'insolation

La durée moyenne annuelle de l'insolation (I) est de 270,50 heures avec un maximum de 330,68 heures en août et un minimum de 223,28 heures en décembre (Tabl.1).

2.7. Classification bioclimatique

Nous avons utilisé le diagramme ombrothermique de GAUSSEN et le Climagramme d'EMBERGER pour caractériser le climat de la région de Ouargla.

Le diagramme ombrothermique de Gausсен (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).

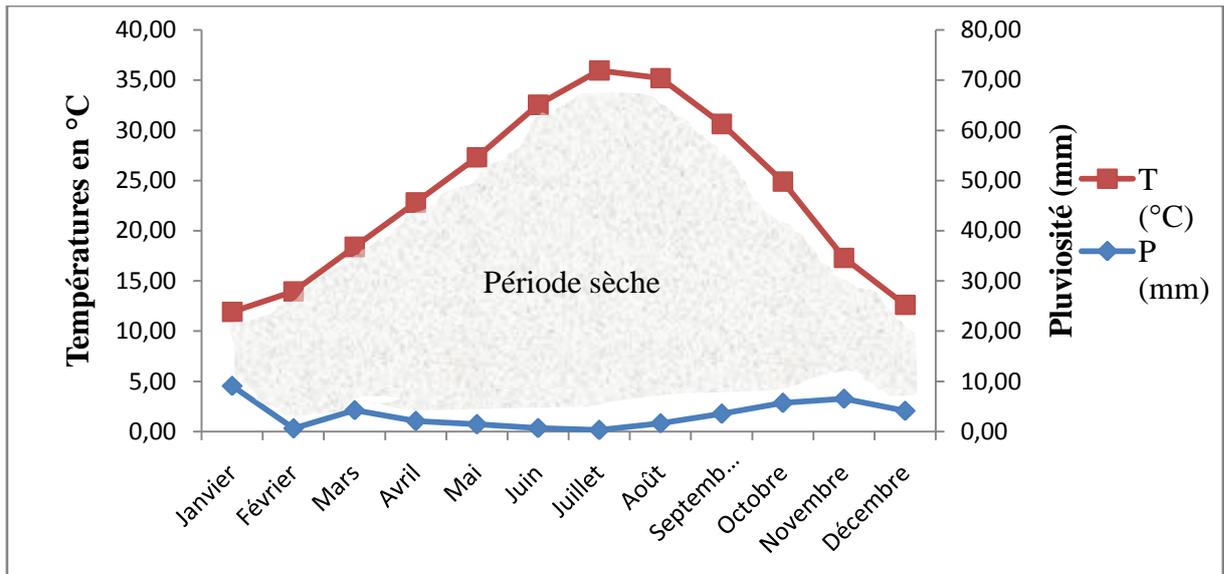


Figure 2. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN de Ouargla (2004-2014).

Le diagramme ombrothermique de GAUSSEN montre que la durée de la période sèche à Ouargla s'étale durant toute l'année.

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 : Pluviosité moyenne annuelle 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 3,89, donc Ouargla est caractérisé par un bioclimat hyperaride (saharien) à hivers doux (Fig. 3).

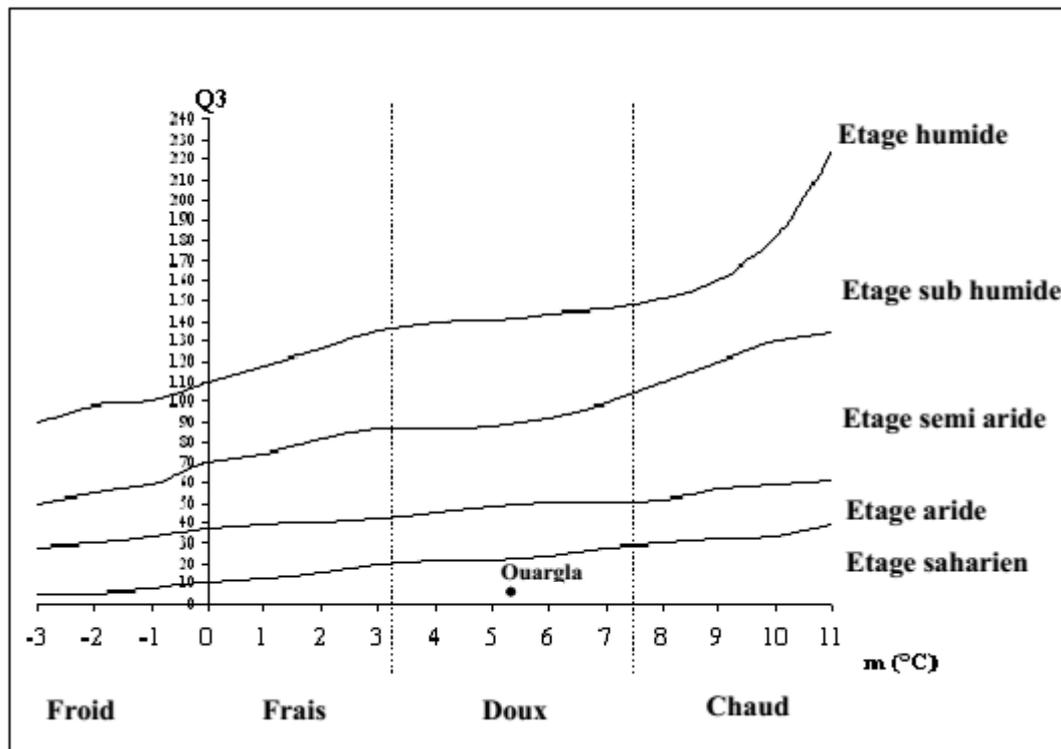


Figure 3. Climagramme d'EMBERGER de la région de Ouargla (2004-2014).

3. Géomorphologie

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

3.1. Le plateau

La région de Ouargla se trouve encaissée au fond d'une cuvette très large de la basse vallée de l'oued Mya. 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 250m d'altitude, appelé localement « plateau des Ganntra ». Il s'abaisse dans le paysage une série de buttes témoins (HAMDI AISSA, 2001).

3.2. Les glacis

Le versant ouest de la cuvette présente quatre niveaux étagés de glacis caractéristiques, 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 225m à l'Ouest jusqu'à 200m environ à l'Est (HAMDI AISSA, 2001).

Les glacis de 180 et de 160m 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 Sebkhass

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

4. Hydrogéologie

Au Sahara, il existe 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 » (HAMDI-AISSA, 2001).

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).

4.1. Nappe du continental intercalaire

L'exploitation de cette nappe à Ouargla remonte à 1960. Les forages atteignent la nappe entre 1100 et 1400 m de profondeur, et leurs eaux sont faiblement minéralisés (de l'ordre de 1,9 g.l⁻¹). Ils ont un débit de 250 à 400 l/s (HAMDI AISSA, 2001).

4.2. Nappe du complexe terminal

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'écoulement de ces deux aquifères s'effectue du Sud-Ouest vers le Nord-Est (IDDER, 1998 in IDDER, 2005). Selon le SASS (2002), En Algérie et durant l'année

2000, l'exploitation de la nappe est de l'ordre de $22,3 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Ils ont constatés une nette évolution depuis 1950 quand cette exploitation n'était que de $5,77 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$. Cette évolution s'est nettement accélérée au début des années 80 suite à la création de nouveaux forages.

4.3. Nappe phréatique

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 (Fig. 4), 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). Cette nappe s'écoule du Sud vers le Nord, suivant la pente de la vallée (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).

5. 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 Sebkhass (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).

6. 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 phoeniciculture intercalée dans l'espace par un autre groupe de cultures, grâce au microclimat favorable qu'offre la palmeraie (BAOUIA, 1998 in DADAMOUSA, 2007).

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

6.1. Ancien système

C'est un système qui est représenté dans l'ancienne palmeraie. Dans cette palmeraie, il y a une très faible diversité des exploitations en termes de tailles et de systèmes de cultures. Très souvent, les situations des exploitations se ressemblent (BOUAMMAR, 2010).

Dans ce système, on peut trouver essentiellement le palmier dattier avec des cultures sous jacentes associées à un élevage de type familial (DADAMOUSA, 2007).

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).

6.2. 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 (DADAMOUSA, 2007).

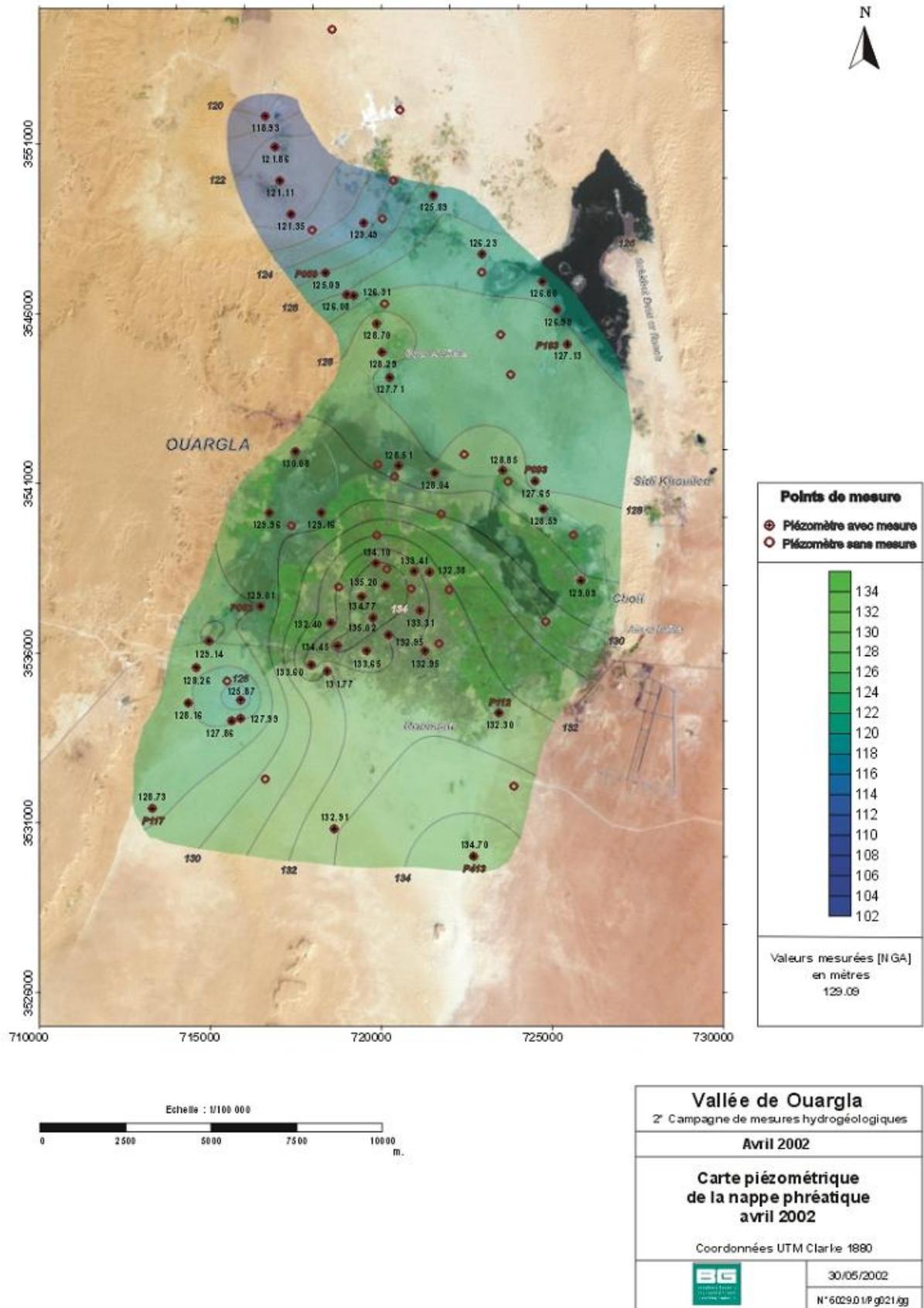


Figure 4. Carte piézométrique de la nappe phréatique en avril 2002 (BONNARD et GARDEL, 2005).

Chapitre II. L'eau et l'espace agraire au Sahara

1. Concepts du système en agriculture

Avant d'entamer les différents types de systèmes agraires, il faut définir plusieurs concepts qui ont évolué à travers le temps. Selon PIERRE-JEAN ROCA (1987), les "Journées de la Recherche-Développement en milieu rural ont donné la définition du système de culture, de production et agraire, comme suit :

- **Système de culture** : est appréhendé à l'échelle de la parcelle, c'est un sous-ensemble du système de production. Il est défini pour une surface de terrain traitée de manière homogène par les cultures végétales avec leur ordre de succession (rotation et succession culturale), et les techniques mises en œuvre. Il se caractérise, entre autres, par son niveau de production, son rendement énergétique et son influence sur la fertilité du milieu.
- **Système de production** : est envisagé, en ce qui le concerne, à un niveau supérieur de celui de l'unité de production (que certains appellent "exploitation agricole"). Il est défini comme une combinaison plus ou moins cohérente dans l'espace et le temps de certaines quantités de force de travail et de divers moyens de production (terres, bâtiments, machines, instruments, cheptels), en vue d'obtenir différentes productions agricoles.
- **Système agraire** : Un mode d'exploitation du milieu, historiquement constitué et durable, adapté aux conditions bioclimatiques d'un espace donné, et répondant aux conditions et aux besoins sociaux du moment MAZOYER (1987 in COCHET *et al*, 2007).

2. Systèmes agraires au Sahara

Le Sahara présente un grand nombre de ressources, dont l'une d'entre-elles est l'eau souterraine. Cette eau a été exploitée par les oasiens par plusieurs méthodes ingénieuses, ayant permis la création et le maintien de l'oasis.

2.1. Types de systèmes agraires

On distingue quatre types de systèmes agraires qui sont différenciés par le mode et la nature d'exploitation de la ressource en eau dans le Sahara algérien (ZELLA et SMADHI, 2006) :

1. l'Oasis située dans les dépressions de l'erg, l'eau d'irrigation est extraite de la nappe par puits et forages (exemple : oasis de Ouargla) ;
2. l'Oasis de dépression alimentée en eau par les foggaras (exemple : oasis d'Adrar, Timimoun) ;

3. l'Oasis créée en forme de cuvette concentrique (Ghouts) où l'eau est puisée par capillarité (exemple : oasis d'El Oued) ;
4. l'Oasis fluviale, approvisionnée en eau des oueds (exemple : oasis de Ghoufi, du M'Zab et de Oued Béchar).

2.1.1. Exploitation des eaux des puits

Selon PILLET (1995), en 1964, la palmeraie de Ouargla, s'étendait sur environ 1450 ha et le chott, partie du Sud, Sud-Est, sur 387 ha. Au Ksar, existait en face de chaque quartier, une palmeraie appartenant aux habitants de ce dernier.

a- Méthode d'exploitation des ressources en eau

L'eau utilisée pour l'irrigation est extraite de la nappe phréatique par des puits traditionnels. En revanche, les puits artésiens de la nappe du Miopliocène, utilisant le balancier, constituent une spécificité locale (PERENES in ZELLA et SMADHI, 2006).

L'exploitation de l'eau dans les anciennes exploitations à Ouargla se fait par les puits artésiens, exploitant l'eau de la nappe du continental terminal. Ces puits sont creusés selon LETHIELLEUX (1984) et DELHEURE (1988) en plusieurs étapes.

- La première étape sert à creuser un puisard d'une profondeur qui dépasse celle d'un homme debout (2 mètres à peu près). Celui-ci est renforcé par du coffrage. Ce coffrage est réalisé par des stipes de palmier dattier et des poutres.
- La deuxième partie est l'approfondissement du puits jusqu'à la dalle rocheuse qui recouvre généralement la nappe d'eau. C'est une étape qui nécessite beaucoup de manœuvres ; ceux du fond rejettent terre et pierraille, et d'autres remontent ces résidus en dehors du jardin ;
- La troisième partie sert à élargir en bas le puisard en forme d'une chambre, dite la marmite avec une entrée en haut de la chambre, assez étroite pour permettre l'entrée d'une seule personne à la fois ;
- La quatrième partie sert à renforcer les parois du puits par les stipes de palmier dattier, en commençant par le bas du puits jusqu'en haut pour éviter l'éboulement de la paroi ;
- La cinquième partie sert à percer un orifice dans la roche dans un silence total afin d'en apercevoir le moindre bruit de l'arrivée de l'eau, lorsque la dalle rocheuse est percée, et l'orifice est obstrué avec des bâts en sparterie, vieux tapis-couvertures, pierres et noyaux de dattes dans un sac, où l'eau se dilate et

bouche le trou).

- La sixième partie sert à racler la terre de la dalle rocheuse ; même si l'orifice est obstrué, le niveau de l'eau ne cesse pas de remonter ; les ouvriers remontent quand l'eau est très abondante ; le chef en donne le signal de la remontée ; et le bouchon de l'orifice est récupéré par des plongeurs.

Cette manière traditionnelle de l'exploitation de l'eau a permis l'existence d'une vie à Ouargla et la création des palmeraies.

b- L'historique des puits

Selon LETHIELLEUX (1984), en 1075, il existait une seule source d'eau dans le plateau rocheux du Ksar, appelé « Tala n-a'man ». En 1885, selon Paul BLANCHET (1900), le capitaine REBILLET en avait compté 430 en activité ; et le capitaine FOURNIER en 1896, n'en avait plus trouvé que 257 puits artésiens en activité. Selon PILLET (1995) dans une note particulière manuscrite en 1901, les puits artésiens étaient au nombre de 160 ; BLANCHET (1900), avait compté plus de 700 puits morts.

On remarque que le nombre de puits artésiens est en diminution, favorisé, selon BLANCHET (1900), par plusieurs phénomènes :

- l'eau jaillissante peut incruster la surface des sables et boucher l'orifice;
- le terrain tendre de la première nappe artésienne peut s'ébouler à l'intérieur du puits ;
- le coffrage peut s'effondrer ;
- le manque d'argent et de réparation, selon ROUVILLOIS-BRIGOL (1975) ; en 1955, il reste une dizaine de plongeurs pour l'entretien des puits et 21 plongeurs en 1877 pour entretenir plus de 400 puits artésiens ;
- le rabattement de la nappe.

Dans le même contexte, BLANCHET (1900), précisément en 1883 et plus récemment BERNARD et LACROIX in PILLET (1995) rapportent que le nombre de puits artésiens a diminué à partir des années quatre vingt, où et le premier coup de sonde fut donné à Ouargla. Depuis, cinquante-quatre sondages ont été tentés, dont la grande majorité a réussi, avec d'autres installations de forages dans les années qui suivent. Cela peut être l'agent qui a favorisé le rabattement de la nappe, donc l'assèchement des puits artésiens.

Une nouvelle technique « la noria ou roue à manège » à traction animale a été introduite en 1920 à Ouargla (ROUVILLOIS-BRIGOL (1975) ; CAMPS (1995). En 1975, il

en existait encore quelques-une dans l'oasis de N'Goussa et une seule à Ouargla.

Selon ROUVILLOIS-BRIGOL (1975), le balancier était encore utilisé dans la basse vallée de l'Oued Mya en raison de son faible coût d'installation et de sa simplicité de fonctionnement. La noria par contre, après avoir connu une vague importante de 1930 à 1965, avait quasiment disparue de la palmeraie de Ouargla.

A partir de 1925, les pères blancs s'efforcèrent de généraliser l'emploi de la noria en fournissant les pièces de rechange, et en aidant à poser le châssis de niveau, pour éviter une usure trop rapide du tube et de l'axe de la roue (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975).

En 1951, Les 13 forages effectués jusqu'à la nappe miopliocène font baisser la production des autres puits, au point d'obliger à creuser des séguias jusqu'à 3 m au-dessous du niveau des jardins (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975) (MTMOS in PILLET, 1995).

Selon PILLET (1995), en 1964, le débit disponible se situait entre 650 et 935 l/s, avec les normes de 1 l/s/ha, et ce débit ne suffisait pas pour l'irrigation des 1450 ha.

2.1.2. Exploitation des eaux des foggaras

Le système des galeries drainantes est connu dans le monde sous plusieurs appellations. Il s'agit de la foggara en Algérie, de la Qanat en Iran, du Falj au sultanat d'Oman, du Kariz en Afghanistan et au Pakistan, de la Khattara au Maroc, de la Qanat romani en Jordanie et en Syrie, du Kanerjing en Chine et de la Kriga en Tunisie. Ce sont là des noms pour désigner le même principe de fonctionnement, basé sur les galeries drainantes. Elles sont réparties dans plus de 30 pays à travers le monde (BOUSTANI, 2008).

a. Construction des foggaras

Selon REMINI et ACHOUR (2008), ZELLA, SMADHI (2006) et KHADRAOUI (2007), la foggara est un système ingénieux de l'exploitation de l'eau par gravitation. Ce système est composé de galeries souterraines avec une faible pente qui permet de restituer, ensuite drainer l'eau de l'aquifère situé sous l'Erg vers le Ksar, et enfin vers la palmeraie située en aval (Fig.5). Pour que la foggara soit fonctionnelle, il faut que la nappe soit située à un niveau supérieur.

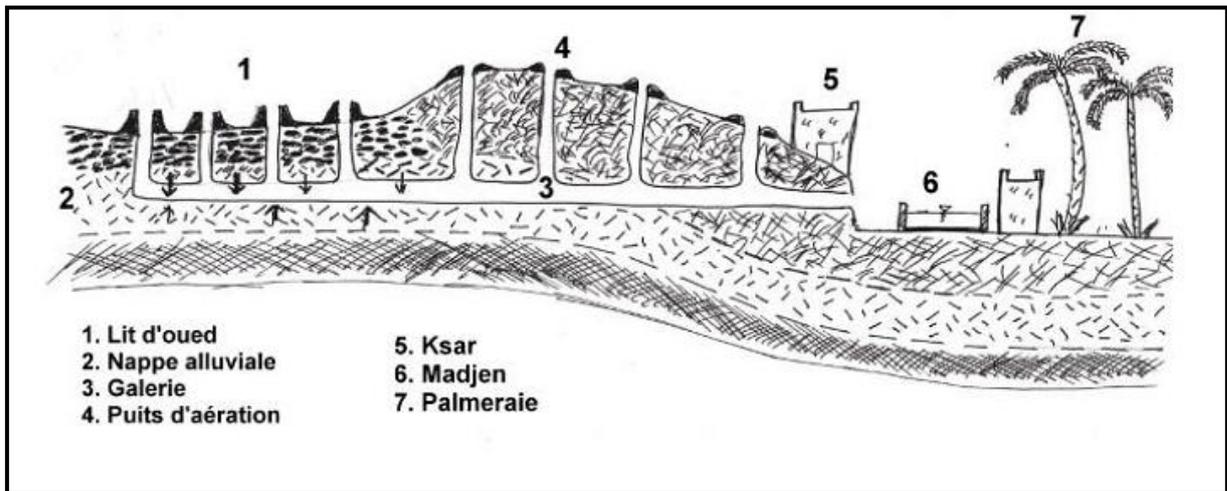


Figure 5. Schéma synoptique d'une foggara de l'Ahaggar. Coupe longitudinale (REMINE et ACHOUR, 2013).

Selon REMINI (2008), la création des foggaras s'effectue par étape. On commence par un puits pour s'assurer de la présence d'eau souterraine, ensuite, on creuse un deuxième puits. On relie les deux puits et ainsi de suite, tout en remontant la pente. Cela permet de construire une galerie dont une partie est située dans la zone saturée de la nappe pour capter l'eau, et l'autre dans la zone non saturée qui draine l'eau jusqu'au **Kasria**. On peut avoir plusieurs foggaras qui se rassemblent dans une Kasria. L'eau est ensuite acheminée vers d'autres Kasria secondaires par une séguia, puis vers un **Madjen**. Le Madjen est un bassin peu profond, situé dans le plus haut niveau de la palmeraie pour l'irriguer.

b. Partage et distribution de l'eau d'une foggara

Le partage de l'eau de la foggara s'effectue par *Kial El Ma* à l'aide d'une plaque rectangulaire, avec des orifices appelés *Louh*. Le Louh aide à mesurer le débit de la foggara, en utilisant la théorie des écoulements par orifice. Son unité de mesure est le Tmen = $2,5 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1} = 0,0416 \text{ l} \cdot \text{s}^{-1}$ (REMINE 2008).

Kial El Ma répartit les débits des foggaras suivant la liste que lui remet le *Chahed* à chaque opération de mesure, lors de la création d'une nouvelle foggara ou l'entretien d'une ancienne. Il y a ensuite *El Hassab* qui se charge de déterminer la part de chaque copropriétaire selon l'effort fourni lors de la création de la foggara. Selon REMINI (2008), cette méthode qui utilise des quantités d'eau pour déterminer la part de chaque copropriétaire est une méthode volumique, très répandue en Algérie.

Il existe une autre méthode qui utilise le procédé horaire appelé « *Nouba* ». Cette méthode de partage de l'eau, caractéristique des foggaras des sources, des montagnes et des oueds, est basée sur l'unité de temps. Le partage de l'eau est défini comme la durée de temps suffisante pour irriguer complètement le jardin. Le partage des eaux des Khetaras du Tafialet (Maroc) et des Qanats (Iran) s'effectue selon le mode de la *Nouba*. En Algérie, le partage de l'eau par unité de temps s'effectue actuellement pour les eaux des deux foggaras de Moghrar (Naâma), fonctionnant de la même façon que celui des Khetaras marocaines (REMINI, 2008).

c. Phénomènes de dégradation des foggaras

Selon REMINI (2008) et KHADRAOUI (2007), la foggara est exposée à plusieurs phénomènes qui conduisent à sa dégradation. Ces phénomènes sont :

1. l'effondrement selon deux processus, un processus lent provoqué par l'érosion hydrique des galeries, ensuite leur effondrement, et un autre rapide et instantané dû aux crues ;
2. le tarissement par l'installation des forages qui provoquent le rabattement de la nappe au dessus de la partie drainante de la galerie ;
3. l'ensablement des foggaras, surtout celle de l'Erg, et leur pollution par les déchets urbains ;
4. l'envahissement des galeries par une espèce végétale appelée « *Tazra* » ayant des racines très profondes ;
5. le manque d'entretien (obstruction du canal par les matériaux texturaux des parois) ;

d. Entretien de la foggara

Selon REMINI (2008), l'entretien de la foggara est réalisé par différentes pratiques :

1. enlèvement de la boue et du sable ;
2. entretien des galeries qui est très coûteux ;
3. ajout d'une branche « *kraa* » pour augmenter le débit, avec l'augmentation du nombre de propriétaires ;
4. prolongement de la foggara ; la longueur du prolongement peut dépasser la longueur initiale de la galerie.

2.1.3. Exploitation des eaux des Ghouts

Les oasis basées sur l'utilisation des Ghouts sont fréquentes dans l'Erg Oriental dans la région du Souf (6°53 de longitude, 33°22 de latitude) (ZELLA et SMADHI, 2006).

Selon REMINI (2006), dans les oasis d'El Oued, les oasiens descendent le niveau des palmeraies pour que les racines du palmier dattier soient constamment au contact de l'eau ; et les Soufis les surnomment « Ghouts ». Ils prennent la forme de cuvettes dans lesquelles sont implantés les palmiers dattiers (Photo 1).



Photo 1. Paysage de la ville d'El Oued et les Ghouts qui l'entourent (JANUEL, 2010)

Un Ghout est une technique de culture du palmier dattier propre à la région d'El Oued. Les palmiers dattiers sont implantés par groupe de 20 à 100 au centre d'une cuvette artificielle, d'une profondeur de 10 m et d'un diamètre de 80 à 100 m, et dont le fond est amené à moins de 1m au-dessus de la nappe phréatique. Les oasiens creusent progressivement dans le sol afin que les palmiers dattiers aient constamment leurs racines dans l'eau, et sont ainsi continuellement irrigués (Fig. 6) (REMINI, 2006).

Le principe repose sur la réalisation d'un cratère ou d'une cuvette concentrique, d'une dizaine de mètres de profondeur par rapport au niveau initial du sol. L'excavation du sable hors de la cuvette s'effectue manuellement par les hommes (*les Rammals*). Le creusement s'arrête à l'approche du toit de la nappe (ZELLA et SMADHI, 2006).

