

**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 l'Oued Souf :  
cas de l'ancienne palmeraie**

Présenté et soutenu publiquement par

MEISSA Brahim

Devant le jury :

Mr. CHELOUFI Abdelhamid	Professeur	U.K.M. Ouargla	Président
Mr. SAKER Mohamed Lakhdar	Professeur	U.K.M. Ouargla	Promoteur
Mr. DADI-BOUHOUN Mustapha	M.C.A	U.K.M. Ouargla	Examineur
M <sup>me</sup> . BABAHANI Souad	M.C.A	U.K.M. Ouargla	Examinatrice
Mr. IDDER Mohamed Tahar	Professeur	U.K.M. Ouargla	Examineur

*Année Universitaire : 2015/2016*

## ***Remerciement***

Avant tout, nous remercions Dieu tout puissant de m'avoir accordé la patience, le courage et les moyens afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Au préambule de ce modeste travail, je tiens à remercier mon promoteur de thèse Mr SAKER Mohamed Lakhdar Professeur au Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah Ouargla, Je lui atteste ma profonde gratitude pour son encadrement, sans le soutien duquel ce travail n'aurait pas abouti, ainsi pour consacrer de leur temps pour l'amélioration de la qualité de ce travail.

Je remercie également mon Co- promoteur Mr DADI-BOUHOUN Mustapha, Maitre de Conférences A, au Département des Sciences Agronomiques, Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie, Université Kasdi Merbah Ouargla, pour ces aides afin de corriger ce travail, ainsi que pour ses orientations très bénéfiques.

Je remercie Mr CHELOUFI Abdelhamid professeur à l'université Kasdi Merbah de me faire l'honneur de présider le jury et d'apporter sa contribution scientifique souhaitée à ce présent mémoire.

Je tiens à remercier IDDER Mohamed Tahar Professeur et M<sup>me</sup>. BABAHANI Souad M.C.A à l'université Kasdi Merbah d'avoir accepté d'examiner mon travail. Je voudrais aussi remercier Mr ACILA Smail, M.A.A à l'université Hamma Lakhdar à El-Oued pour leur support technique et scientifique. Je voudrais aussi remercier Mr TLIBA, Ali chef de laboratoire de recherche *VTRS* à l'université Hamma Lakhdar à El-Oued de m'avoir permis de réaliser mes analyses.

## Liste des abréviations

- A.D.E.: Algérienne Des Eau.
- A.N.R.H.: Agence Nationale des Ressources Hydriques.
- B.N.E.D.E.R. : Bureau National d'Etudes pour le Développement Rural.
- B.G. : Bonard et Gardel.
- C.E.A.E.Q. : Centre d'Expertise en Analyse Environnementale du Québec.
- C.E.<sub>e1:5</sub> : Conductivité Electrique de l'extrait 1:5 des sols.
- C.E.<sub>n</sub> : Conductivité Electrique des eaux phréatiques.
- CI : Continental Intercalaire.
- CT : Complexe Terminal.
- D.H.W. : Direction de l'Hydraulique de la Wilaya.
- D.L.E.P. : Direction de Logement et d'Equipement Publique.
- D.R.E.W. : Direction des Ressources en Eau des Wilayas.
- D.S.A. : Direction des Services Agricoles.
- E.N.A.G.E.O. : Entreprise Nationale Algérienne de Géophysique.
- F.A.O. : Food and Agriculture Organization.
- N<sub>p</sub> : Nappes profondes.
- NP : Niveau Piézométrique
- N<sub>s</sub> : Nappes superficielles.
- NS : Niveau Statique
- O.N.A.: Office National d'Assainissement.
- O.N.M. : Office National Météorologique.
- P.A.T.W. : Plan d'Aménagement de Territoire de la Wilaya.
- P.D.G.R.S. : Etude du plan directeur général de développement des régions sahariennes.
- pH<sub>e1:5</sub> : pH de extrait 1:5 des sols.
- pH<sub>n</sub> : pH des eaux phréatiques.
- R.<sub>s,n</sub> : Résidus secs des eaux de la nappe phréatique.
- S.A.S.S. : Système Aquifère du Sahara Septentrional.
- U.N.E.S.C.O. : Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture.

## Liste des Figures

Figures	Titre	Page
Figure 01	Localisation géographique de la région d'étude	7
Figure 02	Diagramme Ombrothérmique de GAUSSEN pour Oued Souf	11
Figure 03	Etage bioclimatique de Oued Souf	12
Figure 04	Carte topographique de vallée d'El-Oued (ANRH, 2009)	13
Figure 05	La litho stratigraphique du forage F1 (ANRH, 1993)	15
Figure 06	Carte des ressources en eaux aquifères du CT et du CI	17
Figure 07	Comportement de la nappe de Oued Souf dans le temps	18
Figure 08	L'hydraulique saharienne	23
Figure 09	Schéma d'une Foggara à vue latérale	24
Figure 10	Système de Ghout dans la région du Souf	26
Figure 11	Exploitation des eaux de ruissellement	27
Figure 12	Exploitation directe dans la fosse (Ghout)	28
Figure 13	Exploitation des eaux de la nappe phréatique par puits à balancier	28
Figure 14	Puisage par traction animale	29
Figure 15	Le système lacustre de puisage de l'eau à partir de la nappe albienne	29
Figure 16	Rénovation de la foggara par l'installation de motopompe	29
Figure 17	Evolution du comportement de la nappe phréatique	31
Figure 18	Evolution des palmeraies autour d'El-Oued en 1980	35
Figure 19	Présentation de la zone d'étude d'El-Oued	36
Figure 20	Approches méthodologiques	38
Figure 21	Échantillonnage systématique aléatoire dans l'espace agraire	41
Figure 22	Limites de l'espace agro-urbain de la ville d'El-Oued en 1984	48
Figure 23	Evolution de l'espace agro-urbain de la ville d'El-Oued entre 1984 et 2016	49
Figure 24	Répartition des puits et forages dans l'espace agraire d'El-Oued	51
Figure 25	Système de puits d'irrigation avec motopompe à Oued Souf	52
Figure 26	Réseaux de drainage vertical et horizontal dans la ville d'El-Oued	54
Figure 27	Relations entre les paramètres de la gestion des eaux à El-Oued	55
Figure 28	Situation de la nappe phréatique	60
Figure 29	Niveau statique de la nappe phréatique dans l'espace agraire d'El-	61

	Oued	
Figure 30	Carte topographique de l'espace agraire d'El-Oued	63
Figure 31	Niveau piézométrique de la nappe phréatique dans l'espace agraire d'El-Oued	65
Figure 32	Salinité des eaux phréatiques dans l'espace agraire d'El-Oued	67
Figure 33	ACP des paramètres hydro-édaphiques	68
Figure 34	Variations spatiales de la charge saline des eaux phréatiques dans l'espace agraire d'El-Oued	69
Figure 35	Variations de la charge saline moyenne dans les eaux phréatiques d'El-Oued	70
Figure 36	Relations entre le degré et la charge saline des eaux phréatiques d'El-Oued	71
Figure 37	Cultures irriguées par puits dans la nappe phréatique	71
Figure 38	Variations du $pH_n$ moyen des eaux phréatiques	72
Figure 39	Variations de la salinité de la couche 0 - 40 cm des sols de l'espace agraire d'El-Oued	74
Figure 40	Variations de la salinité de la couche 40-80 cm des sols de l'espace agraire d'El-Oued	75
Figure 41	Variations de la salinité de la couche 80 - 120 cm des sols de l'espace agraire d'El-Oued	76
Figure 42	Taux de dégradation des sols par salinisation dans l'espace agraire d'El-Oued	77
Figure 43	Variations de la salinité moyenne dans les profils de sols à l'El-Oued	78
Figure 44	Types de profils salins dans l'espace agraire à El-Oued	79
Figure 45	Taux des types de profils salins des Ghouts et de la mise en valeur à l'El-Oued	80
Figure 46	Variations du $pH_{e1:5}$ moyen des couches du sol à l'El-Oued	81

### Liste des photos

Photos	Titre	Page
Photo 01	Exploitation des eaux de puits traditionnels	25
Photo 02	Système d'irrigation de mise en valeur : mini-pivots et goutte à goutte	52
Photo 03	Zones d'alimentation (Agglomérations et Ghouts)	58
Photo 04	Hydromorphie en zone de dépression dans les Ghouts est de la ville	62

## Table des matières

Introduction .....	2
--------------------	---

### **PARTIE I : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE**

#### **Chapitre I. Présentation de la région de Oued Souf**

1. Situation géographique .....	6
2. Climat .....	8
2.1. Températures .....	9
2.2. Précipitations .....	9
2.3. Vents .....	9
2.4. Evaporation.....	9
2.5. Humidité de l'air.....	10
2.6. Insolation .....	10
2.7. Classification climatique .....	10
3. Topographie.....	12
4. Géologie .....	13
5. Hydrogéologie .....	15
5.1. Différents types de nappes souterraines .....	16
5.1.1. La nappe phréatique.....	16
5.1.2. La nappe du complexe terminal.....	16
5.1.3. La nappe du continental intercalaire.....	17
5.2. Remontée des eaux phréatiques.....	17
6. Pédologie .....	19
7. Agriculture.....	19
7.1. L'ancien système agricole du Souf.....	20
7.2. Le nouveau système agricole du Souf .....	20

#### **Chapitre II. L'eau et les systèmes agraires au Sahara**

1. Concepts de base .....	21
1.1. Oasis .....	21

1.2. Exploitation agricole.....	21
1.3. Systèmes agraires .....	21
2. Systèmes agraires au Sahara.....	22
2.1. Exploitation des eaux des Foggaras .....	23
2.2. Exploitation des eaux fluviales.....	24
2.3. Exploitation des eaux des puits .....	25
2.4. Exploitation des eaux des Ghouts.....	26
3. Gestion de l'eau au Sahara .....	27
3.1. Gestion traditionnelle des eaux au Sahara.....	27
3.2. Gestion contemporaine des eaux au Sahara .....	30

## **PARTIE II: EXPERIMENTALE**

### **Chapitre III. Matériel d'étude**

1. Choix de la région d'étude.....	34
2. Choix de la zone d'étude.....	34
3. Présentation de la zone d'étude.....	35

### **Chapitre IV. Méthodes d'étude**

1. Approches Méthodologiques .....	37
1.1. Etude de l'espace agraire :.....	39
1.1.1. Description des systèmes agraires .....	39
1.1.2. Délimitation et évolution de l'espace agro-urbain .....	39
1.1.3. Échantillonnage dans l'espace agraire.....	40
1.1.4. Etude de la gestion des eaux dans l'espace agraire .....	41
1.2. Evaluation de la dégradation hydro-édaphique dans l'espace agraire.....	42
2. Méthodes d'analyses .....	43
2.1. Analyses des eaux.....	43
2.2. Analyses des sols .....	43
2.3. Analyses statistiques.....	44

## **Chapitre IV. Gestion de la dimension agro-environnementale d'El-Oued**

1. Description du système agricole.....	46
2. Gestion de l'espace agro-urbain d'El-Oued .....	47
2.1. Délimitation de l'espace agro-urbain .....	47
2.2. Evolution de l'espace agro-urbain .....	48
3. Gestion des eaux à El-Oued .....	50
3.1. Gestion des eaux d'irrigation.....	50
3.1.1. Ressources en eau .....	50
3.1.2. Système d'irrigation .....	51
3.1.3. Qualité des eaux d'irrigation .....	53
3.2. Gestion des eaux de drainage .....	53
4. Gestion des eaux usées .....	54
5. Conclusion .....	55

## **Chapitre VI. Evaluation de la dégradation hydro-édaphique à l'El-Oued**

1. Dégradation hydrique à El-Oued.....	46
1.1. Niveau des eaux phréatiques .....	46
1.1.1. Niveau statique .....	46
1.1.2. Niveau piézométrique.....	51
1.2. Qualité des eaux phréatiques .....	56
1.2.1. Degrés de salinité.....	56
1.2.2. $pH_n$ des eaux phréatiques.....	62
2. Dégradation édaphique à l'El-Oued .....	62
2.1. Salinisation des sols.....	62
2.1.1. Degré de salinité .....	62
2.1.2. Dynamique des sels .....	67
2.1.3. pH des sols.....	71
4. Conclusion .....	72
Conclusion générale .....	84

Références bibliographiques..... 87

Annexes

# *Introduction*

### **Introduction**

Dans les pays en voie de développement à climat aride, le rôle des eaux souterraines est d'autant plus important qu'elles constituent souvent la seule source d'approvisionnement en eau potable et en eau d'irrigation et sont donc vitales pour le développement de ces pays (BOUCHAHM *et al.*, 2008).

Toutefois, ces eaux sont très exposées à l'altération et sérieusement menacées par les différentes activités humaines. La croissance démographique accompagnée d'une urbanisation rapide cause de nombreuses perturbations pour les milieux naturels (GHAZALI *et al.*, 2013).

D'une manière générale, les eaux destinées à l'alimentation en eau potable, l'irrigation et à l'industrie proviennent principalement des eaux souterraines, mais la qualité physico-chimique de cette eau (salinité) dans certaines régions est le plus souvent médiocre. Cette salinité, dont une partie est d'origine géologique (primaire) s'accroît continuellement par une mauvaise gestion de la ressource en eau et en sol (salinisation secondaire). Cette salinisation de la ressource en eau est aggravée dans certains cas par une pollution le plus souvent d'origine domestique, ce qui rend l'eau impropre à la consommation, et parfois même à l'irrigation (KHADRAOUI, 2000). En effet, la qualité des eaux dans les différentes régions sahariennes, notamment, celles situées au centre et au nord de Ouargla, El Oued et Biskra sont de mauvaises qualité et leur teneur en sels peut dépasser les 7 g/l de résidu sec (région de Oued Righ). Dans la dernière région, cette forte teneur en sels conjuguée à la présence d'une nappe phréatique proche de la surface du sol, est l'une des principales causes de la salinisation et stérilisation des sols de plusieurs zones agricoles (SAKER, 2000).

Dans une oasis, les réserves d'eaux souterraines constituent le support indispensable de toute vie humaine, animale et végétale. Pour pallier l'absence des précipitations, les oasis irriguent leurs palmeraies par les eaux souterraines. Dans les oasis de Oued Souf, le procédé appliqué, consiste à mettre les racines du palmier dattier dans la nappe, en contact permanent avec l'eau, que les Soufis surnomment les Ghouts (REMINE, 2006). Ils ont subi une grande transformation ces trente dernières années et sont aujourd'hui menacées, d'une part, par le développement spatial de la ville et l'accroissement de la pollution qu'y en résulte, et d'autre part, par une nouvelle technique culturale orientée essentiellement vers la production intensive au détriment des préoccupations de la durabilité du système agricole Soufi (YVES, 2010).

Le captage des eaux des nappes profondes (continental intercalaire et complexe terminal) par des systèmes hydrauliques modernes (forages) a provoqué la remontée des eaux et l'inondation des Ghouts, entraînant ainsi l'asphyxie des palmiers dattiers (REMINE, 2004).

## ***Introduction***

L'espace agraire de la ville d'El-Oued est confrontée depuis quelques années à de nombreux problèmes hydro-édaphiques de différentes natures, touchant principalement le système agraire des palmeraies par le problème de la remontée des eaux de la nappe phréatique qui a envahi les parties basses de l'agglomération, notamment les Ghouts (KHOLLADI, 2005 ; DADDI BOUHOUN et al., 2011).

Cela s'est traduit par de nombreuses études agronomiques, notamment les ressources phœnicicoles et les mutations agraires des conduites agricoles (YEVS, 2010 ; SENOUSSI et al., 2012 ; BELLALI, 2009 ; LEGHRISSI, 2007). 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 et sa fluctuation piézométrique (KHECHANA et EL FADEL, 2012 ; REMINI, 2004 ; ZINE, 2009 ; BG, 2004 ; MILOUDI, 2008 ; KHECHANA, 2011 ; MESSEKHER et MENANI, 2010 ; KHECHANA et al 2010 ), ainsi que l'effet de la gestion des eaux en palmeraies sur l'hydro-halomorphie des sols (BOUSELSAL et KHERICI, 2014 ; DADDI BOUHOUN et al., 2011 ; REMINI, 2006 ; CÔTE, 1998 ;), ainsi que le rendement du palmier dattier (YEVS, 2010 ; KACHHA, 2009 ; ).

Toutes ces contraintes ont poussé la FAO à les prendre en charge en vue de sauvegarder et promouvoir ce système, comme étant un élément essentiel d'un patrimoine agro-culturel mondial, où elle a pris en 2002 une initiative destinée à assurer la conservation et la gestion évolutive des Systèmes Ingénieurs du Patrimoine Agricole Mondial (SIPAM). Ces approches de recherche ont permis d'apprécier les problèmes et le niveau de dégradation de l'environnement agraire oasien dans la vallée de Oued Souf, notamment ceux dus à la gestion des eaux conventionnelles et non conventionnelles.

Ces recherches ont permis également d'étudier l'environnement hydro-édaphique et d'estimer généralement le niveau de dégradation de certaines Ghouts, en l'occurrence l'ancienne palmeraie de la vallée de Oued Souf. Elles montrent que la vallée de Oued Souf 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 sur l'estimation de l'effet de l'eau sur les Ghouts d'une façon générale dans l'espace et non spécifiques à chaque palmeraie. Ils ne montrent pas aussi l'impact des contraintes socio-économiques et du processus d'urbanisation des Ghouts 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 la mutation agraire, le délaissement des Ghouts vers l'investissement de la mise en valeur (enquêtes

## ***Introduction***

menées auprès des administrations concernées et des citoyens), montrent la comparaison entre les deux systèmes (YEVS, 2010 ; SENOUSSE et *al*, 2012).

Mais ces études ne montrent pas l'impact de l'urbanisation et/ou la gestion des eaux sur le deux systèmes.

C'est dans ce contexte, que s'intègre notre travail de recherche. Il se propose d'étudier la gestion des eaux et son impact sur les systèmes agraires d'El-Oued (système traditionnel et système moderne), ainsi que l'incidence de l'urbanisation et les problèmes socio-économiques sur les Ghouts, d'une part, et la gestion des eaux, d'autre part.

L'approche méthodologique adoptée consiste à établir dans un premier temps, un diagnostic spatial agro-environnemental par la description des systèmes agraires, de l'espace agro-urbain et de la gestion des eaux à El-Oued. Dans un second temps, nous avons essayé d'évaluer le niveau de dégradation des systèmes agraires par l'étude des contraintes hydro-édaphiques et leurs impacts agricoles. Enfin, nous avons tenté 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 Oued Souf, particulièrement les potentialités hydro-édaphiques et agricoles de la vallée de Oued Souf ainsi que la relation entre l'eau et l'espace agricole ;
- 2. Matériel et méthodes** : elle expose les motifs de choix de la vallée de Oued Souf et de l'espace agricole d'El-Oued et des sites expérimentaux, ainsi que l'approche méthodologique adoptée ;
- 3. Résultats et discussion** : elle dévoile et interprète les résultats sur la gestion agro-environnementale et évalue la dégradation hydro-édaphique à El-Oued.

*Synthèse*  
*bibliographique*

## **Chapitre I. Présentation de la région de Oued Souf**

### **1. Situation géographique**

La zone d'étude est située dans la wilaya d'El Oued, l'une de principales oasis du Sahara septentrional algérien. Elle est située au sud-est de l'Algérie, à une distance de 650 km de la capitale, au nord-est du Sahara septentrional. Elle occupe une superficie de 44.586 km<sup>2</sup>, et est limitée par les wilaya de Biskra, Khenchela et Tebessa au nord, au nord-est par la wilaya de Djelfa, au sud et sud-est par la wilaya de Ouargla, et à l'est par la frontière tunisienne. Traditionnellement, les limites des oasis du Souf sont l'Erg oriental jusqu'aux abords du Chott Melghir, où s'étire une masse de palmeraies limitée à l'Est par la frontière tunisienne et à l'ouest par l'immense oasis de l'Oued-Righ. Les limites de cette oasis atteignent la frontière libyenne au sud (VOISIN, 2004).

Cette région se trouve à une altitude moyenne de 80 m, accusant ainsi une diminution notable du sud au nord pour être à 25 m au-dessous du niveau de la mer dans le chott Melghir qui occupe le fond de l'immense bassin du Bas Sahara. Elle possède des dunes qui dépassent parfois les 100 m de hauteur (A.N.R.H., 2009).

Selon O.N.S (2013), la région d'étude s'étend sur 18 communes (El Oued, Bayadha, Robbah, Kouinine, Guemar, Taghzout, Hassani Abdelkrim, Debila, Sidi Aoun, Magrane, Hassi Khelifa, Reguiba, Mihouensa, Oued Alenda, Oglia, Nakhla, Ourmes et Trifaoui), avec une superficie d'environ 3500 km<sup>2</sup>. Elle est limitée par les coordonnées géographiques suivantes : Longitudes 05°30' et 07°00' Est et Latitudes 35°30' et 37°00' Nord (Fig. 1). Elle tire son originalité de son architecture typique, caractérisée par les coupoles et par ses palmeraies plantées dans les Ghouts.

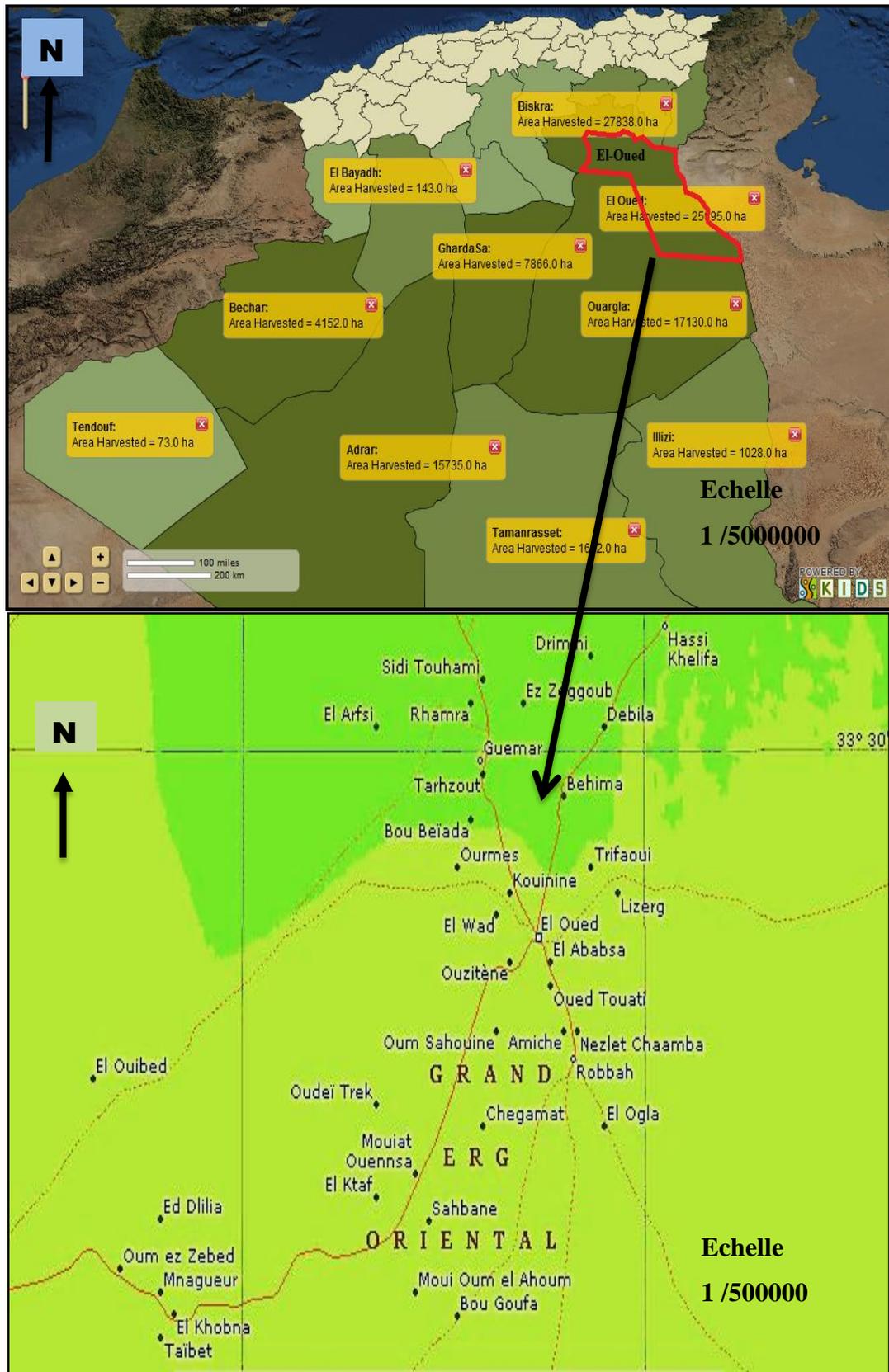


Figure 1. Localisation géographique de la région d'étude (GOOGLE earth, 2016)

## 2. Climat

En général, le Sahara est caractérisée par un déficit hydrique dû à la faiblesse des précipitations, à l'évaporation intense, aux fortes températures et à la grande luminosité (TOUTAIN, 1979).

Oued Souf présente un climat désertique avec un hiver froid et un été chaud. 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. Celle-ci y contraste en saison froide avec l'humidité du sol (NADJAH, 1971).