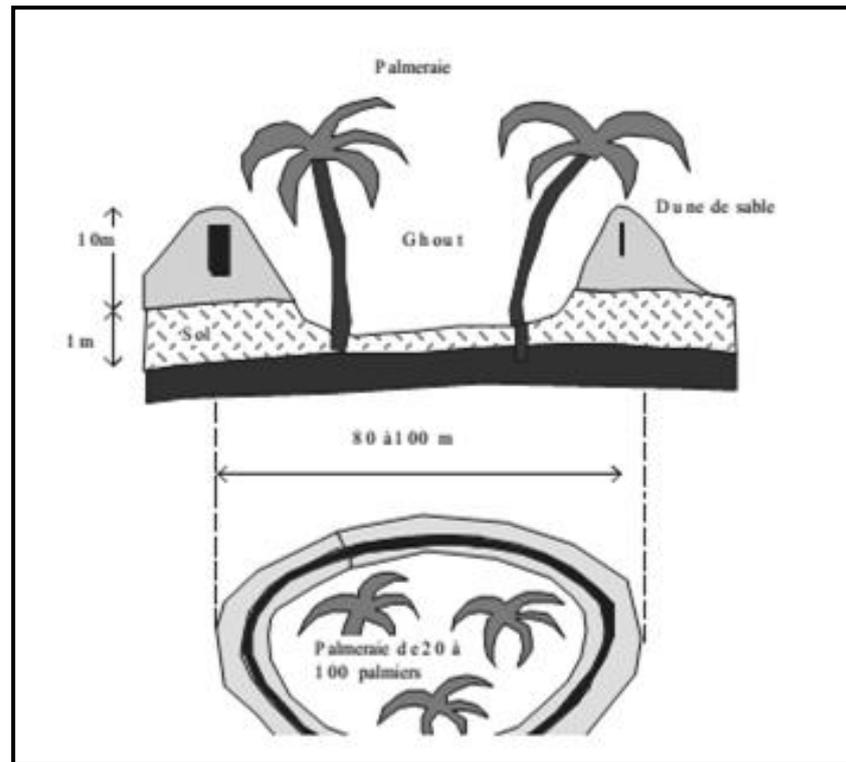


Figure 6. Schéma d'un Ghout : les palmiers sont constamment enracinés dans l'eau (REMINI, 2006).

a. Phénomènes de dégradation du Ghout

Selon REMINI (2006), avant les années soixante où les eaux fossiles sont découvertes, le volume de la nappe phréatique était stationnaire, sauf dans des cas exceptionnels (crues torrentielles); et il y avait un équilibre entre la capacité d'eau apportée et celle évacuée (Fig. 7).

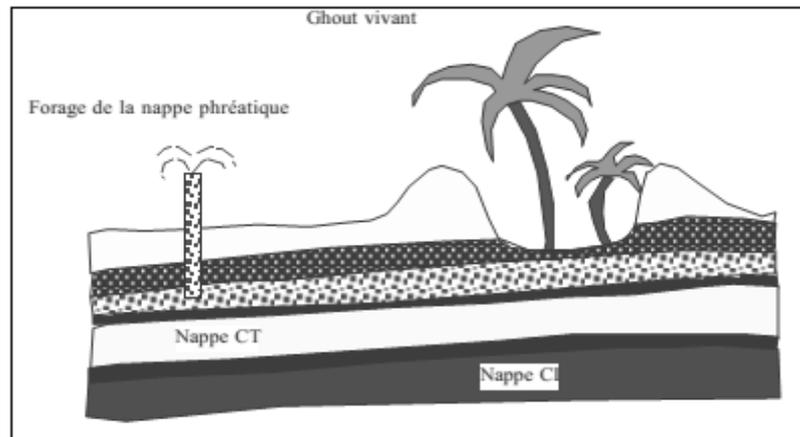


Figure 7. Situation des Ghouts avant 1960 : équilibre entre les prélèvements et les rejets (REMINI, 2006)

Selon REMINI (2006), après les années soixante les rejets dans la nappe phréatique étaient devenus considérables, ce qui avait provoqué la remontée du niveau piézométrique de la nappe phréatique et donc l'inondation des Ghouts sans la mort des palmiers (Fig.8). À partir de 1980, l'augmentation du débit de pompage des nappes du continentale intercalaire et du continentale terminale ont augmenté les rejets dans la nappe phréatique ce qui a provoqué une augmentation considérable du niveau d'eau dans les Ghouts d'où leur mort (Fig. 9). Cette remontée a conduit les services locaux à remblayer ces derniers.

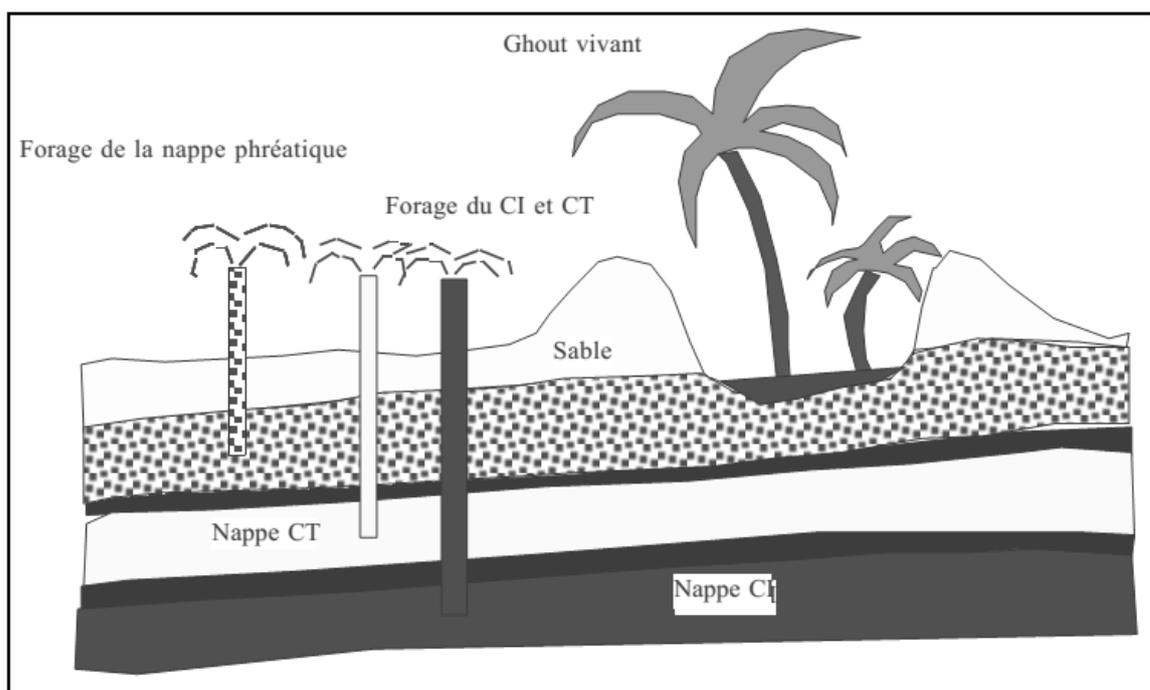


Figure 8. Situation des Ghouts à partir de 1960 : utilisation des forages profonds (REMINI, 2006)

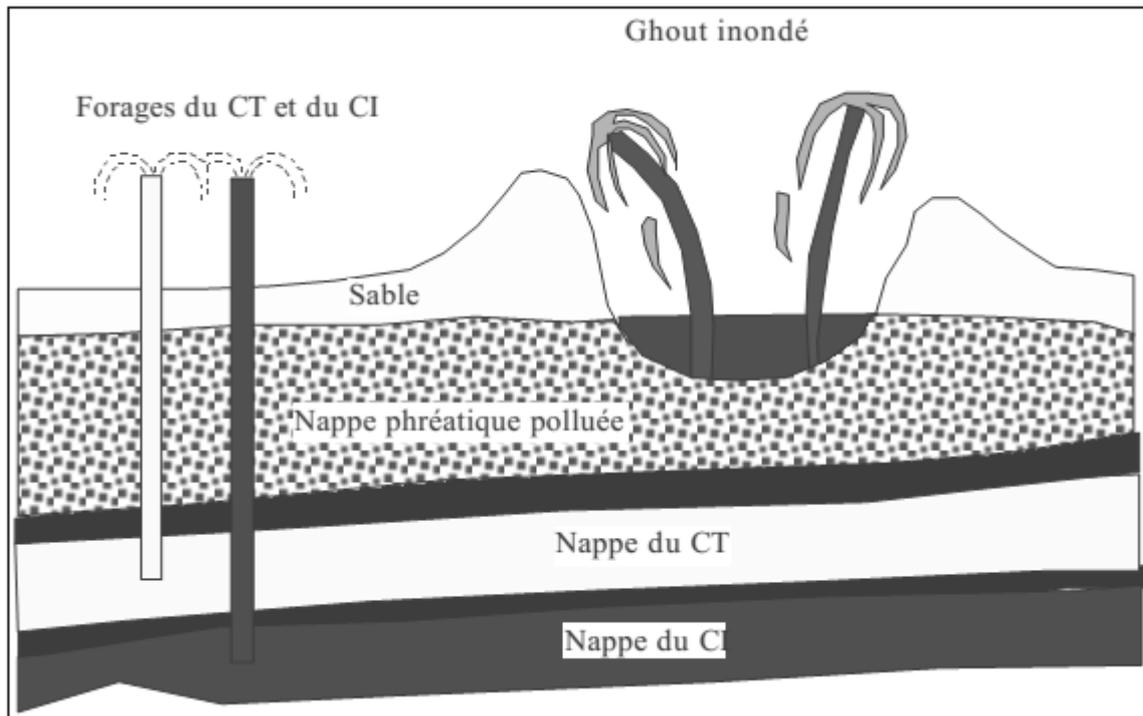


Figure 9. Situation des Ghouts à partir de 1980 : augmentation des forages et par conséquent le débit de pompage (REMINI, 2006).

2.1.4. Exploitation des eaux fluviales

Entre les années 1012 et 1347, cinq villes-Oasiennes du M'Zab ont été fondées : Ghardaïa, Mélika, Benisguen, Bounoura et El Atteuf, sur des terres arables, au fond de la vallée, fertilisée par les crues saisonnières de l'Oued M'Zab et ses affluents (BENYOUCEF, 1988; DJENNANE, 1990 in ZELLA et SMADHI, 2006).

Dans certaines oasis à cours d'eau temporaire (crues d'oueds), comme le M'zab, les alluvions apportés et déposés par les oueds ont permis l'existence d'une nappe alluviale, longtemps utilisée comme unique et principale ressource en eau, avant l'apparition des forages vers les années cinquante (KHEMGANI, 2010).

Cette installation s'est opérée grâce à la maîtrise des crues, l'exhaure des eaux et leur distribution collective. Le système hydraulique repose sur une nappe d'inféoflux, alimentée artificiellement par de petits ouvrages composés de barrages, de trémies, de peignes et de plaines d'épandage (ZELLA et SMADHI, 2006).

En amont de Ghardaïa, un barrage de dérivation ainsi qu'un ensemble de diguettes stockent et canalisent les eaux de l'oued vers des canaux souterrains. Ces derniers sont munis d'ouvertures calibrées, assurant une répartition équitable de l'eau aux jardins des différents

quartiers. Ces canaux s'étendent sur des centaines de mètres et sont percés par des puisards nécessaires à l'aération et l'entretien. Les débits sont estimés en fonction du nombre de palmiers dattiers, afin que chaque jardin reçoive la quantité d'eau qui lui revient de droit. Le surplus d'eau est évacué latéralement à l'aval vers les plaines d'épandage (ZELLA et SMADHI, 2006).

Dans les vallées, l'irrigation par écrêtage des crues et des petits barrages permet d'associer aux cultures oasiennes, des cultures de décrues. A la palmeraie, l'irrigation constitue l'essentiel du travail et le puisage de l'eau des puits complète l'irrigation. L'eau retirée du puits se fait par la force des bras ou par traction animale. Elle est déversée dans un bassin aménagé à proximité, à partir duquel, des seguias conduisent cette eau vers les différentes parties du jardin (ZELLA et SMADHI, 2006).

PARTIE
EXPERIMENTALE

Chapitre III. Matériels d'étude

1. Choix de la région

Nous avons choisi de réaliser le présent travail de recherche dans la cuvette de Ouargla, vu sa vocation agronomique saharienne et l'importance de ses ressources en eau et son système agraire.

Le système agraire de la cuvette de Ouargla est intimement lié aux ressources en eau et à leur gestion. Celui-ci est constitué de plusieurs palmeraies (Fig.11) : Said otba, Bamendil, Mekhadma, Sidi khouiled, Chott Adjaja, Ain Beida, Rouissat, Beni Thour et la palmeraie du Ksar (Beni Brahim, Beni Ouaguine et Beni Sissine).

2. Choix de la palmeraie

Nous nous sommes intéressés dans le présent travail à la palmeraie du Ksar parce qu'elle représente la palmeraie la plus ancienne de la cuvette de Ouargla, disposant d'un potentiel agronomique et culturel important, et où la problématique de la gestion de l'eau est posée avec acuité dans l'espace agraire.

3. Présentation de la palmeraie

La palmeraie du Ksar est divisée en trois parties : la palmeraie de Beni Brahim et celles de Beni Ouagguine et de Beni Sissine. Chacune de ces trois palmeraies se situe en face de chacun des trois quartiers correspondant et appartient aux habitants de ce dernier (Fig. 10).

Le palmier est la culture principale, mais souvent les paysans pratiquent des cultures fourragères pour leurs élevages familiaux, parfois aussi certaines cultures maraîchères. Quelques arbres fruitiers accompagnent le palmier dattier, surtout le grenadier, le figuier, la vigne et rarement l'abricotier (DADAMOUSA, 2007).

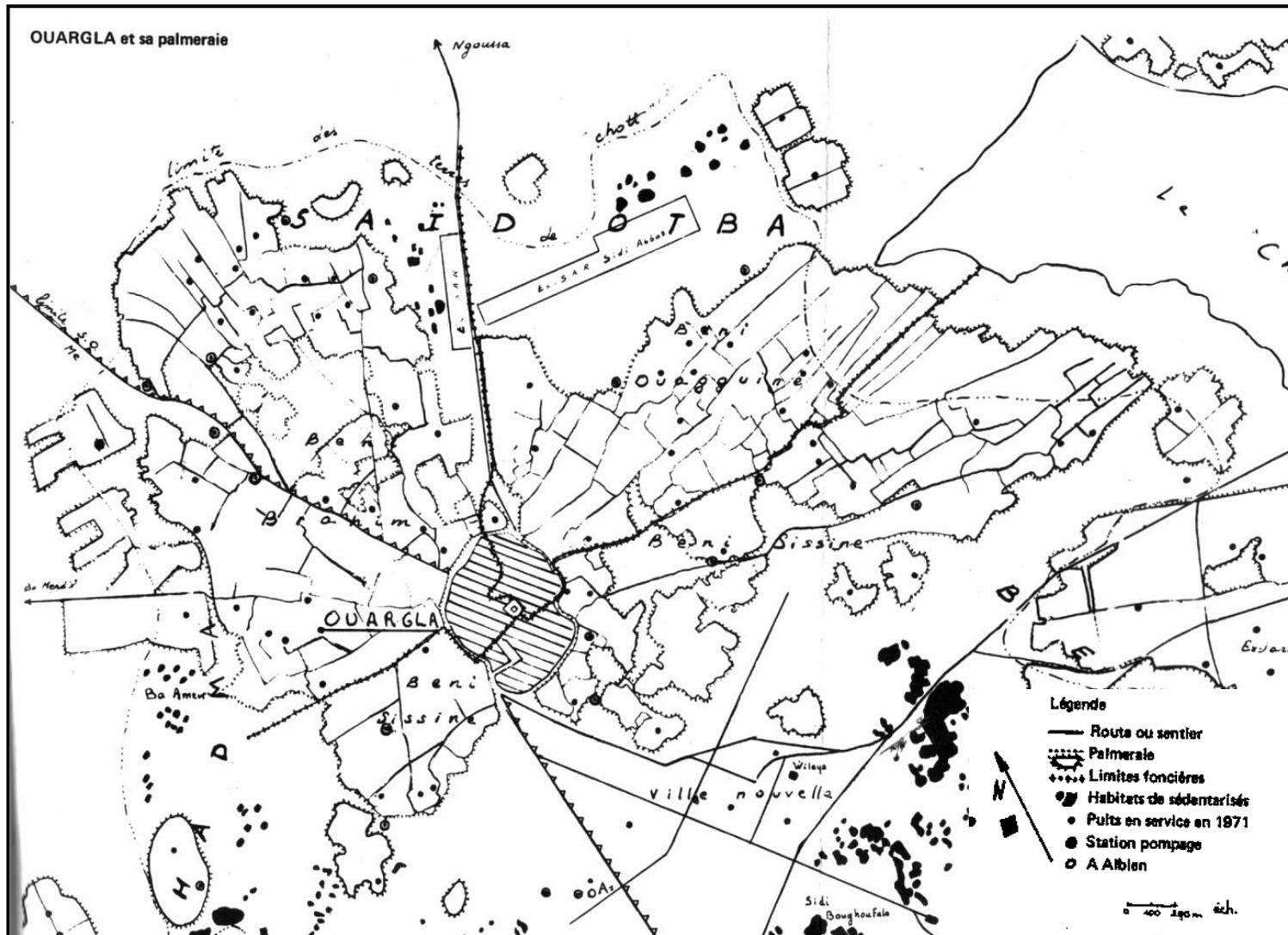


Figure 10. Limites foncières du Ksar de Ouargla et sa palmeraie (ROUVILLOIS-BRIGOL, 1975)

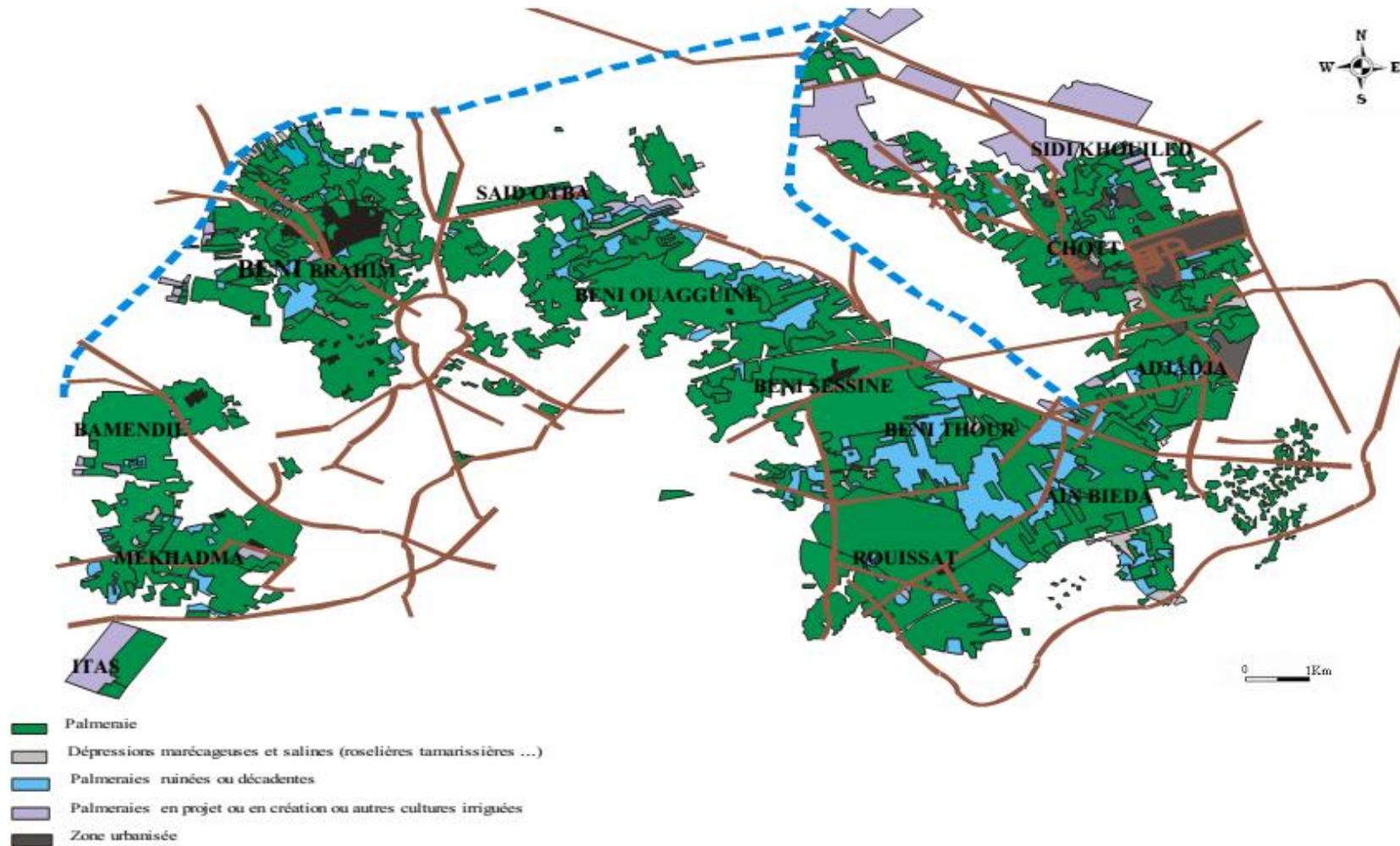


Figure 11. Répartition des palmeraies de la cuvette de Ouargla, (BONNARD et GARDEL, 2003 in SLIMANI 2006).

Chapitre IV. Méthodes d'étude

1. Approche méthodologique

Notre approche méthodologique consiste à étudier les ressources hydriques et leur gestion dans la limite de l'espace agraire du Ksar de Ouargla, par une approche d'échantillonnage spatiale dans les palmeraies de Beni Brahim, Beni Ouaguine et Beni Sissine. La collecte des données qualitatives par des enquêtes et quantitatives par des mesures hydro-édaphiques, vont nous permettre d'étudier le système agraire et la gestion des eaux et leurs impacts sur l'environnement des palmeraies, et de proposer des recommandations d'aménagements. Cette démarche de recherche a été effectuée dans l'ordre suivant (Fig. 12) :

1. Etude de l'espace agraire du Ksar
 - Délimitation et évolution de l'espace agro-urbain ;
 - Échantillonnage dans l'espace agraire ;
 - Description du système agraire ;
2. Etude de la gestion des eaux dans l'espace agraire ;
3. Etude de l'impact de la gestion des eaux sur l'espace agraire ;
 - Etude de la remontée de la nappe phréatique ;
 - Etude de la formation des croûtes gypseuses ;
 - Etude de la salinisation des sols ;
4. Recommandations d'aménagements de l'espace agraire.

1.1. Etude de l'espace agraire

L'étude de l'espace agraire consiste à le délimiter par rapport à l'occupation du terrain au Ksar et d'étudier son évolution entre des localisations anciennes et actuelles des palmeraies et des habitations. Cela nous permettra de réaliser l'échantillonnage des jardins de palmeraie et d'étudier leur système agraire, et ultérieurement la gestion des eaux et ses conséquences.

1.1.1. Délimitation et évolution de l'espace agro-urbain

La délimitation de l'espace agraire de la palmeraie du Ksar a nécessité le recours aux enquêtes auprès des citoyens, au siège de la wilaya de Ouargla, et la direction des services agricoles de Ouargla (DSA), ainsi que des travaux de recherches pour collecter les données de localisations anciennes et actuelles. Nous avons utilisé pour la localisation du Ksar et de sa palmeraie les cartes de ROUVILLOIS-BRIGOL (1975), IDDER (2005), ainsi que la photo aérienne de 1982 de I.N.C et les images satellitaire de *Google earth* de 2001 et 2015, avec des anciennes photos de la ville et de la palmeraie du Ksar en :

- 1919 : la première photo aérienne de Ouargla est publiée dans la revue « l'Afrique du Nord illustrée » (AFNI) du 1^{er} Mars 1919 (Association du Ksar pour la culture et l'islah, 2003).
- 1932 :
 1. vue aérienne du Bordj Chandez (Bordj Lahmer) (une vue de la zone Sud- Ouest de la ville et de la palmeraie du Ksar) (PILLET, 1995)
 2. le Ksar est vu du sud. (Photo SHAA n°390) (Association du Ksar pour la culture et l'islah, 2003)
 3. vue sur la place de Casbah (Photo AFNI n°612) (Association du Ksar pour la culture et l'islah, 2003)
- 1940 : Ouargla et ses Remparts (une vue de la zone Nord-Ouest et Sud-Est de la ville et de la palmeraie du Ksar) (PILLET, 1995) ;
- 1956 : vue aérienne du sud de la ville et de la palmeraie du Ksar (PILLET, 1995) ;
- 1961 : le marché actuel et la Mairie (PILLET, 1995).

Nous avons procédé à la délimitation du Ksar et ses palmeraies (Beni Brahim, Beni Ouaguine et Beni Sissine. Nous avons aussi étudié l'évolution de l'espace agro-urbain de 1982 jusqu'à 2015. Ce travail de cartographie a nécessité la confirmation de certaines positions, par des déplacements sur terrain, afin de procéder à des rectifications des limites de la palmeraie et de finaliser des cartes agro-urbaines et leur évolution dans le temps. Les cartes sont réalisées avec le logiciel Arc Map10.2.2.

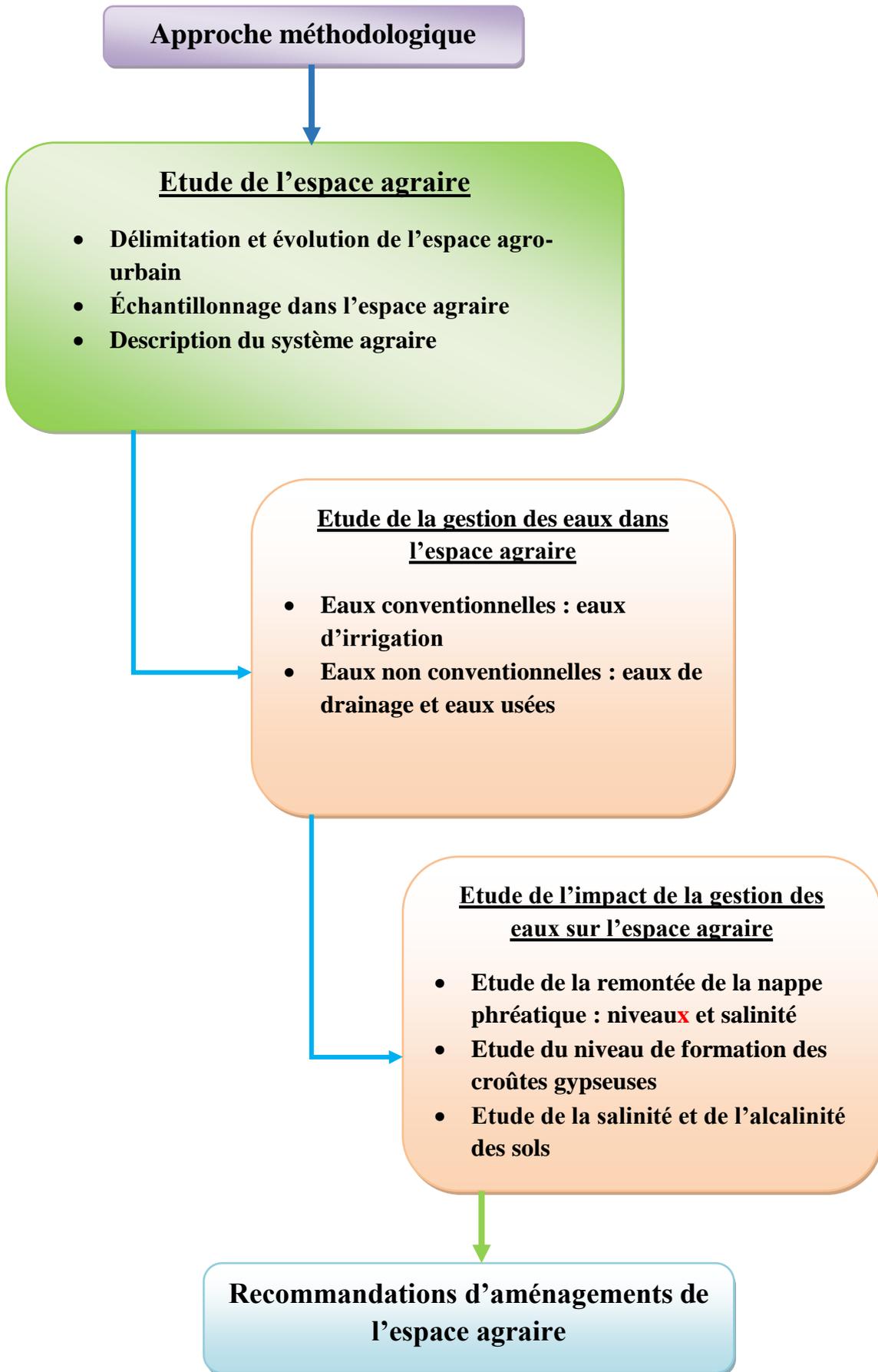


Figure 12. Approche méthodologique

1.1.2. Échantillonnage dans l'espace agraire

Nous avons choisi d'utiliser la méthode d'échantillonnage systématique aléatoire de l'espace agraire (MATHIEU et PIELTAIN, 2009 ; LAPERCHE et MOSSMANN, 2004). Celle-ci nous permet de bien répartir les données de mesures sur la surface de la palmeraie du Ksar.

Cette méthode consiste à prélever des échantillons selon une structure régulière. Il existe différentes configurations de maillage, mais celle effectuée à partir d'un maillage carré est la plus courante. Les échantillons sont prélevés à chacune des intersections du maillage, au centre de celui-ci ou au hasard à l'intérieur de chacune des mailles. Le point de départ et l'orientation du maillage peuvent être choisis au hasard. Cette méthode permet une couverture uniforme du terrain à l'étude et est simple à réaliser. De plus, elle facilite la cartographie des données et l'interprétation des résultats d'analyses (CEAEQ, 2008).

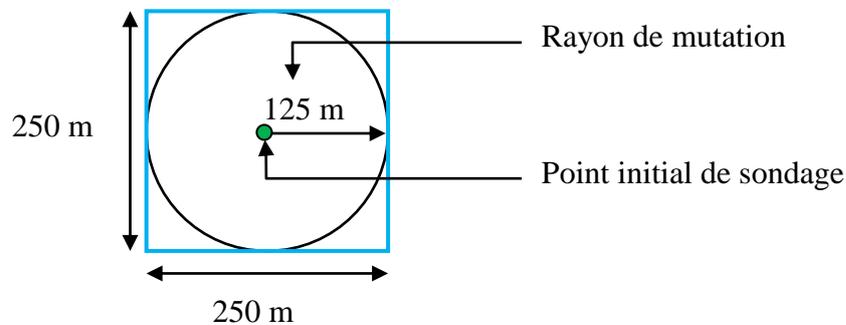


Figure 13. Dimensions de la maille avec le rayon possible de modification d'un point

La détermination de la dimension des mailles est un élément de décision, important. La dimension est souvent établie en fonction de la précision désirée et d'autres paramètres, comme l'objectif, la durée de réalisation de l'étude et les moyens présents pour l'étude (main d'œuvre, matériel...etc.). Nous avons opté pour une dimension de maille de 250 m × 250 m, qui permet un sondage pour chaque 6,25 ha (Fig. 13).

Le maillage est pratiqué par logiciel ArcGIS version 10.2.2 sur la carte de délimitation finale de la palmeraie du Ksar, où au centre de chaque maille il y a un point de sondage. On procède à l'élimination des points qui sont en dehors de la palmeraie du Ksar (Fig. 14). Les coordonnées des points (système de coordonnées WGS 1984, UTM zone 31N) sont transférées vers un appareil GPS (Marque : Garmin, Modèle : GPSmap76CSx). Pour faciliter le déplacement entre les points, on a imprimé des images satellitaires de la palmeraie du Ksar.

Nous avons aussi modifié la position de certains points de sondage en fonction des contraintes du terrain, notamment la difficulté d'accès aux jardins, l'envahissement des roseaux et l'inaccessibilité de certains endroits. La modification de certains points de sondage

ne doit pas dépasser 125 m de rayon, entre le point initial et le point modifié, pour ne pas sortir de la maille, l'échantillonnage a été réalisé durant la période s'étalant entre le 09 février à 08 avril 2015 (Fig. 13).

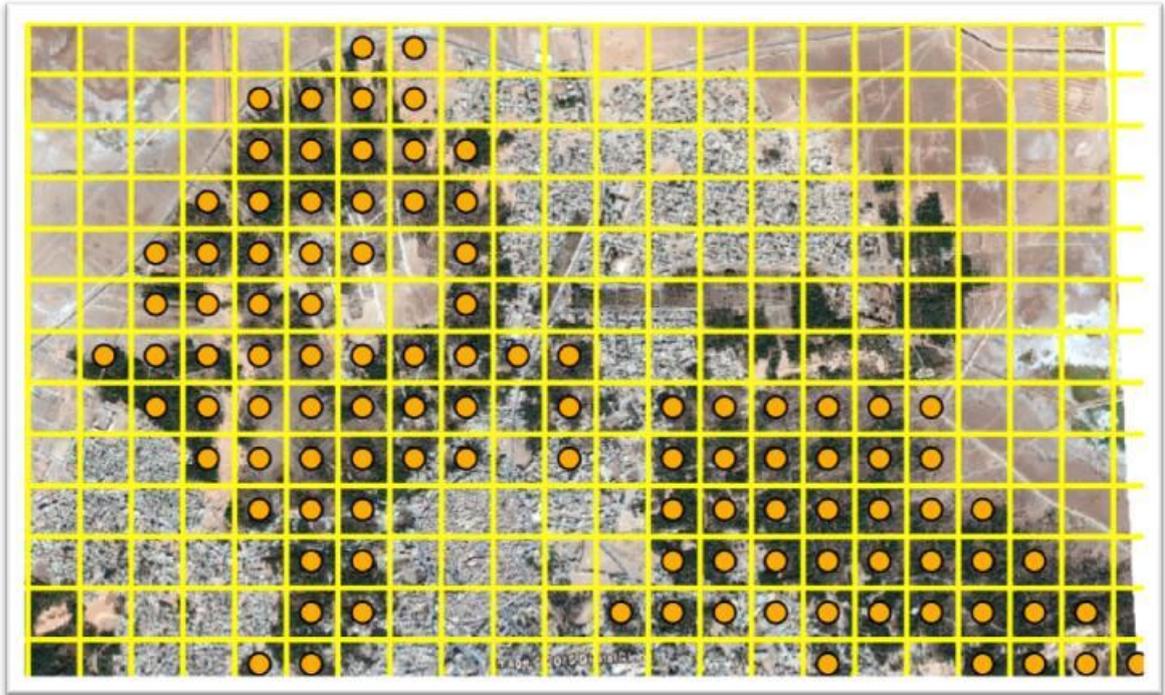


Figure 14. Points de sondage après délimitation de la palmeraie du Ksar en 2015

1.1.3. Description du système agraire

L'étude du système agraire est réalisée sur la base de données bibliographiques et d'observations sur terrain. Nous avons utilisé le logiciel ArcGIS 10.2.2 pour calculer les superficies suivantes :

- les palmeraies de Beni Brahim, Beni Ouaguine et Beni Sissine
- les zones dégradées dans la palmeraie par les opérations d'urbanisation ou par d'autres contraintes (feux d'incendie, délaissement, engorgement du sol par les eaux phréatiques ... etc.).

1.2. Etude de la gestion des eaux dans l'espace agraire

Nous avons étudié dans ce travail, la gestion des eaux conventionnelles (eaux d'irrigation) et non conventionnelles (eaux de drainage et eaux usées) durant la période qui s'étale entre le 09 février et le 08 avril 2015. L'approche d'étude de la gestion des eaux est réalisée comme suit :

1. Etude de la gestion des eaux d'irrigation réalisée par la collecte des données auprès des administrations concernées (Agence Nationale des Ressources Hydrauliques, Ouargla (A.N.R.H), Directions Des Ressources En Eau Des Wilayas, Ouargla (D.R.E.W)) et par des

observations sur le terrain. La liste des forages (D.R.E.W, 2015) nous a permis de calculer la superficie que peut irriguer les forages dans la palmeraie du Ksar, en se basant sur le débit fictif critique de pointe pour couvrir les besoins en eau du palmier dattier en été, estimé par GIRARD (1961) in BEN ABDALLAH (1990) à 1 l/s/ha. L'estimation de la distance des points de sondage par rapport au drain a été effectuée sur ArcGIS.

2. Etude du système de drainage réalisée par des observations et par la collecte des données sur terrain et auprès de l'Office National de l'Assainissement (O.N.A) et l'office Nationale de l'Irrigation et du Drainage (O.N.I.D). Les données ont été traitées par ArcGIS pour arriver à estimer la distance minimale (d_m) entre les drains et les points de sondage. Ce traitement a permis de faire ressortir trois classes de distances sur la base de la distance maximale enregistrée :

- a. un sondage est considéré « près du drain » pour les d_m inférieures ou égales à 365 m ;
- b. un sondage est considéré « à une distance moyenne du drain » pour les d_m comprises entre 366 m et 730 m ;
- c. Absence de drain pour des d_m supérieurs à 730 m ;

3. Etude de la gestion des eaux usées réalisée par la collecte des données auprès de l'Office National de l'Assainissement (ONA) et du service technique de l'Assemblée Populaire Communale (APC), notamment les cartes des réseaux d'assainissement aidées par les observations sur terrain. Les informations nous permettent de déterminer les habitations des palmeraies raccordées au réseau d'assainissement, et celles utilisant les fosses septiques pour le rejet des eaux usées.

1.3. Etude de l'impact de la gestion des eaux sur l'espace agraire

L'étude de l'impact de la gestion des eaux sur l'espace agraire a consisté à sonder 98 points à l'aide d'une tarière de 3 m (du 09 février au 08 avril 2015) pour apprécier le niveau de dégradation hydro-édaphique par :

1. L'étude de la remontée de la nappe phréatique réalisée par :
 - la mesure de la profondeur des eaux (niveau statique (P.n.)) à l'aide d'une sonde électrique
 - la mesure de la conductivité électrique (C.E._n)
 - la mesure du résidu sec (R.s._n)
 - la mesure du pH_n

Les échantillons d'eaux sont stockés et conservés à faibles températures. Les mesures

du niveau statique pour chaque jardin ont été effectuées après la stabilité de la charge hydraulique au niveau du trou. Nous avons estimé en plus du niveau statique des eaux phréatiques, le niveau piézométrique des eaux. Pour cela, nous avons utilisé le modèle numérique de terrain (MNT) pour extraire l'altitude qui permet de calculer le niveau piézométrique, égale à l'altitude (Z) moins le niveau statique.

2. L'étude de la formation des croûtes gypseuses d'origine de nappes phréatiques parallèlement au sondage des nappes phréatiques. Cette étude a consisté de mesurer la profondeur des croûtes (P.c.) ;

3. L'étude de la salinisation des sols a été réalisée sur trois niveaux de profondeurs (0 - 40 cm, 40 – 80 cm et 80 -120 cm) sur les 98 points. Nous avons réalisé un échantillonnage moyen de trois prélèvements pour chaque niveau de sol. Les prélèvements sont mélangés dans une bache en plastique pour obtenir un échantillon homogène et représentatif de couche de sol. Les échantillons de sols sont séchés à l'air et tamisés à 2 mm, puis analysés au laboratoire. Les paramètres analytiques déterminés sont la conductivité électrique de l'extrait sol : eau 1:5 (C.E._{e1:5}) et le pH_{e1:5}.

Nous avons utilisé la classification de DURAND (1958), des eaux d'irrigation pour classer la salinité des eaux phréatiques (DAOUD et HALITIM, 1994) et pour le résidu sec nous avons utilisé la classification de FLOREA (1961) in OMEIRI (1994).

L'échelle de degré de salinité utilisée pour classer la salinité du sol de l'extrait aqueux (1/5) à 25°C est celle de MATHIEU et PIELTAIN (2003).

Les travaux de DADDI BOUHOUN (2010), nous ont permis d'étudier les effets probables de la dégradation hydro-édaphique sur la palmeraie du Ksar, en utilisant des modèles établis par l'auteur, mettant en relation les eaux phréatiques, les croûtes gypseuses et la salinité des sols avec le rendement, et le niveau d'enracinement des palmiers dattiers.

2. Méthode d'analyse

Nous avons utilisé des méthodes d'analyses physico-chimiques différentes pour les eaux et les sols.

2.1. Méthodes d'analyses des eaux

- a. **Résidu sec** : il nous permet d'estimer la charge saline en gramme par litre des eaux après leur filtration et leur séchage dans l'étuve à 105°C (RODIER, 2009).
- b. **Conductivité électrique** : elle permet d'estimer le degré de salinité des eaux à 25°C par l'utilisation d'un conductimètre qui estime la concentration des électrolytes dans les eaux.

- c. **pH** : il est mesuré par pH métrie.

2.2. Méthodes d'analyses des sols

- d. **Conductivité électrique** : elle permet d'estimer le degré de salinité des sols à 25°C par l'utilisation d'un conductimètre qui estime la concentration des sels dissous dans un extrait sol/eau distillée de rapport de 1/5.
- e. **pH** : elle permet d'estimer le degré d'alcalinité des sols par l'utilisation d'un pH-mètre. La mesure du pH a été effectuée sur un extrait 1/5 de (eau / sol).

RESULTATS ET DISCUSSION

Chapitre V. Gestion agro-environnementale au Ksar

1. Description du système agraire au Ksar

Le système du Ksar de Ouargla est l'un des plus anciens systèmes agraires du Sahara. C'est un système oasien basé sur :

1. la culture du palmier dattier avec des cultures sous-jacentes (maraichères, fourragères) et quelques arbres fruitiers, notamment le grenadier, le figuier et la vigne ;
2. l'exploitation des eaux souterraines par les puits artésiens avant 1883, et à partir de cette date, par les forages (PILLET, 1995) ;
3. les coopérations sociales nommées *Touiza* pour accomplir des travaux des propriétés communes (ex : ouverture et entretien des drains) ou individuelle.

Le système agraire de l'oasis du Ksar a permis de valoriser le potentiel hydrique et édaphique de la région et assurer un revenu, en plus du commerce et de l'artisanat, et une source alimentaire pour la plupart des familles. Ce modèle économique a subsisté pendant une longue période jusqu'à l'apparition d'autres sources de revenus, notamment pétrolière.

Nous avons remarqué sur terrain l'absence quasi totale des propriétaires des jardins, ce qui a probablement contribué à la dégradation de ces derniers.

Les contraintes posées au niveau de la palmeraie du Ksar varient dans l'espace. Elles sont d'ordre hydrique, édaphique, urbain et socio-économique, comme suit :

1. Les contraintes hydriques sont illustrées par la remontée et la salinité des eaux phréatiques et la mauvaise gestion de l'irrigation-drainage. La remontée de la nappe phréatique est favorisée par l'augmentation des rejets des eaux usées et le mauvais fonctionnement du réseau de drainage.

2. Les contraintes édaphiques se résument par la salinisation des sols et la formation des croûtes gypseuses, d'origine phréatique. Celles-ci créent un stress hydro-salin et mécanique en palmeraie, contribuant à la diminution des rendements et aboutissant à long terme à la dégradation de la palmeraie.

3. Les contraintes urbaines qui peuvent agir comme un facteur de dégradation de la palmeraie par la réduction de l'espace phœnicicole et la pollution de ce dernier par le rejet des eaux usées dans les fausses septiques et les déchets urbains.

4. Les contraintes socio-économiques apparues avec le développement démographique et l'insuffisance de la rente agro-commerciale. Cela a conduit au délaissement de l'activité agricole au profit de l'activité administrative et pétrolière. Le problème de l'héritage a conduit au morcellement des jardins ou leur délaissement.

2. Gestion de l'espace agro-urbain au Ksar

2.1. Délimitation de l'espace agro-urbain

Notre prospection historique nous a permis de délimiter sur une carte l'espace agro-urbain étudié au Ksar avec les trois quartiers qui le composent, à savoir : celui de Beni Brahim, Beni Ouaguine et Beni Sissine (Fig. 15).

2.2. Evolution de l'espace agro-urbain

L'espace agricole durant ces dernières années a subi une régression à cause des mutations dans la vocation de la palmeraie. Ce dernier a adopté une vocation agro-urbaine voire même urbaine (Fig. 16).

Ce changement constaté entre 1982 et 2015 est caractérisé par l'augmentation de l'urbanisation au détriment des terrains nus et des jardins de palmeraies. La réduction des surfaces phoenicicoles due à la dégradation des palmeraies par l'hydro-halomorphie, aux incendies, aux conflits d'héritage, au manque d'entretien et de moyens financiers, a aggravé cette situation. Nous estimons que 20,33 % des terrains agricoles sont perdus par des problèmes environnementaux, des problèmes socio-économiques ou des incendies.

Nous remarquons que le béton a envahi une grande partie de la palmeraie du Ksar, surtout au sud de la palmeraie et autour de la ville du Ksar. Nous avons estimé que 67 ha de la palmeraie de Beni Sissine sont envahis par le béton, ce qui lui procure la première place dans les palmeraies envahies par les habitations. Ces dernières occupent de grandes superficies au sud-est et au sud-ouest de la ville du Ksar. En deuxième ordre, il apparaît que l'urbanisme a contribué à la dégradation de 28 ha de la palmeraie de Beni Ouaguine, au nord-est de la ville du Ksar. La palmeraie de Beni Brahim est la moins envahie par le béton avec 15 ha de terre urbanisée vers le nord-ouest et le nord de la ville du Ksar, et dans les périphéries de la palmeraie.

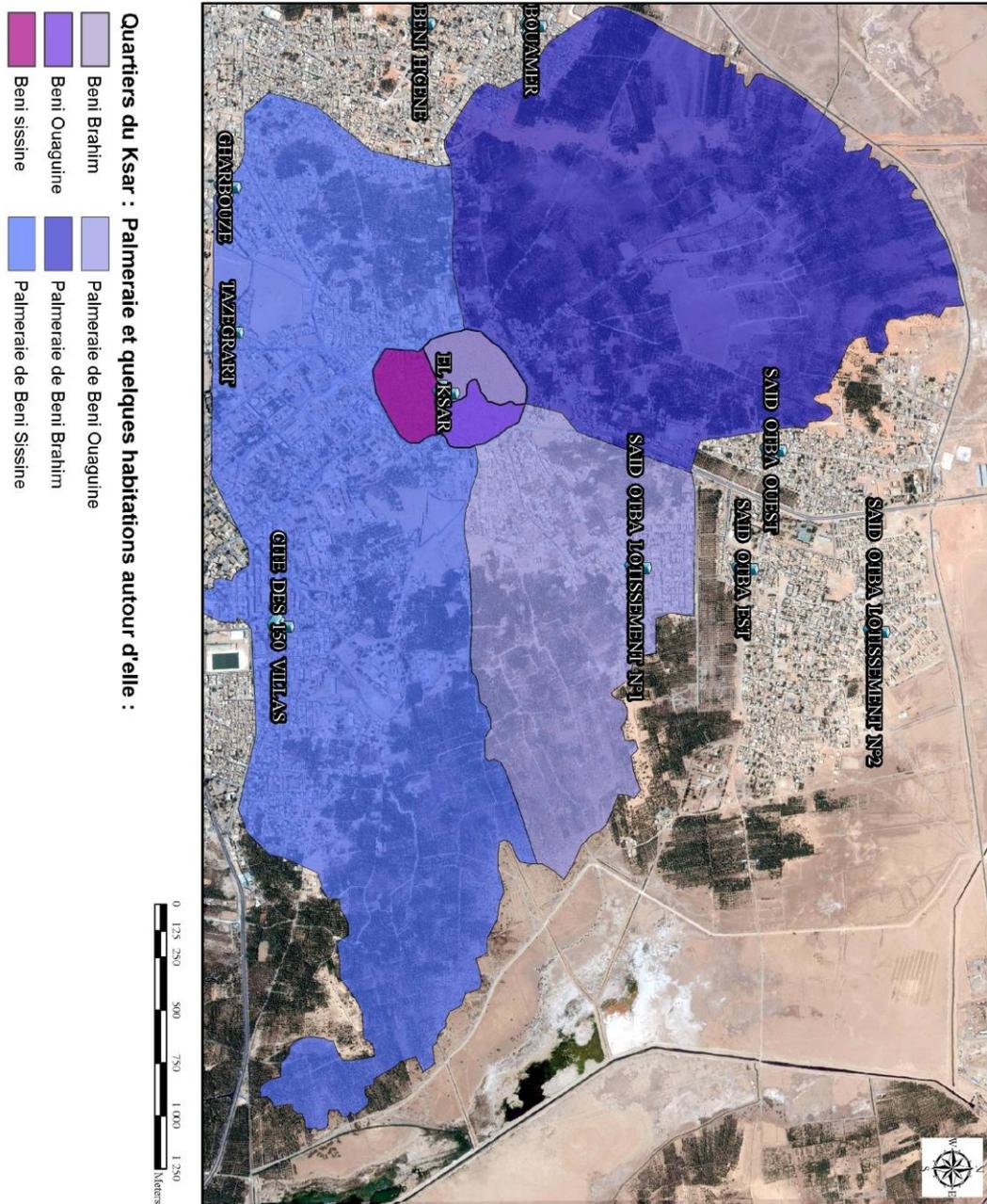


Figure 15. Limites de l'espace agro-urbain du Ksar

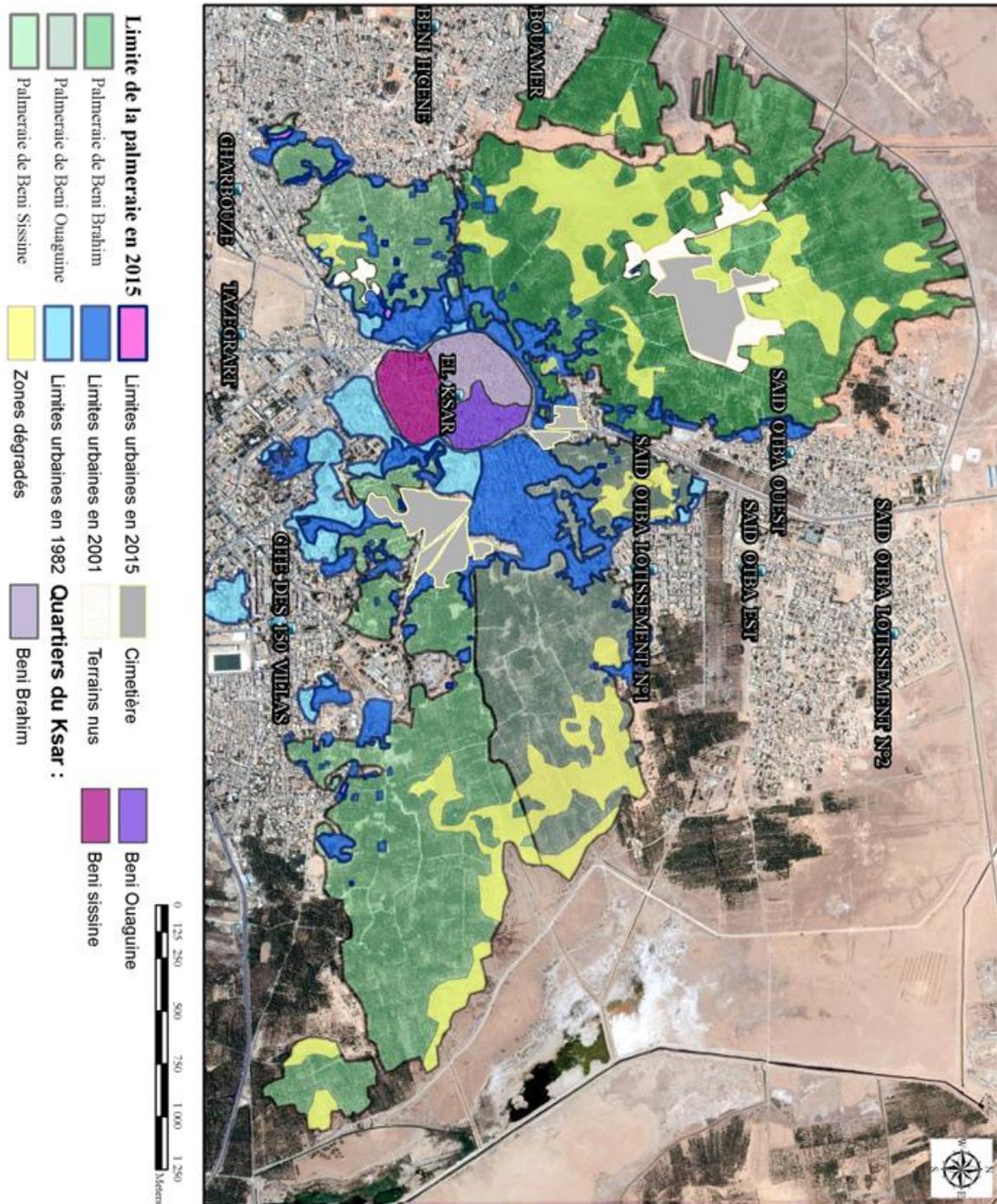


Figure 16. Evolution de l'espace agro-urbain du Ksar entre 1982 et 2015

L'étude montre que la cadence d'envahissement du béton en 1982 a été importante dans la palmeraie de Beni Sissine mais faible dans la palmeraie de Beni Ouaguine. L'urbanisation a pris de l'ampleur à Beni Sissine et à Beni Ouagui entre 1982 et 2001, alors que durant la même période l'avancement du béton dans la palmeraie de Beni brahim était relativement plus faible. On remarque que l'avancement de l'urbanisme entre l'année 2001-2015 est très faible (fig. 16). Durant cette dernière période, l'avancement de l'urbanisation a été très faible, fort probablement, à cause :

- de l'urbanisation de la majorité des terrains proches des routes principales, très convoités ;
- des difficultés (construction, électrification ...etc.) de l'accessibilité aux autres terrains ;
- du coût élevé de la construction à l'intérieur des palmeraies qui nécessite le remblai des terrains, où les profondeurs peuvent atteindre 3 m ;
- de la remontée des eaux phréatiques ralentissant aussi l'urbanisation à l'intérieur des palmeraies.

On estime que la palmeraie du Ksar a perdu 19,07 % de ses terrains au dépend de l'urbanisation, où cette estimation avoisine les 20 % annoncés par BOUAMMAR (2010) au Ksar.

Le facteur qui a favorisé l'urbanisation à l'intérieur de la palmeraie est l'ouverture des pistes de lutte contre les incendies qui a encouragé les habitants à transporter les matériaux de construction jusqu'aux jardins situés aux bords des pistes. L'autre phénomène qui a encouragé l'urbanisation de la palmeraie est l'extension des réseaux d'électricité, gaz, eau potable et l'assainissement des eaux usées.

3. Gestion des eaux au Ksar

3.1. Gestion des eaux d'irrigation

L'étude de la gestion des eaux du Ksar a été réalisée par l'analyse des données qualitatives et quantitatives de la gestion des eaux d'irrigation, de drainage et des eaux usées. Cette étude nous a permis d'apprécier les potentialités hydriques en irrigation et le mode de gestion des eaux non conventionnelles dans la palmeraie du Ksar.

3.1.1. Ressources en eau

La palmeraie du Ksar comprend 27 forages du Mio-pliocène et un forage du Sénonien, avec un débit total de 653 l.s-1 dont 476 l.s-1 (D.R.E.W., 2015) sont exploités, permettant d'irriguer 476 ha (Fig.17 ; Annexe.1). Ce débit est insuffisant pour irriguer la palmeraie du

Ksar qui a une superficie approximative de 561 ha par rapport aux besoins du palmier, estimés à 1 l/s/ha (GIRARD, 1961 in BEN ABDALLAH, 1990).