L'analyse des données climatiques enregistrées durant 10 ans, de 2005 à 2014 par l'office national de météorologie à Guemar au nord de la ville de Oued Souf, nous ont permis d'étudier les paramètres climatiques suivants :

**Tableau I.** Données climatiques moyenne de la région de Oued Souf entre 2005 et 2014 (O.N.M. El-Oued Guemar, 2015)

Mois	Paramètres climatiques							
	Températures (°C)			Humidité (%)	Vents (km/h)	Précipitations (mm)	Evaporation (mm)	Insolation (heure)
	Min	Max	Moy					
<b>Janvier</b>	5,23	17,61	11,42	62,44	17,27	20,88	79,06	236,29
<b>Février</b>	6,30	19,32	12,81	54,08	17,36	1,32	96,22	237,15
<b>Mars</b>	10,52	24,05	17,28	48,58	18,09	7,21	142,71	255,86
<b>Avril</b>	14,69	28,62	21,65	45,85	19,64	11,58	206,26	277,74
<b>Mai</b>	18,81	33,33	26,07	40,52	18,82	1,65	255,73	307,98
<b>Juin</b>	23,57	38,54	31,06	36,29	18,30	0,99	299,29	341,22
<b>Juillet</b>	27,09	42,15	34,62	33,42	15,60	0,16	333,95	358,89
<b>Aout</b>	26,64	41,06	33,85	37,35	17,73	2,65	307,93	332,93
<b>Septembre</b>	22,63	35,47	29,05	47,56	17,10	7,49	199,98	265,51
<b>Octobre</b>	17,65	30,61	24,13	53,60	15,44	7,36	146,75	251,97
<b>Novembre</b>	10,21	22,97	16,59	57,78	14,00	6,93	98,33	241,83
<b>Décembre</b>	6,05	17,92	11,98	63,42	15,27	7,73	78,65	220,06
<b>Moyenne</b>	15,78	29,30	22,54	48,41	17,05	75,95*	2244,85*	277,29

\* Cumulé annuel

## **2.1. Températures**

D'après le tableau I, la région de Oued Souf est caractérisée par des températures très élevées. La température moyenne annuelle est de 22,54 °C par mois. Les données des températures mensuelles relevées sous abri montrent que le mois le plus chaud est juillet avec une température moyenne de 34,62 °C, un maxima de 42,15 °C et un minima de 11,42 °C

La période qui s'étale du mois de novembre au mois d'avril correspond à la période froide avec un minimum durant le mois de janvier de (11,42 °C), alors que la période chaude commence à partir du mois de mai et s'étale jusqu'au mois de septembre (Tabl.I).

## **2.2. Précipitations**

Dans le Souf, les précipitations sont très faibles et irrégulières, avec une moyenne annuelle de l'ordre de 75,95 mm/an (Tabl. I). La pluviométrie est assez variable, fine à torrentielle, très élevée au mois de janvier et avril. Les précipitations restent au-dessous des besoins des cultures et l'irrigation reste indispensable.

## **2.3. Vents**

Selon le tableau I, nous remarquons que les vents sont fréquents durant toute l'année. Les vitesses les plus élevées sont enregistrées durant la période allant de mars jusqu'à août, avec un maximum de 19,64 km/h durant le mois d'avril.

Généralement, c'est au printemps que les vents sont les plus forts et sont chargés de sable, avec une vitesse pouvant aller de 14 à 19 km / h. Ces vents violents peuvent produire des effets préjudiciables sur les cultures de la région, et engendrer une dynamique érosive éolienne intense. Pour échapper à cette situation dégradante, il serait utile d'envisager l'installation d'une protection climatique, en vue de réduire les effets des conditions climatiques sévères.

## **2.4. Evaporation**

L'évaporation est importante, pouvant atteindre atteignant à Oued Souf une ampleur considérable, car ce phénomène physique rencontre ici les conditions nécessaires optimales : la moyenne annuelle est de 2244,85 mm, le maximum est atteint au mois de juillet, avec une moyenne de 333,95 mm, avec des minima enregistrés durant mois de décembre avec une valeur de 78,65 mm (Tabl. I).

L'évaporation est favorisée par les fortes températures et les vents desséchants fréquents. Elle correspond à plus de 29 fois la pluviométrie annuelle. Cette situation traduit un écart très important entre l'évaporation et les précipitations, ce qui engendre un déficit hydrique considérable, justifiant les forts besoins en eau des cultures.

## 2.5. Humidité de l'air

L'humidité de l'air est faible dans la région du Souf. La moyenne annuelle est de l'ordre de 48,41 % (Tabl. I). Elle varie sensiblement en fonction des saisons de l'année.

En effet, pendant l'été, elle chute jusqu'à 33,42% au mois de juillet, sous l'action d'une forte évaporation et des vents chauds; alors qu'en hiver, elle s'élève et atteint une moyenne maximale de 63,42 % au mois de décembre (Tabl. I).

Au vu de ce qui précède, on remarque que l'évapotranspiration est beaucoup plus importante que l'humidité de l'air dans la région d'étude. Cela se traduit par des besoins en eau des cultures croissants.

## 2.6. Insolation

A cause de la faible nébulosité de l'atmosphère, la quantité de lumière solaire est relativement forte, ce qui a un effet desséchant, tout en augmentant la température (OZENDA, 1983).

Les durées d'insolation sont évidemment très importantes au Sahara et varient assez notablement d'une année à l'autre, et même suivant les périodes de l'année envisagées (DUBIEF, 1963). D'après le tableau I, la durée moyenne d'insolation est d'environ 277,29 heures, avec un maximum de 358,89 heures en juillet, et un minimum de 220,06 heures en décembre. En effet, les fortes insolutions dans la région de Oued Souf contribuent à l'augmentation considérable de l'évapotranspiration, justifiant des besoins en eau importants des cultures, qui doivent être comblés par l'irrigation.

## 2.7. Classification climatique

Pour classer le climat de Oued Souf, nous avons illustré le degré d'aridité par le diagramme Ombrothermique de GAUSSEN (1953 ; in DADDI-BOUHOUN, 2010) et déterminé l'étage bioclimatique selon le Climagramme d'EMBERGER par le calcul du quotient pluviothermique ( $Q_3$ ) adapté pour l'Algérie selon la formule de STEWARD (1969 ; in SLIMANI, 2006), qui se présente comme suit:

$$Q_3 = 3,43 P / M-m$$

Avec :

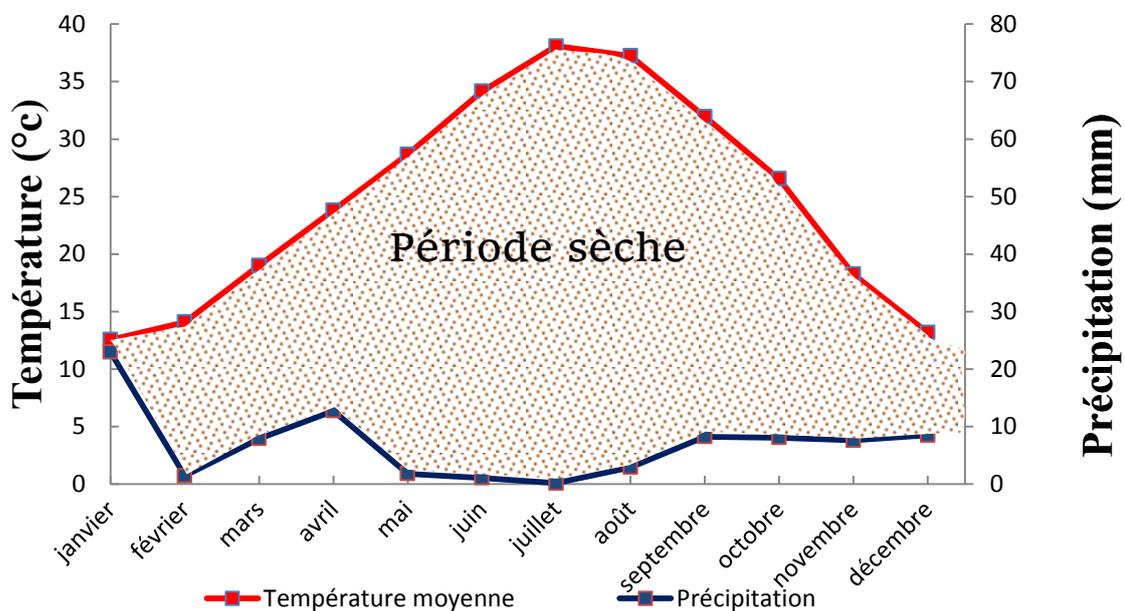
$Q_3$  : quotient pluviothermique d'EMBERGER

$P$  : pluviométrie moyenne annuelle en mm

**M** : moyenne des maxima du mois le plus chaud en °C

**m** : moyenne des minima du mois le plus froid en °C

Le diagramme Ombrothermique de GAUSSEN (Fig. 2) montre que la sécheresse est permanente durant toute l'année à cause des faibles précipitations et des températures élevées. Oued Souf présente un quotient pluviothermique ( $Q_3$ ) de 7,05. Elle est située dans l'étage bioclimatique saharien ou hyper-aride à hiver doux, comme Ouargla et Tindouf (Fig. 3).



**Figure 2.** Diagramme Ombrothermique de GAUSSEN pour Oued Souf (2005-2014)

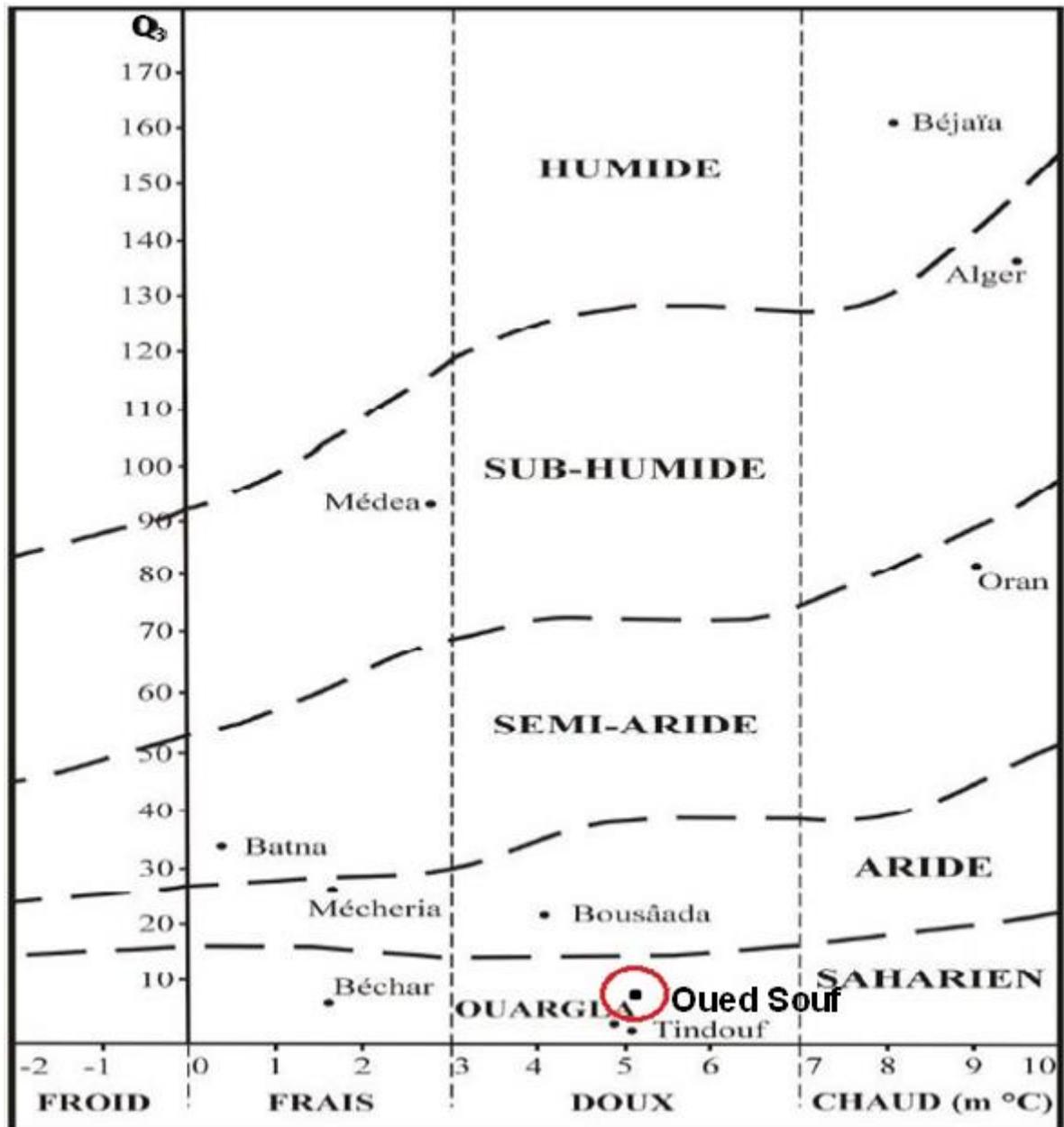


Figure 3. Etage bioclimatique de Oued Souf

### 3. Topographie

La vallée du Souf est caractérisée par une topographie plane, monotone et sans exutoire (MESSEKHER et MENANI, 2010). Selon BOUBIR et *al* (2009), le site où se trouve la ville d'El Oued est caractérisé topographiquement par une faible pente (Fig. 4). Par conséquent, cette situation crée des problèmes d'évacuation des eaux, notamment dans la ville d'El Oued.

Cette région sablonneuse, a une altitude moyenne de 80 m, possédant des dunes qui dépassent parfois les 100 m de hauteur ; et le plus « haut sommet » de Oued Souf est une dune de 127 m située à 2 km au sud d'Amiche, accusant une diminution notable du sud au nord

pour être de 25 m au-dessous du niveau de la mer dans le chott Melghir, qui occupe le fond de l'immense bassin du Bas Sahara (A.N.R.H, 2009).

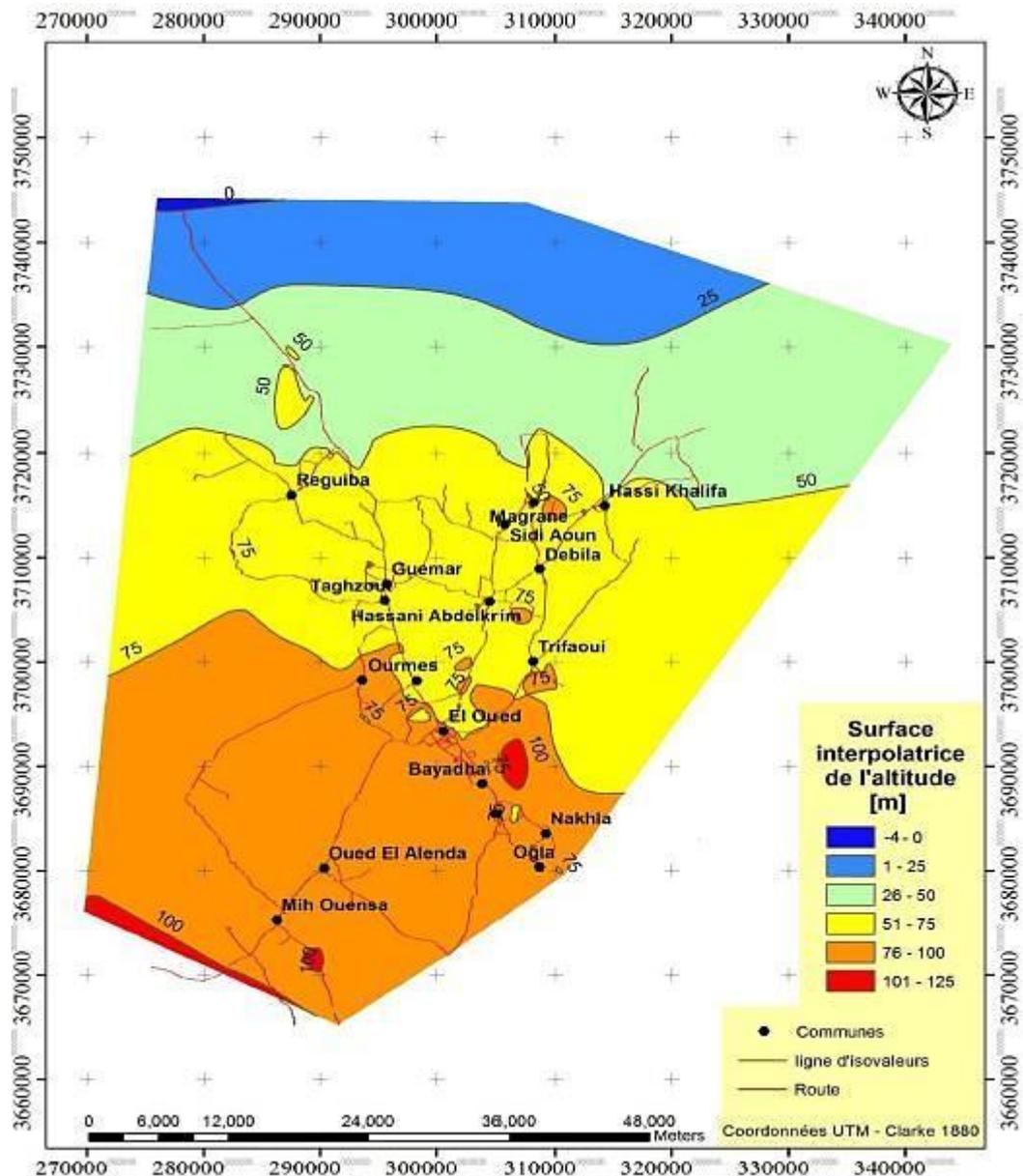


Figure 4. Carte topographique de vallée d'El-Oued (ANRH, 2009)

#### 4. Géologie

Selon DREUX (1980), les facteurs édaphiques d'une région influent sur la variabilité écologique des communautés biologiques. Ils constituent toutes les propriétés physico-chimiques d'un sol. En d'autres termes, ils concernent les caractéristiques géologiques et lithologiques qui jouent un rôle important dans la pédogénèse. La région de Oued Souf se situe dans une mer de sable, de couleur jaune ocre, issue de dépôts quaternaires.

Dans la région de Oued Souf, les conditions tectoniques et paléogéographiques ont permis la mise en place d'une série sédimentaire à caractère lithologique divers et variable

dans le temps, plutôt calme, régulière et homogène dans l'espace (Fig. 5). Ces caractéristiques ont favorisé la formation dans la région du Oued Souf et dans tout le Bas Sahara plusieurs terrains aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès (O.N.A, 2003).

D'après GUENDOUIZ et al (1992), le bassin oriental du Bas Sahara, entre la dorsale du M'Zab et les reliefs du Dahar, les formations post - turoniennes constituent un système aquifère généralement indépendant du Continental Intercalaire. Il se caractérise par les formations géologiques suivantes :

**Secondaire** : il est constituée des plusieurs couches dont ; Barrémien, Aptien, Albien, Vraconien, Cénomaniens, Turonien et Sénonien.

**Tertiaire** : il est constitué par deux couches Eocène et Miopliocène.

**Quaternaire** : il est représenté par des dunes de sable récentes. On y trouve des grès beiges ou blanchâtres, des sables fins à moyens, de couleur beige et de paillettes de gypse. Les terrains quaternaires représentent la couverture superficielle qui se localisent surtout au niveau des dépressions, et couvrent la plus grande extension au niveau du Bas Sahara, et sont formés d'un matériel alluvial et éolien. Les nappes phréatiques sont contenues généralement dans ces niveaux.

D'après l'étude des conditions climatiques et les formations géomorphologique de cette région la pédogenèse n'est pas très active en raison de la faible pluviosité et d'un couvert végétal très faible. Elle est fortement influencée par la nature lithologique des éléments sous-jacents.

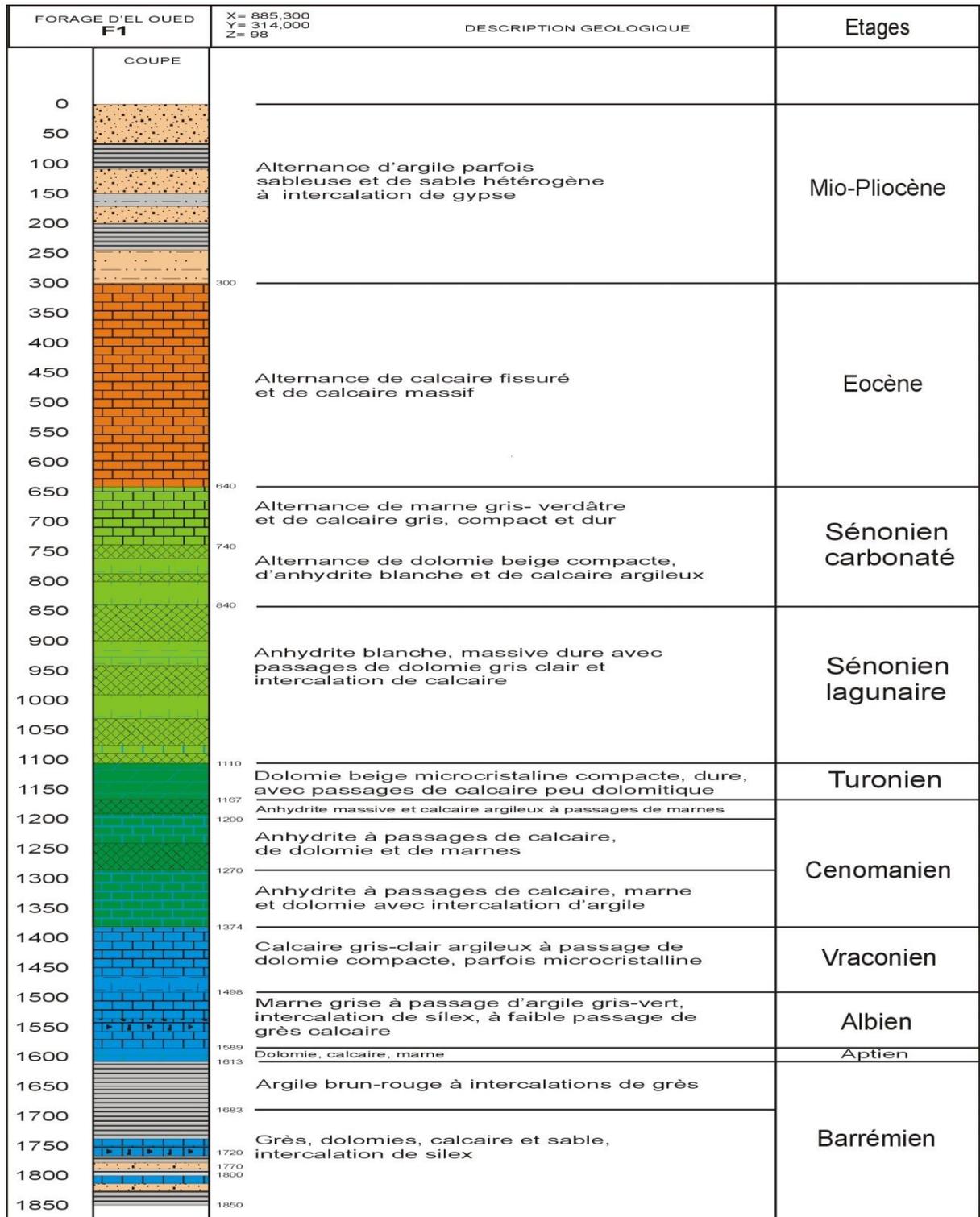


Figure 5. La litho stratigraphique du forage F1 (A.N.R.H., 1993)

### 5. Hydrogéologie

L'eau souterraine constitue la principale source d'eau dans la région de Oued Souf. Elle dispose d'un potentiel hydrique très important constitué de trois grands ensembles aquifères, qui sont les nappes phréatiques, complexe terminal et continental intercalaire.

## 5.1. Différents types de nappes souterraines

### 5.1.1. La nappe phréatique

L'eau phréatique est partout dans la région de Oued Souf. Elle repose sur le plancher argilo-gypseux du Pontien supérieur. La zone d'aération qui sépare la surface de cette eau de la surface du sol, ne dépasse pas une distance moyenne verticale de plus de 40 m de sable non aquifère (D.S.A., 2005).

L'épaisseur de la nappe phréatique contenue dans les sables dunaires quaternaires est de l'ordre de quelques mètres à El Oued (D.H.W., 2007).

COTE (1998), rapporte que la nappe phréatique dans la région du Souf est principalement alimentée par les eaux utilisées par les populations (les eaux d'irrigation, industrielles et domestiques) et la source absolue de ces dernières est les nappes profondes du Complexe Terminale et du Continentale Intercalaire, et exceptionnellement les eaux de pluie.

Le sens d'écoulement va en général du Sud vers le Nord (KHOLLADI, 2005).

Vu son importance, cette nappe représentait la source principale d'irrigation d'importantes palmeraies, elle est surtout exploitée par des puits traditionnels qui sont en nombre de 10000 puits (BONNARD et GARDEL, 2001).

La surface piézométrique n'est pas régulière et elle présente des points hauts dans les zones d'alimentation représentées par les agglomérations et les plantations irriguées à partir des nappes profondes et des points bas dans les zones de prélèvement par évaporation des surfaces d'eau libre (Chott et Ghouts inondés) et par évapotranspiration de la végétation (D.R.E., 2013).

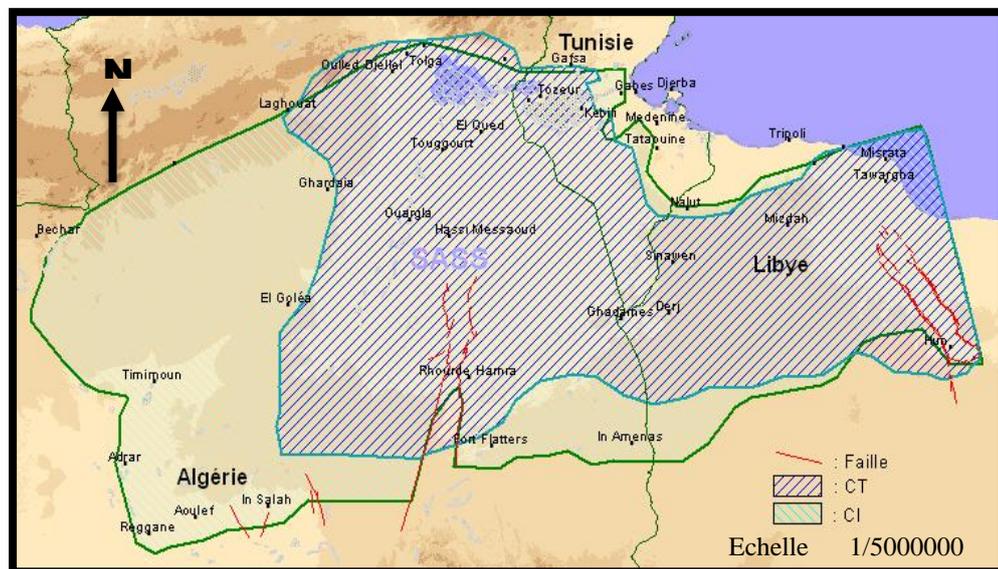
### 5.1.2. La nappe du complexe terminal

Les formations du complexe terminal sont très hétérogènes. Elles englobent les assises perméables du Sénonien calcaire et du Miopliocène. En fait, il est possible d'y distinguer trois ensembles aquifères principaux, séparés localement par des horizons semi-perméables ou imperméables. Ces trois ensembles sont représentés par les calcaires et dolomites du Sénonien et de l'Eocène inférieur par des sables, des grès et des graviers du Pontien, et par les sables du Miopliocène. La profondeur du Complexe Terminal est comprise entre 100 et 600 m, et sa puissance moyenne est de l'ordre de 300 m (PAEPEGAEY et *al.*, 2011).

Elle est exploitée par 129 forages dans toute la wilaya (Fig. 6). D'après l'inventaire des forages et les enquêtes sur les débits extraits de la wilaya d'El-Oued, certains d'entre-eux présentent un léger artésianisme dans la partie nord (A.N.R.H, 1999).

### 5.1.3. La nappe du continental intercalaire

La formation du continental intercalaire est représentée par des dépôts continentaux sablo-gréseux et sablo-argileux du Crétacé inférieur. C'est un système aquifère multi-couches dont la profondeur atteint localement 2000 m, et dont la puissance varie entre 200 et 400 m. Elle est exploitée par deux forages artésiens pour l'A.E.P d'El-Oued (1850 m pour le forage F1). La pression en tête de forage est de 22 à 23 bars et le débit artésien de 222 l/s. La recharge actuelle de la nappe du continental intercalaire s'effectue par infiltration des précipitations sur les bordures du bassin, tout au long des oueds qui descendent des massifs montagneux, notamment de l'Atlas saharien au Nord-Ouest et du Dahar à l'Est (Fig. 6). Des ruissellements en bordures des plateaux peuvent également participer à l'alimentation de la nappe sur le bord du Tademaït et sur le bord du Tinhert (SAIBI, 2003).



**Figure 6.** Carte des ressources en eaux aquifères du CT et du CI (S.A.S.S., 2016)

### 5.2. Remontée des eaux phréatiques

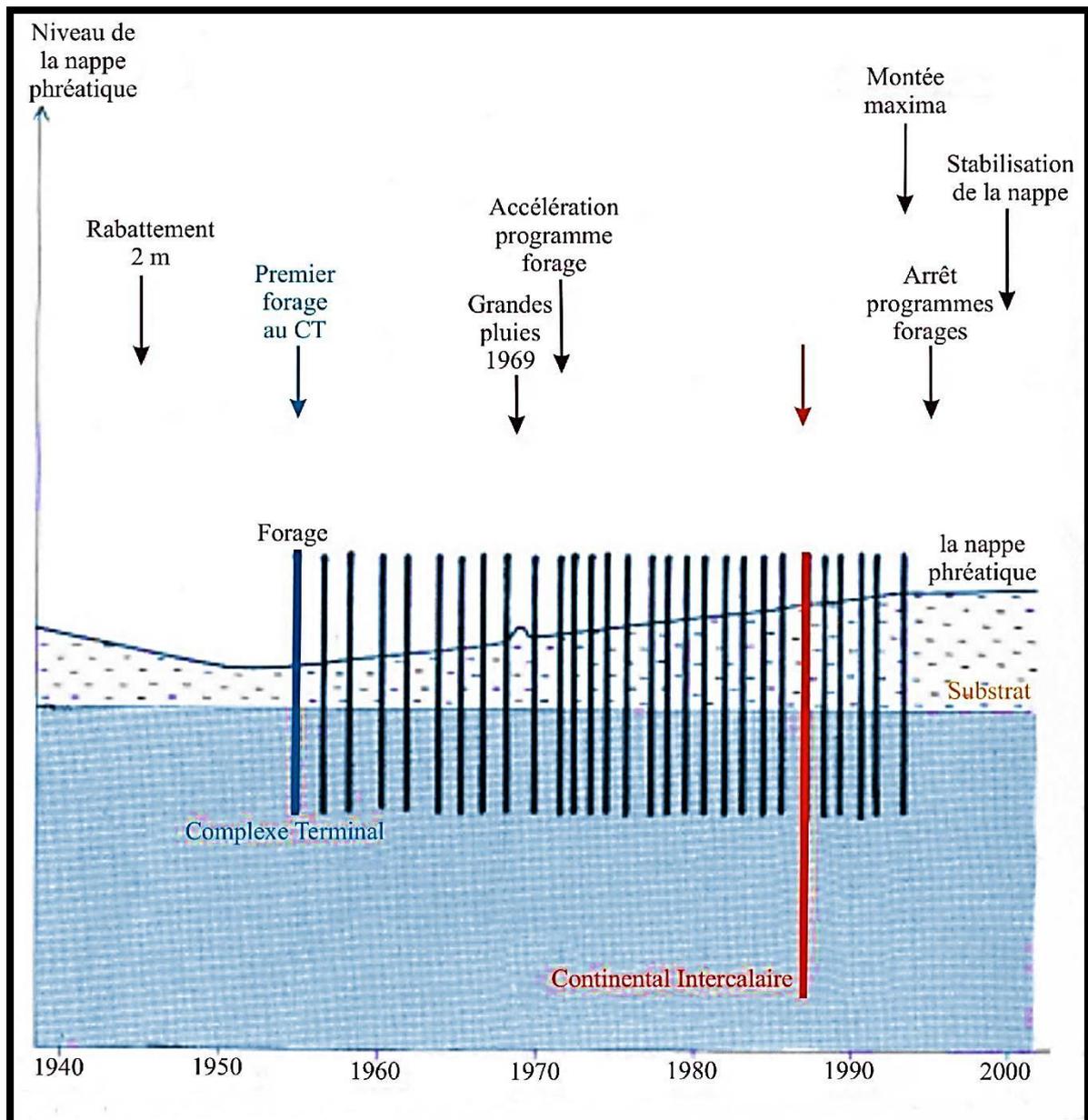
Compte tenu de la situation en matière de mobilisation et d'exploitation des ressources hydriques, conjuguée à une mauvaise gestion des eaux dans cette région ont conduit au problème de la remontée de la nappe phréatique.

Dans ce contexte, nous présentons un aperçu historique sur la remontée des eaux phréatiques dans la région de Oued Souf.

Selon COTE (1998), les premiers signes de la remontée de la nappe phréatique sont visibles dans les Ghouts, car la profondeur de l'eau y est, en temps normal, de l'ordre de 1 à 2 m. Une remontée de 1,5 m aura comme conséquences l'apparition de traces d'humidité. Au-dessus, on observera l'apparition de roseaux puis d'eaux stagnantes. En 1993 le développement de plusieurs zones présentant des signes de remontée, tels que Ghouts

humides, Ghouts envahis de roseaux ou Ghouts ennoyés. Ce sont, de la plus petite à la plus grande, les zones de : Mihouensa, Oued Alenda, Reguiba, Hassani Abdelkrim, Z'Goum, Ourmes, Douera, El Oued, Oglâ et Guemmar.

Le phénomène de remontée de la nappe phréatique dans la région de Oued Souf est complexe et s'étend pratiquement sur un demi-siècle. D'après les données contenues dans les rapports de MARC COTE (1993-2001), complétées par ceux du B.N.E.D.E.R., (1992-1993 et 1999) ; A.N.R.H., (1993) ; A.N.R.H., (1994), l'inventaire des forages, et l'enquête sur les débits (A.N.R.H., 1999), on peut illustrer l'historique à travers la coupe schématique (Fig. 7) suivant :



**Figure 7.** Comportement de la nappe de Oued Souf dans le temps (COTE, 2006)

## **6. Pédologie**

La pédologie est la science du sol qui s'occupe de l'étude de l'origine, des constituants, des propriétés et de la classification des sols. Elle entre dans le cadre des formations géomorphologiques. La formation du sol est due à l'action combinée sur la roche, des agents atmosphériques du climat et de la couverture végétale (OZENDA, 1982).

La région de Oued Souf est caractérisée par des sols légers, à prédominance sablonneuse, à structure particulière. Ces sols sont connus par de faibles taux de matière organique, une forte salinité, un pH alcalin et une bonne aération (E.N.A.G.E.O., 1993).

L'autre aspect est appelé localement « Shounes » (plusieurs Sahane), où la surface du sol est parfois caillouteuse avec des croûtes gypseuses entourées par de hautes dunes (Ghroud) qui leur donnent ainsi une forme de cratères (ACHOUR, 1995).

Les résultats de l'étude géophysique de la terre de Oued Souf permettent de caractériser quatre étages (E.N.A.G.E.O., 1993) :

- Terrain superficiel, d'une épaisseur variable, allant de 30 à 50 m, correspondant aux sables dunaires ;
- Terrain ayant une épaisseur variable, allant de 50 à 80 m, correspondant aux sables argileux et aux argiles sableuses ;
- La troisième couche n'existe pas dans toute la région, son épaisseur est plus importante et varie entre 5 à 90 m, elle correspond aux argiles sableuses ;
- La quatrième couche correspond au substratum argileux.

## **7. Agriculture**

Selon B.N.E.D.E.R. (1992), l'activité principale dans cette région a longtemps été basée sur l'agriculture, et notamment l'exploitation du palmier dattier, en utilisant une méthode originale : les Ghouts, sortes de cratères creusés et perpétuellement entretenus à main d'hommes, dont la profondeur était telle que les racines des palmiers qu'on y plantait trouvaient l'eau de la nappe phréatique à la profondeur optimale. D'où ce paysage caractéristique de la vallée du Souf. Le système agricole dans les oasis, est constitué par un groupe d'exploitations qui possèdent de faibles superficies. Celles-ci sont travaillées par les propriétaires eux-mêmes, aidés souvent par une main d'œuvre salariale.

Ce système d'exploitation oasien est caractérisé par :

- Une économie de type familial ;
- Une culture basée essentiellement sur la phœniciculture, et une place assez importante réservée aux cultures sous-jacentes ;

- Une partie de la production dattier est vendue, afin de dégager un supplément de revenu.

L'espace agricole oasien est caractérisé par deux types de systèmes ; un ancien et un nouveau, qui se différencient par les moyens et les techniques de production mises en œuvre. (LEGHRISSE, 2007).

### **7.1. L'ancien système agricole du Souf**

Selon le travail de (LEGHRISSE, 2007). La palmeraie traditionnelle du Souf est un ensemble de micropropriétés ou petites exploitations, sous forme d'entonnoirs (Ghouts), et dont les superficies sont réduites. Ce sont généralement des exploitations familiales, ayant pour objectif principal l'autosubsistance.

Actuellement, la plupart de ces exploitations sont mal entretenues, envahies de mauvaises herbes, inondées suite au phénomène de la remontée de la nappe phréatique. Ce phénomène a réduit une grande partie de la superficie agricole, utilisée à l'état Ghout, et qui progresse sans cesse (LEGHRISSE, 2007).

### **7.2. Le nouveau système agricole du Souf**

Face aux contraintes de ce système, la colonisation crée de nouveaux espaces dans le cadre de la mise en valeur agricole a donné naissance à une nouvelle forme d'organisation, caractérisée par une spécialisation parfois monoculturelle ; céréalière, fourragère ou maraîchère et/ou donc le palmier dattier ne constitue plus la culture principale (BOUAMMAR, 2000).

Cette agriculture dite nouvelle est fondée essentiellement suite à la loi 18/83 de l'accession à la propriété foncière agricole. Cette loi touche les rapports entre l'homme et l'objet de travail qui est la terre.

Au Souf, cette loi se traduit par :

- l'attribution de terres aux fellahs ;
- une grande plantation des cultures maraîchères sous pivot (pomme de terre, fève, petit pois...etc.) ;
- renouvellement des vergers phœnicicoles en adaptant un nouveau système d'irrigation économiseur d'eau.

## **Chapitre II. L'eau et les systèmes agricoles au Sahara**

### **1. Concepts de base**

#### **1.1. Oasis**

Les oasis ont été définies par Hérodote vers 450 avant J.C comme lieu habité au milieu du désert. Elles ont joué à travers l'histoire, différentes fonctions d'escale, d'échange, de refuge et de production (TOUTAIN et al., 1990).

Pour KESSAH (1994), le mot oasis se définit comme étant « un espace agricole irrigué, cultivé intensivement. Situé dans le domaine aride et semi-aride, doté d'un système de production hautement productif. L'oasis se présente sous forme de jardins, portant des arbres dont principalement le palmier dattier, ainsi que d'autres cultures intercalaires variées ».

Par ailleurs, la définition reprise par LACOSTE (1985; in BOUMADDA, 2013), les oasis peuvent se définir comme des espaces cultivés intensivement dans un milieu désertique ou fortement marqué par l'aridité.

#### **1.2. Exploitation agricole**

Une exploitation agricole est une unité économique de production agricole soumise à une direction unique et comprenant tous les animaux qui s'y trouvent, et toute la terre utilisée, entièrement ou en partie, pour la production agricole. L'exploitation peut contenir un ou plusieurs blocs, situés dans une ou plusieurs régions distinctes, ou dans une ou plusieurs régions territoriales ou administratives, à condition qu'ils partagent les mêmes moyens de production, tels que la main-d'œuvre, les bâtiments agricoles, les machines ou les animaux de trait utilisés sur l'exploitation (F.A.O., 1996).

C'est un lieu où est combiné un ensemble de facteurs de production (capital foncier, capital d'exploitation et travail), en vue de réaliser une ou plusieurs productions (RAIMBAULT, 1994).

Une exploitation agricole est une "unité de production dont l'activité principale consiste à produire des organismes végétaux ou animaux" (LAROUSSE AGRICOLE, 1984).

#### **1.3. Systèmes agricoles**

Pour ICRA (1994), « un système agricole est l'expression spatiale de l'association des productions et des techniques mises en œuvre par une société en vue de satisfaire ses besoins. Il exprime en particulier l'interaction entre un système bio-écologique représenté par le milieu naturel et un système socio-culturel, à travers des pratiques issues notamment de l'acquis technique ».

Pour MAZOYER (1985; in HOUICHITI, 2009), « un système agricole, c'est d'abord un mode d'exploitation du milieu historiquement constitué et durable, un système de forces de

production adapté aux conditions bioclimatiques d'un espace donné et répondant aux conditions et besoins sociaux du moment ».

JOUVE et TALLEC (1994 ; in OMEIRI, 2008), un système agricole est le produit de l'histoire d'une société rurale, au cours de laquelle se sont façonnés des paysages et ont été définies des règles techniques, économiques et sociales concernant les modes d'exploitation de son milieu ».

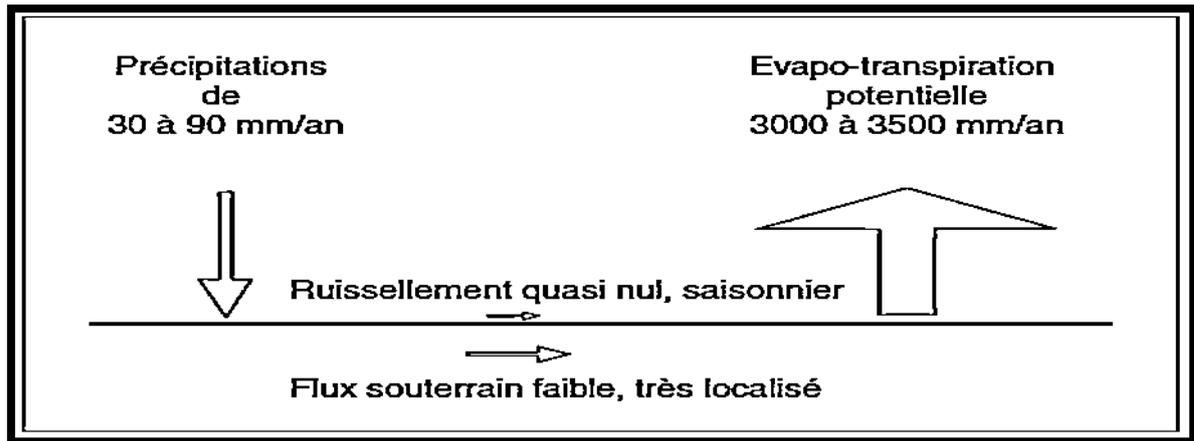
En résumé, à travers ces différentes définitions, il est facile d'identifier les mots clés, les dénominateurs communs qui fondent l'identité de la notion de système agricole, à savoir : espace, société, interactions entre facteurs physiques, techniques et humains.

L'étude d'un système agricole implique donc différents niveaux d'analyses (BOUAMMAR, 2000):

- L'écosystème cultivé qui dépend des transformations historiques du milieu et des techniques disponibles ;
- Les forces productives qui se caractérisent par les moyens de production (outillage, matériel génétique, équipements lourds, consommation intermédiaire,...) et la force de travail qui les met en œuvre ;
- Les relations de production et d'échanges, rapport de propriété, relations marchandes, répartition du travail entre groupes sociaux ;
- Les institutions idéologiques, politiques qui assurent la reproduction sociale du système agricole.

## **2. Systèmes agricoles au Sahara**

La région saharienne se caractérise principalement par l'aridité de son climat et par la faiblesse et l'irrégularité des précipitations (Fig. 8). L'agriculture saharienne est donc soumise à des conditions d'exploitation extrêmes qui rendent indispensable l'utilisation du système d'irrigation mécanique ou la mise en place d'un système d'irrigation naturel tel celui du Ghout (CHEYLAN, 2005).



**Figure 8.** L'hydraulique saharienne (CHEYLAN, 2005)

Selon le P.D.G.R.S. (1999), les oasis se sont installées en captant de manière originale les couches superficielles des grands aquifères. On peut les classer en quatre grands systèmes :

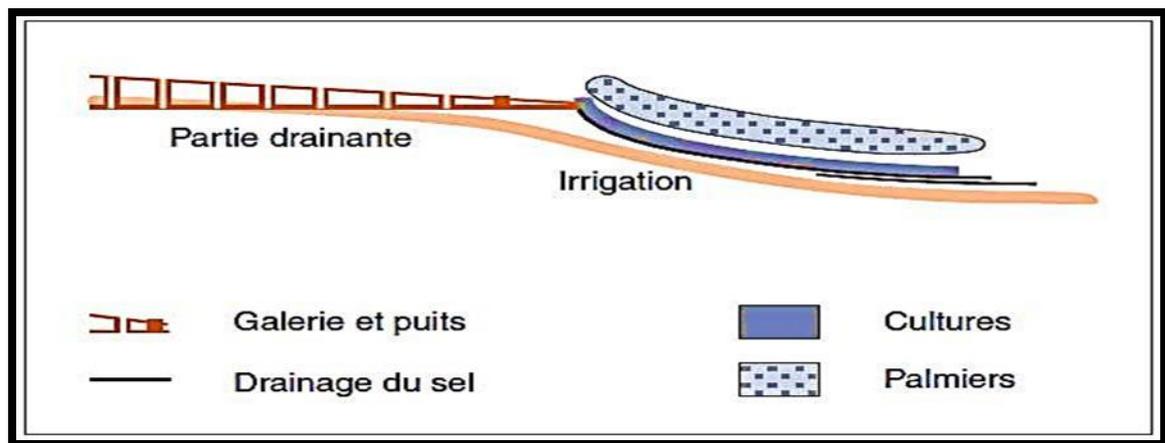
- 1) **Les Foggaras** : probablement dérivées de l'approfondissement de sources en voie de tarissement. Ces galeries ont vu leur multiplication dans les affleurements de la nappe albienne dans le Touat, le Gourara et le Tidikelt. Elles alimentent encore aujourd'hui les palmeraies de ces régions. Un système très élaboré de seguias permet d'irriguer par gravité plusieurs milliers d'hectares de jardins ;
- 2) **Les sources** : elles ont irrigué très longtemps les palmiers de Tolga (Ziban), même si aujourd'hui leur débit est fortement décroissant. Il en existe également sur le flanc ouest du grand Erg occidental, et celle des Béni Abbès est connue pour son abondance et sa qualité ;
- 3) **Les puits artésiens** : qui ont alimenté les oasis de l'Oued Righ et de Ouargla ; où ils trouvaient l'eau à une cinquantaine de mètres dans le Mio-pliocène, rendue jaillissante par la disposition en cuvette. Cet artésianisme est aujourd'hui en voie de disparition ;
- 4) **Les Ghouts** : quand l'eau n'est pas jaillissante, on évite le pompage en plantant les palmiers dans la zone de remontée capillaire de la nappe phréatique. Cette technique a été portée à son plus grand perfectionnement dans le Souf, mais on la retrouve au nord de Ouargla ou la marge sud du grand Erg Occidental.

### 2.1. Exploitation des eaux des Foggaras

Selon SALEM (1988), La foggara est un système de captage horizontal des eaux souterraines. Connue sous le nom de Qanat ou Kariz en Iran; elle s'appelle foggara en Algérie et kettara au Maroc. Elle est d'origine perse. En Algérie, la foggara s'est développée dans les régions Sud-Ouest du pays, notamment à Adrar, au Touat et à Gourara où les conditions hydrogéologiques et topographiques sont idoines pour ce type de captage. Il est constitué

d'un chapelet de sebkha, alimentée par des exutoires naturels de la nappe, affleurant à la surface du sol.

Selon ZELLA et SMADHI (2006), les foggaras sont représentées par un ensemble de galeries souterraines réalisées, même l'aquifère qui ont pour rôle de drainer les eaux par gravité vers un endroit bas où l'eau émerge à la surface du sol. C'est à ce niveau que l'oasis est installée (Fig. 9). Selon CHAROY et TORRENT (1990), Le nombre de foggaras actives en Algérie s'élève à 572, totalisant 1377 km et un débit global de 2942 l/s susceptible d'irriguer 3000 ha.



**Figure 9.** Schéma d'une Foggara à vue latérale (CHEYLAN, 2005)

## 2.2. Exploitation des eaux fluviales

D'après KHADRAOUI (2007), l'exploitation des eaux fluviales s'est opérée grâce à la maîtrise des crues, à l'exhaure des eaux et leur distribution collective. Ce système alimenté artificiellement par de petits ouvrages composés de barrages, de trémie, de peigne et de plaine d'épandage. En amont, un barrage de dérivation ainsi qu'un ensemble de diguettes stockent et canalisent les eaux de l'oued vers des canaux souterrains.

D'après KHADRAOUI (2007), la gestion des eaux dans les systèmes d'irrigation par épandage de crues se fait pour tirer le meilleur parti de l'eau, deux sortes de barrages sont érigées dans la vallée :

- A l'amont, des barrages de dérivation qui dévient le flot de crue et le détournent vers les jardins ;
- A l'aval, des barrages de retenue qui forcent l'eau à s'étaler sur les rives de l'Oued et à s'infiltrer dans le sous-sol pour être mis en réserve.

Il y a deux types d'irrigation dans ce système :

- **En temps ordinaire** : Durant cette période, l'exploitation des eaux se fait par les puits à balancier dont la technique plus perfectionnée et de plus grand rendement utilisent la force d'un levier.
- **En temps de crue** : Durant cette période, la répartition des eaux de crue sur les jardins selon leur périmètre, nombre de palmier et la participation dans les travaux de maintenance. Ce système joue plusieurs rôles dont ; Faire réduire la grande pression de ces eaux en diminuant la charge de ces eaux pour éviter les dégâts, remplir les barrages et les puits profonds qui alimentent la nappe phréatique et récupérer le maximum de ces eaux pour couvrir le manque d'eau dans les jours ordinaires.

### 2.3. Exploitation des eaux des puits

L'eau d'irrigation était extraite des nappes phréatiques et celles du Mio-pliocène par des puits traditionnels, utilisant le balancier. Par exemple à Ouargla leur nombre (250 à 300 puits) a décliné en raison du tarissement de la nappe, accéléré par l'introduction des premières motopompes. Comme partout au Sahara, l'eau appartient à celui ou ceux qui l'ont (ont) fait jaillir, indépendamment de la propriété foncière. Le partage de l'eau entre les membres de la communauté se fait en unité de temps, selon la technique subtile des tours d'eau encours, dans de nombreuses oasis (ZELLA et SMADHI, 2006).