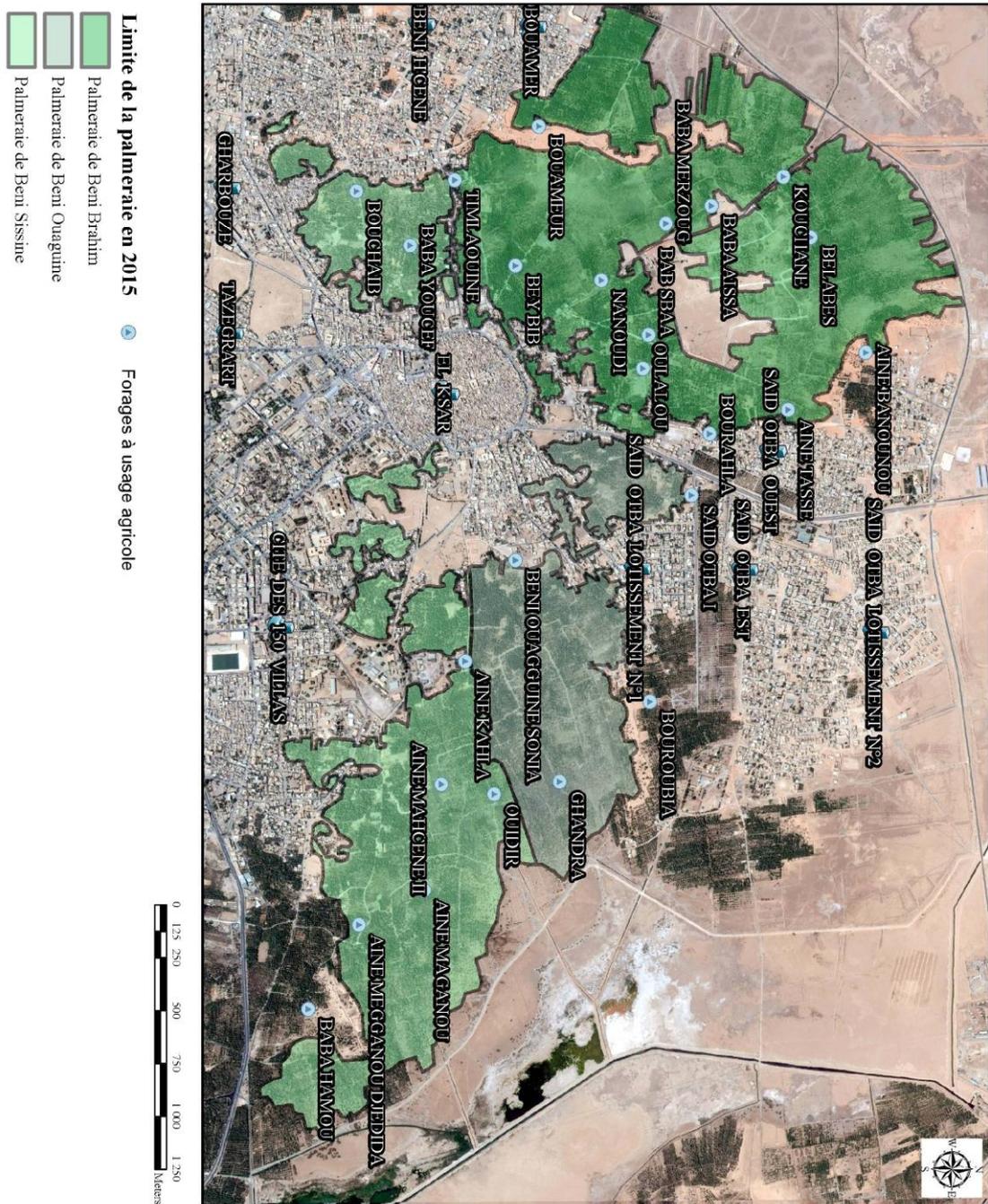


Figure 17. Répartition des forages dans les palmeraies du Ksar

L'étude des ressources en eaux dans les palmeraies de, Beni Brahim, Beni Ouaguine et Beni Sissine, a montré aussi une insuffisance des débits des forages pour l'irrigation des surfaces des palmeraies, estimées respectivement à 259 ha, 105 ha et 197 ha. Le débit exploité des forages au niveau de ces palmeraies permettent d'irriguer seulement une partie des surfaces. Le taux des surfaces irrigués à Beni Brahim (BB), Beni Ouaguine (BO) et Beni Sissine (BS) est estimé respectivement à 82,62%, 76,19 % et 92,39 % (Fig. 18).

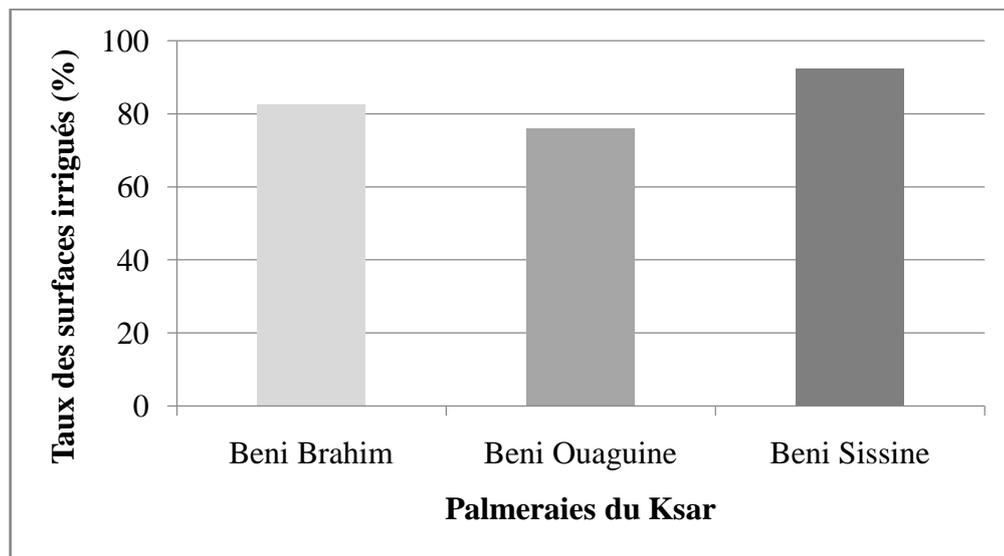


Figure 18. Taux des surfaces irriguées dans les palmeraies du Ksar

3.1.2. Système d'irrigation

Le réseau d'irrigation distribue les eaux aux palmeraies par des canalisations (Hammala) qui ramènent les eaux jusqu'aux jardins, où les eaux sont perdues par infiltration (Photo. 2).



Photo 2. Canal d'acheminement des eaux « Hammala » vers les jardins

Le système d'irrigation par submersion dans la palmeraie du Ksar favorise les pertes

d'eau et ne permet pas d'exploiter le potentiel des forages, ce qui réduit la superficie irriguée à cause des pertes d'eau énormes.

3.1.3. Qualité des eaux

L'étude de la qualité des eaux d'irrigation montre un taux de minéralisation variable, compris entre 1,2 g.l⁻¹ et 4,8 g.l⁻¹ (D.R.E.W., 2015) (Annexe. 1). Les eaux sont classées fortement salées à très fortement salées avec un risque élevé de salinisation des sols.

3.2. Gestion des eaux de drainage

Nous avons constaté que le réseau de drainage est constitué de drains principaux, secondaires et tertiaires (Fig.19), dont la majorité fonctionne mal ou est colmatée. Ce constat rejoint celui de DADAMOUSA (2007) et IDDER (2005).

Il a été observé que l'écoulement des eaux dans le réseau de drainage est interrompu dans certains endroits à cause de l'obstruction des canaux au dessous des pistes agricoles et l'absence d'entretien des drains (Photo. 3). Ces derniers sont détériorés par :

1. l'invasion des mauvaises herbes notamment les phragmites, tamarix ...etc.;
2. l'érosion éolienne provoquant l'ensablement qui diminue la profondeur et la pente des drains ;
3. le remblaiement effectué par certains agriculteurs afin de joindre les drains aux palmeraies ;
4. la stagnation des eaux qui favorise l'effondrement des drains.



Photo 3. Stagnation des eaux et ensablement des drains au Ksar

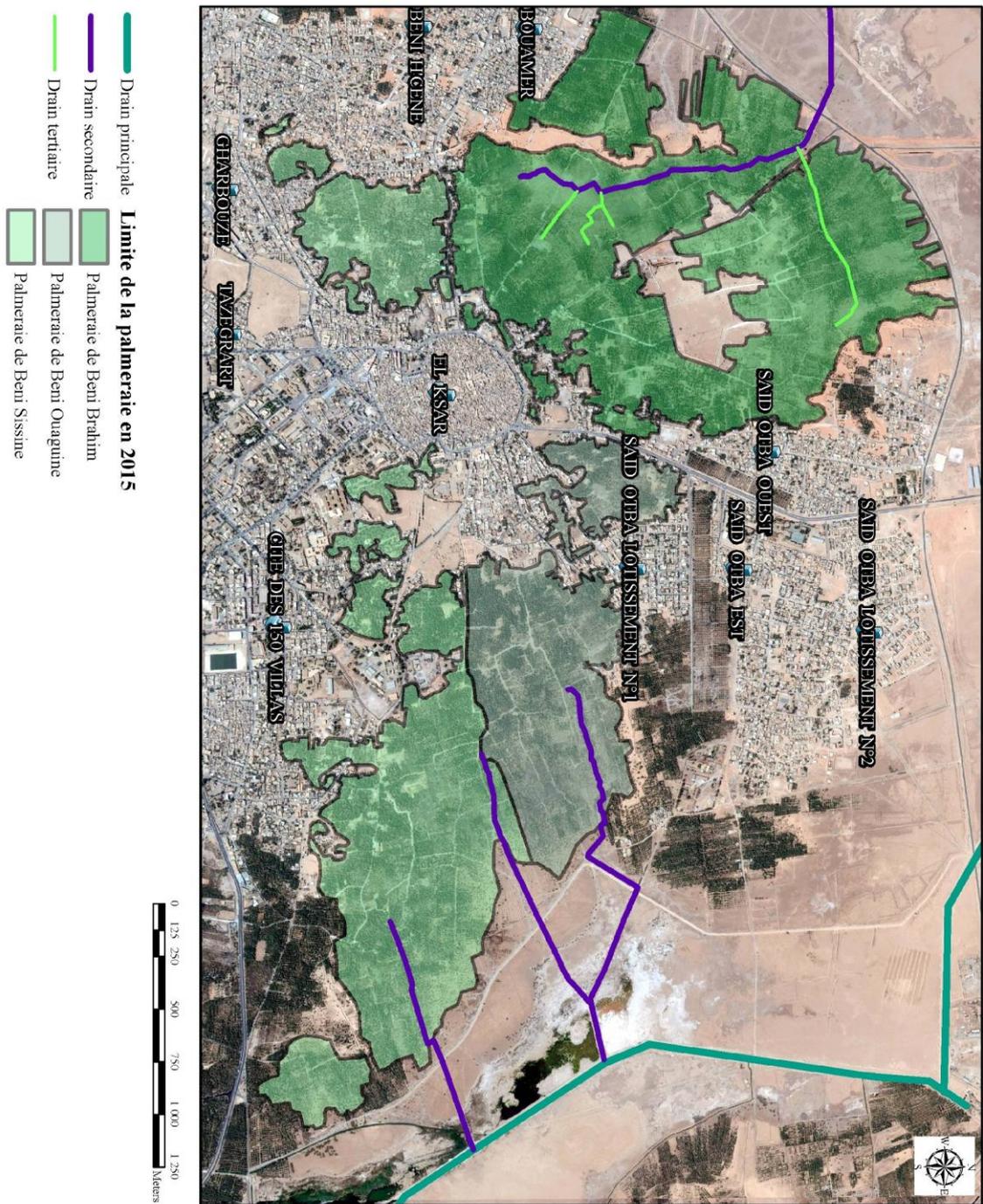


Figure 19. Réseau de drainage dans les palmeraies du Ksar

3.3. Gestion des eaux usées

Nous avons enregistré dans la zone agro-urbaine du Ksar un taux de raccordement aux réseaux d'assainissement de 60,6 %, et le reste des eaux usées est assaini par fosses septiques.

Malgré ces rejets dans la nappe phréatique, l'analyse factorielle de correspondance (AFC) des données (Fig. 20) nous a permis de constater que l'assainissement des eaux usées vers les fosses septiques en zone agro-urbaine n'a pas produit une remontée de la nappe phréatique. Toutefois, nous ne pouvons pas exclure une pollution de la nappe dans ces zones.

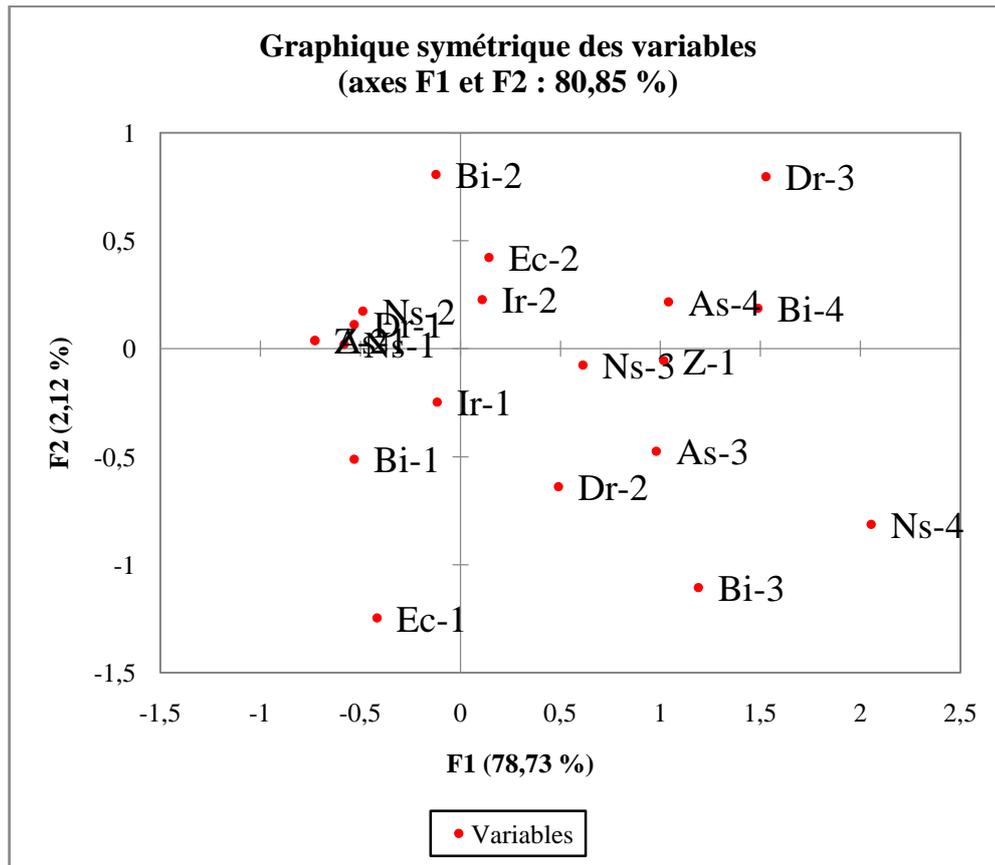


Figure 20. AFC de la relation entre les paramètres de la gestion des eaux

4. Conclusion

L'étude montre que l'état des jardins dans la palmeraie du Ksar est très différent. Ceci est visible par rapport à leurs états d'entretien et la nature des cultures sous-palmiers.

L'envahissement de la palmeraie du Ksar par l'urbanisation a varié entre 1982 et 2015 avec une cadence élevée les dix-neuf premières années. Ce phénomène est plus accentué dans la palmeraie de Beni Sissine comparativement à la palmeraie de Beni Ouaguine et à celle de Beni Brahim.

Les ressources en eaux souterraines exploitées sont originaires pour la majorité d'entre eux de la nappe du Mio-pliocène ; un seul forage exploite la nappe du sénonien. D'après nos estimations, ces ressources hydriques sont insuffisantes par rapport à la superficie de la

palmeraie et aux besoins du palmier dattier. La distribution des forages est non régulière entre les palmeraies du Ksar où la couverture des besoins diminue en passant de la palmeraie de Beni Sissine vers Beni Brahim et Beni Ouaguine.

Le réseau de distribution des eaux d'irrigation de forages en palmeraies est détérioré et présente des pertes par fuites d'eaux. Le système d'irrigation « de type submersion » est non économique au Ksar. Il ne favorise pas l'utilisation rationnelle des ressources en eaux existants et réduit la mise en valeur des sols par irrigation. Les eaux d'irrigation au Ksar sont fortement salé (C3) à très fortement salé (C4) avec un risque élevé de salinisation des sols.

La gestion des eaux de drainage reste mauvaise car la majorité des drains fonctionne mal par absence d'entretien ou est colmatée par les pistes agricoles et l'ensablement. Dans certains jardins, il y a aussi la destruction volontaire de certains drains pour l'appropriation des sols. Cela favorise la stagnation des eaux par arrêt d'écoulement dans les drains.

Ces constatations sont un signe d'un dysfonctionnement dans le système agraire du Ksar qui peut aboutir à la dégradation des palmeraies si l'évaluation de cette dernière le confirme dans le prochain chapitre.

Chapitre VI. Evaluation de la dégradation hydro-édaphique au Ksar

1. Dégradation hydrique au Ksar

L'étude du niveau des eaux phréatiques et de leurs salinités nous montre une dégradation hydrique au niveau de la palmeraie du Ksar.

1.1. Niveaux de la nappe phréatique

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

1.1.1. Niveau statique

D'après EDMONDS *et al.*, (1998), les niveaux statiques des eaux phréatiques sont évaluées en trois groupes en fonction de leurs actions limitatives sur l'enracinement des arbustes et des arbres : sévère, modéré et insignifiant, avec les groupes de profondeurs respectives : 0-45,7 cm, 45,7- 91,4 cm et supérieurs à 91,4. Toutefois, selon DADDI BOUHOUN (2010), l'action limitative racinaire et de rendements des palmiers dattiers dépend des biotopes oasiens. Il propose une classification de performance racinaire dans les biotopes oasiens où l'action limitative des nappes et des croûtes sur l'enracinement est : sévère, modérée et insignifiante correspondant à trois groupes de profondeur : superficielle, moyenne et profonde, avec les groupes de profondeurs respectives : 0-1,5 m, 1,5-3 m et supérieures à 3 m.

Le niveau statique des nappes phréatiques est souvent proche de la surface avec une profondeur enregistrée comprise entre 12 et 190 cm (Fig. 21). Une étude récente entreprise en novembre 2003, dans la vallée de Ouargla, au Nord de la palmeraie du Ksar, mentionne des profondeurs proches des résultats que nous avons enregistrés, comprises entre 58 cm et 193 cm (BONNARD et GARDEL, 2004). Ces profondeurs semblent indiquer la présence d'une remontée des eaux au niveau du Ksar, localisée au fond de la cuvette du Ouargla. Cette dernière présentait un niveau phréatique moyen de 120 cm en 1991 (PILLET, 1995).

Nous remarquons que 22,99% et 41,38% des cas où le niveau statique, compris entre 10 et 90 cm, limitent respectivement, sévèrement et modérément, le développement des arbustes et des arbres. Les autres zones de niveaux plus profonds ne présentent pas une action limitative à condition que les cultures soient tolérantes à la salinité d'origine de nappe phréatique (Fig. 22). Une étude menée par TRON *et al.*, (2014) sur l'effet des fluctuations de la nappe d'eau sur la distribution des racines phreatophytique, montre que lorsque la nappe est superficielle, les racines se développent moins en profondeur afin d'éviter le manque d'oxygène.

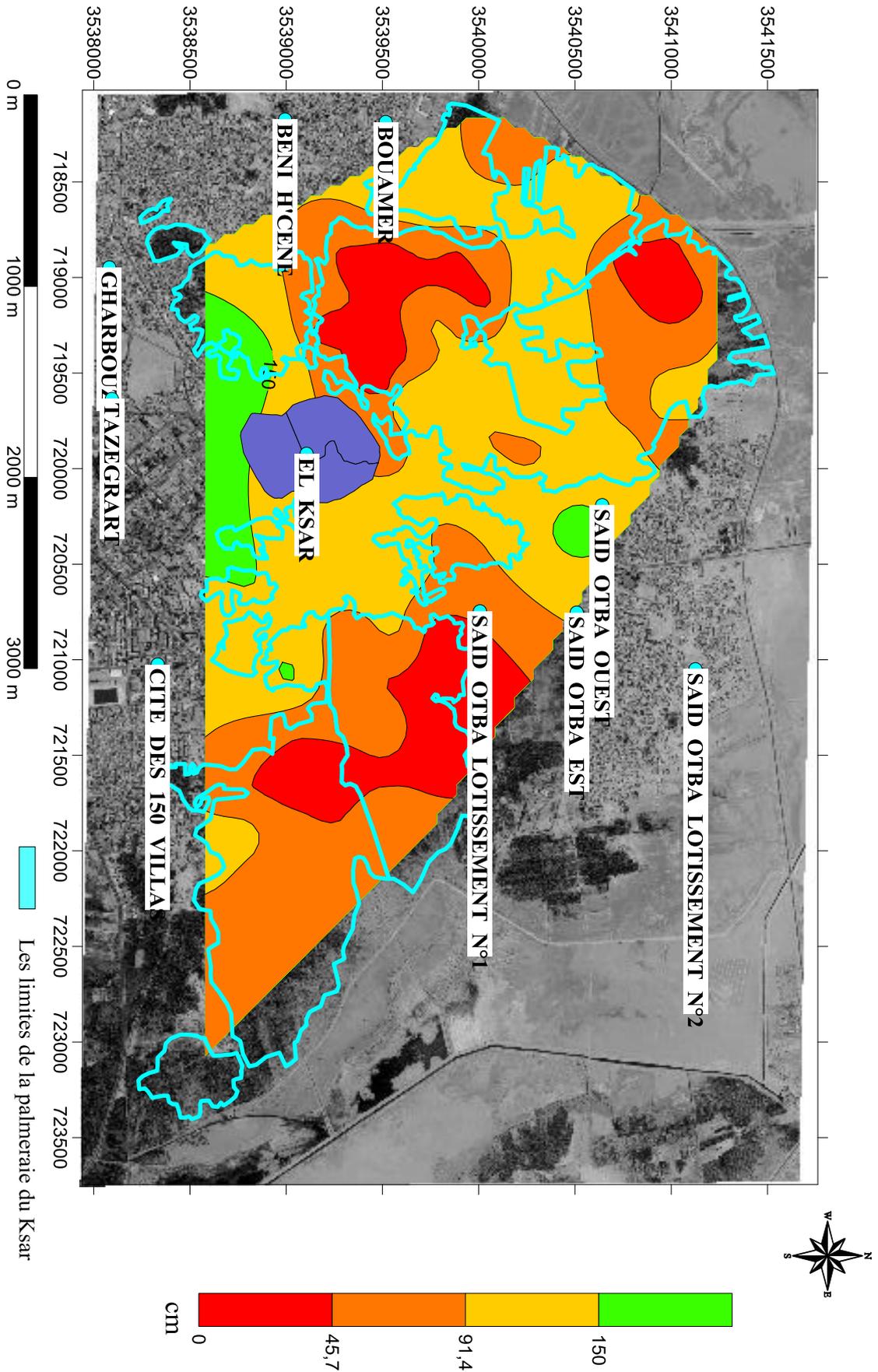


Figure 21. Niveau statique des nappes phréatiques dans les palmeraies du Ksar

Ces conditions sont les plus favorables pour les cultures sous-jacentes à faible profondeur racinaire et tolérantes aux sels.

Toutefois, la majorité des jardins présentant un niveau statique, limitant sévèrement à moyennement le développement racinaire et le rendement des palmiers dattiers.

La croûte gypseuse renforce l'action limitative de la nappe phréatique. Cette dernière en absence de croûte et entre une situation stable et de remontée des eaux devient non limitative pour la variété « Deglet Nour » à partir d'une profondeur comprise entre 112 cm et 214 cm, soit 163 cm en moyenne (DADDI BOUHOUN, 2010).

Les rendements enregistrés dans les conditions hydro-édaphiques du Ksar sont faibles et varient avec les biotopes. Ils sont affectés par l'hydromorphie en conditions de remontée des eaux phréatiques. Ils augmentent avec la profondeur des nappes phréatiques et l'absence des croûtes gypseuses, atteignant des taux compris entre 30,44 et 62,4 kg/palmier (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.

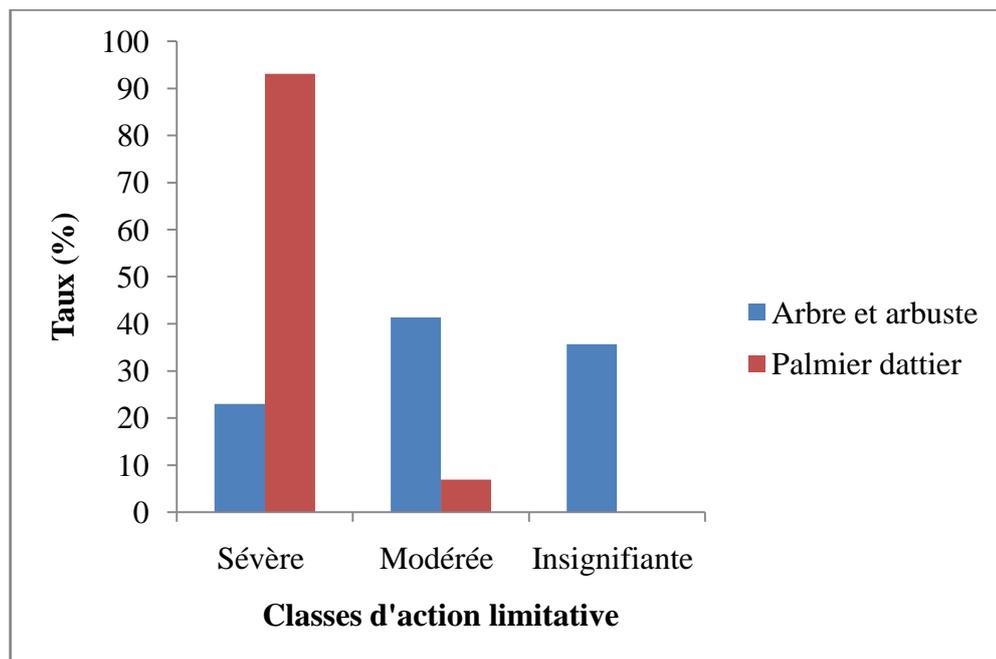


Figure 22. Effet limitant du niveau statique sur l'enracinement des végétaux au Ksar

1.1.2. Niveau piézométrique

L'étude de niveau piézométrique est conditionnée par l'altitude et le niveau statique. La carte topographique réalisée au Ksar montre que la palmeraie de Ben Brahim présente deux zones de dépression. Une est située près de Bouameur nommée « Ourir » et l'autre se situe conjointement dans la palmeraie de Ben Brahim et celle de Ben Ouaguine. Il existe trois

autres zones de dépression, une dans la palmeraie de Ben Ouaguine et les deux autres dans la palmeraie de Beni Sissine (Fig. 23). Les dépressions dans la topographie du Ksar peuvent gêner l'écoulement des eaux phréatiques.

La remontée des eaux phréatiques produit une dégradation des sols par hydromorphie dans les jardins qui aboutissent au dépérissement des palmiers dattiers (Photo 4).



Photo 4. Hydromorphie en zone de dépression dans la palmeraie du Ksar

La nappe phréatique qui affleure la surface des parcelles de Beni Brahim, asphyxie le couvert végétal et le sol qui prend une couleur grisâtre en profondeur dénommé « Ghrum » par les habitants de la région. Cette zone appelée « Ourir » par les habitants de la région, comporte la plupart des cultivars de la palmeraie du Ksar.

Le niveau piézométrique au Ksar varie entre 160,1 et 128,8 m. Nous avons enregistré dans ces palmeraies aussi des valeurs variables comprises entre 131,51 et 144,74 m à Beni Ouaguine, entre 134,11 et 147,17 m à Beni Brahim et entre 128,72 et 158,81 m à Beni Sissine. Nous remarquons que la zone Sud-Ouest de la palmeraie de Beni Sissine est la zone la moins affectée par la remontée de la nappe phréatique avec les altitudes les plus élevées comprises entre 140,5 m et 158,81 m. BONNARD et GARDEL (2004) et DJIDEL (2008) rapportent que les zones dans lesquelles la nappe phréatique est la plus profonde, sont situées à des points hauts de la topographie, à savoir le Sud-Ouest d'Ouargla, Sud de Oum Raneb et versants Nord-est de N'Goussa.