**Photo 1.** Exploitation des eaux de puits traditionnels

Selon ROUVILLOIS-BRIGOL (1975), L'irrigation dans la palmeraie est passée par deux méthodes bien distinguées :

### A. Puits artésiens

Ce mode est utilisé depuis la création de la palmeraie jusqu'aux années 1950 (1960 est la dernière année sans pompage). Pour profiter de ces puits dans l'irrigation de la palmeraie, les agriculteurs ont utilisé certains moyens pour pomper l'eau.

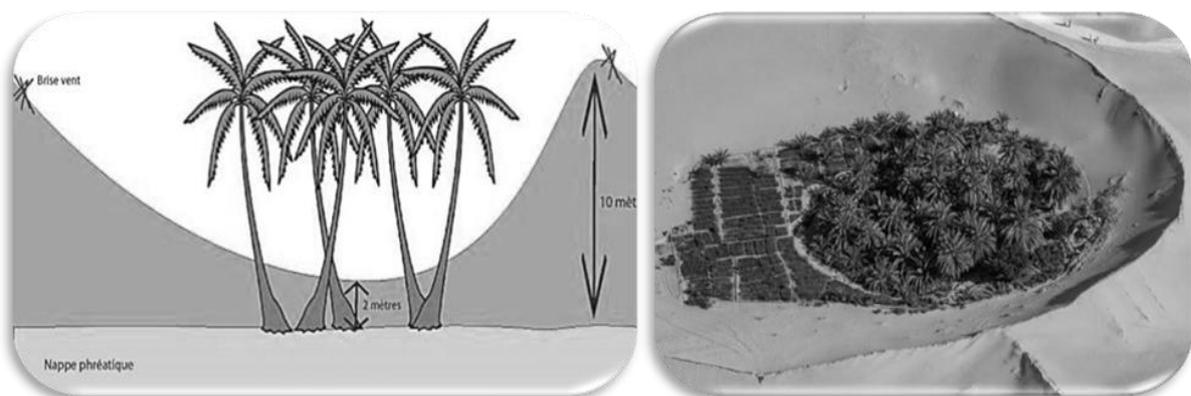
- **Le balancier** : ce travail demande un effort physique assez considérable pour abaisser le pêche : un homme ne peut dépasser le rythme de dix à douze guenina par minute, de trois heures au plus.
- **La noria** : la roue à manège à traction animale a été introduite à Ouargla en 1920 par un propriétaire des Beni Sissine.
- **La motopompe** : la première motopompe a été installée en 1931.

### B. Le pompage

A partir de l'année 1960 à nos jours, la majorité des puits artésiens sont bouchés, mais certains d'entre - eux sont abandonnés. Ces derniers provoquent la pollution et la salinité de la nappe du Miopliocène. Ces puits sont remplacés par des forages de la nappe du Miopliocène. Le premier forage dans la palmeraie du Ksar de Ouargla est le forage IFRI qui a été réalisé en 1958.

### 2.4. Exploitation des eaux des Ghouts

D'après REMINI (2006), un Ghout est une technique de culture du palmier dattier propre à la région du Souf. Les palmiers sont implantés par groupe de 20 à 100 palmiers dattiers au centre d'une cuvette artificielle, d'une dizaine de m de profondeur par rapport au niveau initial du sol, et d'un diamètre de 80 à 200 m. L'excavation du sable hors de la cuvette se fait manuellement par les hommes. Le creusement s'arrête à l'approche du toit de la nappe. Au fond de la dépression, on y installe la palmeraie. Les racines du palmier dattier baignent alors dans les horizons humides du sol, alimentés par capillarité depuis la couche saturée (Fig. 10).



**Figure 10.** Système de Ghout dans la région du Souf

D'après BOUAMMAR (2010), en Algérie, l'espace saharien se caractérise ces deux dernières décennies par une nouvelle forme d'occupation des sols (périmètres céréaliers ou maraîchers) qui constituent les nouvelles oasis. Le palmier dattier est progressivement implanté sur les nouveaux périmètres céréaliers à l'inverse de la traditionnelle implantation des oasis où cet arbre constitue la culture principale sur laquelle sont « greffées » des cultures intercalaires.

### 3. Gestion de l'eau au Sahara

#### 3.1. Gestion traditionnelle des eaux au Sahara

Le Sahara offrait une grande diversité de techniques hydrauliques. Celle-ci variait en fonction des conditions géographiques, des nuances climatiques, de la nature des ressources, de la maîtrise et de la diffusion des savoirs hydrauliques.

L'eau des oasis est acquise souvent par ces techniques qui ont été mises au point depuis des siècles dans des déserts très éloignés. Celles-ci sont nombreuses: depuis celles qui utilisent l'eau de ruissellement et l'eau des sources pour irriguer les cultures par gravitation, jusqu'à celles qui font appel à la force motrice ou à la traction animale, soit enfin, celles des drains souterrains (ABBASSENE, 2006).

Selon ABBASSENE, (2006). Elles permettent l'irrigation de surfaces presque toujours limitées par cette quantité d'eau mise à l'exploit. Le Sahara était un véritable laboratoire de techniques d'irrigation qui peuvent être résumées comme suit :

- 1) Les plus simples font appel à l'énergie humaine ;
  - a) Système lacustre et système de ruissellement superficiel, dont les eaux sont drainées à ciel ouvert ou par des puits artésien 'Ain' ou 'Tît' ;

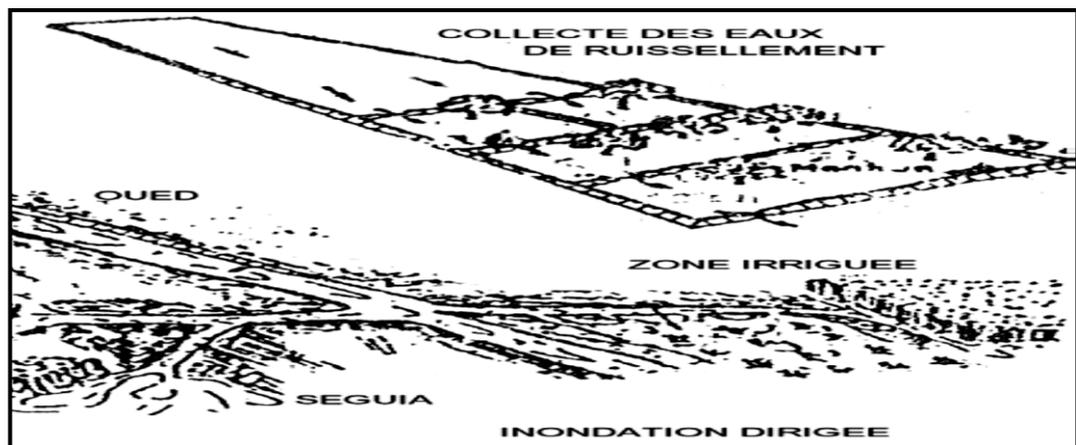
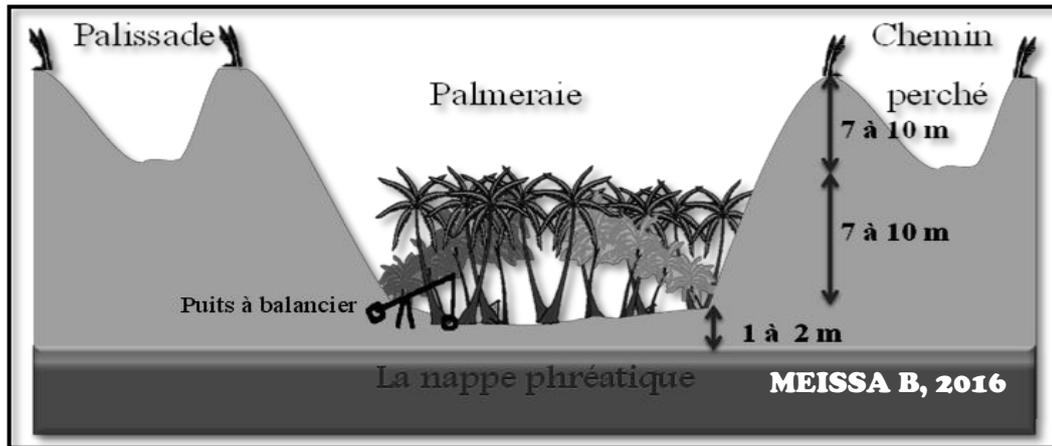


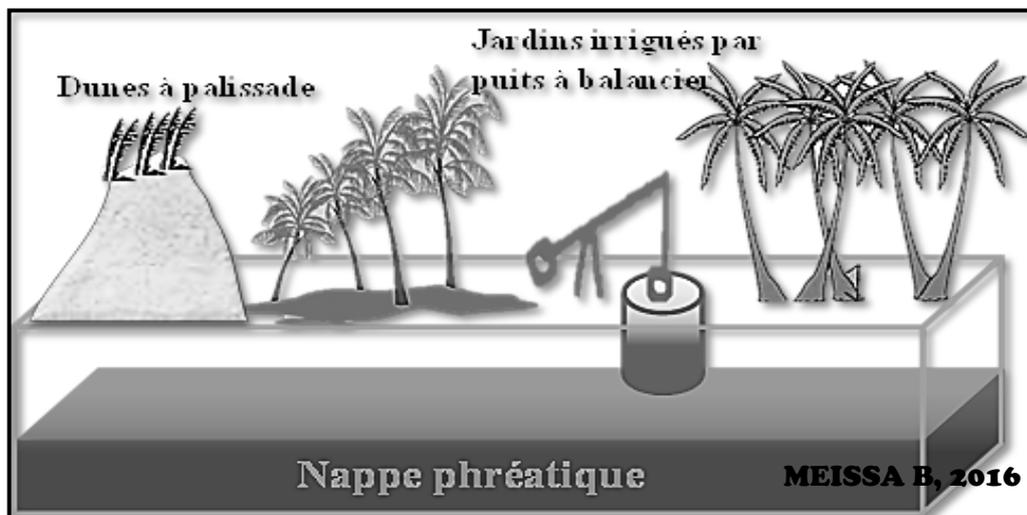
Figure 11. Exploitation des eaux de ruissellement (EL AMAMI, 1984)

- b) Les cultures sont implantées dans des fosses, ce qui permet une exploitation directe des eaux souterraines (vallée du Souf) ;



**Figure 12.** Exploitation directe dans la fosse (Ghout)

- c) De nombreux engins ont été élaborés pour amener l'eau au niveau des terres cultivées. Le puits à balancier est un engin à contrepoids fixé à l'extrémité, facilitant la manipulation, et permettant de tirer l'eau d'une nappe peu profonde pour irriguer des surfaces réduites (vallée du Draa, le Touat Gourara et la cuvette de Ouargla) ;



**Figure 13.** Exploitation des eaux de la nappe phréatique par puits à balancier

- 2) L'utilisation d'énergie animale est plus répandue lorsque la nappe est plus profonde et ses ressources plus importantes, C'est le cas du M'Zab. L'usage de la Noria ou Saniya est la marque d'un perfectionnement technologique. Le captage de l'eau est assuré par des récipients accrochés à un système de roues pivotantes et actionnées par énergie animale ;

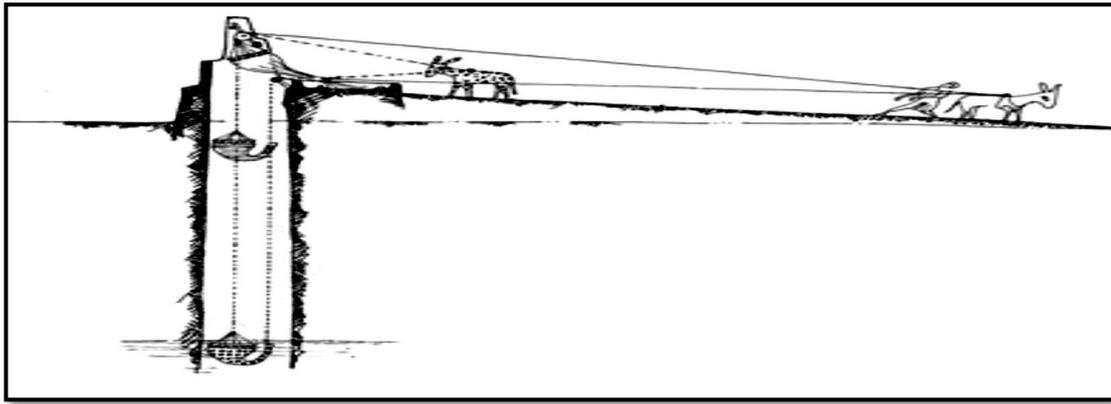


Figure 14. Puisage par traction animale (RAVÉREAU, 1981)

- 3) Une autre technique d'acquisition de l'eau particulièrement ingénieuse et performante est celle des Foggaras ou Quanats ;

Il s'agit de galeries de drainage qui captent l'eau à différents niveaux. Des puits à intervalles réguliers permettent d'y accéder pour en assurer l'entretien ;

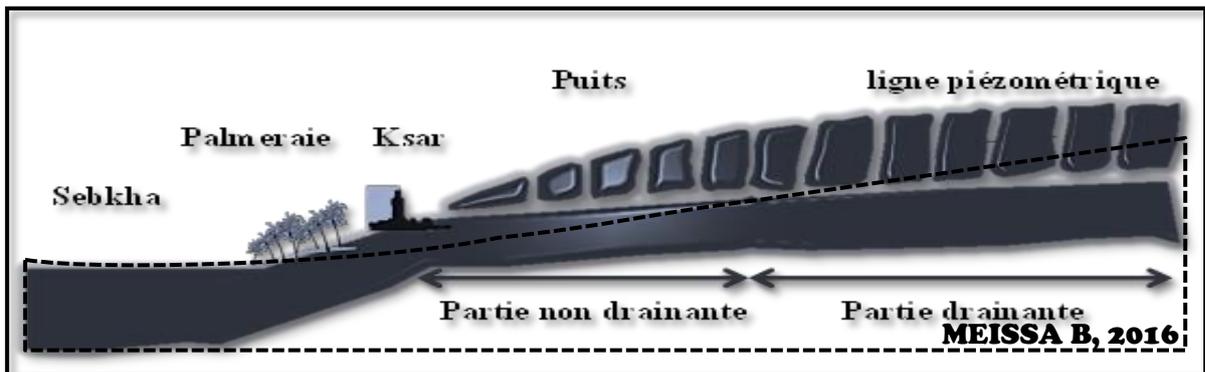


Figure 15. Le système lacustre de puisage de l'eau à partir de la nappe albienne

- 4) Puits à motopompe (défini par les limites de la contrainte arénacée).

Cette variété de techniques d'irrigation montre l'ingéniosité des paysanneries sahariennes et les efforts remarquables déployés pour se maintenir sur les marges de l'œcoumène. Elles témoignent d'une grande habileté pour perpétuer des systèmes hydrauliques fragiles.

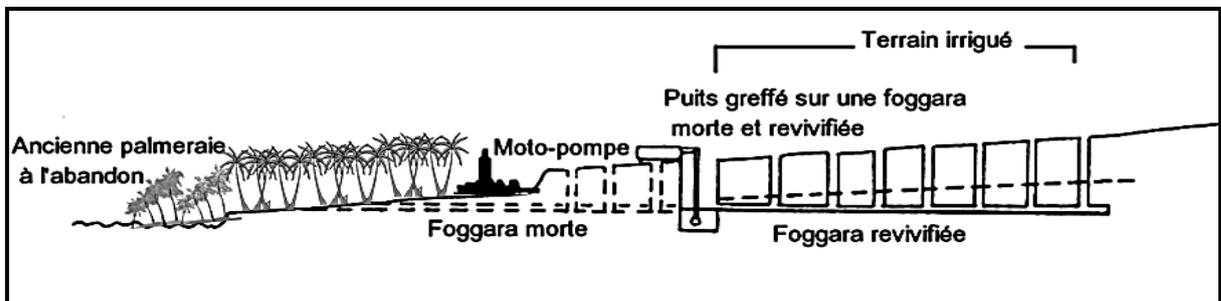


Figure 16. Rénovation de la foggara par l'installation de motopompe (ABBASSENE, 2006)

Généralement, les systèmes traditionnels, les eaux mobilisées, provenant des oueds ou des nappes phréatiques sont rejetées dans les puits perdus après utilisation domestique, dans les zones d'épandage après utilisation agricole. La partie non évaporée percole et va rejoindre la nappe phréatique. Entre volume apporté et volume évacué, un équilibre s'établit sur le long terme, et le niveau de la nappe phréatique reste stable.

D'après ZELLA et SMADHI (2006), la découverte de la nappe albiennaise vers la fin des années 1930 et la mise en place d'une infrastructure hydraulique moderne, s'est traduite par d'importantes transformations économiques et sociales. La propagation de l'utilisation des groupes motopompes a accentué le tarissement de la nappe phréatique, compromettant la production agricole vivrière.

### **3.2. Gestion contemporaine des eaux au Sahara**

La seconde moitié du XX<sup>ème</sup> siècle a permis de découvrir l'ampleur des ressources hydriques profondes en milieu aride et les techniques modernes pour les exploiter. Leur caractère peu ou pas renouvelable est également mis en exergue, car il est essentiel de préciser que tout prélèvement important risque de se faire au détriment de la réserve elle-même. Plus qu'ailleurs, dans les oasis, systèmes fermés par excellence, la gestion de l'eau doit être appréhendée dans sa globalité. Irriguer, drainer, pomper, évacuer; l'un doit faire écho à l'autre (COTE, 1998).

Selon ABBASSENE, (2006). Depuis les années 50, l'exploitation des grands aquifères se généralise dans tous les pays d'Afrique septentrionale, des forages profonds se multiplient, de nouveaux espaces agricoles surgissent et de nouveaux paysages apparaissent. Mais à paysages nouveaux, problèmes nouveaux. Pour saisir les problèmes auxquels doit faire face la gestion contemporaine de l'eau, il faut savoir que les régions arides sont soumises à un régime endoréique, dans lequel chaque bassin ou sous bassin constitue une entité autonome, avec plancher imperméable et seuil entre bassins.

- Avec le système motopompe, l'exploitation de la nappe s'accroît; l'évapotranspiration par les plantes croît aussi, mais la restitution à la nappe se réduit et son niveau tend à s'abaisser ; c'est le phénomène de rabattement ;
- On fait alors appel aux grands aquifères, ce qui génère un autre type de déséquilibre, celui de l'excédent d'eaux usées introduit dans un milieu non préparé à le recevoir. Un déséquilibre lourd de conséquences.

L'élimination de ces grandes quantités, qui se fait généralement dans la rue, ne retournent pas en profondeur ; elles vont plutôt gonfler la nappe phréatique. Nous pourrions alors distinguer deux cas de figure :

Si la montée de la nappe d'eau est limitée, elle peut tout de même se révéler bénéfique pour une exploitation par motopompe ou par l'aménagement des jardins en Ghouts. Encore, faut-il compter avec une certaine salure des eaux qui ne permet pas toutes les cultures. Mais lorsque l'apport provenant de la profondeur est puisant en continu dans le temps, le niveau de la nappe s'élève, finit par être proche de la surface (Fig. 17). Ce déséquilibre écologique menace êtres humains, cultures et habitations (ABBASSENE, 2006).

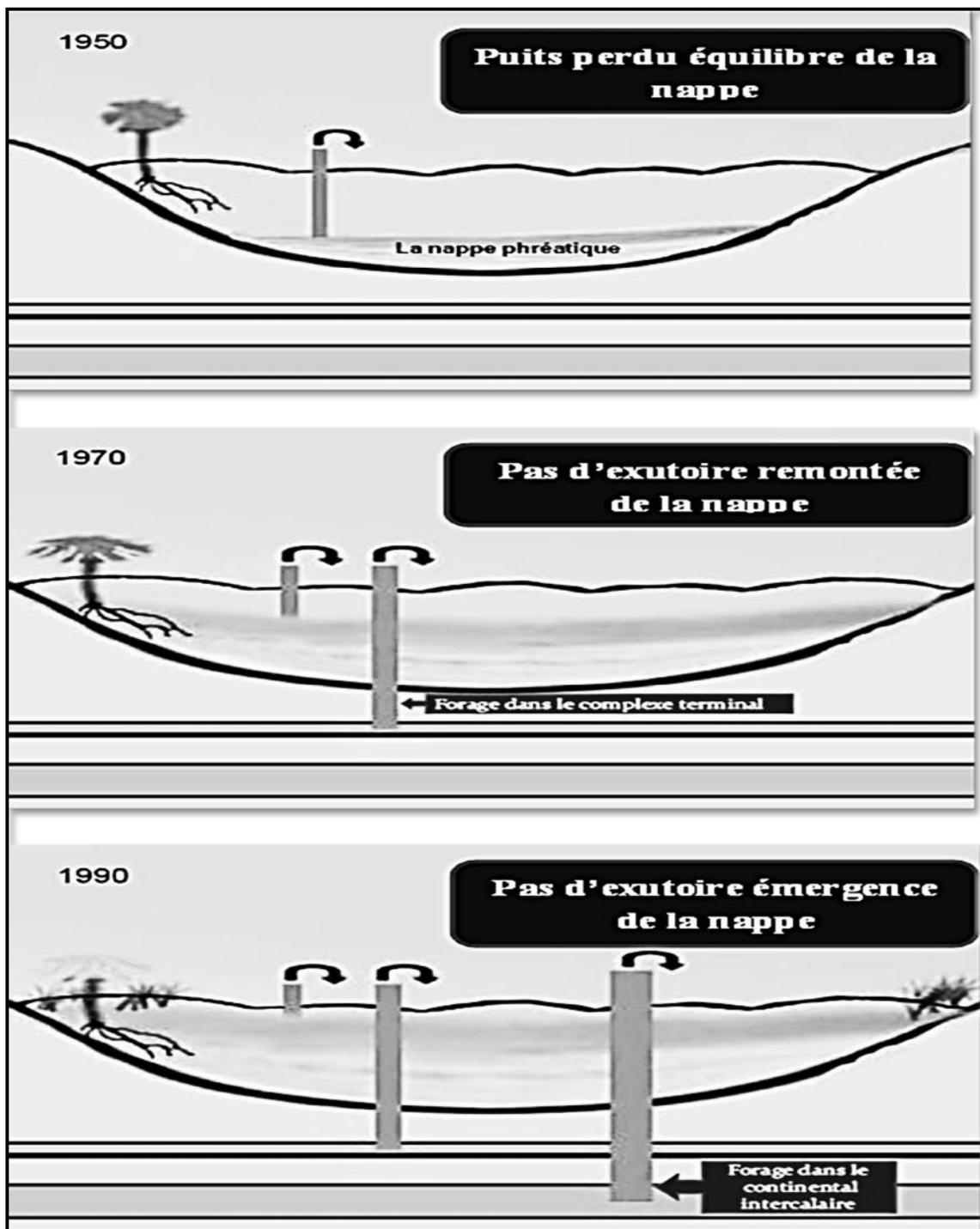


Figure 17. Evolution du comportement de la nappe phréatique (COTE, 1998)

Dans ce contexte, un système agricole jugé durable doit respecter l'aptitude du milieu naturel, et doit répondre à un impératif de rentabilité économique raisonnable et socialement acceptable par la population locale.

Selon BOUMADDA (2013), le développement durable c'est : « Répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures à répondre à leurs propres besoins ». Les Piliers du développement durable comme suit :

- Efficacité économique, il s'agit d'assurer une gestion saine et durable, sans préjudice pour l'environnement et le social ;
- Équité sociale, il s'agit de satisfaire les besoins essentiels de l'humanité en logement, alimentation, santé et éducation, en réduisant les inégalités entre les individus, dans le respect de leurs cultures ;
- Qualité environnementale, il s'agit de préserver les ressources naturelles à long terme, en maintenant les grands équilibres écologiques et en limitant les impacts environnementaux.