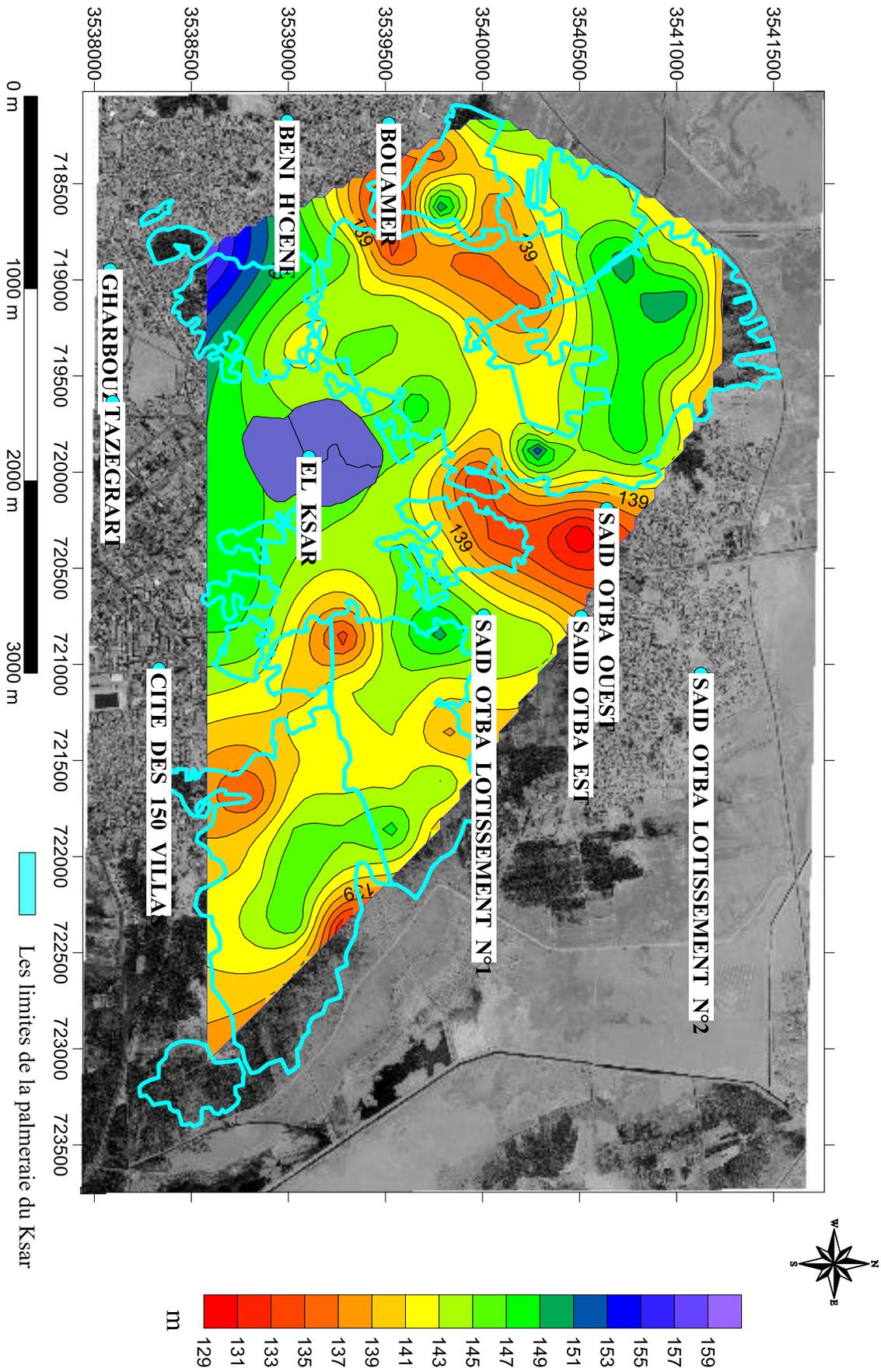


Figure 23. Carte topographique de la palmeraie du Ksar

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

1. vers les zones de dépression à l'intérieur de la palmeraie notamment à Beni Brahim, où nous avons remarqué un grand nombre de jardins morts, suite à la remontée des eaux, ou délaissés (Photo 5) et une minorité en bon état (Photo 6). La dégradation semble due à l'engorgement des sols par la stagnation des eaux de drainage suite à l'état défectueux des drains secondaires ;
2. vers le Nord et le Nord-Ouest de la palmeraie de Ksar où existe un drain principal. toutefois l'absence de drains secondaires au Nord, ralentie l'écoulement des eaux vers le drain principal ;
3. vers le Nord-Est en direction du chott d'Aïn Beïda suivant les drains secondaires.



Photo 5. Jardins délaissés (palmeraie de Beni Brahim)

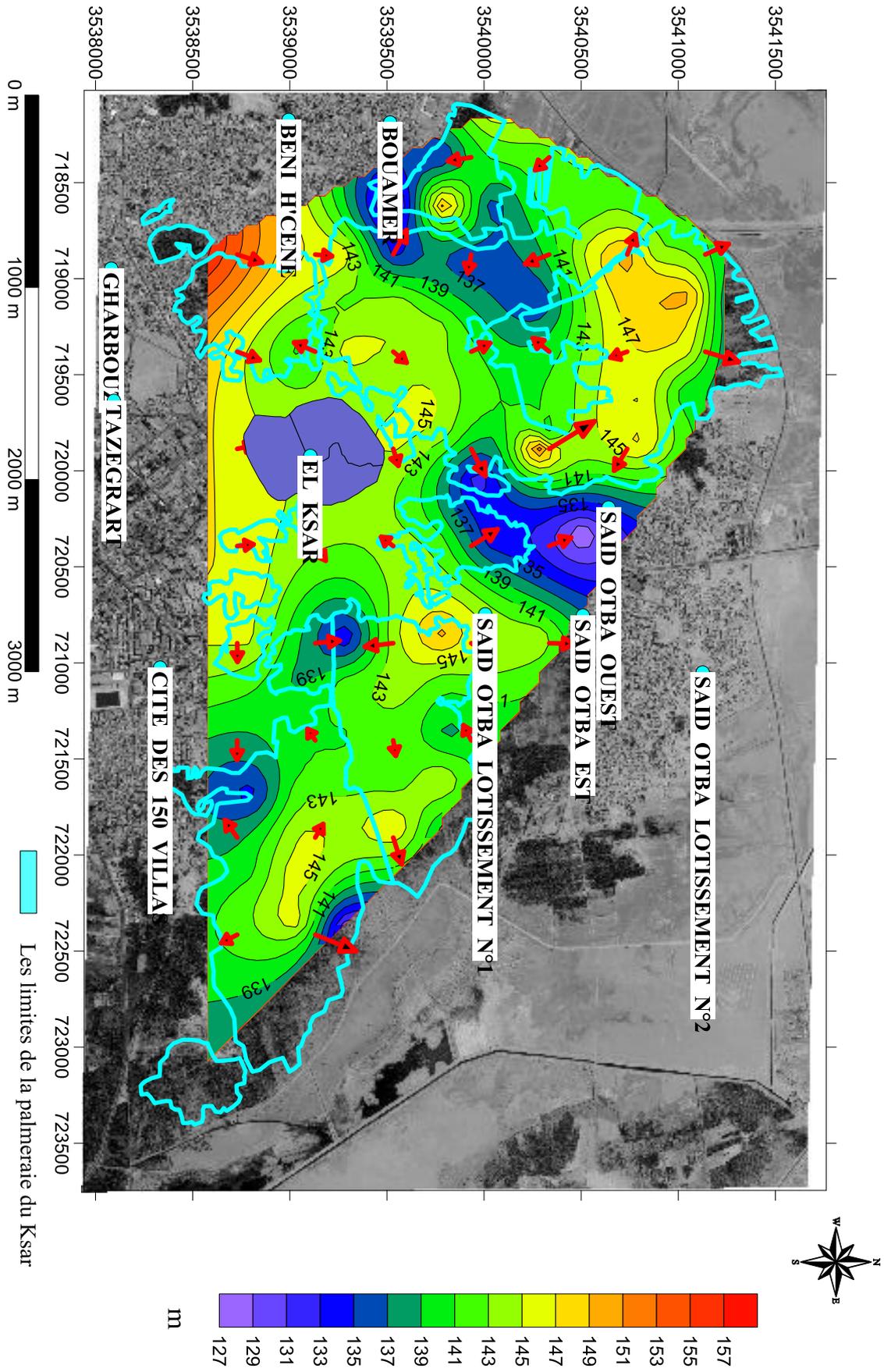


Figure 24. Niveau piézométrique des nappes phréatiques dans les palmeraies du Ksar

1.2. Qualité des eaux phréatiques

1.2.1. Degrés de salinité

La carte de salinité des eaux phréatiques établie à partir des résultats relatifs à la conductivité électrique, indique que la salinité au Ksar varie de 2,77 à 64,44 dS.m⁻¹, correspondant au niveau « fortement salé » à « très excessivement salé » avec une moyenne de 21,32 ± 3,89 dS.m⁻¹. Le degré de salinité des eaux phréatiques » au niveau de la palmeraie de Beni Brahim, compris entre 4,79 à 64,46 dS.m⁻¹, est le plus important. Dans la palmeraie de Beni Sissine, le degré de salinité est compris entre 2,77 à 26,45 dS.m⁻¹. Ces valeurs varient de « très fortement salées » à « excessivement salées » au-delà de cette classe. Cependant, dans la palmeraie de Beni Ouaguine la salinité, comprise entre 7,51 à 26,45 dS.m⁻¹ est classée « excessivement salée » et plus (Annexe.2). Les eaux phréatiques de la palmeraie du Ksar appartiennent donc, aux classes C4, C5 et au-delà de cette dernière (Fig. 25), selon la classification de DURAND (1958) in DAOUED et HALITIM (1994).



Photo 6. Jardin entretenu (palmeraie de Beni Brahim)

L'étude des données établies par l'A.N.R.H durant des campagnes de l'année 2007 jusqu'à 2013 dans la cuvette de Ouargla conforte nos résultats de classification des eaux au Ksar. Aussi, nous avons la même constatation par d'autres travaux de recherche réalisés par DADDI BOUHOUNE (2010) ; HAMDY (2001) ; DJIDEL (2008) ; NEZLI (2004) ; TABOUCHE et ACHOUR, 2004 ; IDDER, 2007. Les eaux phréatiques au Ksar sont dans l'ensemble dégradées avec des niveaux différents entre les palmeraies (Fig. 25). La remontée

de ces eaux chargées en sels, peut avoir des effets néfastes sur les végétaux au contact de leur système racinaire. Ils produisent une hydro-halomorphie qui aboutit à une pourriture racinaire par anoxie et à une mauvaise alimentation hydrique et minérale par stress salin pour les palmiers dattiers. Cette situation affecte directement le rendement en dattes (DADDI BOUHOUN, 2010).

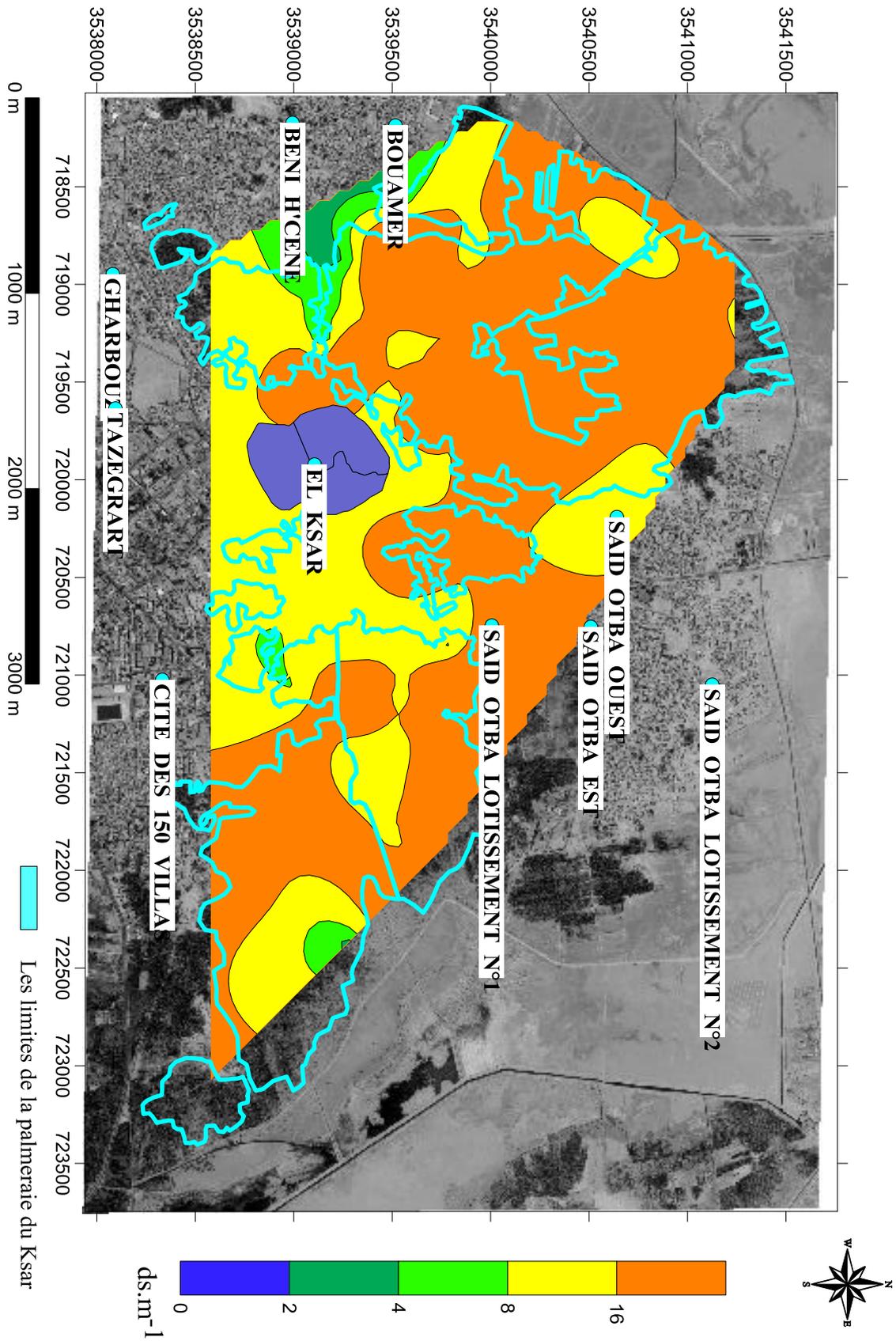


Figure 25. Salinité des eaux phréatiques de la palmeraie du Ksar

La salinité la plus faible a été enregistrée à Beni Sissine et la plus élevée à Beni Brahim. L'analyse de l'ACP montre que les paramètres de salinité et d'alcalinité hydro-édaphique augmentent significativement avec la remontée de la nappe phréatique en absence de croûte (Fig.26). Selon la FAO et UNESCO (1973), la remontée de la nappe peut être accompagnée par l'augmentation de la teneur en sel dans l'eau de la nappe du fait du sel précipité au sous sol de strates. Aussi d'après MARLET et al (2007), une réduction de la durée du tour d'eau d'irrigation pourrait conduire à une augmentation du volume d'eau utilisée par la plante aux dépens de la fraction de lessivage, et donc à un risque d'augmentation de la salinité de la nappe et des sols.

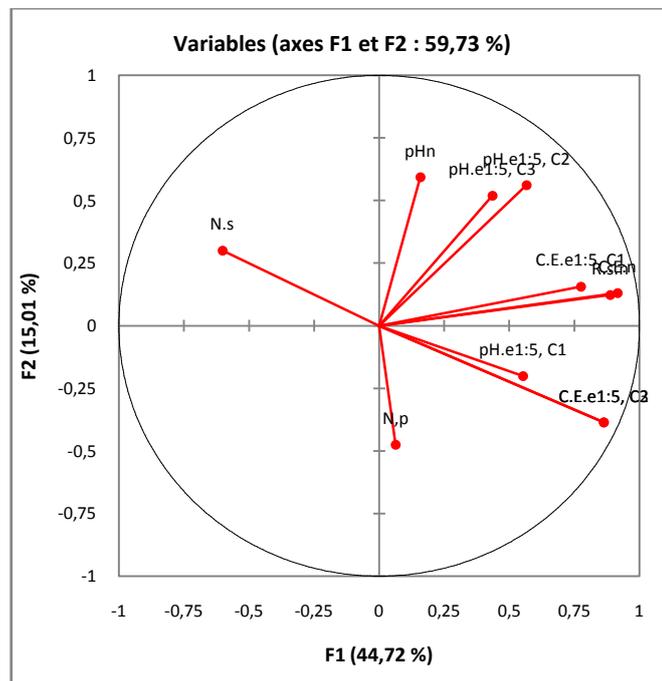


Figure 26. ACP des paramètres hydro-édaphiques de la palmeraie du Ksar.

1.2.2. Charge saline

Les eaux phréatiques dans la palmeraie du Ksar varient de faiblement à très fortement minéralisées selon l'échelle de FLOREA (1961 in OMEIRI, 1994) car leur charge saline est comprise entre 5,06 et 56,85 g.l^{-1} avec une valeur moyenne de $21,26 \pm 3,8 \text{ g.l}^{-1}$. La charge saline des eaux phréatiques au niveau de la palmeraie de Beni Brahim et de Beni Ouaguine est faiblement salée à très fortement salée, comprises respectivement entre 5,06 et 56,85 g.l^{-1} , et entre 6,31 à 52,49 g.l^{-1} . Les eaux phréatiques de la palmeraie de Beni Sissine sont faiblement salées à moyennement salées de 7,53 à 23,87 g.l^{-1} . Nous constatons que la majorité des eaux phréatiques dans la palmeraie du Ksar ont une tendance moyennement salée. (Fig. 27).

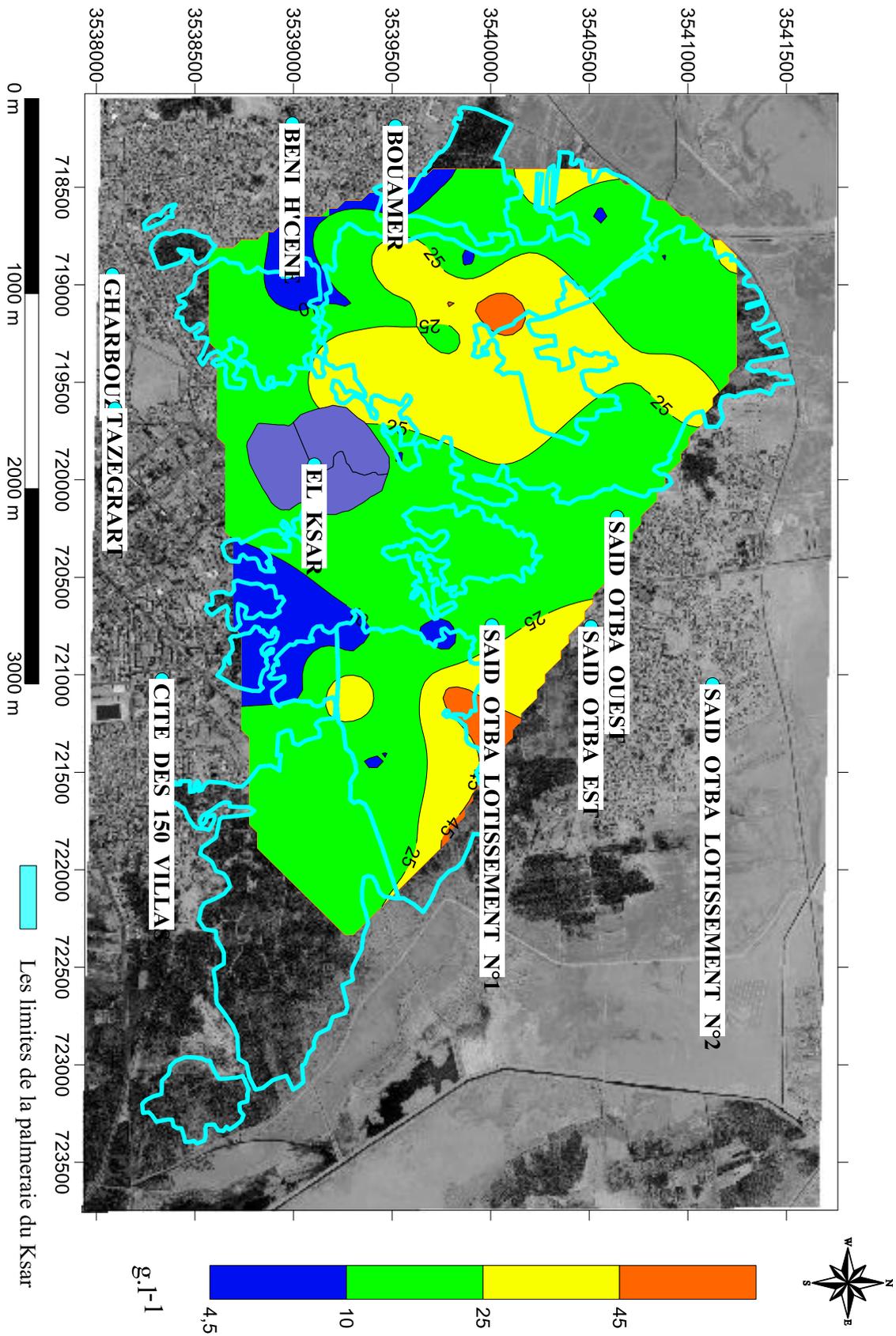


Figure 27. Variation spatiale de la charge saline des eaux phréatiques au Ksar

Les eaux dans la palmeraie de Beni Sissine sont moins chargées en sels par rapport à celles de Beni Ouaguine et Beni Brahim avec les valeurs moyennes respectivement de l'ordre de $15,91 \pm 1,65 \text{ g.l}^{-1}$, $21,74 \pm 3,97 \text{ g.l}^{-1}$ et $23,20 \pm 2,57 \text{ g.l}^{-1}$ (Fig.28, Annexe.3). Cela nous conduit à supposer qu'il y a une meilleure évacuation des sels par drainage. Selon CHULLI et BEN DHIA (2003), la salinité des eaux phréatiques augmente en suivant le sens de l'écoulement de la nappe. Ce phénomène a été constaté dans l'aquifère côtière du sud tunisien à GABES.

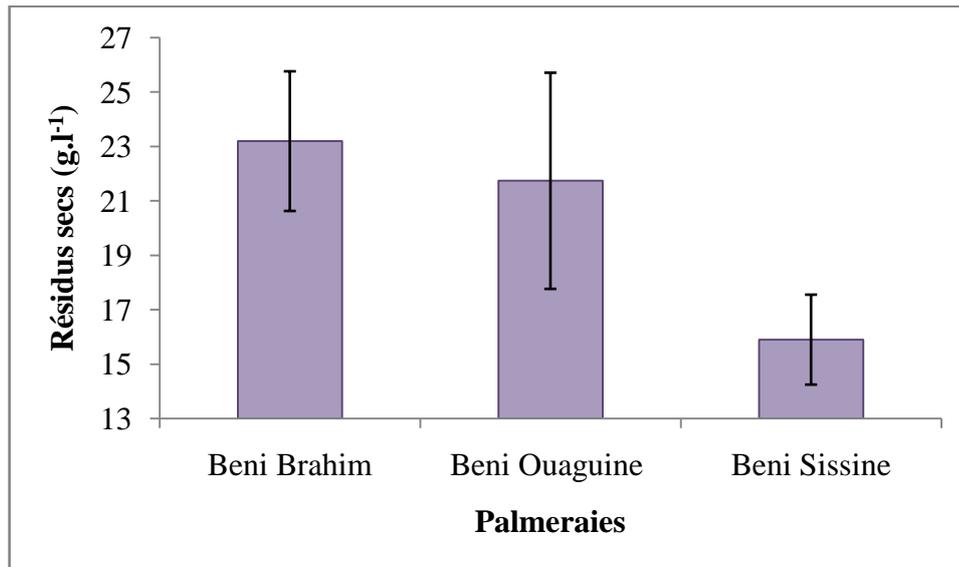


Figure 28. Variation de la charge saline moyenne dans les eaux phréatiques du Ksar

L'étude montre qu'il y a une corrélation significative entre la CE_n et le résidu sec des eaux phréatiques dans le biotope nappe superficielle (N_s) avec un coefficient de détermination de 0,879 et le biotope nappe superficiel-croûte (N_s-C) avec un coefficient de détermination (R^2) de 0,612. Nous constatons à partir de ces coefficients que 61,2 % et 87,9 % des cas dans les biotopes N_s-C et N_s respectivement, la variance de la CE_n des eaux phréatiques est expliquée par la variance de résidu sec. On remarque que l'absence de la croûte augmente la relation entre la CE et le résidu sec des eaux phréatiques (Fig.29). Cela montre fort probablement une composition chimique équivalente entre les eaux phréatiques qui se traduit par un R^2 élevé et la présence des côtes gypseuses contribue à la variation ionique des eaux ce qui change leur charge saline et leur concentration en électrolytes et réduit R^2 .

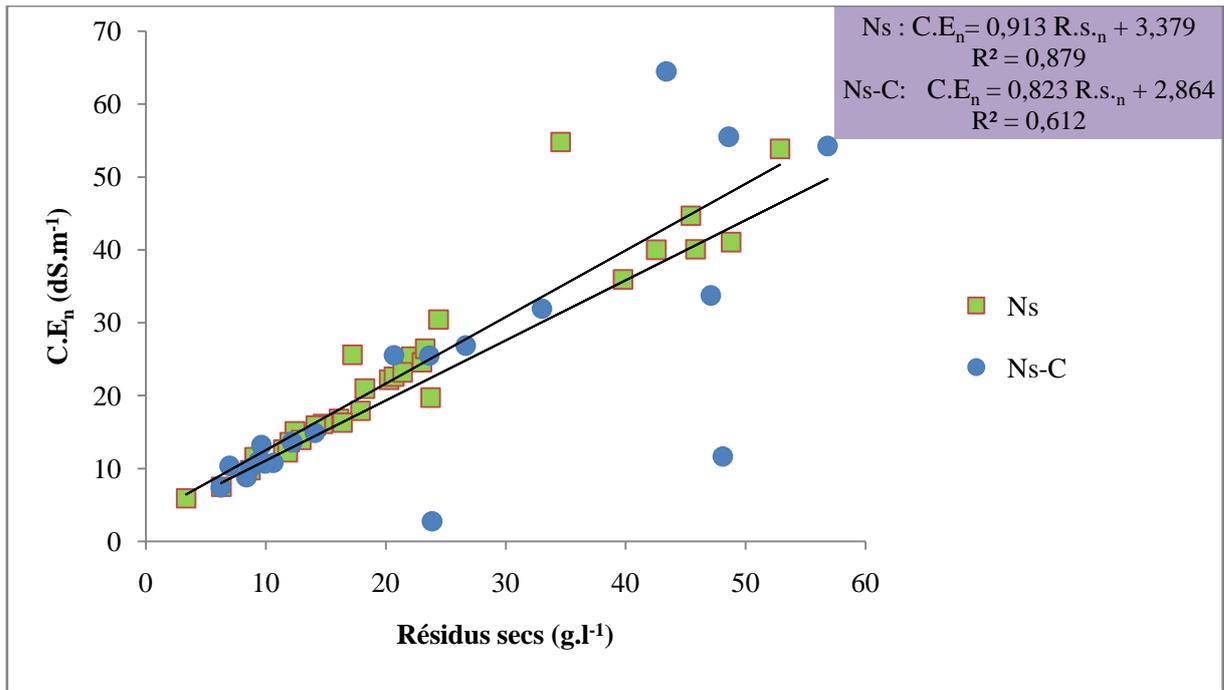


Figure 29. Relation entre le degré de salinité et la charge saline des eaux phréatiques au Ksar

1.2.2. pH_n des eaux phréatiques

L'eau de la nappe phréatique du Ksar est alcaline. Les valeurs de pH_n sont comprises entre 7,52 et 8,36 avec une moyenne de $7,82 \pm 0,05$. Le pH_n des eaux phréatiques de la palmeraie de Beni Brahim, de celle de Beni Sissine et de celle de Beni Ouaguine varie respectivement de 7,6 à 8,36, de 7,59 à 8,06 et de 7,52 à 7,95 (Fig. 30 et Annexe 4).

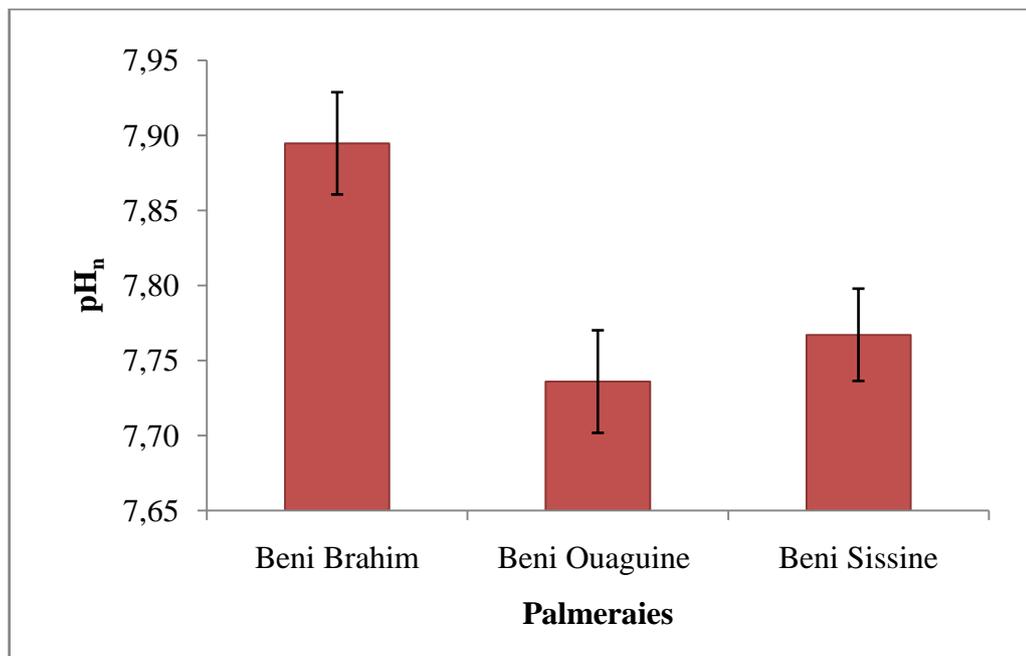


Figure 30. Variation du pH_n moyen des eaux phréatiques au Ksar

Nous avons constaté dans le biotope « nappe profonde » que le pH des eaux phréatiques augmente significativement avec le degré de salinité, enregistrant un R^2 de 74,3 % (Fig.31). Cela montre vraisemblablement que les eaux sont chargées de sels alcalinisant, où la composition ionique reste à déterminer par analyse.

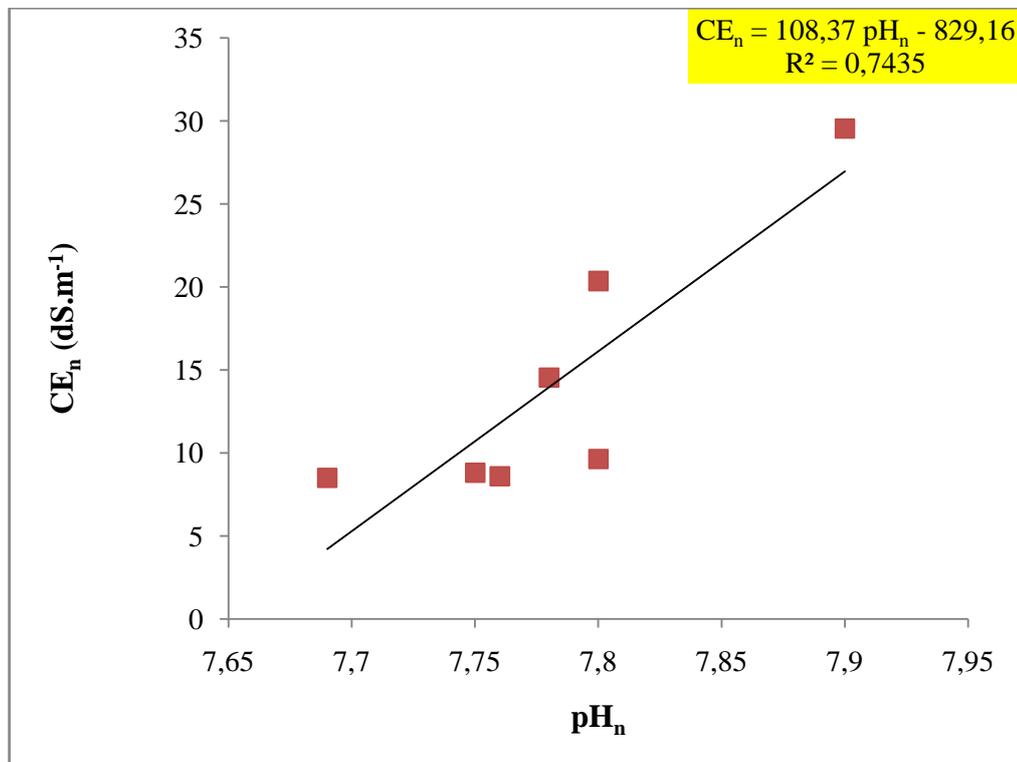


Figure 31. Relation entre le degré de salinité et l'alcalinité des eaux phréatiques profondes

2. Dégradation édaphique au Ksar

2.1. Niveau des croûtes au Ksar

Nous avons enregistré dans 48 % des sites visités, la présence d'une croûte gypseuse, dont 1,09 % et 8,70 % des cas où le niveau de la croûte est compris entre 40 à 80 cm et limite respectivement, sévèrement à modérément le développement des arbustes et des arbres. Cependant, 90,22 % des autres zones présentent un niveau de croûte plus profond, compris entre 93 à 288 cm. Cette dernière ne présente pas une action limitative sur les arbres et les arbustes. Toutefois, dans l'ensemble des jardins, la croûte limite sévèrement à modérément le développement racinaire et le rendement des palmiers dattiers (Fig. 32 ; Fig. 33).

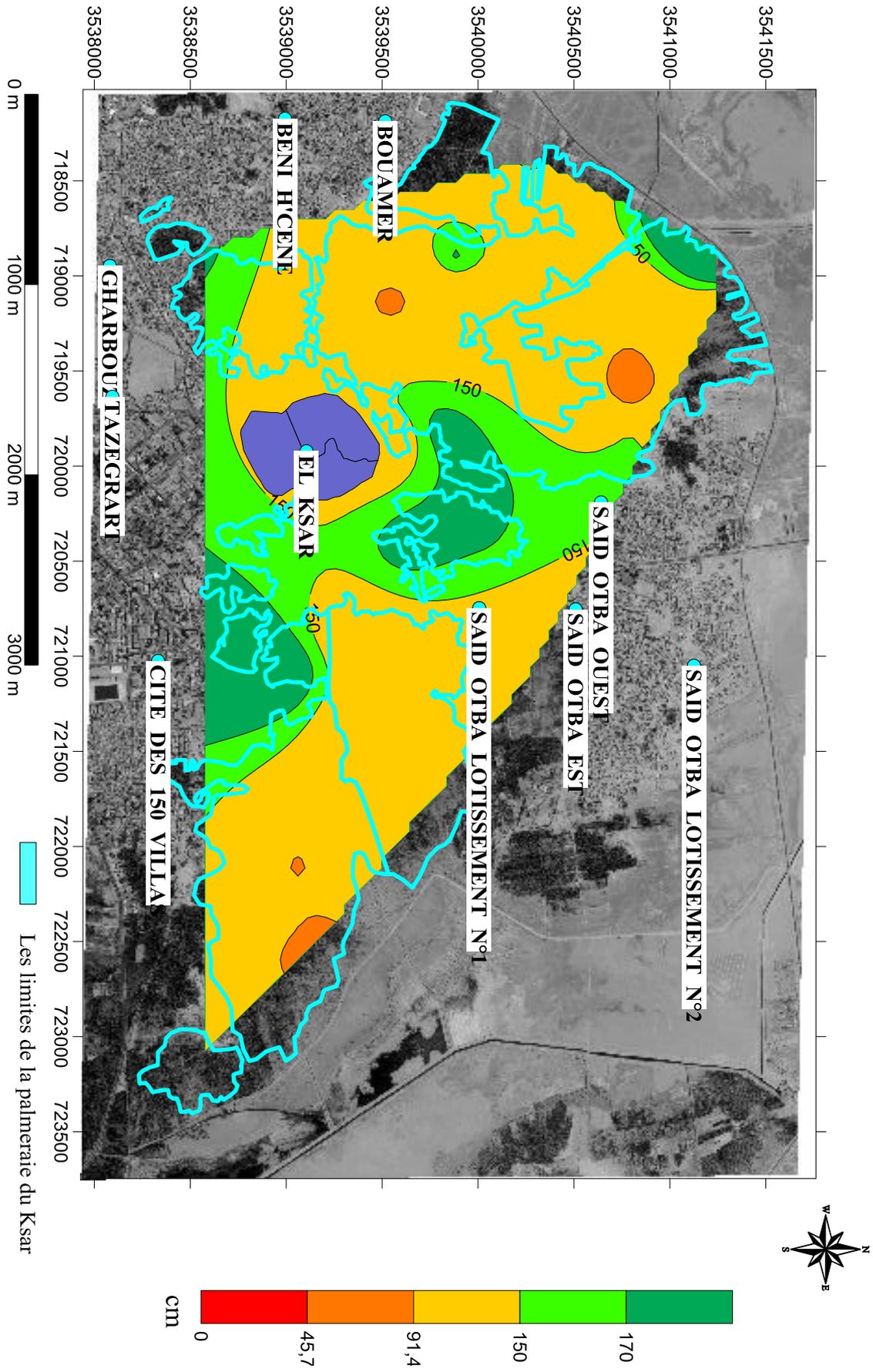


Figure 32. Variation de la profondeur de la croûte dans la palmeraie du Ksar

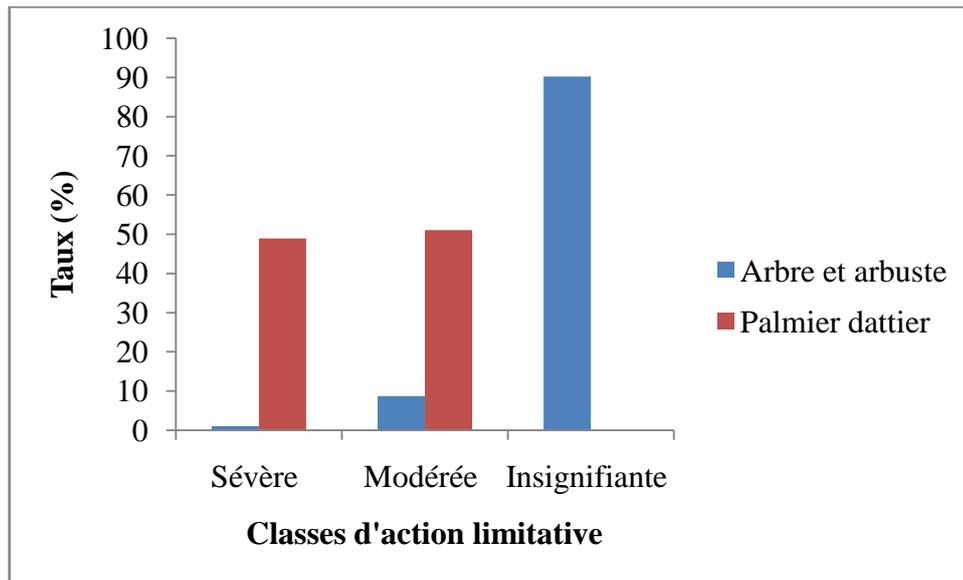


Figure 33. Effet limitant de la croûte sur l'enracinement des végétaux au Ksar

2.2. Salinisation des sols

Les résultats relatifs à la conductivité électrique et au pH 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. Degré de salinité

L'étude de la variation spatiale du degré de salinité des différentes couches du sol de la palmeraie du Ksar, montre une dégradation variable par salinisation, comprise entre 0,18 et 13,62 dS.m⁻¹ où les sols sont non salés à extrêmement salé selon la classification de MATHIEU et PIELTAIN (2009). Nous avons regroupé les classes de salinité en deux catégories selon le niveau de dégradation, à savoir « sols non dégradés » et « sols dégradés ». Les sols non dégradés comprennent les classes de salinité « non salé » et « légèrement salé », et ceux de la catégorie dégradés comprennent les classes « salé », « très salé » et « extrêmement salé ». Nous remarquons que la majorité des couches des sols est « très salée » à « extrêmement salée » (Fig.34 ; Fig. 35 ; Fig. 36). La salinisation est probablement due à la conduite culturale, la mauvaise gestion de l'irrigation-drainage et la remontée des eaux phréatiques. Nos résultats sont confortés par ceux rapportés par HAMDY AISSA, (2001) ; BENCHELLAL et al, (2009) ; IDDER, (2007) ; DADDI BOUHOUN, (2010).

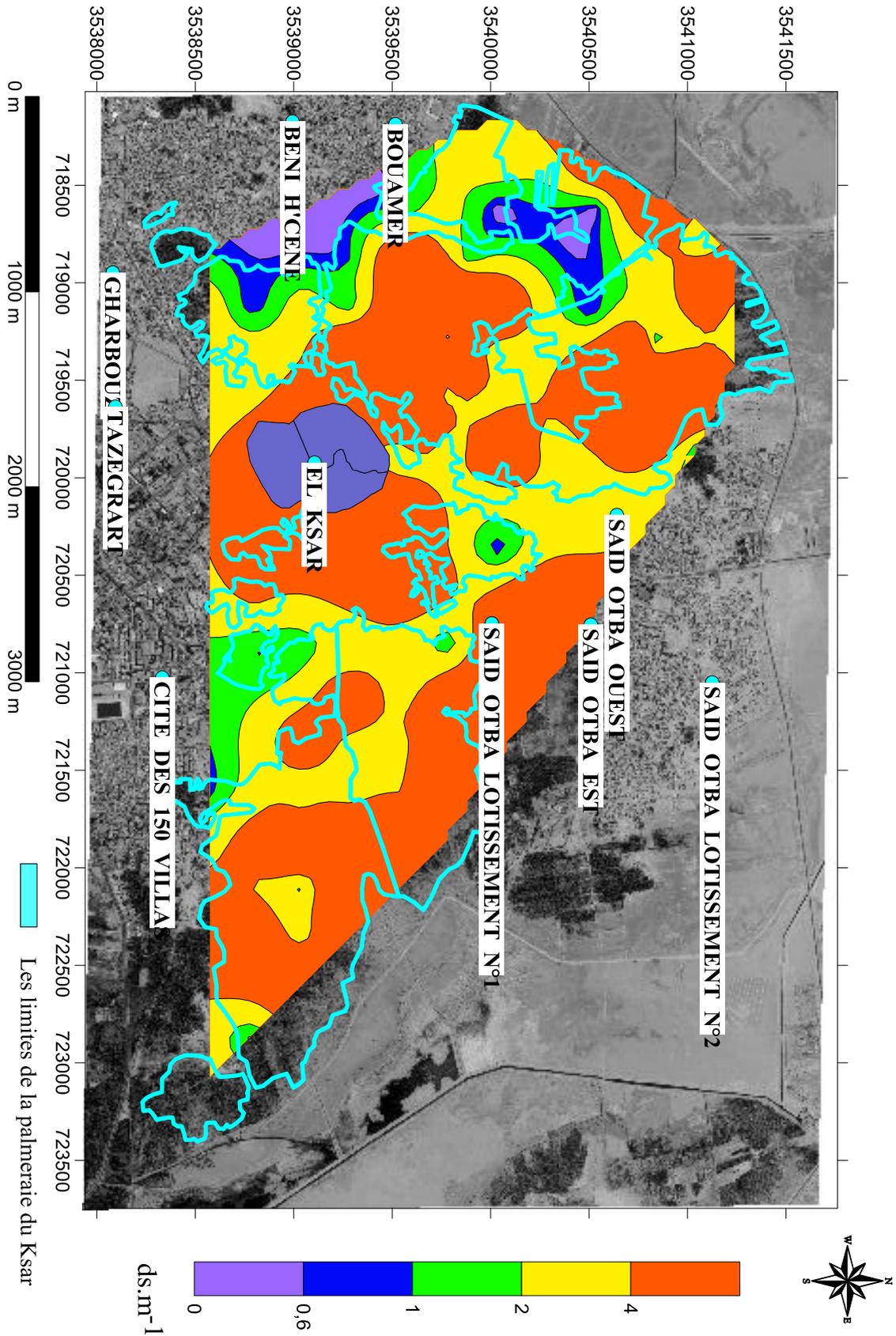


Figure 34. Variation de la salinité de la couche 0-40 cm des sols de la palmeraie du Ksar

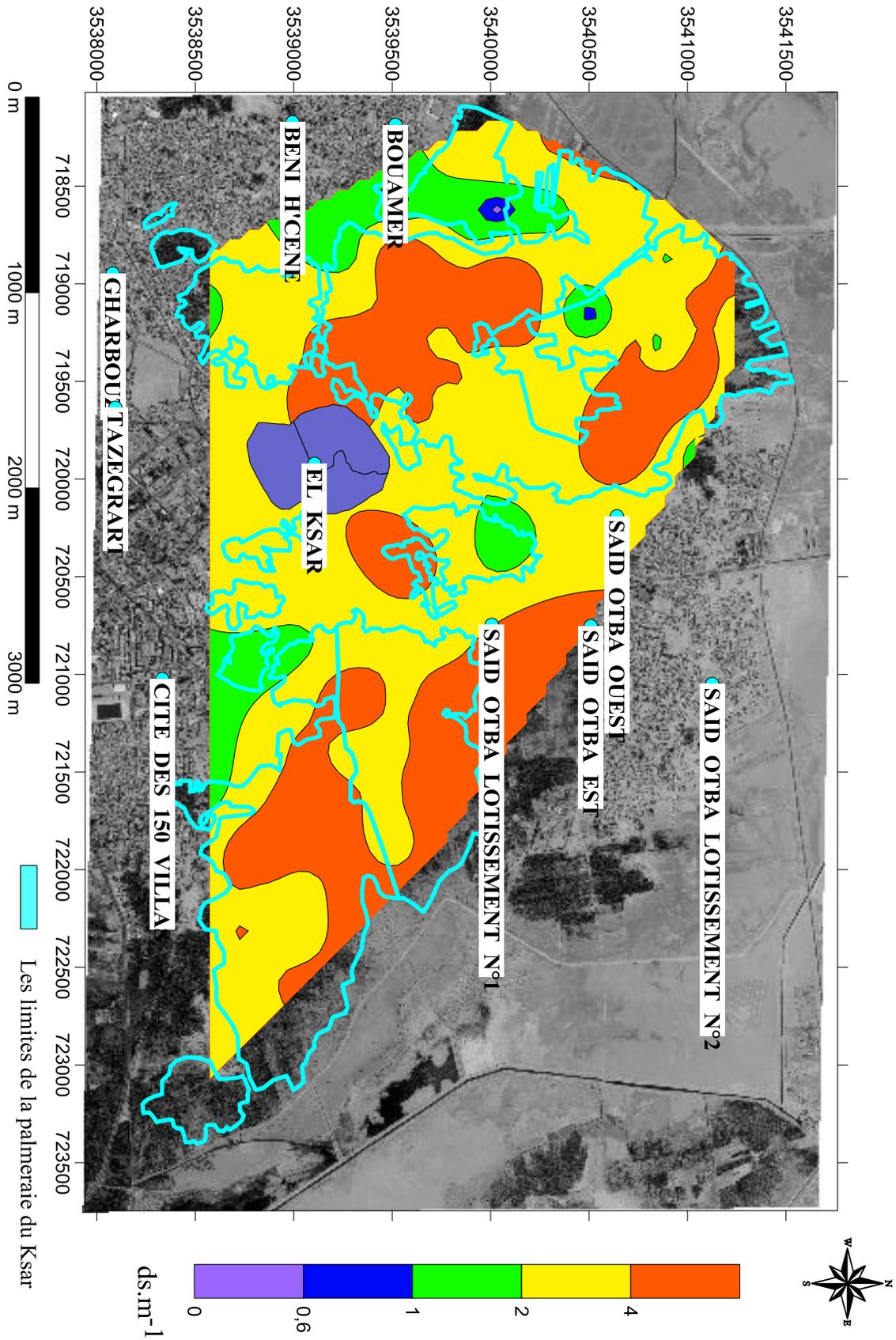


Figure 35. Variation de la salinité de la couche 40-80 cm des sols de la palmeraie du Ksar

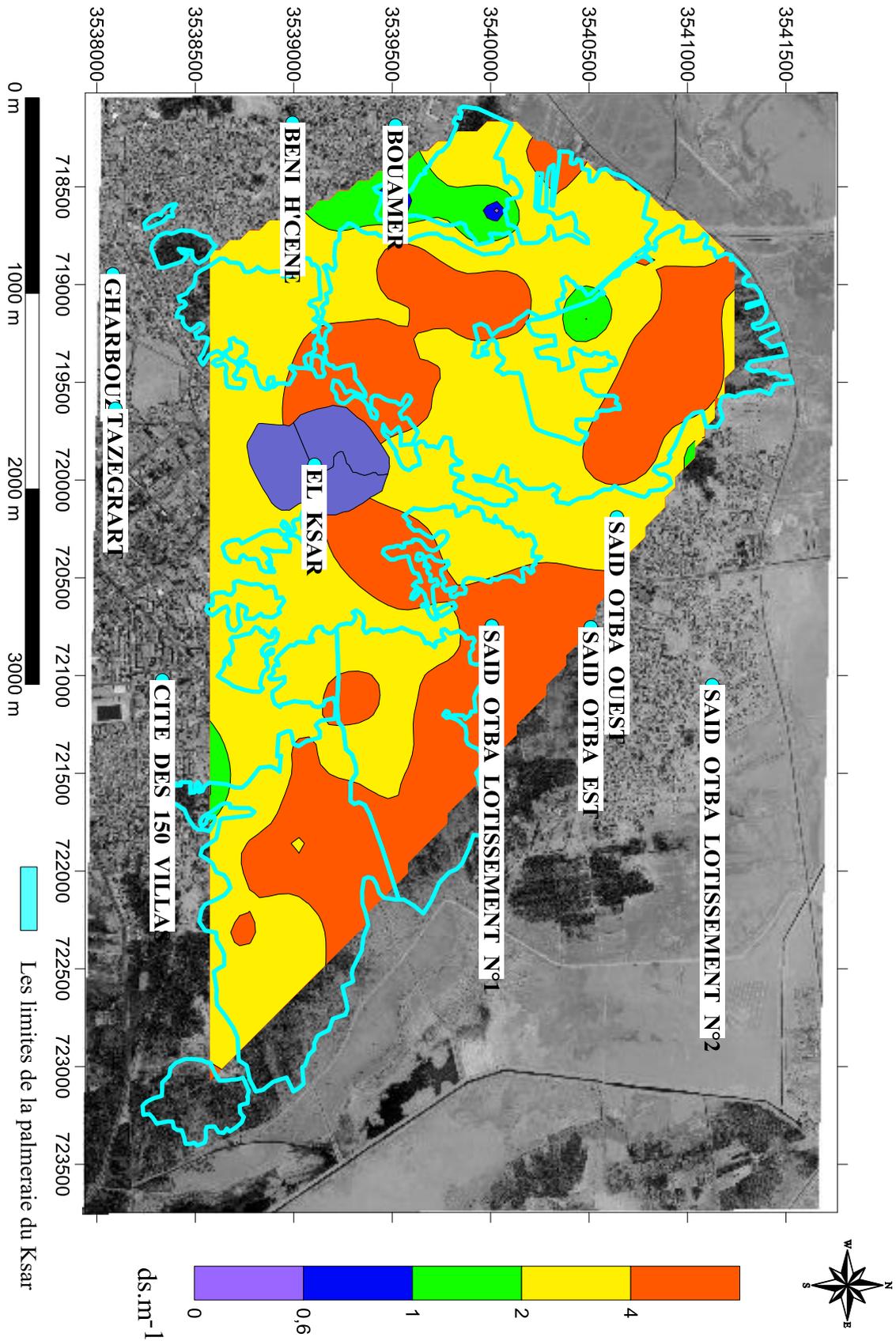


Figure 36. Variation de la salinité de la couche 80 - 120 cm des sols de la palmeraie du Ksar

Nous avons constaté que les couches de « sols dégradés » sont les prédominants avec un taux qui varie de 80 à 100 % et que la catégorie des couches de « sols non dégradés » ne dépassent pas les 20 % (Fig.37).

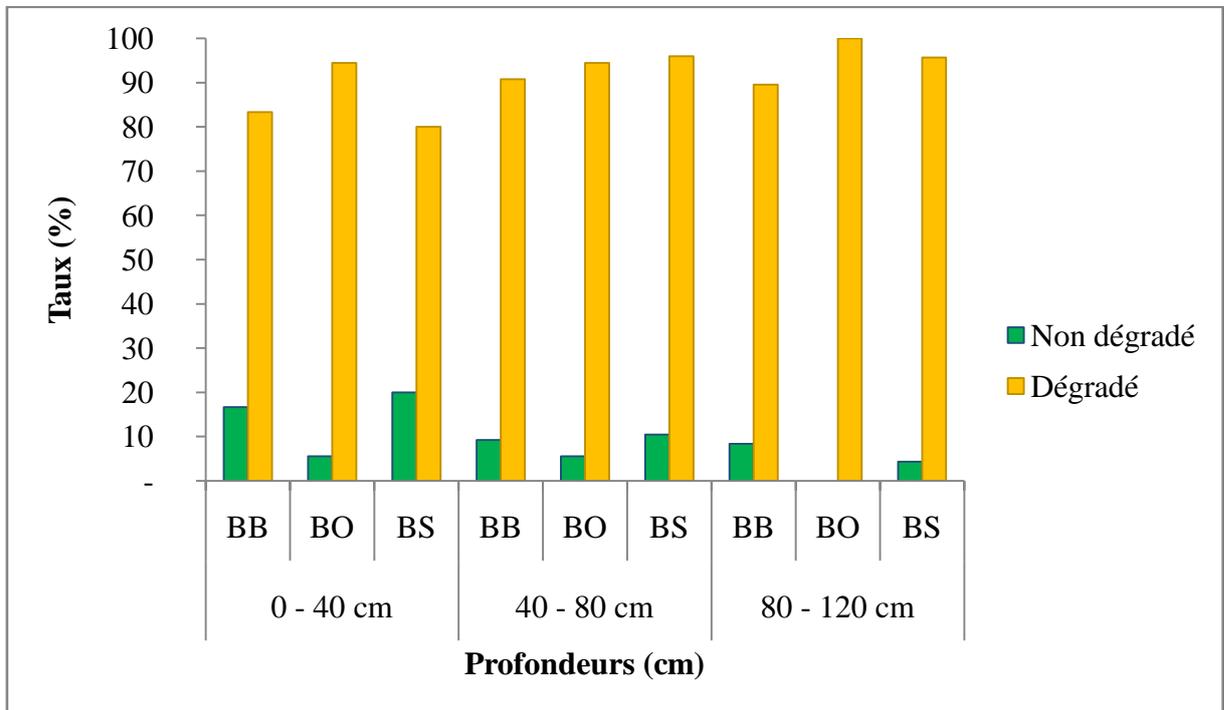


Figure 37. Taux de dégradation des sols par salinisation

L'étude de corrélation a montré que dans un biotope de nappe superficielle existe une corrélation significative entre la conductivité électrique du sol et celle des eaux phréatiques avec un coefficient de détermination (R^2) de 55,8 % pour la couche en surface, 65,1 % pour la couche à moyenne profondeur et de 56,3% pour la couche profonde (Fig.38). Cela montre qu'une partie des ions salins dans l'ensemble des couches des sols de nappe superficielle proviennent de la remontée des sels des eaux phréatiques. Toutefois, dans le reste des biotopes de nappe phréatique profonde, seules quelques couches du profil sont influencées par la salinité des eaux de cette nappe, notamment la couche superficielle du sol (C1) et la dernière couche (C3) des profils étudiés (Fig.39). Nous avons constaté que le coefficient de détermination est plus important en présence de croûte gypseuse parce que cette dernière favorise la stagnation des eaux phréatiques et l'accumulation des sels de nappe à la surface des sols par remontée capillaire.