*Partie  
expérimentale*

### **Chapitre III. Matériel d'étude**

#### **1. Choix de la région d'étude**

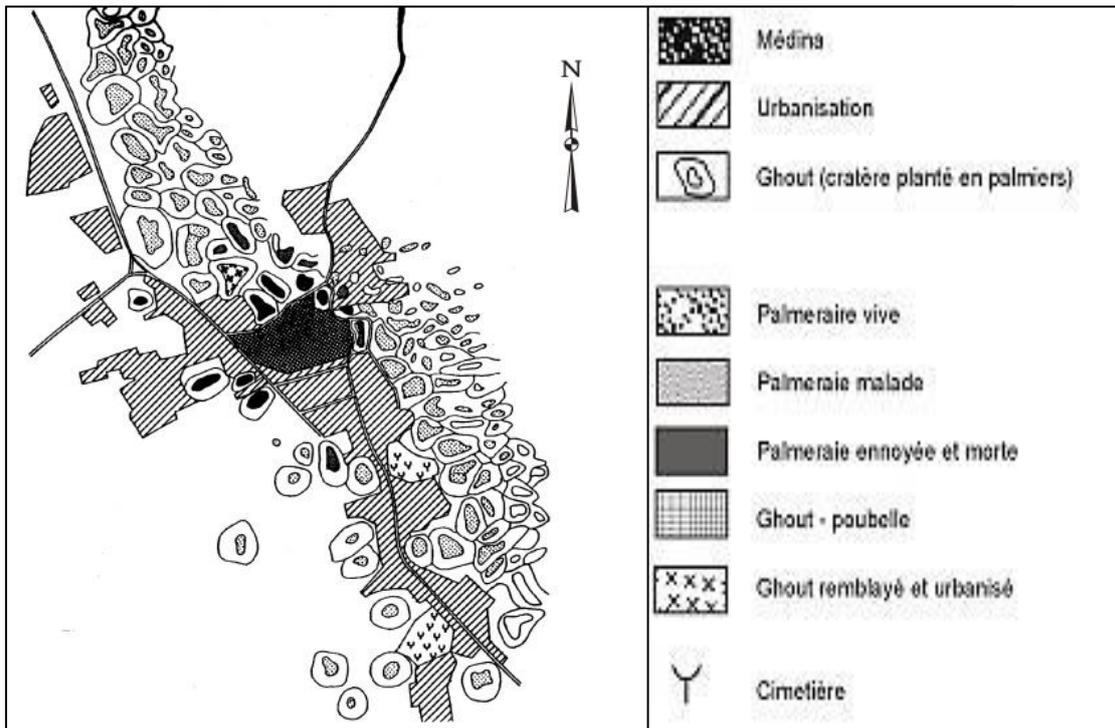
Dans le cadre de notre recherche, notre choix a porté sur la région de Oued Souf, compte-tenu de son importance sur le plan agricole essentiellement. Aussi, elle représente l'une des régions les plus importantes sur le plan économique du Bas Sahara algérien. Dans cette région, l'agriculture saharienne reste est dominée par la phœniciculture et les cultures maraîchères, telles que la pomme de terre et la tomate à grande échelle (YEVS, 2010). L'eau constitue un facteur déterminant dans cette région et son exploitation varie avec les systèmes agraires, qui sont :

1. le système traditionnel où nous observons deux types :
  - a. Bour, l'eau est absorbée directement par le palmier dattier au contact de la nappe phréatique dans les Ghouts ;
  - b. Irrigué, la phœniciculture et les cultures sous-jacentes sont arrosées à partir des puits de la nappe phréatique dans les Ghouts,
2. le système moderne où nous observons une mise en valeur avec des eaux d'irrigation provenant de la nappe phréatique et du complexe terminal. Dans ce contexte, l'agriculture est pratiquée sur la base d'une diversité de systèmes d'irrigation et la nature des cultures.

L'espace agraire a subi de manière prononcée des mutations liées à l'activité anthropique agro-urbaine au cours du temps. L'étude de l'espace agraire et celle de la gestion des eaux et leurs impacts sur cette espace demeurent importants dans tous les plans d'aménagements futurs de la région de Oued Souf (KOUZMINE et AVOCAT, 2007).

#### **2. Choix de la zone d'étude**

Notre recherche a été réalisée dans le centre de la vallée de l'Oued Souf qui représente le berceau de l'activité agricole, où existe un nombre important de Ghouts à proximité de l'habitat Ksourien d'El-Oued. Dans cette optique, la problématique de la gestion de l'eau reste posée avec acuité dans l'espace agraire de cette zone. Notre zone d'étude choisie représente la commune d'El-Oued, s'étendant de la zone urbaine du centre-ville d'El-Oued vers les espaces agricoles traditionnel et moderne de la périphérie (Fig. 18).



**Figure 18.** Evolution des palmeraies autour d'El-Oued en 1980 (COTE, 1993)

### 3. Présentation de la zone d'étude

La commune d'El Oued est située à 80 m d'altitude, présentant une superficie de 77,2 km<sup>2</sup> (P.A.T.W. d'El Oued, 2012), limitée par :

- Au nord, par les communes de Kouinine et Hassani Abdelkirim ;
- Au sud, par la commune de Bayada ;
- A l'est, par la commune de Trifaoui ;
- A l'Ouest par Oued Alenda.

La population de cette commune, d'après les dernières statistiques, s'élève à 155 525 personnes (O.N.S., 2014). Cette commune se caractérise par un grand nombre de Ghouts inondés par rapport aux autres communes de la wilaya, comme Guemar, Hassi Khalifa ...etc.

L'espace urbain a évolué dans le temps au détriment de l'espace agricole depuis l'habitat Ksourien (en 1945), se résumant au quartier de Laachache - Messaaba jusqu'à 27 134 habitations en 2014. Il a subi des transformations radicales dans ses aspects morphologique, social et fonctionnel (O.N.S., 2014 ; CHAOUICHE-BENCHERIF, 2007).

Alors, l'espace agricole d'El-Oued exploité traditionnellement « Ghouts » a subi une régression, en évoluant vers une forme d'exploitation moderne (Fig.19), parfois monoculturelle ; céréalière, fourragère ou maraîchère, où le palmier dattier ne constitue plus la culture principale (BOUAMMAR, 2000).

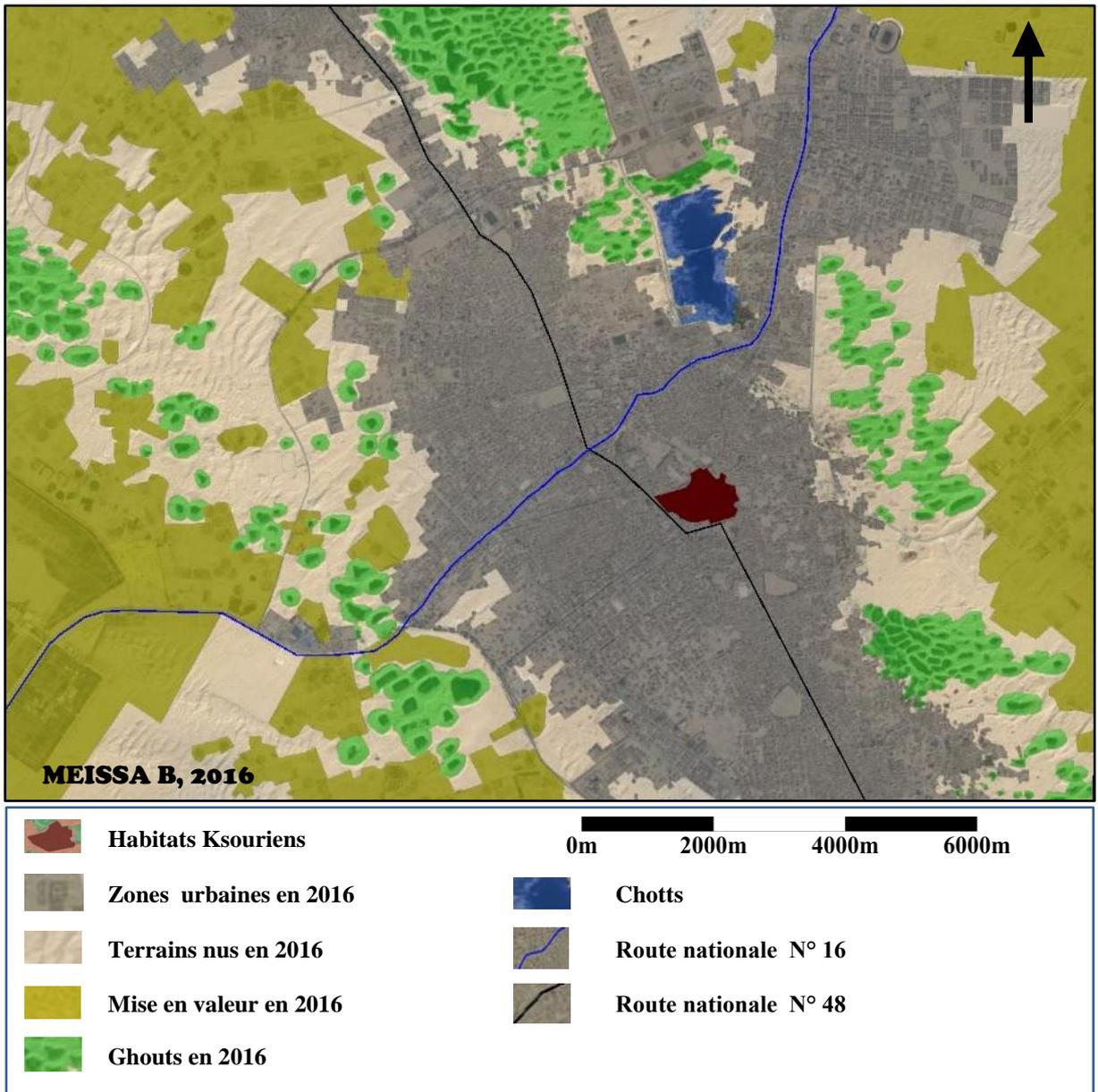


Figure 19. Présentation de la zone d'étude d'El-Oued

## **Chapitre IV. Méthodes d'étude**

### **1. Approche Méthodologique**

L'approche méthodologique adoptée nous a permis d'étudier les systèmes agraires traditionnel et moderne, l'évolution de l'espace agro-urbain sur le plan temporel, l'impact de la gestion des eaux et leurs conséquences sur l'espace agricole d'El-Oued. Ceci par une approche d'échantillonnage spatial des données qualitatives par enquêtes et quantitatives par des mesures hydro-édaphiques. Enfin, nous avons exploité et analysé les résultats engendrés par ce travail de recherche, en vue de proposer quelques recommandations d'aménagements pour améliorer les conditions de l'espace agricole (Fig. 20). Pour cela, nous avons structuré et réparti notre recherche selon trois volets essentiels :

1. Etude de l'espace agricole d'El-Oued
  - a. Description des systèmes agraires ;
  - b. Délimitation et évolution de l'espace agro-urbain ;
  - c. Echantillonnage dans l'espace agricole ;
  - d. Etude de la gestion des eaux dans l'espace agricole ;
2. Evaluation de la dégradation hydro-édaphique dans l'espace agricole
  - a. Etude de la remontée de la nappe phréatique ;
  - b. Etude de la salinisation et alcalinisation des sols ;
3. Recommandations d'aménagements de l'espace agricole.

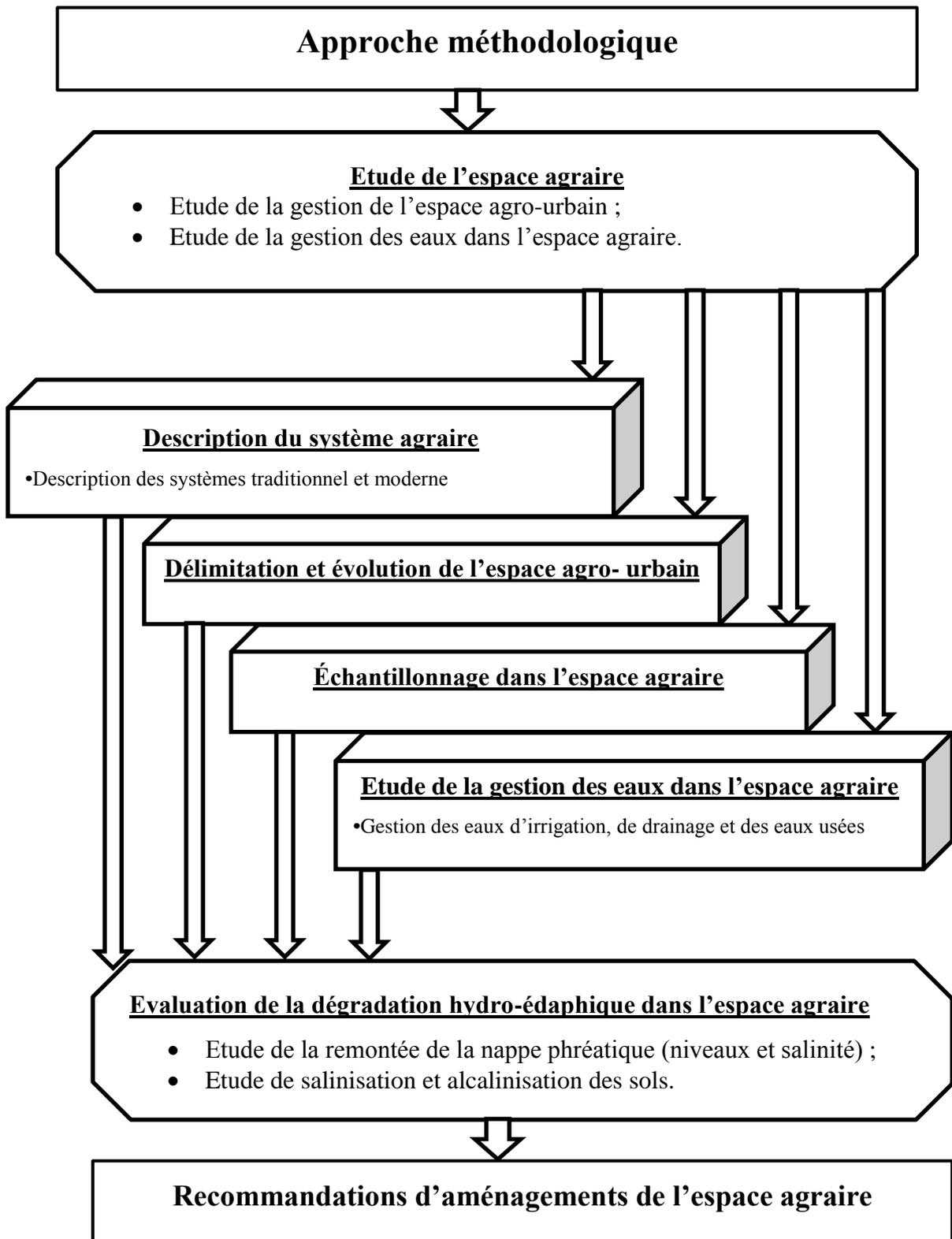


Figure 20. Approche méthodologique

### **1.1. Etude de l'espace agraire :**

L'étude de l'espace agraire consiste la description, la détermination des limites et l'état actuel des systèmes traditionnel et moderne et leurs évolutions dans le temps, en se basant sur des données bibliographiques et des prospections de terrain pour un échantillonnage représentatif dans l'espace étudié, et ultérieurement la gestion des eaux et ses conséquences sur cet espace.

#### **1.1.1. Description des systèmes agraires**

La description des systèmes agraires a permis de déterminer l'état actuel des systèmes traditionnel et moderne, la conduite des cultures, la détermination des problèmes posés, notamment ceux liés à la gestion des ressources hydriques, édaphiques et urbaines.

Dans ce cas, nous avons réalisé un travail de recherche bibliographique, des enquêtes et des observations sur terrain.

#### **1.1.2. Délimitation et évolution de l'espace agro-urbain**

Pour délimiter l'espace agraire d'El-Oued, nous avons collecté des données bibliographiques (travaux de recherches), des anciennes cartes, des photos aériennes et des images satellitaires d'El-Oued. Aussi, pour confirmer et compléter notre travail de recherche, nous avons entrepris des prospections de terrain, réalisé des enquêtes auprès des structures technico-administratives (D.S.A., D.L.E.P, de W. d'El-Oued).

Pour cela, nous avons utilisé :

1. La photo aérienne de l'habitat Ksourien (ancienne ville d'El-Oued) en 1945 d'après DAVIAULT, (1947) (Annexe 1);
2. Les cartes de l'évolution des palmeraies autour d'El-Oued, situations en 1980, 1993 et 1996 (COTE, 1993 ; CHAUCHE-BENCHERIF, 2007) ;
3. Les images satellitaires d'El-Oued de 1984, 1985 et 1986 d'après le satellite LANDSAT ;
4. Les images satellitaires d'El-Oued en 1993, 1996 et 2000 d'après (G. earth engin TIMEPLAST, 2016)
5. Les images satellitaires de Oued Souf en 2000 et 2002, ce sont des cartes de base pour les travaux BG (BG, 2004) ;
6. Les images satellitaires d'El-Oued de 2007 à 2016 d'après GOOGLE eart, (2016).

La réalisation de ces travaux nous a conduit à procéder à des rectifications et des traitements par des logiciels de correction d'image pour faciliter l'identification des objectifs (Annexe 2). Ces rectifications sont souvent à la suite des confirmations de

positionnement sur terrain pour arriver à une carte de délimitation finale de l'espace agricole actuel.

Dans le contexte de ce travail, nous avons réalisé une étude cartographique de l'évolution de l'espace urbain et son impact par l'empiétement et l'envahissement sur l'espace agricole au cours du temps, à travers deux périodes égales, chacune de 16 ans, à savoir ; de 1984 à 2000 et de 2000 à 2016. Elles nous ont permis d'apprécier les mutations agro-urbaines à travers le sens et l'extension pour chaque espace et l'impact de l'urbanisation sur l'ancien système et sa disparition.

### 1.1.3. Échantillonnage dans l'espace agricole

Pour une couverture uniforme dans l'espace d'étude et l'obtention de données représentatives avec une manière très simple à réaliser dans un espace irrégulier. Pour cela, nous avons utilisé la méthode la plus adoptée pour notre cas qui est celle de l'échantillonnage systématique aléatoire.

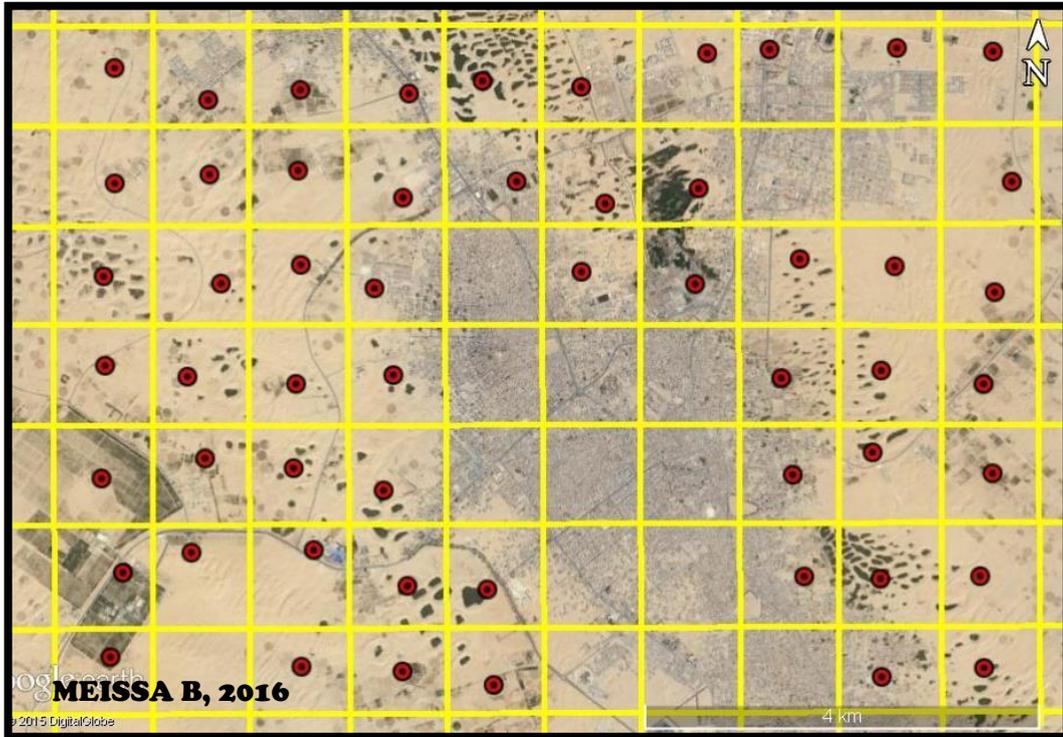
Elle est consistée à prélever des échantillons selon une structure régulière. Il existe différentes configurations de maillage, mais celle effectuée à partir d'un maillage carré est la plus courante. Les échantillons sont prélevés à chacune des intersections du maillage, au centre de celui-ci ou au hasard 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 elle est simple à réaliser. De plus, elle facilite la cartographie des données et l'interprétation des résultats d'analyses (C.E.A.E.Q., 2008).

La détermination de la dimension des mailles est un élément de décision important, où cette dimension est souvent établie selon la précision désirée et d'autres paramètres, alors que notre zone est espacée de plus de 72 km<sup>2</sup> et la durée et les moyens de réalisation de l'étude sont limités. Pour cela, nous avons opté que les dimensions des mailles, soit 1 km × 1 km = 1km<sup>2</sup>, donc un sondage pour chaque km<sup>2</sup> (Fig. 21).

La réalisation de ces dernières sur la carte de délimitation finale de l'espace étudié se fait par ArcGIS version 9.3. Dans chaque centre de maille, nous avons créé un point pour les sondages, en procédant à l'élimination des points qui sont en dehors de l'espace agricole (zone urbaine, terrain nu...etc).

Les coordonnées des points (système de coordonnées WGS 1984, UTM zone 32N) sont enregistrées dans un appareil GPS (marque : Garmin, Modèle : GPSmap76CSx). Pour faciliter le déplacement entre les points, on a utilisé Google earth dans un téléphone portable, assurant l'enregistrement des images satellitaires de l'espace agricole étudié.

Les contraintes de terrain sont représentées dans l'absence d'accès des points de prélèvements, notamment l'accès d'eau, inaccessible dans les espaces agraires. Dans cette situation, on a procédé au changement des points initiaux de sondage par d'autres points, où les prélèvements sont accessibles, en tenant compte des points modifiés, ne dépassant pas la limite des mailles.



**Figure 21.** Échantillonnage systématique aléatoire dans l'espace agricole d'El-Oued

#### 1.1.4. Etude de la gestion des eaux dans l'espace agricole

L'étude de la gestion des eaux dans l'espace agricole comprend l'étude de la gestion des eaux conventionnelles (eaux d'irrigation) et celles non conventionnelles (eaux de drainage et eaux usées) en hiver 2015 (janvier et février).

1. Etude de la gestion des eaux d'irrigation a été réalisée par des analyses des échantillons des eaux d'irrigation de 27 exploitations agricole de mise en valeur, par des observations sur terrain concernant les systèmes d'irrigations, construction de puits, nombre et localisation des puits, types les cultures irriguées etc...

2. Etude du système de drainage a été aussi réalisée par la collecte des données auprès des structures concernées (Office National d'Assainissement d'El-Oued (O.N.A.)), directions des ressources en eau des wilayas, d'El-Oued (D.R.E.W.), et par les cartes des réseaux de drainage. Cela nous a permis d'estimer les distances des réseaux de drainage par rapport aux points d'échantillonnage et leurs effets sur l'espace agricole. L'estimation des distances

de ces dernières a été réalisée 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 465 m ;
- b. un sondage est considéré « à une distance moyenne du drain » pour les  $d_m$  comprises entre 465 m et 930 m ;
- c. Absence de drain pour des  $d_m$  supérieurs à 930 m.

3. Etude de la gestion des eaux usées a été effectuée par la collecte des données auprès de l'Office National de l'Assainissement (O.N.A.), notamment les cartes des réseaux d'assainissement aidées par des observations de terrain. Les informations recueillies nous ont permis de déterminer les cités non raccordées au réseau d'assainissement, utilisant les fosses septiques pour le rejet des eaux usées.

### 1.2. Evaluation de la dégradation hydro-édaphique dans l'espace agricole

Notre évaluation de la dégradation hydro-édaphique est basée essentiellement sur l'impact de la gestion des eaux dans l'espace agricole. Pour cela, nous avons prélevé 60 échantillons de sols et 66 échantillons d'eaux à l'aide d'une tarière de 1,5 m en hiver 2015, dont 30 échantillons des sols et 33 échantillons des eaux phréatiques pour chaque système.

Dans le même contexte, cette évaluation s'est basée principalement sur :

1. L'étude de la remontée de la nappe phréatique réalisée par :
  - Mesures de la profondeur des eaux (niveau statique (P.n.)) à l'aide d'une sonde électrique ;
  - Enregistrement des latitudes des sites de prélèvements à l'aide d'un GPS ;
  - Mesures du résidu sec (R.s.<sub>n</sub>) ;
  - Mesures du pH<sub>n</sub> ;
  - Mesures de la conductivité électrique (C.E.<sub>n</sub>).

Les échantillons d'eaux ont été analysés dans même jour des prélèvements (pH<sub>n</sub>, R.s.<sub>n</sub> et C.E.<sub>n</sub>). Les mesures du niveau statique pour chaque site 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 l'équation suivante, à savoir :

$$NP = Z - NS$$

NP : Niveau piézométrique ;

Z : Altitude ;

NS : Niveau statique (P.n).

Alors que la réalisation des cartes des niveaux statique et piézométrique a été effectuée par l'application Surfer 11, en utilisant la méthode du KRIGEAGE pour le calcul d'interpolation.

2. 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 60 points choisis. Pour obtenir un échantillon homogène et représentatif de couche de sol, nous avons réalisé un échantillonnage moyen de trois prélèvements pour chaque niveau de sol. Nous avons mis les échantillons de sol dans des sachets en plastique, avec des étiquettes pour numéroter les sites et leurs profondeurs, puis nous les avons analysés au laboratoire. Les paramètres analytiques déterminés sont la conductivité électrique de l'extrait sol : eau 1:5 ( $C.E_{e1:5}$ ) et le  $pH_{e1:5}$ .

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

Aussi, pour le sol, nous avons utilisé l'échelle de degré de salinité du sol à l'extrait aqueux (1/5) à 25°C de (MATHIEU et PIELTAIN, 2003 ; LAPERCHE et MOSSMANN, 2004).