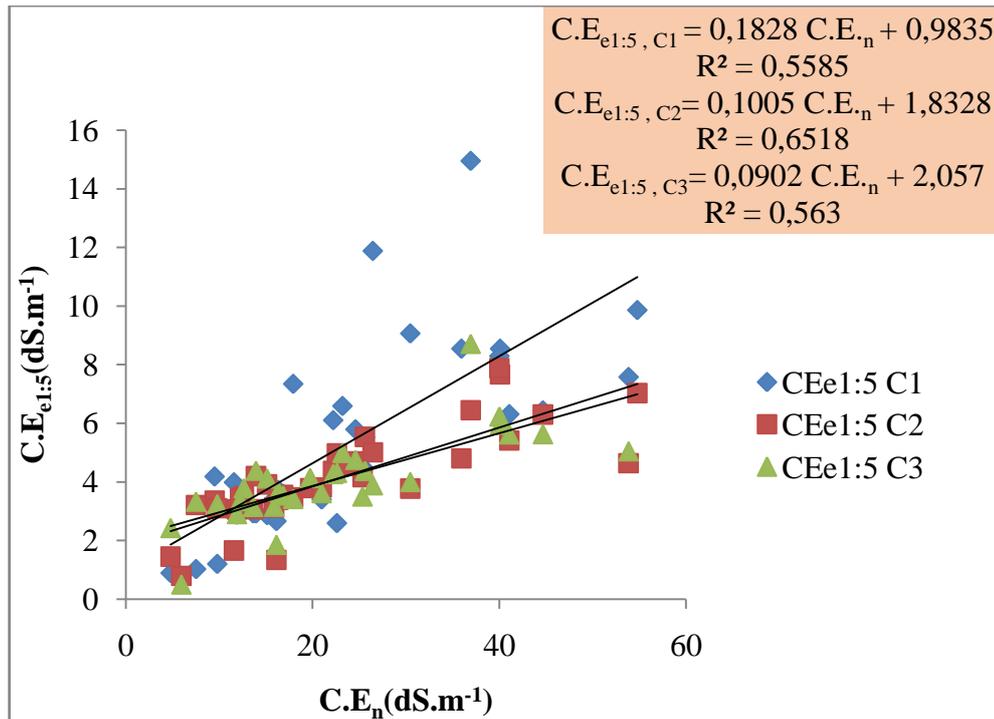


Figure 38. Relation entre la salinité du sol et celle des eaux phréatiques superficielles

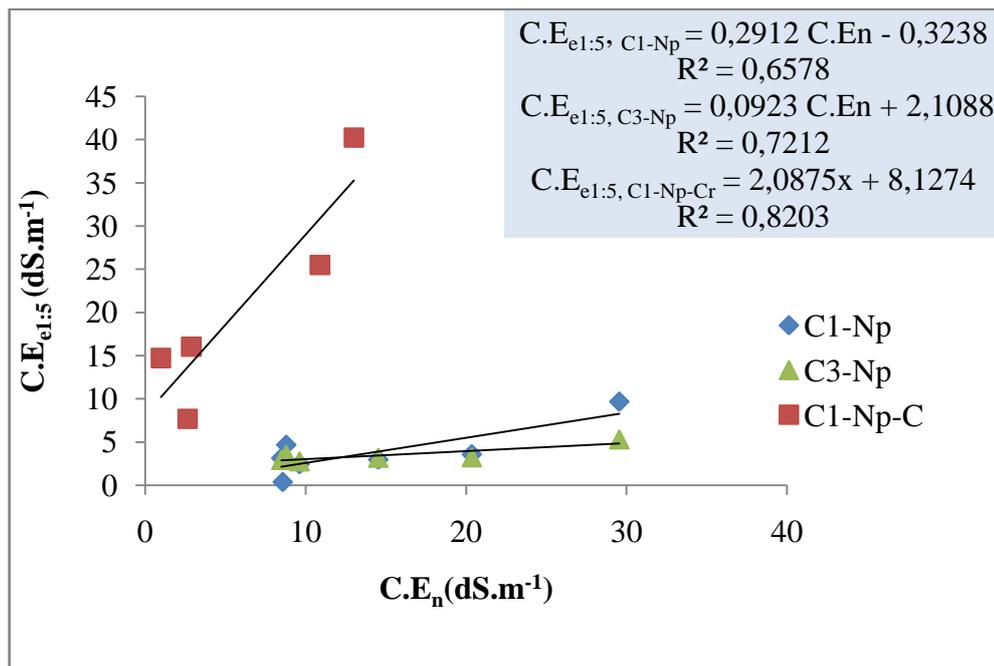


Figure 39. Relation entre la salinité du sol et celle des eaux phréatiques profondes

2.2.2. Dynamique des sels

La dynamique des sels dans les profils des sols de la palmeraie du Ksar est très variable. La salinité du sol en surface est plus élevée et très variable par rapport aux horizons moyens et aux horizons profonds avec un intervalle moyen de 0,32 à 12,24 dS.m⁻¹, et de 0,57 à 8,64 dS.m⁻¹ pour la couche du sol en moyenne profondeur et de 1,22 à 6,08 dS.m⁻¹ pour la couche profonde (Fig. 40 et Annexe 5).

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.

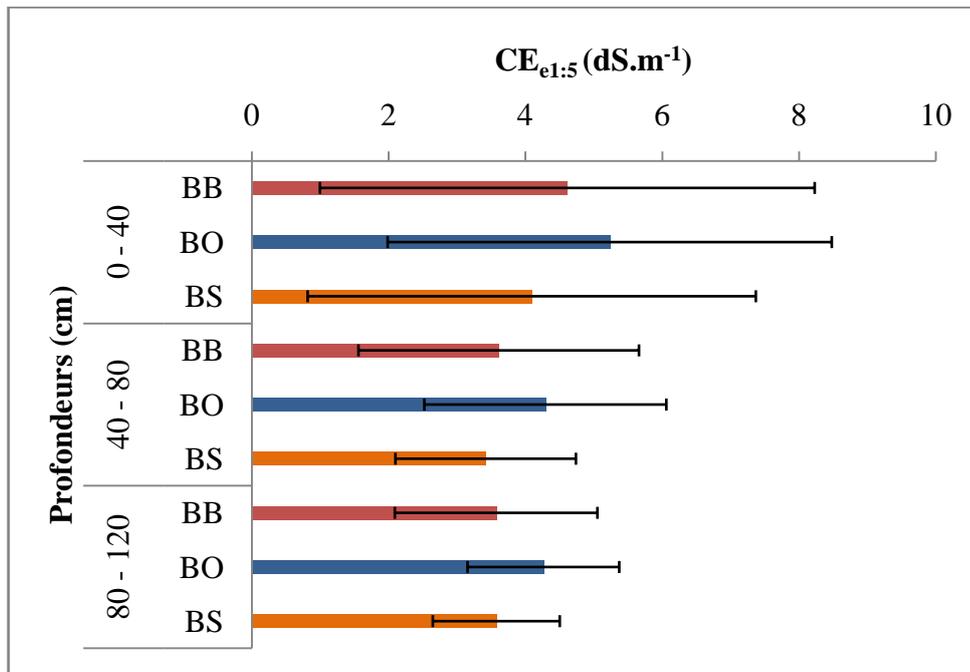


Figure 40. Variation de la salinité moyenne dans les profils des sols

Les quatre profils salins (SERVANT, 1975 ; SERVANT, 1978) à savoir A, B, C et D existent au Ksar (Fig. 41). Ils montrent que les sols ont subi différentes dynamiques de sels suivant deux situations: sol irrigué et sol non irrigué. La première dépend de la conduite de l'irrigation-drainage et la deuxième dépend de la fluctuation de la nappe phréatique, du climat, de la densité du couvert végétal et de la durée de délaissement des terres. Les profils peuvent être classés en deux catégories selon la dynamique des sels :

- Une bonne dynamique : profil Salin type B qui est caractérisé par une désalinisation temporaire et un profil type D qui est caractérisé par une désalinisation permanente.
- Une mauvaise dynamique: profil Salin type A qui est caractérisé par une salinisation ascendante et un profil type C qui est caractérisé par une résalinisation de l'horizon de surface.

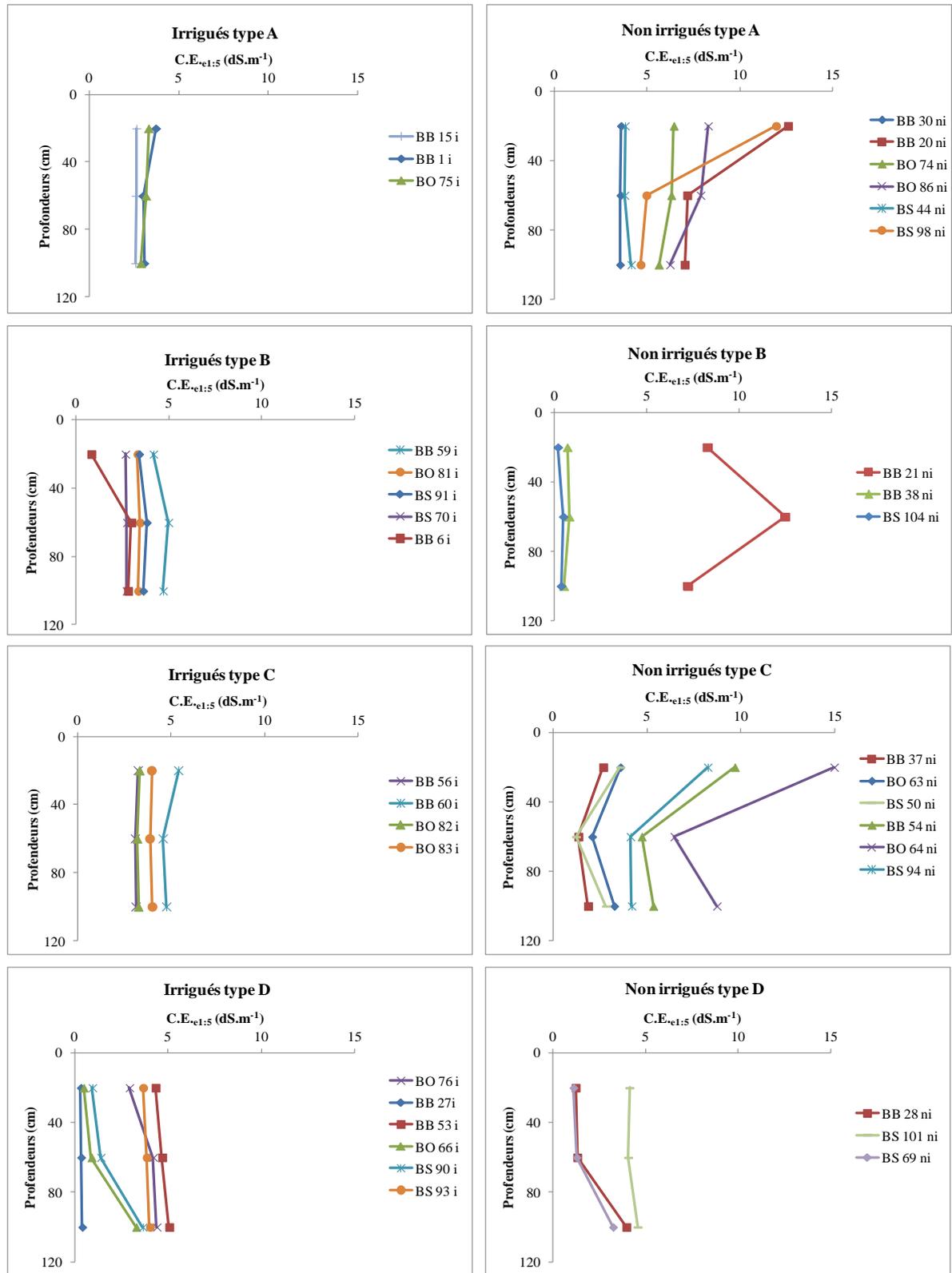


Figure 41. Types de profils salins dans les jardins irrigués et non irrigués au Ksar

Toutefois, le type de profils ne suffit pas pour déterminer un bon profil salin adéquat aux cultures. Il est nécessaire d'assurer en plus une salinité au-dessous du seuil critique des cultures par une bonne conduite cultural, permettant la conservation du potentiel édaphique.

Selon WEIBE *et al.*, (2005), la conservation de terres sous couverture végétale permanente et en culture continue sont deux pratiques qui facilitent l'utilisation de l'eau de la rhizosphère, abaissent la nappe phréatique et réduisent le risque de salinisation du sol.

L'étude des profils de faible et de forte salinité pour les palmeraies de Beni Brahim, Beni Ouaguine et Beni Sissine montrent que le taux des types de profils est variable entre les jardins irrigués et non irrigués avec une prédominance du type A et C dans l'ensemble des jardins non irrigués, comprise respectivement entre 40,40 et 33,43 %, et du type B et D dans les jardins irrigués comprise respectivement entre 28,83 et 52 % (Fig.42). Cette variabilité dans les types de dynamique saline indique un effet de dominance de remonté capillaire des sels d'origine de nappes phréatiques dans les sols non irrigués, et un effet de dominance de lixiviation par irrigation dans les sols irrigués.

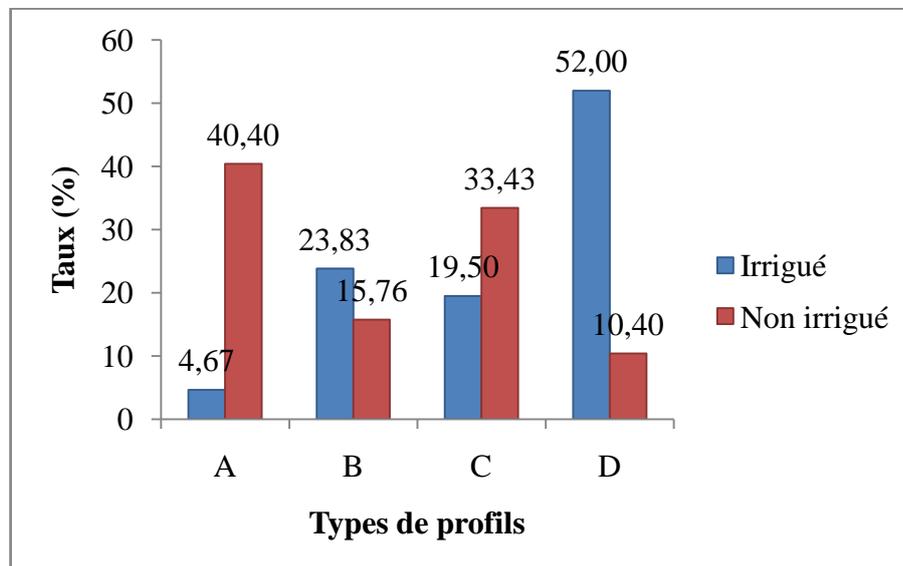


Figure 42. Taux des types de profil salin irrigués et non irrigué au Ksar

Le seuil critique de tolérance des palmiers dattiers à la salinité à Ouargla est estimé dans les modèles de DADDI BOUHOUN (2010) à $1,2 \text{ dS.m}^{-1}$ pour l'extrait dilué 1:5. Les profils étudiés qui présentent une salinité de sol inférieure au seuil critique pour les palmiers dattiers sont estimés à 7,22 % seulement et 92,88 % sont dégradés par salinisation ascendante et descendante. Les profils de faible salinité existent dans les palmeraies de Beni Brahim, quatre profils D en sols irrigués et un de type B en sol non irrigué, et dans celle de Beni Sissine avec un profil de type D irrigué et un de type B non irrigué. Malgré la présence d'une bonne dynamique de type D dans la palmeraie Beni Ouaguine, la salinité reste au-dessus du seuil de tolérance des palmiers dattiers. Cela favorise la chute des rendements et montre que cette palmeraie est la plus dégradée par salinisation. La gestion de l'irrigation au Ksar semble réduire de façon restreinte le seuil de salinité par l'excès d'irrigation et une bonne évacuation

des eaux de drainage. Cependant, le seuil de salinité faible dans les sols non irrigués, malgré la présence de nappe phréatique chargée en sels, est dû fort probablement à une faible remontée capillaire en sol de texture sableuse.

2.2.3. $pH_{e1:5}$ des sols

Le $pH_{e1:5}$ des couches du sol dans la palmeraie du Ksar selon la classification de MATHIEU et PIELTAIN (2003) est faiblement alcalin avec des valeurs comprises entre 7,52 et 8,36 et une moyenne de $7,98 \pm 0,06$. Le $pH_{e1:5}$ des couches du sol de la palmeraie de Beni Brahim, de Beni Sissine et de Beni Ouaguine varie respectivement de 7,52 à 8,45, et de 7,65 à 8,28 et de 7,73 à 8,32 (Fig 43. et Annexe. 6)

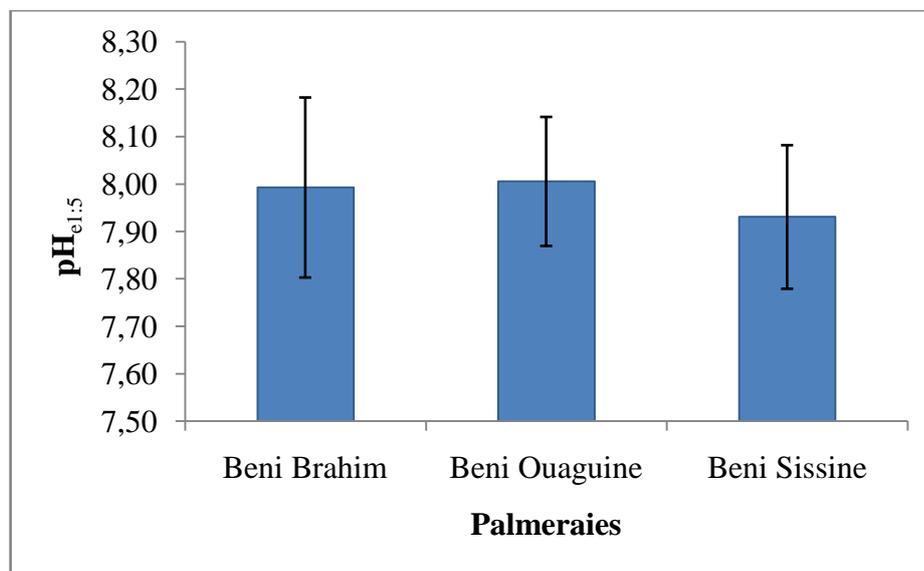


Figure 43. Variation du $pH_{e1:5}$ moyen des couches du sol au Ksar

5. Impact de la salinité du sol sur le rendement du palmier dattier

Le niveau des eaux phréatiques et de la croûte ont une grande influence sur le rendement du palmier dattier (DADDI BOUHOUN, 2010). Nous avons utilisé les formules de calcul de rendement, relatives à la variété Deglet Nour, établies par le même auteur. Pour ce faire, il faut classer nos données selon les conditions suivantes :

- 1- Si le niveau statique $\leq 1,20$ m : c'est une nappe superficielle
- 2- Si le niveau statique $> 1,20$ m : c'est une nappe profonde
- 3- Si la profondeur de la croûte $\leq 1,20$ m nous signalons la présence de la croûte gypseuse
- 4- Si la profondeur de la croûte dépasse les 1,20 m : la présence de la croûte n'est pas signalée.

Les données sont classées selon quatre différents biotopes de jardins :

1. Croûtes-nappes superficielles (Ns-C)
2. Nappes superficielles (Ns)
3. Nappes profondes (Np)

Cette méthode de calcul nous a permis d'estimer pour le biotope « nappe profonde sans croûte » le rendement moyen le plus élevé, égale à $81,88 \pm 5,43$ %. Il est suivi par celui du biotope « nappe superficielle » avec un rendement moyen égale à $65,84 \pm 5,01$ %. Le rendement relatif moyen chute en présence de la croûte dans une nappe superficielle et est estimé à $49,75 \pm 9,82$ % (Fig.44).

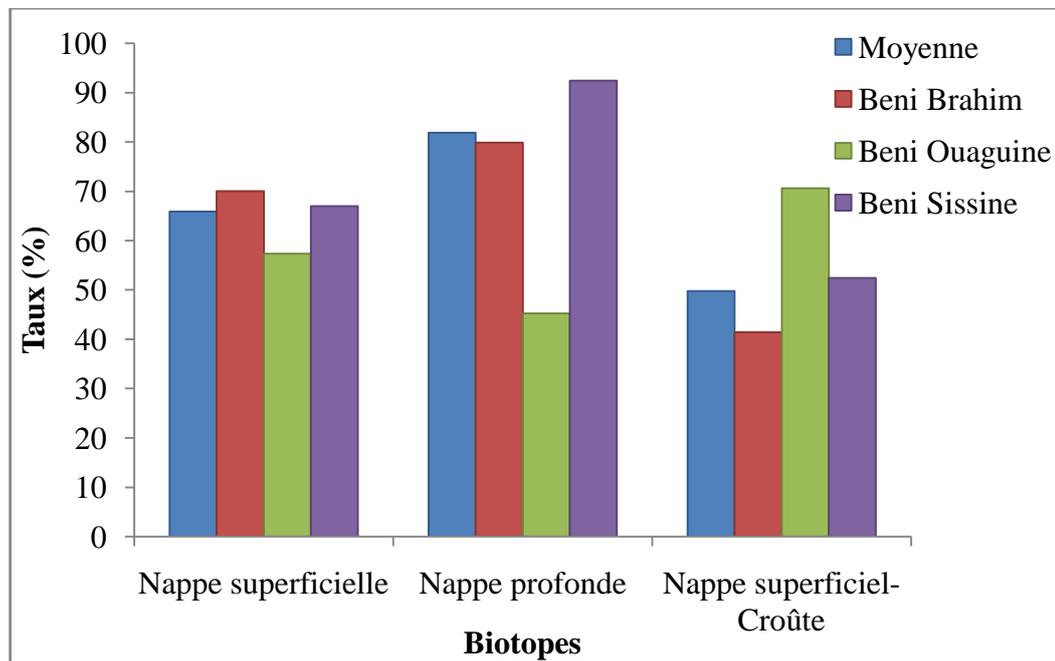


Figure 44. Effet de la salinité du sol sur le rendement relatif de Deglet Nour au Ksar

Selon DADDI BOUHOUN (2010) la chute de rendement dans les palmeraies de nappes profondes est moins importante par rapport à celles de nappes superficielles. Selon FURR (1975) et NIXON & CARPENTER (1978) lorsque la nappe phréatique est superficielle, elle augmente la salinité des sols, ce qui conduit à une réduction des rendements du palmier dattier.

6. Conclusion

L'étude de la variation spatiale de la nappe phréatique au Ksar, montre un niveau statique faible prédominant dans la palmeraie, susceptible de limiter l'enracinement et le développement des arbres, des arbustes et des palmiers dattiers.

Les eaux phréatiques peuvent induire un stress salin car elles sont fortement à excessivement salées, minéralisées et alcalines. Toutefois, les eaux de la palmeraie de Beni

Sissine sont les moins chargées en sels par rapport à celles de Beni Ouaguine et de Beni Brahim. L'alcalinité augmente avec la salinité des eaux phréatiques.

Les mesures piézométriques dévoilent que la zone Sud-Ouest de la palmeraie de Beni Sissine est la moins affectée par la remontée de la nappe phréatique. L'écoulement des eaux de la nappe phréatique s'effectue vers l'extérieur de la palmeraie du Ksar en direction des drains, vers le Nord, le Nord-Ouest et le Nord-Est. Toutefois, l'écoulement des eaux vers l'intérieur de certaines zones de la palmeraie est le résultat de la topographie et de la stagnation des eaux dans les drains défectueux ou mal entretenus.

Les cartes de variation spatiales de la salinité des couches de sols montrent une faible alcalinisation et une salinisation généralisée dépassant le seuil critique de tolérance des palmiers dattiers. Cette dernière est le résultat de la remontée des eaux phréatiques et de l'obstacle mécanique de croûtes gypseuses qui favorisent les accumulations ascendantes des sels. Toutefois, l'irrigation favorise les accumulations descendantes, aboutissant dans certains cas limités à une lixiviation efficace où la salinité est au-dessous du seuil critique du palmier dattier. La dynamique des sels dans les profils est variable avec la dominance de l'accumulation ascendante de type A et C dans les jardins non irrigués et la dominance de dynamique descendante de types B et D en jardins irrigués où la lixiviation reste en majorité partielle.

L'application des modèles de chute de rendement relatifs à la variété de Deglet Nour montre des taux de rendements prévisionnels plus importants en nappe profonde par rapport aux autres biotopes où la chute des rendements augmente avec la remontée de la nappe phréatique et est accentuée davantage quand cette dernière est associée avec la croûte gypseuse.

Enfin, ces constatations au Ksar confirment le dysfonctionnement dans la gestion des eaux, la dégradation hydro-édaphique de l'environnement oasien et la nécessité d'un programme d'aménagement adéquat pour assurer un développement durable dans cette ancienne palmeraie.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Au terme de cette étude, nous pouvons dire que la palmeraie du Ksar souffre de plusieurs problèmes qui ont conduit à des situations de dégradation variable de ses jardins. L'avancement de l'urbanisme, les problèmes socio-économiques et la mauvaise gestion des eaux ont conduit à des pertes énormes en terres phoenicicoles.

L'étude de la gestion des ressources hydriques et leur estimation dans la palmeraie du Ksar montre un déficit en eau d'irrigation, de qualité médiocre et fortement salée. Cela augmente les risques de salinité du sol et crée un stress salin par déficience. Le système d'irrigation irrationnel dans la palmeraie du Ksar a permis d'empirer le déficit hydrique par des pertes énormes en eau dans les canaux d'acheminement d'eau et la gestion empirique des irrigations.

Les pertes des eaux dans le réseau d'irrigation, les zones de topographie de dépression et le mauvais drainage ont conduit à l'engorgement en eau des palmeraies et la remontée de la nappe phréatique au Ksar. Le faible niveau statique de la nappe phréatique est un facteur limitant pour l'enracinement de l'arboriculture, notamment la phoeniculture. Il augmente la dégradation des sols par salinisation et accentue le stress salin. L'écoulement des eaux de drainage au Ksar dans la carte piézométrique n'est pas efficace vu le niveau statique actuel qui crée un état d'hydromorphie dans les profils culturaux, favorisant l'anoxie racinaire et le stress salin par excès d'eau, particulièrement celle du palmier dattier.

Les croûtes gypseuses formées par la précipitation des sels de la nappe phréatique accentue le stress des végétaux, particulièrement le stress mécanique par la résistance des croûtes à la pénétration racinaire, et le stress hydro-salin par hydro-halomorphie en nappe superficielle ou par halomorphie en irrigation déficiente. Le niveau superficiel des croûtes limite aussi la fixation des végétaux et leur alimentation minérale et hydrique en cas de déficience d'irrigation, en zone de nappe profonde.

Il apparaît à partir des contraintes observées que l'environnement hydro-édaphique du Ksar est fortement dégradé. L'application des modèles de chutes des rendements du palmier dattier montre que dans ces conditions oasiens, le rendement relatif de Deglet Nour diminue au fur et à mesure que le stress salin augmente et s'accroît par les stress de type hydriques en déficience ou en excès et de type mécanique.

Les problèmes de dégradation du système agricole au Ksar nous ont conduit à proposer certaines recommandations d'aménagement. Celles-ci sont d'ordre agricole, socio-économique et environnemental.

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 remplaçant les canaux « *hammala* » par des tubes PVC pour réduire les pertes en eaux. Il faut également introduire des systèmes d'irrigation économiques à la place de la submersion. Il faut améliorer le système de drainage actuel car l'évacuation des eaux excédentaires s'effectue mal, et veiller à l'entretien régulier des canaux de drainage par le désherbage et le réajustement des pentes modifiées par l'ensablement.

Certains propriétaires de jardins dans la palmeraie du Ksar sont confrontés à des problèmes socio-économiques qui favorisent la dégradation de l'oasis. Les conflits d'héritage est un des problèmes qu'il faut résoudre car il crée le démorcellement des surfaces agricoles et parfois même le délaissement. Une vulgarisation et un soutien financier est nécessaire pour les agriculteurs afin de développer leur activité et de procéder au rajeunissement de la palmeraie. Cela permettra le maintien de l'activité agricole dans l'ancienne palmeraie et l'augmentation des revenus agricoles.

Des recommandations environnementales sont nécessaires pour lutter contre la dégradation des palmeraies par urbanisation, incendies, remontée des nappes phréatiques et leur pollution par les eaux usées. Des sanctions judiciaires doit être appliquées contre toute personne qui enfreint la loi d'interdiction de construction dans les palmeraies, et la commune de Ouargla ne doit pas raccorder ces habitations illicites aux réseaux d'électricité, d'eau potable et d'assainissement, comme il se fait actuellement car cela encourage l'urbanisation de la palmeraie.

Enfin, ce modeste travail de recherche au Ksar reste une phase préliminaire dans l'étude et la sauvegarde des anciennes palmeraies de la cuvette de Ouargla où la gestion des eaux constitue un facteur limitant dans leurs développements. D'autres recherches sont nécessaires pour apprécier l'effet de la gestion des eaux sur la dégradation de la production végétale et sa qualité dans le système agraire. Les résultats obtenus peuvent contribuer à évaluer les niveaux des problèmes posés ainsi que la démarche d'aménagement adaptée pour les résoudre. Tout cela doit s'intégrer dans une politique de développement durable de l'agriculture en équilibre avec l'environnement saharien.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références bibliographiques

Association du ksar pour la culture et l'islam., 2003 - Une oasis saharienne à travers l'histoire. 113 p

BABAHANI S., 2008 - Contribution à l'étude de l'éclaircissage des fruits du palmier dattier par l'utilisation du pollen à faible pouvoir germinatif. Revue des régions arides. N°21. pp : 886-889.

BABAHANI S., 2008 - Contribution à l'évaluation de la production des palmiers mâles dans la région de Ouargla (Algérie). Revue des régions arides. N° 21. pp : 881-885.

BEN ABDALLAH A ., 1990 - La phoeniculture. In : Dollé V. (ed.), Toutain G. (ed.). Les systèmes agricoles oasiens. Montpellier : CIHEAM. Options Méditerranéennes : Série A. Séminaires Méditerranéens; N° 11. pp: 105-120

BENCHELLAL A., OUKIL A et BELHADJ-AISSA A., 2009 - Identification et détection par imagerie satellitaire de la dégradation des sols par salinité dans la cuvette de Ouargla, sud de l'Algérie. Journée d'animation scientifique (JAS09) de l'AUF. Alger

BENYOUCEF B., 1988 - Le M'Zab : une vie quotidienne dans la vallée des cinq jardins, In l'eau et le Maghreb, Ed. PNUD. pp: 103-112.

BLANCHET P., 1900. L'oasis et le pays de Ouargla. Annales de géographie. V 9. N° 44. pp: 141-158.

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.

BOUAMMAR B., BEKHTI B., 2008 - Le développement de l'économie agricole oasisienne : entre la réhabilitation des anciennes oasis et l'aménagement des nouvelles palmeraies. El-bahith Review. N°06. pp: 19-29

BOUSTANI M., 2008 - Sustainable water utilization in arid region of Iran by Qanats. Proceedings of World Academy of Science, Engineering and Technology. pp: 213-216.