## 2. Méthodes d'analyses

Au laboratoire, nous avons analysé les différents paramètres physico-chimiques des eaux et des sols suivants :

### 2.1. Analyses des eaux

- **Résidu sec** : les charges salines des eaux de la nappe phréatique et celles d'irrigation, représentées par le poids de sels solubles en (g) par litre d'eau, séché à 105° C ;
- **Conductivité électrique** : elle permet d'estimer le degré de salinité des eaux à 25°C par l'utilisation d'un conductivimètre qui estime la concentration des électrolytes dans les eaux ;
- **pH** : il est mesuré par pH-mètre.

### 2.2. Analyses des sols

Les méthodes d'analyses des sols utilisées au cours de cette recherche sont :

- **$C.E_{e1:5}$**  : c'est la conductivité électrique à 25°C d'un extrait sol : eau (1:5), mesurée au conductivimètre. Elle permet une estimation de la teneur globale en sels solubles, et est fonction de la concentration en électrolytes ;
- **$pH_{e1:5}$**  : est mesuré dans l'extrait sol : eau (1:5), au pH-mètre.

### **2.3. Analyses statistiques**

Toutes les données de notre étude sur la gestion des eaux d'El-Oued ont été traitées à l'aide du logiciel Excel. Les résultats (Conductivité électrique, pH et Résidu sec) sont subis à une analyse en composantes principales (ACP) qui a été effectuée à l'aide du logiciel XLSTAT version 2014.5.03, cette méthode statistique permet de transformer les variables quantitatives initiales, toutes plus ou moins corrélés entre elles. Aussi, nous avons appliqué les analyses factorielles des correspondances (AFC). Cette dernière, c'est une méthode de classification semble donner des résultats satisfaisants. Cette méthode factorielle permet d'intégrer, en plus des variables quantitatives (C.E,n, CE,s, R.s,n, NS) transformées en variables qualitatives, en plus des variables qualitatives suivantes : Biotope, assainissement, écoulement, irrigation et drainage (Annexe 5) (DAVIS, 1984).

Cette analyse (AFC) a été appliquée à une matrice de données où les colonnes représentent les facteurs comme variables et les lignes représentent les échantillons comme observations. Nous avons appliqué (AFC) pour connaître quelle est les facteurs principaux qui ont contribué à la remontée de la nappe phréatique dans les Ghouts.

# *Résultats et discussion*

## **Chapitre V. Gestion de la dimension agro-environnementale d'El-Oued**

### **1. Description du système agraire**

Dans le cadre de ce présent chapitre, nous allons essayer de décrire et caractériser se système Ghout de Oued Souf. Celui-ci est formé par un ensemble d'exploitations agricoles se distinguant par des superficies faibles, travaillées par les propriétaires eux-mêmes, soutenus par une main d'œuvre salariale. Ce système d'exploitation oasien se distingue par :

1. une dominance de la phœniciculture, secondée par les cultures sous-jacentes, relativement importantes, englobant les cultures maraichères, fourragères et peu d'arboriculture fruitière ;
2. des eaux phréatiques directement exploitées au profit du palmier dattier, car il est planté au-dessus du toit de la nappe phréatique. Quant aux cultures intercalaires, des puits à balancier sont utilisés pour l'apport de l'eau (LEGHRISSI, 2007) ;
3. une économie familiale ;
4. pour un apport de revenus, une partie de la production dattière est écoulée sur le marché (B.N.E.D.E.R., 1992).

Pour l'ancien système agricole, sa production repose essentiellement sur la production dattière. Celle-ci est destinée principalement à l'autoconsommation, avec un surplus qui est écoulé sur le marché local par les petits commerçants ou les agriculteurs eux-mêmes. Ce modèle de développement agricole a longtemps duré jusqu'à la création de nouveaux périmètres dans le cadre de la mise en valeur agricole, ayant engendré une nouvelle forme d'organisation basée sur la monoculture, où le palmier dattier n'en constitue la culture principale.

Nos observations de terrain nous ont permis de remarquer une absence presque totale des propriétaires des Ghouts, où cette situation a contribué à leur dégradation à différents niveaux :

1. 91 % des Ghouts noyées, se distinguant par la forte présence de roseaux au détriment du palmier dattier, avec un nombre élevé de pieds dépéris ;
2. 3 % des Ghouts humides représentés par un faible taux d'envahissement par les roseaux, avec une faible production dattière ;
3. 6 % des Ghouts secs présentant des palmiers dattiers en bon état ;
4. Des nouvelles exploitations agricoles sont bien entretenues, se caractérisant par de grandes tailles et une meilleure productivité.

Les contraintes qui caractérisent l'espace agricole d'El-Oued sont diverses et varient dans l'espace. Elles sont de types hydrique, édaphique, urbain et socio-économique, comme suit :

1. les contraintes hydriques sont inhérentes à la remontée de la nappe phréatique, la salinité de ses eaux et la mauvaise gestion de la pratique de l'irrigation-drainage. En effet, l'augmentation des rejets des eaux usées a fortement contribué à l'augmentation de la nappe phréatique ;
2. les contraintes édaphiques à travers la salinisation des sols sont favorisées par la remontée de la nappe phréatique, tout en contribuant à la baisse des rendements, aboutissant à la longue à la dégradation des sols ;
3. le rétrécissement de l'espace phœnicicole et sa pollution par les rejets des eaux usées dans les fausses septiques et les déchets urbains est favorisé par les contraintes, de type urbain, peuvent agir comme un facteur de dégradation de la palmeraie ;
4. la dimension socio-économique peut constituer une contrainte, en favorisant le système de production moderne au détriment des Ghouts. Les coûts d'aménagement et la réhabilitation des Ghout ont conduit au délaissement du système Ghout au profit du système moderne. Le problème de l'héritage a aussi contribué au morcellement des Ghouts ou leur délaissement.

## **2. Gestion de l'espace agro-urbain d'El-Oued**

### **2.1. Délimitation de l'espace agro-urbain**

La collecte des données bibliographiques (travaux de recherches), des anciennes cartes, des photos aériennes et des images satellitaires d'El-Oued, nous ont permis de délimiter sur une carte l'espace agro-urbain étudié d'El-Oued, avec les limites de l'extension urbaine de l'habitat Ksourien en 1984 (Fig.22).

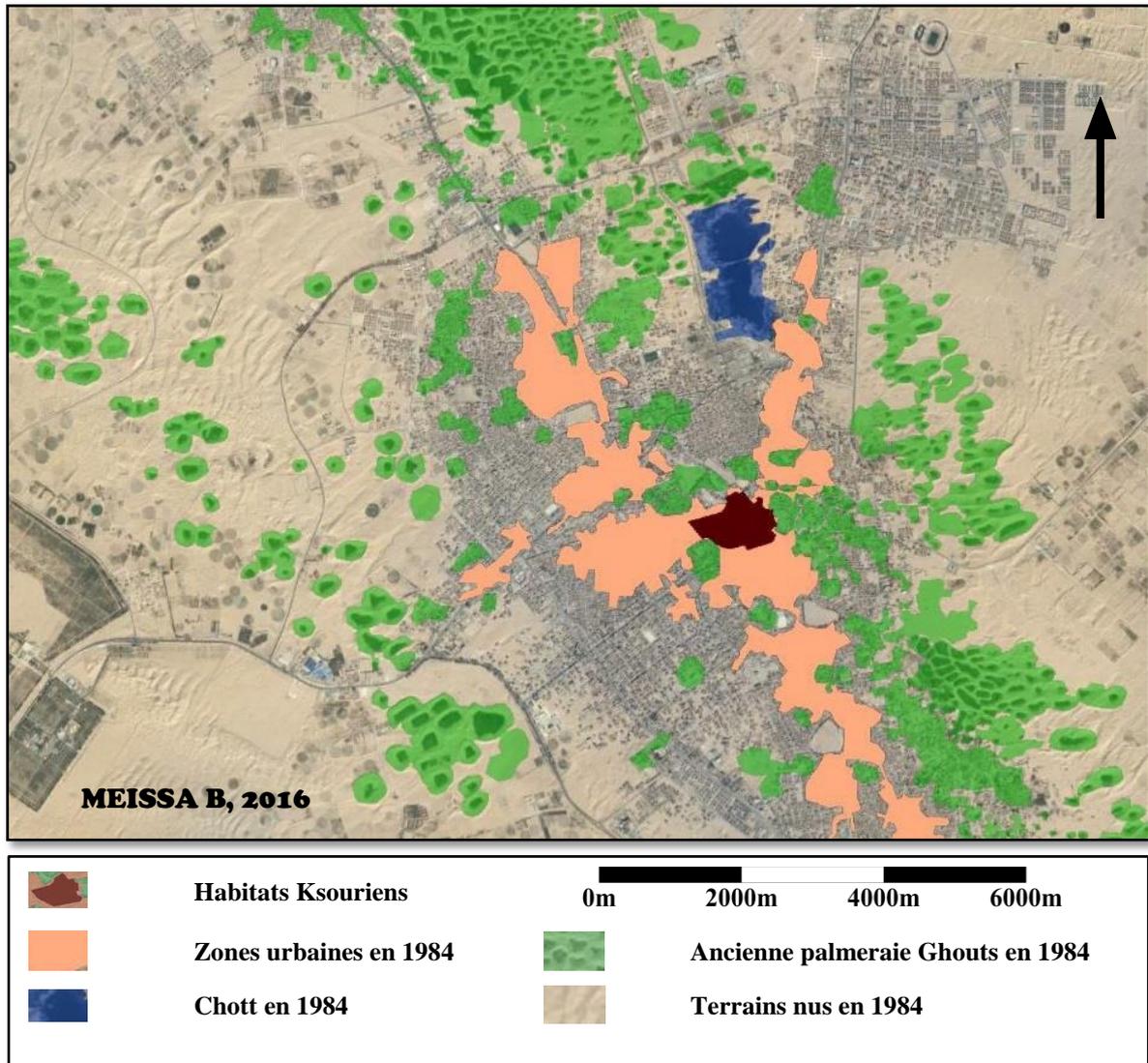
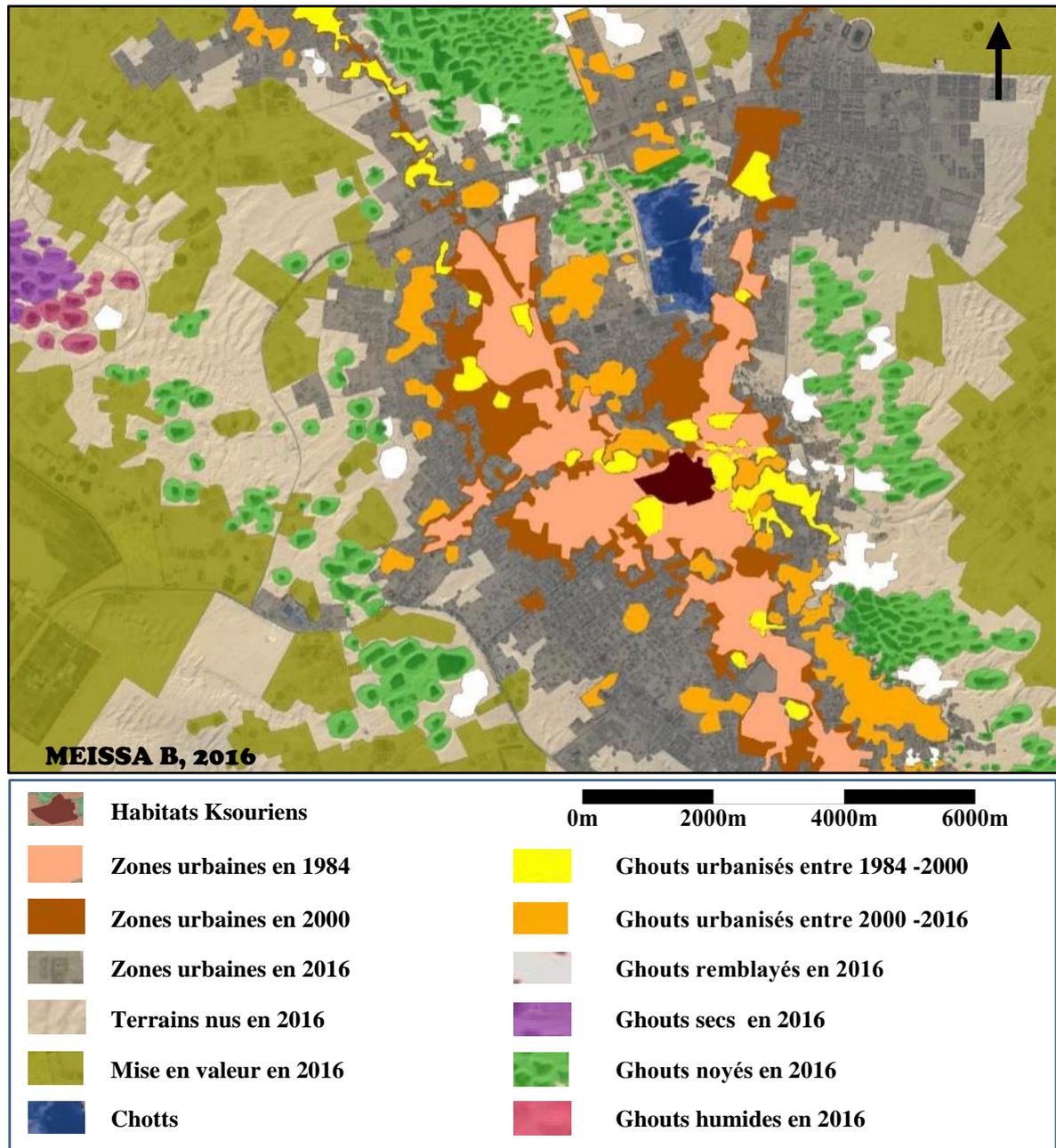


Figure 22. Limites de l'espace agro-urbain de la ville d'El-Oued en 1984

## 2.2. Evolution de l'espace agro-urbain

Durant ces dernières années, l'espace agricole a subi une nette régression, engendrée par des mutations dans la vocation de la palmeraie, en prenant une vocation, de type agro-urbain (Fig.23).

Les changements constatés entre 1984 et 2016 ont montré une augmentation de l'urbanisation au détriment des terrains nus et des Ghouts. Parallèlement, on a remarqué une réduction de l'espace phœnicicole causé par une urbanisation galopante, avec une dégradation des palmeraies par l'hydro-halomorphie, les conflits d'héritage avec la cherté du terroir foncier, le manque d'entretien et de moyens financiers. Nous avons estimé que 94 % des terrains agricoles Ghouts ont été perdus suite aux problèmes environnementaux et/ou socio-économiques.



**Figure 23.** Evolution de l'espace agro-urbain de la ville d'El-Oued entre 1984 et 2016

Nous avons aussi remarqué que le béton a envahi un grand nombre de Ghouts d' El-Oued, surtout les Ghouts localisés au sud-est de la ville d'El-Oued. Nous avons estimé que 128,01ha de Ghouts de la côte sud-est ont été envahis par le béton, la plaçant en première position des Ghouts envahis par les habitations. En seconde position, il apparaît que l'action accélérée de l'urbanisation a contribué à la dégradation de 104,92 ha de Ghouts de la côte nord de la ville d'El-Oued. Les Ghouts de la côte ouest de la ville d'El-Oued sont les moins affectés par le béton, avec 40,88 ha de terre urbanisée vers le nord-ouest de la ville d'El-Oued.

Le présent travail de recherche montre que le rythme d'envahissement par l'urbanisation en 2016 a été important dans les Ghouts de la côte nord, et faible dans les Ghouts de la côte ouest. L'urbanisation a pris de l'ampleur dans la côte sud-est entre 2000 et 2016, et s'est manifestée dans la côte nord. Durant la première période, l'avancement de l'urbanisation a été faible, à cause :

- de l'urbanisation de la majorité des terrains proches des routes principales, très convoitées ;
- la construction à l'intérieur des Ghouts est coûteux, car nécessitant le remblai des terrains, où les profondeurs peuvent atteindre de 5 à 10 m ;
- la remontée des eaux phréatiques ralentit aussi l'urbanisation à l'intérieur des Ghouts.

Le facteur qui a favorisé l'urbanisation à l'intérieur des Ghouts reste l'augmentation du prix foncier, ayant encouragé les propriétaires à remblayer et vendre les espaces lotis. L'autre phénomène qui a encouragé l'urbanisation des Ghouts est leur proximité du centre-ville, très convoités avec l'extension des réseaux d'électricité, de gaz, d'eau potable et l'assainissement des eaux usées.

### **3. Gestion des eaux à El-Oued**

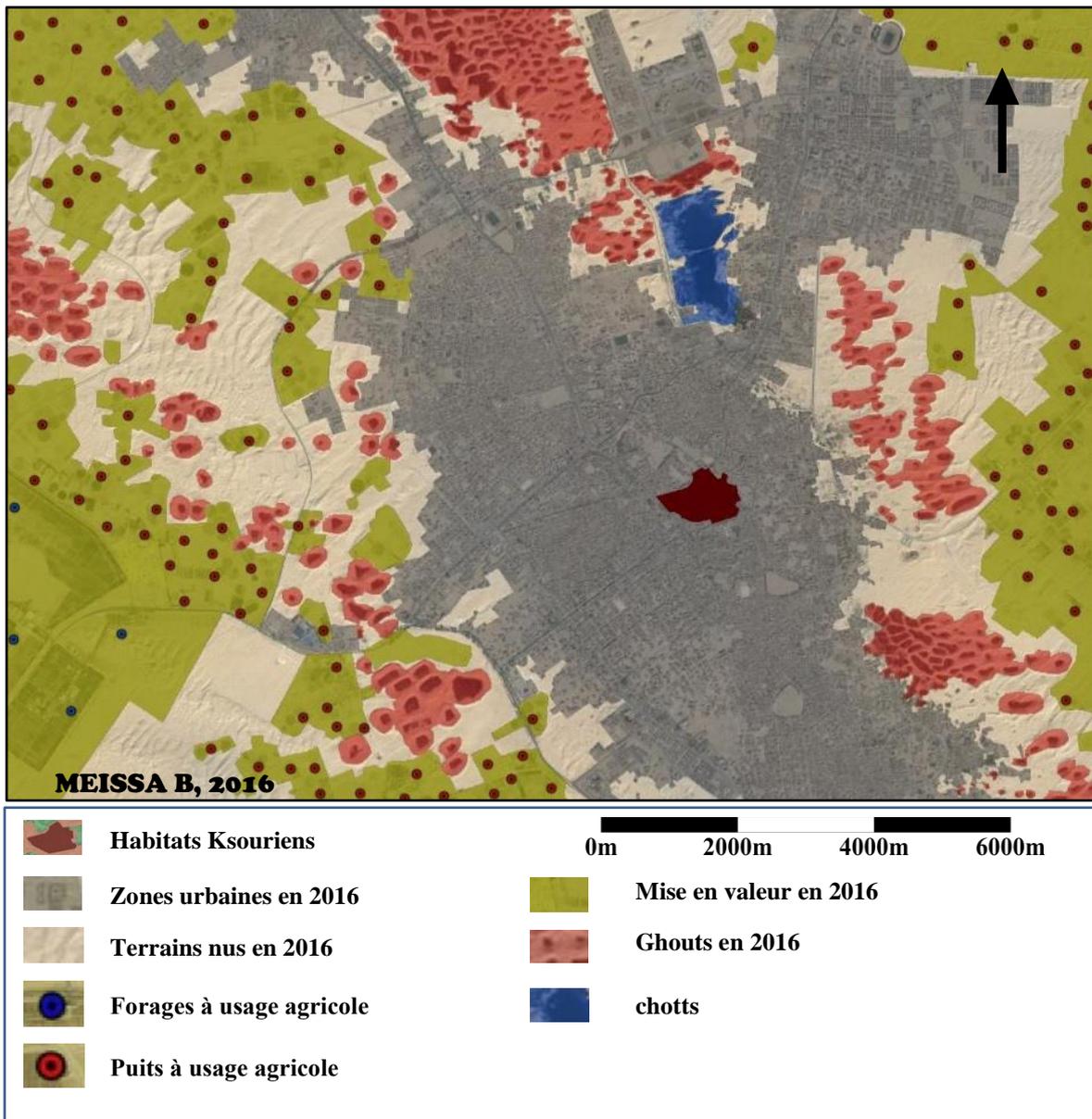
L'étude de la gestion des eaux à El-Oued a été réalisée par l'analyse des données qualitatives et quantitatives de la gestion des eaux d'irrigation, de drainage et des eaux usées. Cette étude nous a permis d'apprécier les potentialités hydriques en irrigation et le mode de gestion des eaux non conventionnelles dans l'espace agro-urbain de cette région.

#### **3.1. Gestion des eaux d'irrigation**

##### **3.1.1. Ressources en eau**

Dans le cadre de nos prospections de terrain et nos données d'enquêtes, nous avons remarqué que toutes les ressources en eau de l'espace agricole étudié dépendent de la nappe phréatique, de faible profondeur, à l'exception du domaine Daouia qui est irrigué par 4 forages, de profondeur 280 mètres, avec un débit total de 449 l/s, et un autre forage, de profondeur 90 mètres, avec un débit de 28 l/s, seul cas où un privé a réalisé des forages profonds. Traditionnellement, l'exploitation des eaux se fait par des puits à balancier. Actuellement, les puits avec motopompes de faibles profondeurs, variant entre 3 et 38 m dans la zone d'étude. Selon B.G. (2000), il a été procédé à la détermination de la profondeur du toit des agiles à la base de la nappe pour estimer l'épaisseur de la nappe phréatique.

Cette profondeur du toit des agiles varie entre une dizaine de mètres à plus d'une centaine de mètres.



**Figure 24.** Répartition des puits et forages dans l'espace agraire de la ville d'El-Oued

### 3.1.2. Système d'irrigation

Dans nos sorties de prospections, nous avons observé que la plupart des exploitations utilisent les systèmes d'irrigation pivot et/ou goutte à goutte pour les cultures maraichères, d'une part, et le système d'irrigation localisé pour l'arboriculture fruitière et la phœniciculture, d'autre part (Photo 8). Selon LADJICI et *al.* (2015), l'irrigation par goutte à goutte semble mieux que système pivot en fonction de la production, économie d'eau et la consommation d'énergie électrique et par conséquent une diminution des coûts de production.

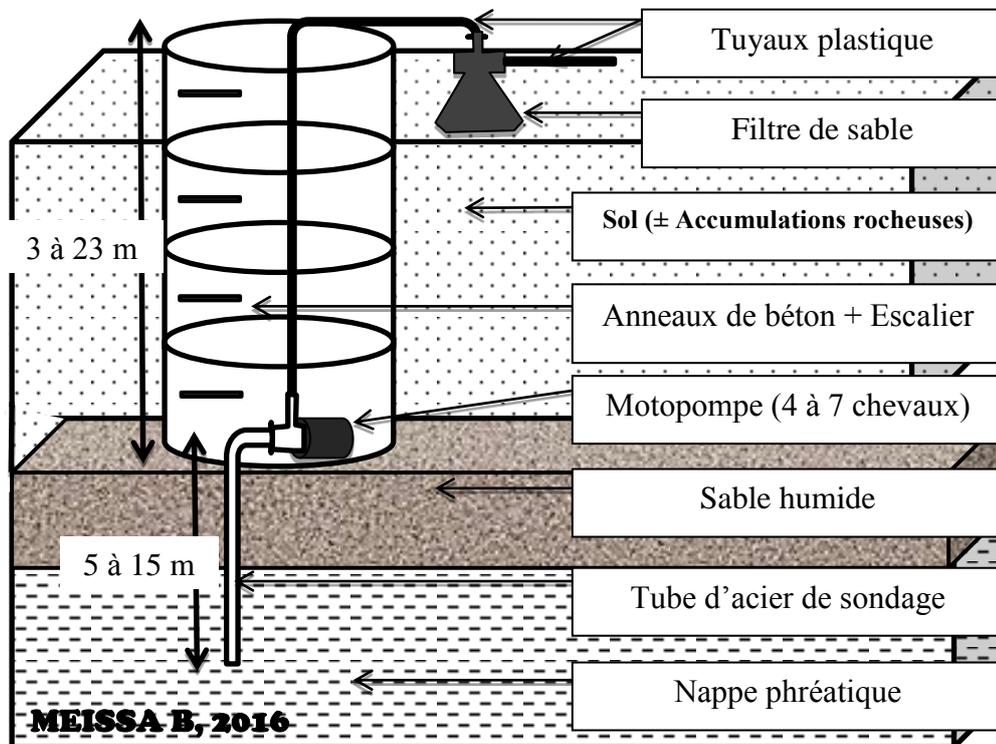


**Photo 2.** Système d'irrigation de mise en valeur : mini-pivots et goutte à goutte

L'étude du système d'irrigation du système moderne montre que l'exploitation des eaux phréatiques se fait par des puits avec motopompes, de faible profondeur (Fig. 25). Chaque exploitation dispose de son puits et sa motopompe. Quant aux grandes exploitations, elles en disposent souvent de plusieurs puits, s'équipant de pompes verticales et de puits avec tiges de sondage.

La construction de ces puits se fait en deux parties :

- Première partie se caractérise par 3 à 23 anneaux de béton, d'une hauteur 1 m, avec motopompe, ayant une puissance de 4 à 7 chevaux ;
- Deuxième partie se distingue par un tube d'acier de sondage, à longueur variable, de 5 à 15 m.