C.D.A.R.S., 2002 - La situation de la mise en valeur à Oued Righ, Problèmes posés et perspectives de développement, Ouargla, Commissariat pour le développement de l'agriculture dans les régions sahariennes. 27 p.

CAMPS G., 1995 - Dattes/Dattiers. in 15 Daphnitaë – Djado. Aix-en-Provence, Edisud. V 15. pp : 2234-2245

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.

CHEVERY C et ROBERT M., 1998 - La dégradation des sols irrigués et de la ressource en eau : une menace pour l'avenir de l'agriculture et pour l'environnement des pays au sud de la méditerranée. Etude et gestion des sols. pp : 217-226

CHULLI C et BEN DHIA H., 2003- Les caractéristiques hydrogéologique de l' aquifère côtière du gabes dans le sud tunisien. Tecnología de la intrusión de agua de mar en acuíferos costeros: países mediterráneos. Madrid. ISBN. 84-7840-470-8

COCHET H., DEVIENNE S et DUFUMIER M., 2007 - L'agriculture comparée, une discipline de synthèse. *Économie rurale* [En ligne]. Editeur : Société Française d'Économie rurale. pp : 297-298

CÔTE M., 1998 - Des oasis malades de trop d'eau. *Sécheresse*. V 9. N°2. pp : 123 - 130.

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.

DADAMOUSA 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

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., 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., BRINIS L., SAKER M. L., CÔTE M. AND RABIER J., 2009 - Effects of hydro-edaphic environment on the rooting of date palm (*Phoenix dactylifera* L.) Deglet Noor in the Ouargla Basin (south-east algeria). *Ecologia Mediterranea*. V 35. pp : 41 - 48.

DADDI BOUHOUN M., BRINIS L., SAKER M. L., OULD EL HADJ M.D., COTE M. et RABIER J., 2008 - Impact du drainage sur la dégradation des sols et des palmeraies : cas de l'oasis de Ouargla (Sud Est Algérien). *Bulletin du GFHN*. V 54. pp: 193 - 194.

DADDI BOUHOUN M., MARLET S., BRINIS L., SAKER M. L., RABIER J. AND 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.

DADDI BOUHOUN M., SAKER M. L., BOUTOUTAOU D., BRINIS L., KEMASSI A.

et OULD EL HADJ M.D., 2012 - Impact des eaux phréatiques sur la salinité et le rendement du palmier dattier à Ouargla. Algerian journal of arid environment, V. 2. N° 2. pp : 71 - 77.

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

DELHEUR J., 1988. Vivre et mourir à Ouargla. Tamedderout t-temettanet werrgren. Etude ethnolinguistiques Maghreb-Sahara. Université de Provence (L.A.P.M.O). Edition : Peeters Publisher, France. 436 p

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. In DOLLE V. (ed.), TOUTAIN G. (ed.). Options Méditerranéennes. Les systèmes agricoles oasiens. Série. A. Séminaires Méditerranéens. N° 11. Les systèmes agricoles oasiens. pp 29 - 40.

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.

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.

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

FAO., 2009 - Comment nourrir le monde en 2050. 29 p.

FAO., 2016 - Baisse des ressources d'eau douce
<http://www.fao.org/ag/againfo/programmes/fr/lead/toolbox/Indust/DFreWat.htm#Increase>
d

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.

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.

IDDER M. A., BOUAMMAR B., et IDDER-IGHILI H., 2011 - La palmeraie du Ksar d'Ouargla; entre dégradation et réhabilitation. Revue des Sciences et Technologie – Université KASDI Merbah - Ouargla. V 3. N° 1. http://www.ouargla-univ.dz/PagesWeb/siteweb_ast/Siteweb_AST_UOGX.htm

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.

INSID., 2016 - Le Drainage en Algérie. République algérienne démocratique et populaire. Ministère de l'agriculture et du développement rural. L'institut national des sols de l'Irrigation et du Drainage. 18 p.

IPTRID., 2006 - Conférence électronique sur la salinisation: Extension de la salinisation et Stratégies de prévention et réhabilitation. Organisée et coordonnée par: IPTRID (Programme International pour la Technologie et la Recherche en Irrigation et Drainage). Hébergée par: FAO (Organisation des Nations Unies pour l'Alimentation et l'Agriculture). Modérée par: Le projet CISEAU (Centre d'Information Sur l'Eau Agricole

et ses Usages). 12 p.

JANUEL Y., 2010 - Avantages du système traditionnel des Ghouts par rapports au système oasien évolué?

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

KHEMGANI M.A., 2010 - Caractérisation des sols alluviaux et de la nappe alluviale de l'oasis de Guerrara. Ecole doctorale. Sciences du sol mémoire de magister en sciences agronomique. 75 p.

LAPERCHE et MOSSMANN., 2004 - Protocole d'échantillonnage des sols urbains pollués par du plomb. 26 p

LETHIELLEUX J., 1984. OUARGLA Cité saharienne. Librairie orientaliste Paul Geuthner,S.A. 299 p

MARLET S., BOUKSILA F., MEKKI I et BENAÏSSA I., 2007- Fonctionnement et salinité de la nappe de l'oasis de Fatnassa : arguments géochimiques. Troisième atelier régional du projet Sirma, Nabeul Tunisie. Edition HAL. 14 p.

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

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.

NIXON R.W., et CARPENTER J.B., 1978 - Growing dates in the United States. Agriculture information bulletin. Agricultural research service. U.S. department of agriculture (no. 207). 63 p.

O.N.M. Ouargla., 2015 - Données météorologiques de la station pluviométrique de Ain beida (2004-2014).

OMEIRI N., 1994 - Contribution à l'étude de la dynamique saisonnière des sels solubles dans la cuvette de Ouargla. Mémoire d'ingénieur INFSAS. Ouargla. 72 p.

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

REMINI B., 2006 - La foggara : dégradation d'un système de captage et d'irrigation. 14th International Soil Conservation Organization Conference. Water Management and Soil Conservation in Semi-Arid Environments. Marrakech, Morocco. 3 p.

REMINI B., ACHOUR B., 2008 - Vers la disparition de la plus grande foggara d'Algérie : la foggara d'El Meghier. Revue Sécheresse. V 19. N°3. pp : 217-221.

REMINI B., ACHOUR B., 2013. Les foggaras de l'ahaggar : disparition d'un patrimoine hydraulique. Larhyss Journal. ISSN 1112-3680. N°14. pp : 149 - 159

ROCA P J., 1987. Différentes approches des systèmes agraires. pp : 75 - 94

RODIER J., LEGUBE B., MERLET N., 2009- L'analyse de l'eau. Paris : Dunod.

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.

Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS)., 2002- Une conscience de bassin, hydrogéologie, synthèse.

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.

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.

TABOUCHE N et ACHOUR S., 2004 - étude de la qualité des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional Algérien. Larhyss Journal. ISSN 1112-3680. N° 3. pp : 99 - 113.

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

WIEBE B.H., EILERS R.G., EILERS W.D. ET BRIERLEY J.A., 2005 - Salinité du sol. Nom de l'indicateur: Risque de salinisation du sol. L'agriculture écologiquement durable au Canada: Série sur les indicateurs agroenvironnementaux. Rapport N° 2. pp : 121 - 126.

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

ZELLA L., SMADHI D., 2006 - Gestion de l'eau dans les oasis algériennes. Larhyss Journal. ISSN 1112-3680, N° 5. pp : 149-156.

ANNEXES

Annexe 1. 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
Palmeraie de Beni Brahim	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
	D1 F109	BABA MERZOUG	5°19'08"	31°58'34"	1962	17	12	2 100	MIO-PLIOCENE
	D1 F125	BAB SBAA	5°19'28"	31°58'31"	1978	30	20		MIO-PLIOCENE
	D1 F130	NANOUDI	5°19'18"	31°58'24"	1982	30	20	2 300	MIO-PLIOCENE
	D1 F136	OULALOU	5°19'34"	31°58'30"	1988	35	20	2 700	MIO-PLIOCENE
	D2 F53	A.TASSE	5°19'42"	31°58'52"	1963	20	15	3 330	MIO-PLIOCENE
	D2 F54	A.BANOUNOU	5°19'32"	31°59'04"	1966	20	20	3 444	MIO-PLIOCENE
	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	
Palmeraie de Beni Ouaguine	D2 F61	SAID OTBA I	5°19'57"	31°58'37"	1974	20	20	1 568	SENONIEN
	D2 F70	B.OUAGGUINE SONIA	5°20'08"	31°58'10"	1993	30	20		MIO-PLIOCENE
	D2 F56	A.BAISSA	5°20'10"	31°58'22"	1962	11	10		MIO-PLIOCENE
	D2 F59	BOUROUBIA	5°20'34"	31°58'30"	1966	15	10	1 484	MIO-PLIOCENE
	D2 F63	BENI OUAGGUINE (henich)	5°20'02"	31°58'28"	1985	30	20	4 800	MIO-PLIOCENE
Palmeraie de Beni Sissine	D4 F106	BABA HAMOU	5°21'28"	31°57'37"	1990	30	20	3 900	MIO-PLIOCENE
	D1 F104	BOUCHAIB	5°19'01"	31°57'47"	1962	20	20		MIO-PLIOCENE
	D1 F111	BABA YUCEF	5°19'11"	31°57'55"	1969	28	20	1 700	MIO-PLIOCENE
	D2 F52	TIMLAOUINE	5°20'13"	31°58'02"	1960	20	15		MIO-PLIOCENE
	D2 F58	A.KAHLA	5°20'26"	31°58'02"	1962	20	20		MIO-PLIOCENE
	D2 F60	GHANDRA	5°20'48"	31°58'16"	1973	20	20		MIO-PLIOCENE
	D2 F65	OUIDIR	5°20'50"	31°58'06"	1988	30	20	3 410	MIO-PLIOCENE

	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 2. La salinité des eaux phréatiques dans la palmeraie du Ksar en dS.m^{-1} .

	La palmeraie du Ksar		
	Palmeraie de Beni brahim	Palmeraie de Beni ouaguine	Palmeraie de Beni sissine
Min	4,79	7,51	2,77
Max	64,46	54,78	26,45
Moyenne	22,71	24,18	15,36
Ecart-moyen	12,34	12,47	6,83
Variance	236,98	212,52	60,58
Ecart-type	15,39	14,58	7,78
Erreur standard	2,72	3,64	2,16

Annexe 3. Variation de la charge saline des eaux phréatiques dans la palmeraie du Ksar en g.l^{-1} .

	La palmeraie du Ksar		
	Palmeraie de Beni brahim	Palmeraie de Beni ouaguine	Palmeraie de Beni sissine
Min	5,06	6,31	7,53
Max	56,85	52,49	23,87
Moyenne	23,20	21,74	15,91
Ecart-moyen	12,03	12,93	4,99
Variance	210,78	252,55	35,49
Ecart-type	14,52	15,89	5,96
Erreur standard	2,57	3,97	1,65

Annexe 4. Variation du pH_n des eaux phréatiques au Ksar.

	La palmeraie du Ksar		
	Palmeraie de Beni brahim	Palmeraie de Beni ouaguine	Palmeraie de Beni sissine
Min	7,60	7,52	7,59
Max	8,36	7,95	8,06
Moyenne	7,89	7,74	7,77
Ecart-moyen	0,17	0,12	0,08
Variance	0,04	0,02	0,02
Ecart-type	0,21	0,14	0,13
Erreur standard	0,03	0,03	0,03

Annexe 5. Variation de la salinité dans les profils des sols au Ksar.

	Profondeurs								
	0 – 40 cm			40 – 80 cm			80 – 120 cm		
	BB	BO	BS	BB	BO	BS	BB	BO	BS
Min	0,31	0,46	0,18	0,33	0,89	0,48	0,39	2,90	0,36
Max	13,62	11,16	11,96	12,49	7,88	5,54	7,23	6,23	4,79
Moyenne	4,62	5,24	4,10	3,61	4,30	3,42	3,58	4,27	3,58
Ecart-type	3,62	3,25	3,28	2,05	1,77	1,32	1,48	1,11	0,93

BB : Palmeraie de Beni Brahim

BO: Palmeraie de Beni Ouaguine

BS : Palmeraie de Beni Sissine

Annexe 6. Variation du $pH_{e1:5}$ du sol de la palmeraie du Ksar

	La palmeraie du Ksar		
	Palmeraie de Beni Brahim	Palmeraie de Beni Ouaguine	Palmeraie de Beni Sissine
Min	7,52	7,73	7,65
Max	8,45	8,32	8,28
Moyenne	7,99	8,01	7,93
Ecart-moyen	0,15	0,10	0,12
Variance	0,04	0,02	0,02
Ecart-type	0,19	0,14	0,15
Erreur standard	0,03	0,03	0,03

Annexe 7. Classification des eaux phréatique (FLOREA 1961 in OMEIRI 1994)

Résidu sec en g/l	Différents types d'eau de nappe
$\leq 0,5$	Eau douce
$0,5 < R.S \leq 4,5$	Eau très faiblement salée
$4,5 < R.S \leq 10$	Eau faiblement salée
$10 < R.S \leq 25$	Eau moyennement salée
$25 < R.S \leq 45$	Eau fortement salée
$45 < R.S \leq 100$	Eau très fortement salée
>100	Eau excessivement salée

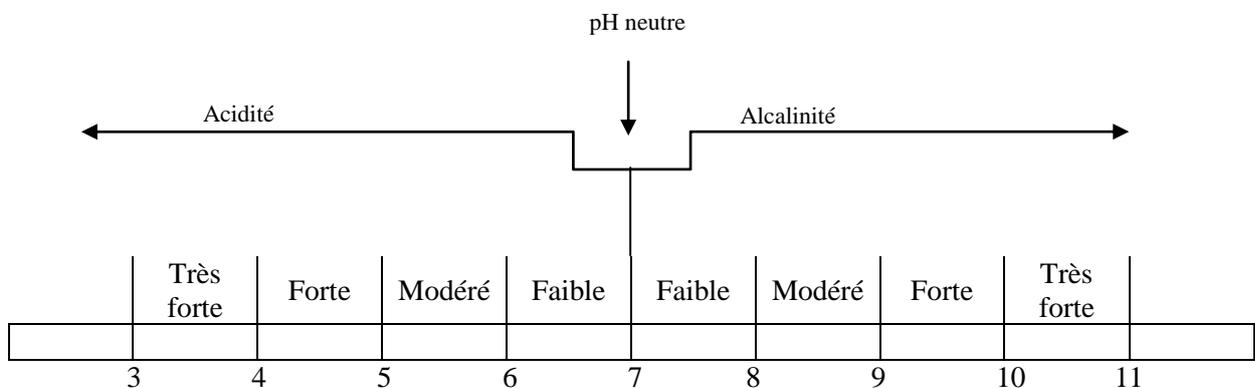
Annexe 8. Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique des eaux d'irrigation (DURAND, 1958 in DAOUED et HALITIM, 1994)

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

Annexe 9. 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 _{e1:5} ≤ 0,6	Non salé
0,6 < CE _{e1:5} ≤ 1	Légèrement salé
1 < CE _{e1:5} ≤ 2	Salé
2 < CE _{e1:5} ≤ 4	Très salé
CE _{e1:5} > 4	Extrêmement salé

Annexe 10. Normes d'interprétation du pH-eau du sol MATHIEU et PIELTAIN (2009)



Annexe 11. Liste des variables qualitatives de l'AFC

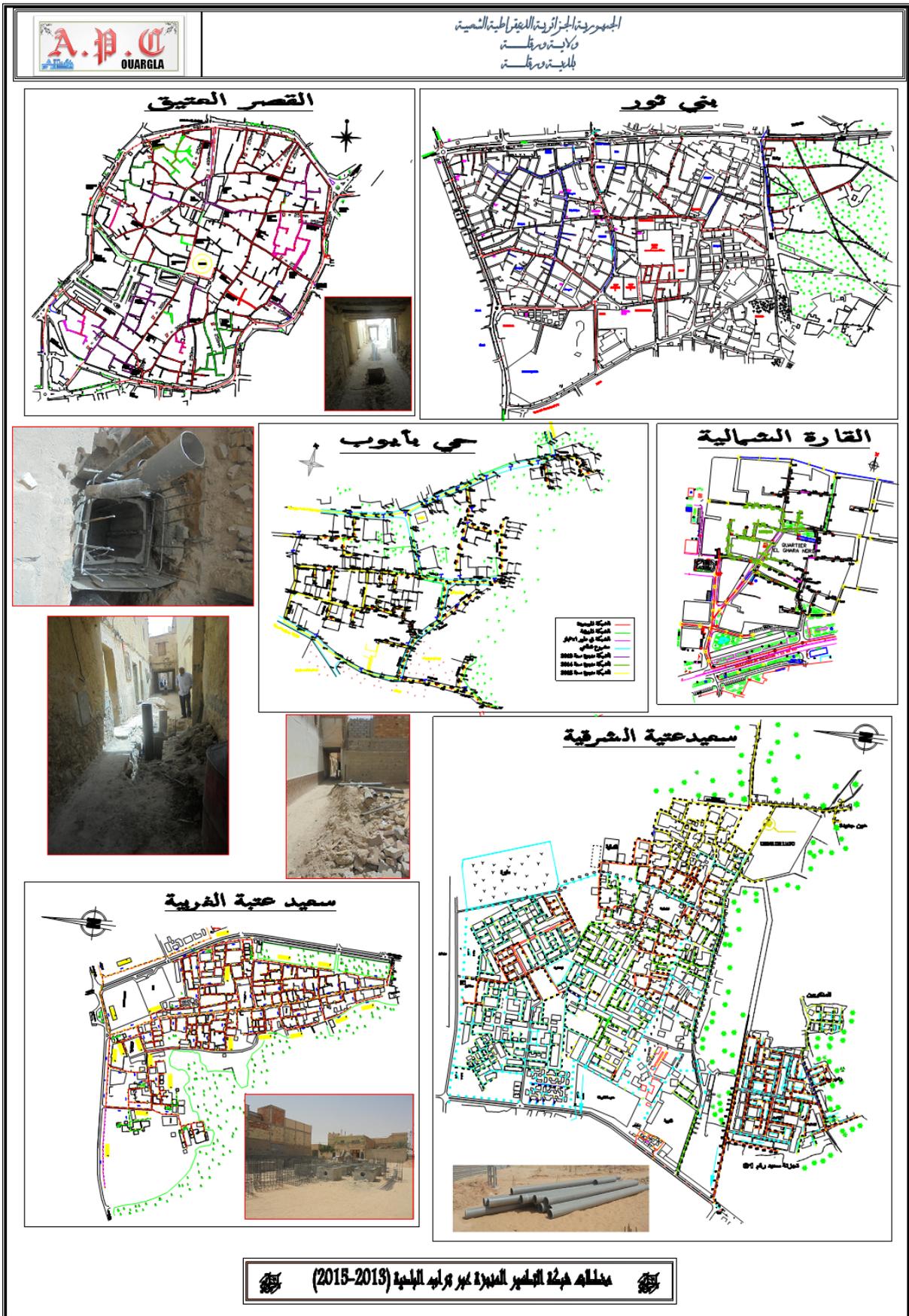
zone	A.U	agro-urbain	1
	A	agraire	2
biotope	Ns+Cr	nappe superficielle +croûte	1
	Ns	nappe superficielle	2
	Np+Cr	nappe profonde +croûte	3
	Np	nappe profonde	4
	S.O	sans obstacle	5
	C	Croûte	6
Assainissement	S.U	pas d'eau usée	1
	N.A	non évacuée	2
	A.f	eau usée évacuée vers fosse septique	3
	A.r	eau usée évacuée vers réseau	4
Distance des points du sondage par rapport au drain	près	près du drain	1
	loin	loin du drain	2
	sans drain	pas de drains	3
Classes limitative d'obstacle hydrique	0-45,7	sévère	1
	45,7-91,4	modéré	2
	91,4-150	insignifiante	3

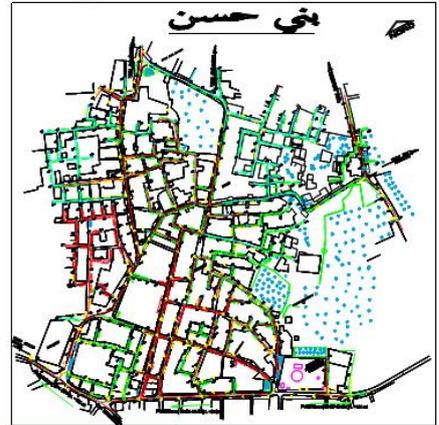
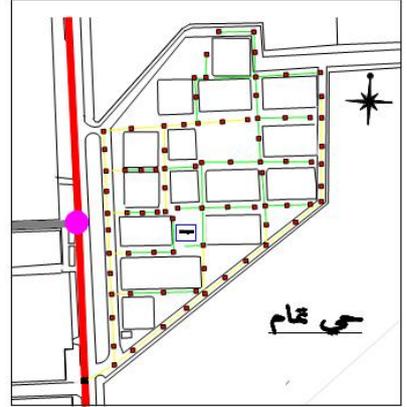
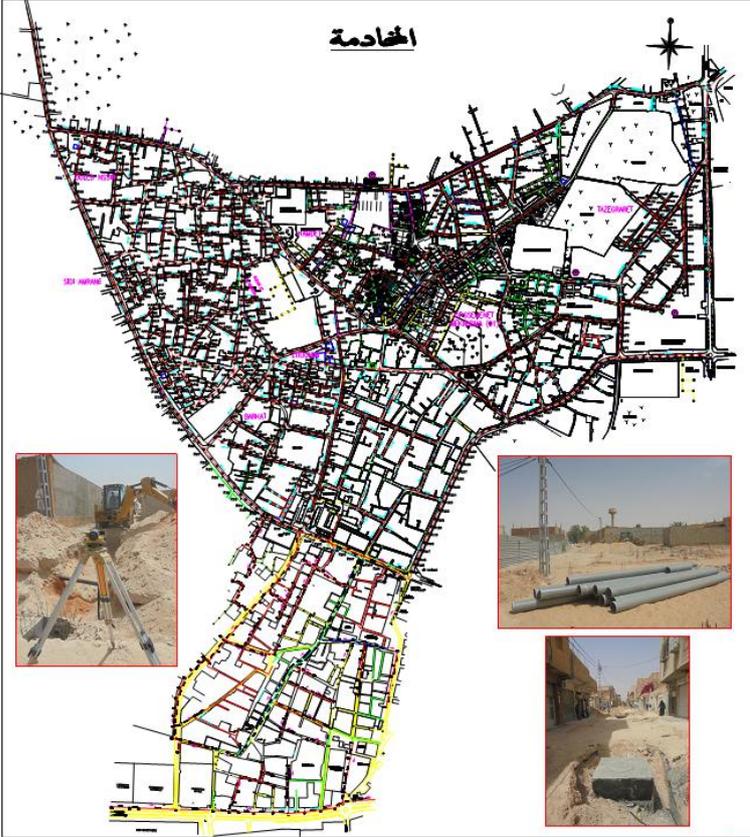
	150-300	Modéré	4
L'état du sol	Irrigué		1
	Non irrigué		2
Ecoulement de la nappe	Ecoulement par rapport au point de sondage	écoulement ver l'extérieur	2
		écoulement ver l'intérieur	1

Annexe 12. Paramètres des modèles de rendement linéaire dans les zones hydro-édaphiques de la cuvette de Ouargla.

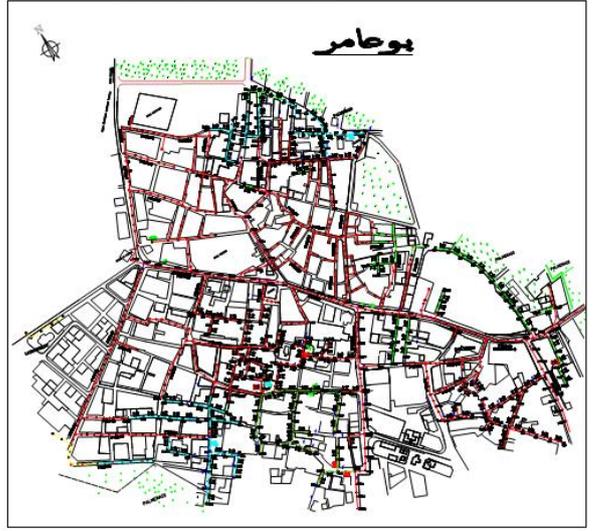
Types de zones	Paramètres	Paramètres des équations de rendements relatifs (Y _r)		Régressions par classes de salinités
		a'	b'	
Croûtes-nappes profondes	C.E. _{e1:5}	1,200	17,457	Y _{pcnp} = - 24,315*C.E. _{e1:5} + 168,46 ; R ² = 0,994
	C.E. _i	1,124	33,223	C.E. _{e1:5} = 1,9031*C.E. _i - 0,9393 ; R ² = 0,9939
	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
Croûtes-nappes superficielles	C.E. _{e1:5}	1,200	14,468	Y _{pcns} = - 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
	C.E. _n	10,193	7,852	C.E. _{e1:5} = 0,5427*C.E. _n - 4,3316 ; R ² = 0,9351
	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
Nappes superficielles	C.E. _{e1:5}	1,200	9,948	Y _{pns} = - 8,0452*C.E. _{e1:5} + 90,53 ; R ² = 0,9636
	C.E. _i	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 13. Les réseaux secondaires d'assainissement des eaux usées (APC de Ouargla)





شبكة الكهرباء	خط أحمر
شبكة المياه	خط أخضر
شبكة الغاز	خط أزرق
شبكة الصرف الصحي	خط أصفر
شبكة الهاتف	خط بنفسجي
شبكة الغاز	خط برتقالي
شبكة المياه	خط رمادي
شبكة الصرف الصحي	خط بني
شبكة الهاتف	خط أسود



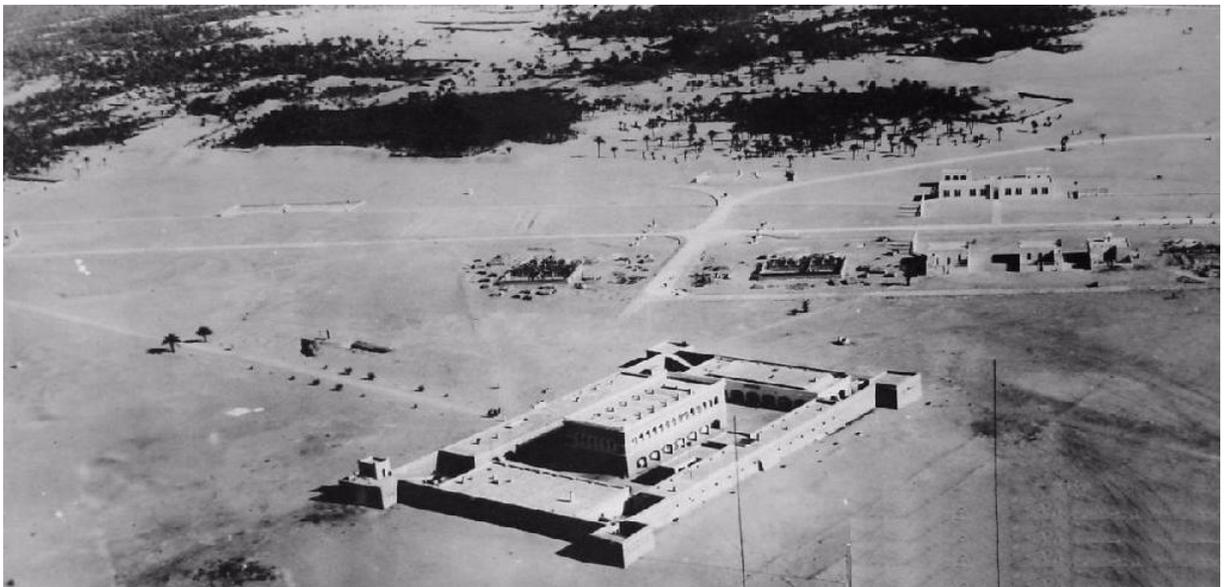
Annexe 14. La première photo aérienne de Ouargla est publiée dans la revue « l’Afrique du Nord illustrée » (AFNI) du 1^{er} Mars 1919 (Association du Ksar pour la culture et l’islam, 2003).



Annexe 15. Le Ksar est vu du sud en 1932. (Photo SHAA n°390) (Association du Ksar pour la culture et l'islah, 2003)



Annexe 16. 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 17. Vue aérienne du sud de la ville et de la palmeraie du Ksar en 1956: (PILLET, 1995) ;



Annexe 18. Le marché actuel et la Mairie en 1961 (PILLET, 1995).