**Figure 25.** Système de puits d'irrigation avec motopompe à Oued Souf

### 3.1.3. Qualité des eaux d'irrigation

Les eaux d'irrigation étudiées montrent un taux de minéralisation qui oscille entre 2,8 g/l et 7 g/l (Annexe 3). Sur la base de l'échelle proposée par DURAND (1958), les eaux d'irrigation sont classées de fortement à très fortement salées, avec un risque élevé de salinisation des sols.

Le pH dépend de l'origine des eaux, la nature géologique du substrat et du bassin versant traversé. Dans la plupart des eaux naturelles, le pH est compris entre 6 et 8,5 (BERMOND et VUICHARD, 1973).

A la lumière des résultats des analyses des eaux d'irrigation, le pH des 27 exploitations agricole de mise en valeur montre une faible variation, avec un écart-type inférieur à 0,47 et une moyenne de 7,1. Généralement, le pH des eaux d'irrigation varie entre neutre et alcalin. Les valeurs du pH enregistrées ne montrent aucune variation notable entre elles.

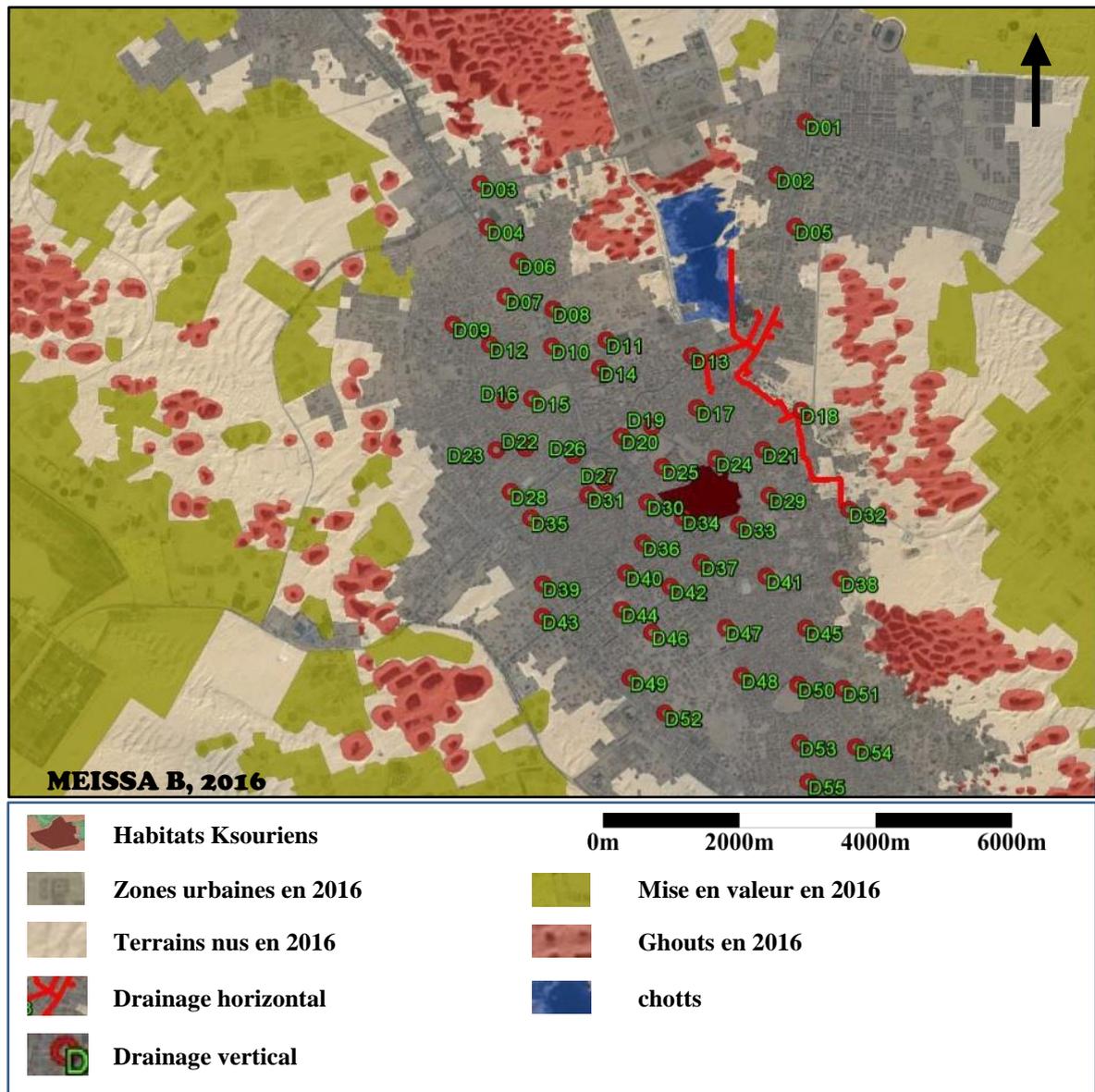
La variation des valeurs du pH entre les sites d'échantillonnage ne dépassent pas en général deux unités.

### 3.2. Gestion des eaux de drainage

Il existe deux sortes de drainage : le drainage vertical et le drainage horizontal.

Selon le rapport technique de l'O.N.A. (2011), un réseau de drainage vertical a été adopté et mis en service en 2011. Il est composé d'un réseau de 58 puits forés, dont 51 sont fonctionnels dans la nappe phréatique, et sont équipés de pompes, en fonction du niveau souhaité (Annexe 4).

Un réseau de drainage horizontal consiste en une série de drains qui ne seront effectifs que quand la nappe atteindra leur niveau. Il est destiné essentiellement pour les zones touchées par les inondations (cités du Chott, Nezla et Sidi Mestour), situés au nord de la ville (Fig. 26). Le solde des eaux est collecté au niveau de la station de pompage ST 10 par des conduites, puis refoulé sur environ 4200 m jusqu'au collecteur des eaux usées traitées (MILOUDI, 2008).



**Figure 26.** Réseaux de drainage vertical et horizontal dans la ville d'El-Oued

#### 4. Gestion des eaux usées

Dans le cadre de notre recherche, dans la zone agro-urbaine d'El-Oued, un taux de raccordement au réseau d'assainissement de 80 % a été enregistré et le reste des habitations qui sont assainies par des fosses septiques (Annexe 5).

En dépit de l'existence du réseau de drainage à El-Oued, l'analyse factorielle des correspondances (AFC) des données nous a permis de remarquer que l'assainissement des eaux usées vers les fosses septiques en zones agro-urbaines a engendré la remontée de la nappe phréatique dans les Ghouts les plus bas. Par ailleurs, les zones d'irrigation situées dans la partie haute, dépourvues de réseau de drainage ne sont pas menacées par la remontée de la

nappe phréatique. Toutefois, nous ne pouvons pas exclure une pollution de nappe dans ces zones.

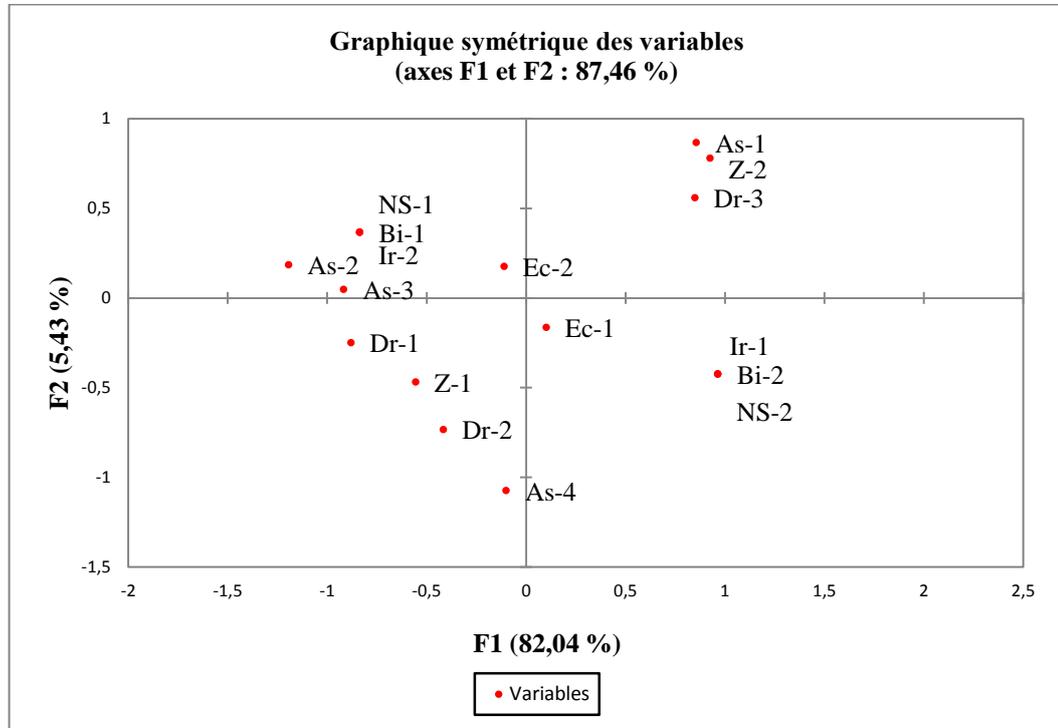


Figure 27. Relations entre les paramètres de la gestion des eaux à El-Oued

### 5. Conclusion

A la lumière des résultats de notre recherche, il semble que la situation des systèmes agraires à El-Oued est variable. Cela est très remarqué par rapport aux conditions d'entretien et des spéculations existantes.

L'avancement incontrôlé de l'urbanisation a provoqué l'envahissement des Ghouts à El-Oued entre 1984 et 2016, avec un rythme accéléré au cours des seize dernières années. Cette est davantage aggravée du côté sud-est par rapport au côté nord et à la côte ouest.

Les ressources en eau exploitées proviennent des eaux phréatiques pour les Ghouts et la majorité des exploitations de mise en valeur ; où seule la ferme de Daouia exploite la nappe du complexe terminal (Miopliocène). Sur la base de nos résultats, les eaux sont fortement à très fortement salées, susceptibles d'engendrer un risque élevé de salinisation des sols et la baisse des rendements des cultures. La surexploitation immodérée et la gestion irrationnelle des eaux ont engendré le rabattement de la nappe, d'une part, et provoqué la remontée des eaux phréatiques, d'autre part, suite au problème de topographie de la zone.

Les systèmes d'irrigation dans les exploitations de mise en valeur sont différents. Les systèmes d'irrigation le plus pratiqué est celui du « pivot », non économique, compte-tenu de ses charges élevées en électricité et les pertes par évaporation. Mais le système « goutte à goutte » plus économique, mais reste pratiqué à faible échelle dans la zone d'El-Oued, par la cherté de son coût d'installation.

La gestion des eaux de drainage reste mauvaise car la majorité du réseau de drainage dessert la ville et le système Ghout en est pourvu.

Aussi, les agglomérations urbaines à proximité des Ghouts utilisent encore les fosses septiques. Cela a engendré la stagnation et la remontée des eaux au fond les Ghouts.

Ces éléments remarqués constituent des signes précurseurs d'un état de dysfonctionnement du système agricole à El-Oued, pouvant aboutir à la dégradation et la disparition des Ghouts à long terme, si le problème n'est pas pris en charge sérieusement.

## **Chapitre VI. Evaluation de la dégradation hydro-édaphique à l'El-Oued**

### **1. Dégradation hydrique à El-Oued**

L'étude du niveau des eaux phréatiques et leurs salinités montre une dégradation hydrique au niveau de l'espace agricole d'El-Oued.

#### **1.1. Niveau des eaux phréatiques**

L'état du niveau des eaux phréatiques ne cesse de s'aggraver en l'absence d'exutoire. Notre recherche a été réalisée sur la base de deux cartes, représentant les niveaux statique et piézométrique dans l'espace agricole d'El-Oued.

##### **1.1.1. Niveau statique**

Selon LECLERC (1999), l'excès d'eau dans le sol permet une germination plus lente, le flétrissement et le jaunissement des parties aériennes. Aussi, il favorise la prolifération et le développement des mauvaises herbes, et la prolifération des champignons parasites. Enfin, il limite le développement et la nutrition des racines et provoque leur asphyxie. Ces phénomènes qui accompagnent souvent la remontée de la nappe phréatique, provoquent le stress d'anoxie. Ces effets apparaissent même chez les espèces tolérantes si elles sont soumises à l'engorgement prolongé.

Le niveau statique de la nappe phréatique présente une variation spatiale dans l'espace agricole d'El-Oued, et son étude montre deux états :

- Une élévation du niveau de la nappe phréatique à la surface de sol, où elle atteint un mètre, constatée dans les zones d'alimentation représentées par les agglomérations, les anciens Ghouts et les chotts (Photo 3) ;
- une profondeur enregistrée comprise entre 5,10 et 20,5 m dans les zones de prélèvement, en présence des cultures irriguées par les puits améliorés dans la nappe phréatique (Fig. 29).



**Photo 3.** Zones d'alimentation (Agglomérations et Ghouts)

L'étude récente de l'A.N.R.H. (2008) et ZINE (2009), dans la ville d'El-Oued, mentionne des résultats proches de notre étude. Entre mai 2008 et 2009, une augmentation du niveau de la nappe phréatique, atteignant 1,2 mètre a été remarqué dans les zones d'alimentation, avec un rabattement atteignant 0,6 mètre dans les zones de prélèvements. Cette nappe remonte dans les dépressions, sous les agglomérations et baisse dans les zones irriguées.

Nous estimons que 3% des Ghouts où le niveau statique proche de zéro et 91% des Ghouts où l'eau de la nappe monte à la surface du sol, compris entre 0,5 et 3 m, où cette estimation avoisine les 90 % des palmiers dattiers affectés par la remontée des eaux annoncées par la D.S.A. (2005) dans la commune d'El-Oued. Par contre, les autres zones de niveaux plus profonds.

Toutefois, à long terme, ces anomalies du niveau statique conduisent à l'affaiblissement, sinon à l'assèchement total du patrimoine phœnicicole des Ghouts, souffrant du manque d'eau.

La surexploitation de la nappe phréatique par les systèmes modernes a engendré des conséquences graves sur les systèmes traditionnels, dont :

- Une remontée dans les zones basses, menaçant les Ghouts et les habitations par inondation ;
- Un rabattement dans les zones hautes, avec des risques qui menacent les Ghouts par l'affaiblissement ou l'assèchement total (Fig. 29).

Selon B.G. (2004), aussi, dans les zones agricoles irriguées par les forages au CT, les anomalies hautes sont de 5 mètres dans le domaine Daouia, près d'El-Oued, et à 3 mètres à Foulia. Dans la zone de rejet d'El-Oued, l'anomalie est de l'ordre de 7 mètres.

La figure (28), montre bien la situation du niveau statique en fonction de la topographie de la zone d'étude et la dynamique de la nappe phréatique, en présence d'un pompage excessif.

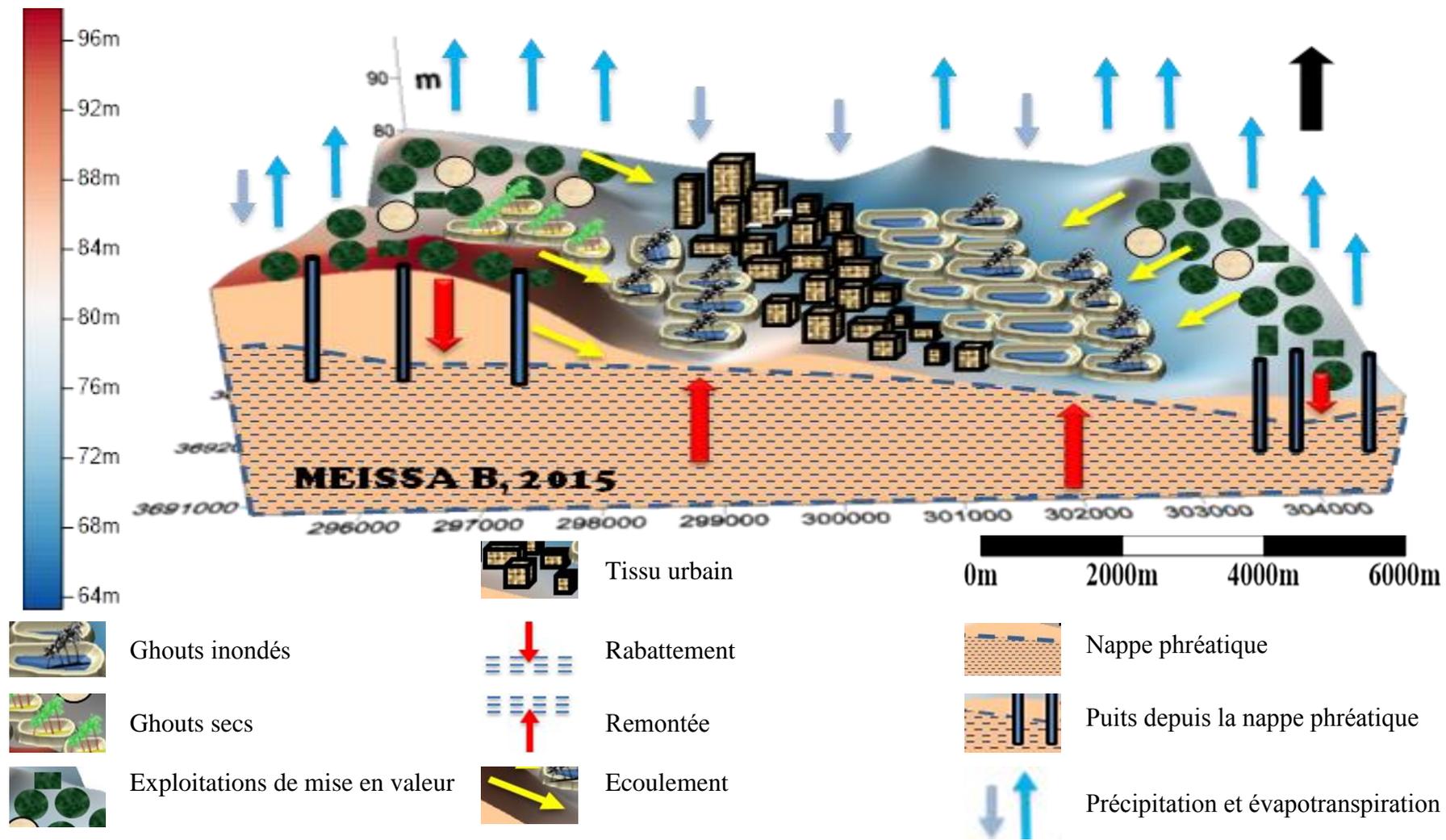


Figure 28. Situation de la nappe phréatique d'El-Oued

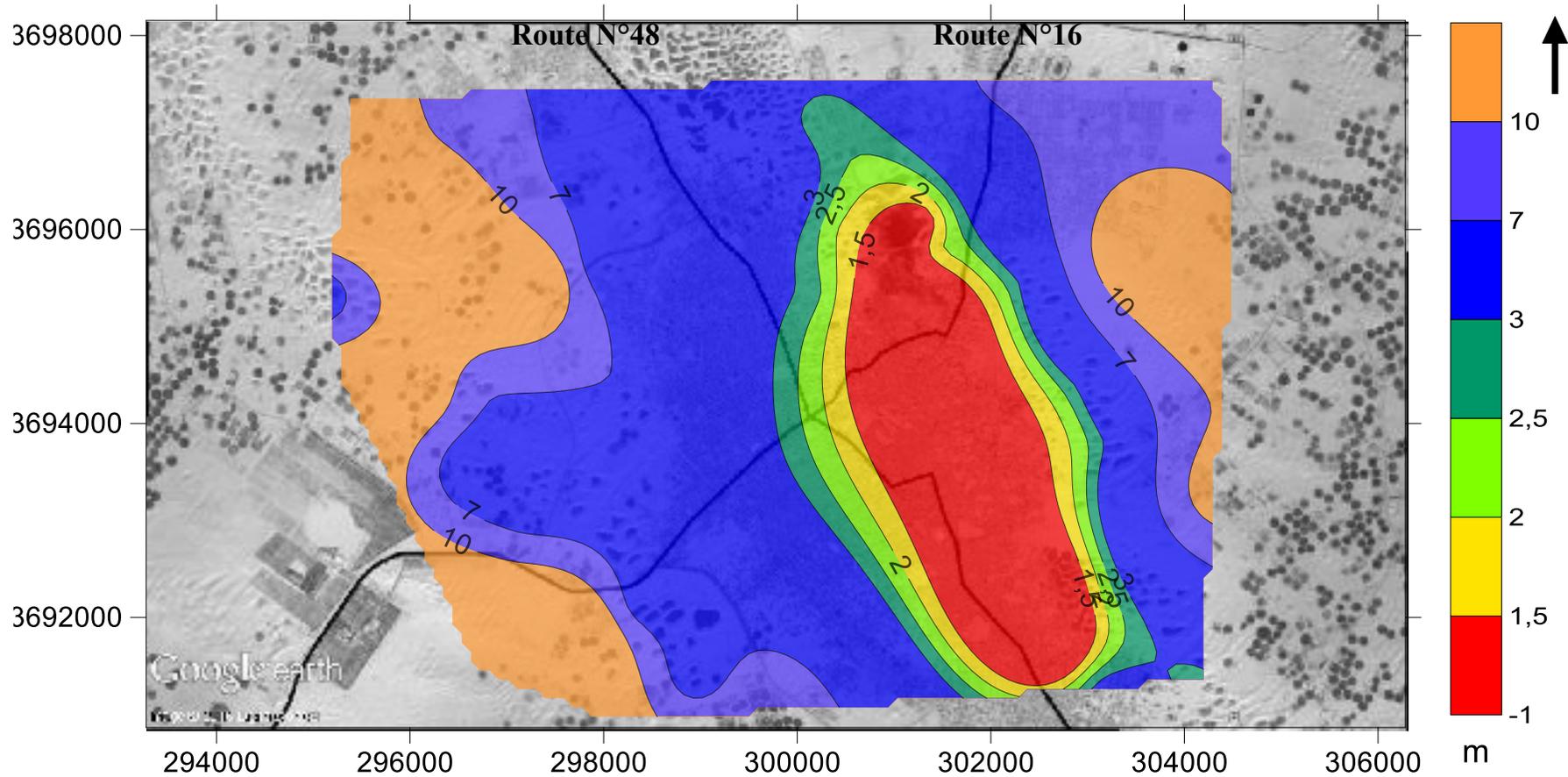


Figure 29. Niveau statique de la nappe phréatique dans l'espace agricole d'El-Oued

### 1.1.2. Niveau piézométrique

L'étude du niveau piézométrique de l'aquifère débute par l'établissement de la carte piézométrique. Cette dernière est le document de base de l'analyse et de la schématisation des fonctions capacitives et conductrices du réservoir et du comportement hydrodynamique de l'aquifère. C'est la synthèse la plus importante d'une étude hydrogéologique" (CASTANY, 1982).

L'objectif principal de l'analyse de la carte piézométrique dans l'espace est de visualiser la direction des écoulements horizontal et vertical, ainsi conditionné par l'altitude et le niveau statique. En effet, les eaux souterraines sont le moyen de transport de toute substance minérale ou organique. C'est d'après l'écoulement qu'on peut reconnaître les zones vulnérables ou contaminées à condition de pouvoir localiser les rejets.

La carte topographique réalisée dans la zone d'étude montre qu'une série de Ghouts est implanté dans un couloir de dépression. Cette dernière est prolongée de la côte sud-est à nord-ouest de la ville (Fig. 30). Les dépressions dans la topographie peuvent gêner l'écoulement des eaux phréatiques représentant une zone d'alimentation.

La remontée des eaux phréatiques produit une dégradation des sols par hydromorphie dans les Ghouts, aboutissant au dépérissement des palmiers dattiers (Photo 4).



**Photo 4.** Hydromorphie en zone de dépression dans les Ghouts est de la ville

On remarque que les Ghouts inondés en zones urbaines de Ouled Hamed est sont devenus de véritables lacs d'eau où les roseaux ont pris la place des palmiers dattiers. Cette situation critique constitue une véritable menace pour la santé des populations, progression des maladies à transmission hydrique, dégagement d'odeurs, prolifération des moustiques et insectes nuisibles, ainsi que le danger de noyade d'enfants dans ces Ghouts, puisqu'on a recensé un nombre important de Ghouts dont la profondeur d'eau dépasse 1 mètre.

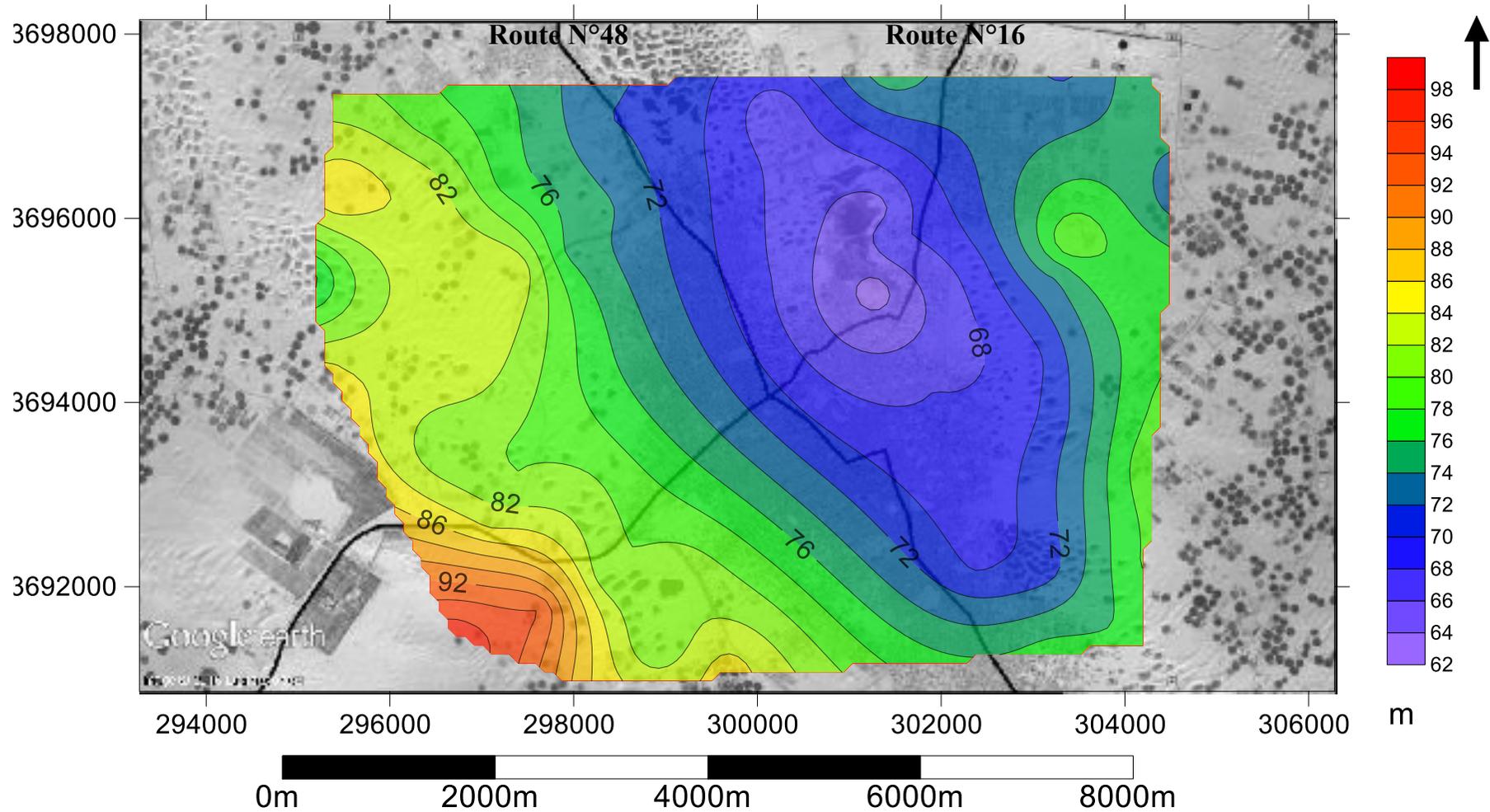


Figure 30. Carte topographique de l'espace agricole d'El-Oued

On remarque que le niveau piézométrique dans l'espace agraire d'El-Oued est variable, compris entre 77,5 et 62,5 m. Nous avons aussi enregistré dans ce dernier des valeurs variables, comprises entre 66,5 et 64,12 m au nord de la ville, entre 77,43 et 72,10 m au sud-ouest, et entre 67,90 et 66,12 m, un dôme piézométrique au nord-est de la ville.

Les mesures piézométriques réalisées en mai 2008 par l'A.N.R.H. confirment nos résultats, où elles montrent une nappe phréatique caractérisée par l'existence de trois zones importantes ;

- Zone A : au sud-ouest, caractérisée par la présence d'un dôme piézométrique, d'une altitude allant de 74.7 m à 77.7 m ;
- Zone B : cité du 08 mai au nord-est, caractérisée par un dôme piézométrique, d'une altitude allant de 67.2 m à 70.2 m ;
- Zone C : au centre, représentée par la cité Chott, correspondant à une dépression importante, d'une altitude allant de 64.2 m et 65.7 m, et est caractérisée par la remontée de la nappe phréatique en surface.

On remarque au passage que :

- Le dôme piézométrique correspond à une zone d'alimentation ;
- Une dépression piézométrique correspondant à un drainage.

Selon ZINE (2009), le sens général d'écoulement des eaux souterraines est du sud-ouest vers le nord-est.

On constate à partir de la carte piézométrique que l'écoulement de la nappe phréatique se fait selon trois directions (Fig. 31) :

1. Un sens général d'écoulement vers les zones de dépression au centre-ville, où nous avons remarqué l'affleurement de la nappe à la surface de sol ;
2. Vers le nord-ouest de la ville où existent les exploitations de mise en valeur irrigués par la nappe phréatique ;
3. Vers l'est à partir du dôme piézométrique vers les exploitations de mise en valeur irrigués par la nappe phréatique.



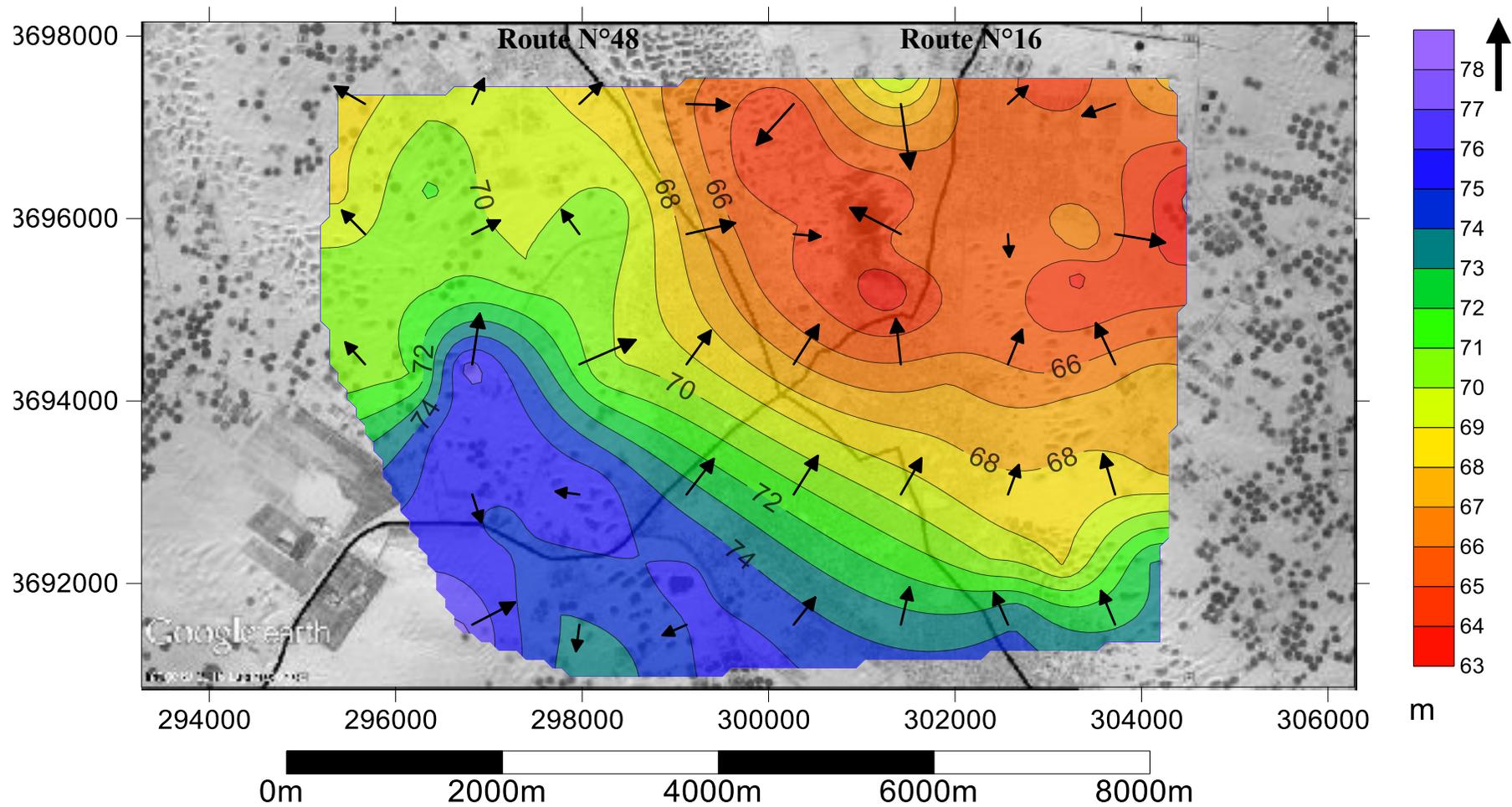


Figure 31. Niveau piézométrique de la nappe phréatique dans l'espace agricole d'El-Oued

## 1.2. Qualité des eaux phréatiques

### 1.2.1. Degrés de salinité

L'établissement de la carte de salinité des eaux phréatiques réalisée sur la base des résultats de la conductivité électrique montre clairement que la salinité dans l'espace agricole d'El-Oued oscille entre 1,68 et 13,55 dS.m<sup>-1</sup>, ce qui correspond à la classe, fortement à excessivement salée, avec une moyenne de  $4,98 \pm 0,36$  dS.m<sup>-1</sup> (Fig. 32 et annexe 6). Le degré de salinité de ces eaux phréatiques au niveau des Ghouts reste important, compris entre 1,68 et 13,55 dS.m<sup>-1</sup>, oscillant de fortement à excessivement salé. Mais dans les exploitations de mise en valeur, ce dernier est compris entre 1,95 à 6,92 dS.m<sup>-1</sup>, traduisant des eaux, allant de fortement à excessivement salée. Aussi, dans ces exploitations de mise en valeur, la classe très fortement salée est de l'ordre de 69 %, et la classe excessivement salée représente 19 %. Les eaux phréatiques de l'espace agricole d'El-Oued appartiennent aux classes C3, C4 et C5, selon la classification de DURAND (1958).

La conductivité moyenne des points du réseau de l'A.N.R.H. est de 4,67 dS.m<sup>-1</sup> en mars 1993 et 4,29 dS.m<sup>-1</sup> selon ZINE (2009). Ces mesures confirment nos résultats avec une moyenne de l'ordre de 4,97 dS.m<sup>-1</sup>. Toutefois, la moyenne de la salinité oscille selon l'espace agricole des Ghouts et les exploitations de mise en valeur, respectivement, de 5,99 à 3,82 dS.m<sup>-1</sup>. Cette différence semble due à la concentration des sels par évaporation dans les zones de remontée.

Les eaux phréatiques de l'espace agricole d'El-Oued sont globalement dégradées, selon différents niveaux. Selon DURAND (1958), la salinité est qualifiée de très forte, où cette eau reste inutilisable en conditions normales, et n'est autorisée que si on pratique un lessivage intense sur des cultures très tolérantes (Annexe 7). La remontée de ces eaux chargées en sels peut avoir des effets néfastes sur les végétaux en contact de leurs systèmes racinaires. Ils produisent une hydro-halomorphie qui aboutit à une pourriture racinaire par anoxie, et une mauvaise alimentation hydrique et minérale par stress salin pour le palmier dattier. Cette situation affecte directement le rendement en dattes (DADDI-BOUHOUN, 2010).

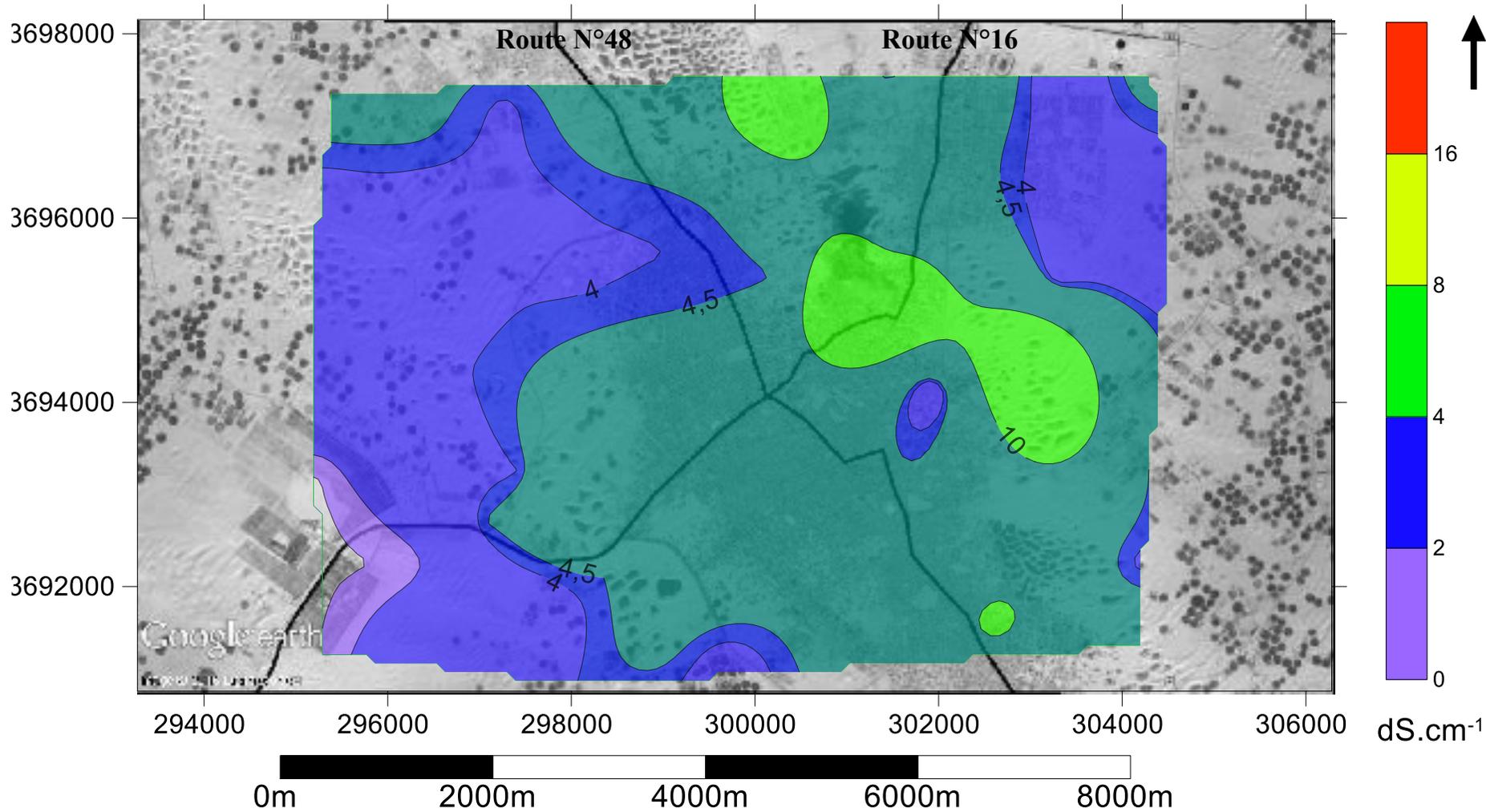


Figure 32. Salinité des eaux phréatiques dans l'espace agricole d'El-Oued

Dans ce contexte, La salinité la plus faible a été remarquée dans les exploitations de mise en valeur et la plus élevée dans les Ghouts. 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 (Fig.33). Selon la F.A.O. et l'U.N.E.S.C.O. (1973), la remontée de la nappe phréatique peut être accompagnée par l'augmentation de la teneur en sels dans l'eau de la nappe du fait du sel précipité au sous-sol des strates. Egalement, selon 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 du lessivage, et donc à un risque d'augmentation de la salinité de la nappe et des sols.

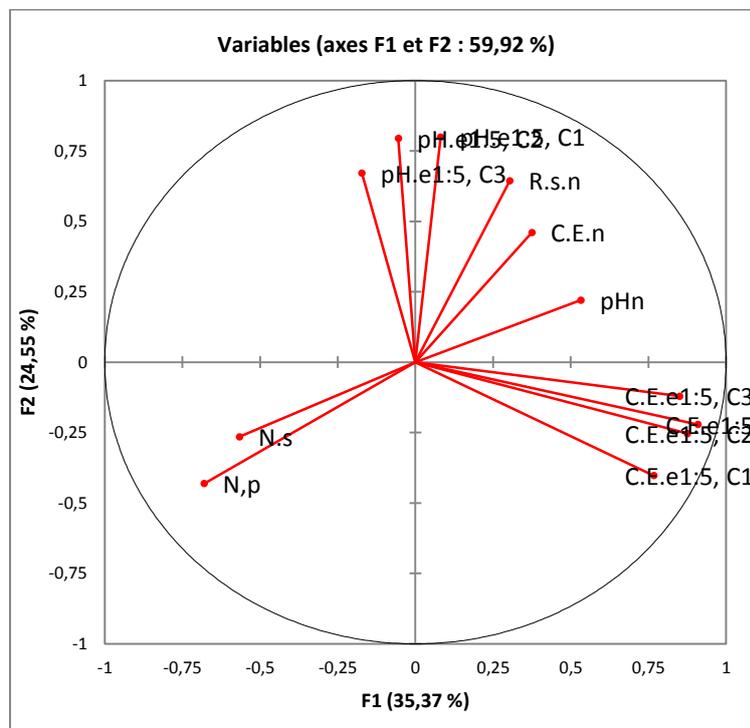


Figure 33. ACP des paramètres hydro-édaphiques

Dans ce sillage, les eaux phréatiques de l'espace agricole d'El-Oued vont de très faiblement à moyennement minéralisées selon l'échelle de FLOREA (1961 in OMEIRI, 1994), compris entre 2,20 et 22,61 g.l<sup>-1</sup> avec une valeur moyenne de 5,66 ± 0.51 g.l<sup>-1</sup> (Annexe 8). La charge saline des eaux phréatiques dans les Ghouts est de très faiblement à moyennement salée, comprise entre 2,20 et 22,61 g.l<sup>-1</sup>. Par contre, les eaux phréatiques dans les exploitations de mise en valeur sont de très faiblement à faiblement salées, de 2,81 à 7,96 g.l<sup>-1</sup>. On remarque aussi que la majorité des eaux phréatiques de l'espace agricole d'El-Oued ont une tendance à être faiblement salées (Fig. 34).

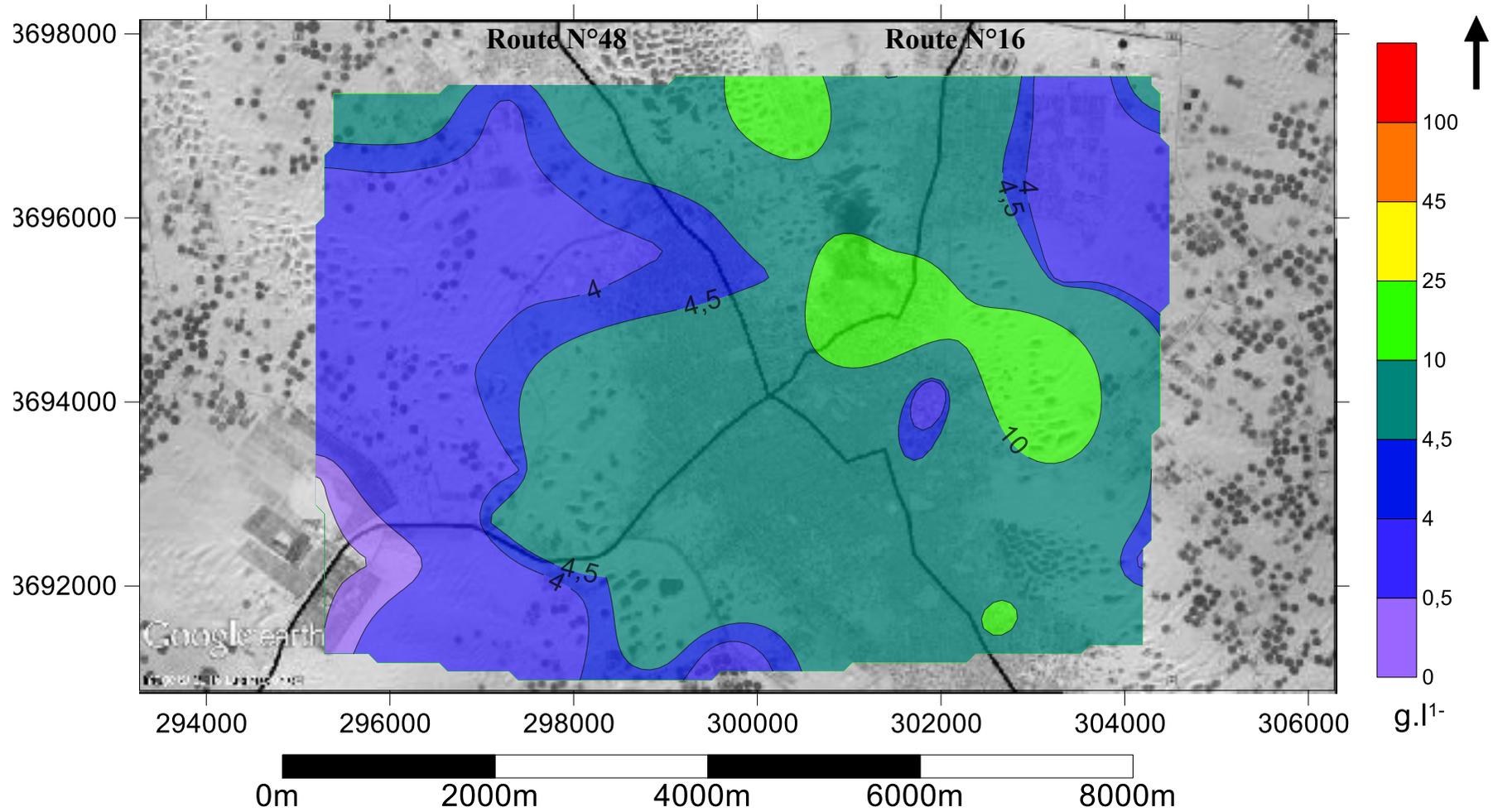
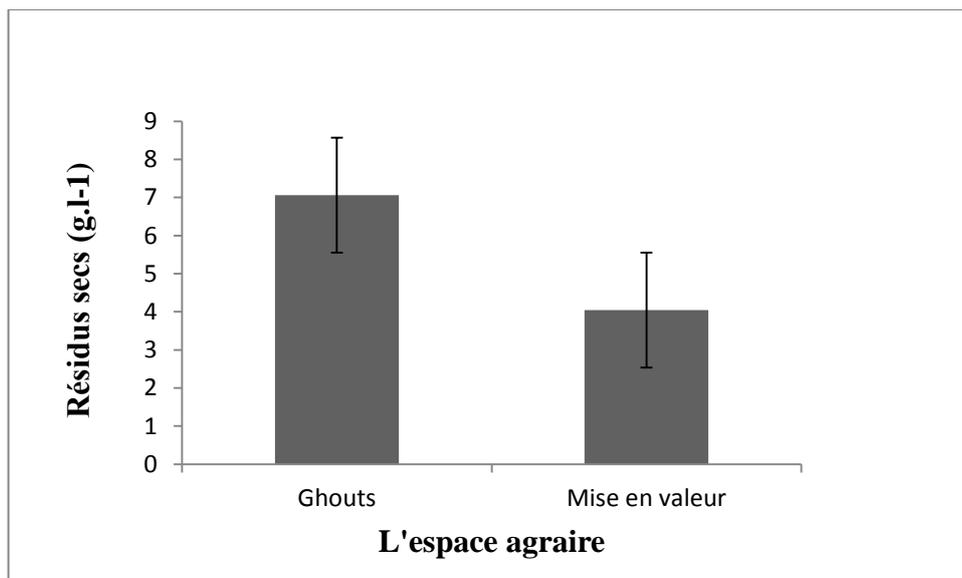


Figure 34. Variations spatiales de la charge saline des eaux phréatiques dans l'espace agricole d'El-Oued

Ainsi, les eaux des exploitations de mise en valeur d'El-Oued sont moins chargées en sels par rapport à celles des Ghouts, avec des valeurs moyennes respectives, de l'ordre de  $4,04 \pm 0,24 \text{ g.l}^{-1}$  et  $7,06 \pm 0,82 \text{ g.l}^{-1}$  (Fig.35, Annexe 9). Cette situation justifie nous semble-t-il de meilleures conditions d'évacuation des sels par lessivage. Selon B.G. (2004), la salinité de la nappe phréatique est à surveiller, qui, en cas d'augmentation, une partie ou la totalité des eaux pompées devraient être rejetées et éliminées dans des zones d'épandage. La salinité des eaux phréatiques augmente en suivant le sens d'écoulement de la nappe.



**Figure 35.** Variations de la charge saline moyenne dans les eaux phréatiques d'El-Oued

Notre recherche indique qu'il y a une corrélation significative entre la  $C.E_n$  et le résidu sec des eaux phréatiques dans le biotope nappe profonde ( $N_p$ ), avec un coefficient de détermination de 0,780, et le biotope nappe superficielle ( $N_s$ ), un coefficient de détermination de 0,736. Nous remarquons qu'à partir de ces coefficients, que 73,6% et 78% des cas sont dans les biotopes  $N_s$  et  $N_p$  respectivement. La variance de la  $C.E_n$  des eaux phréatiques est expliquée par celle du résidu sec. On remarque également que la profondeur de la nappe augmente la relation entre la C.E et le résidu sec des eaux phréatiques (Fig. 36). Cela indique des problèmes de salinisation des eaux phréatiques, lorsque le pompage dans la nappe phréatique crée un cône de dépression, avec une eau s'écoulant radialement vers le pompage. Les eaux de lessivage des sols, nécessaires pour emporter les sels, retournent verticalement à la nappe, où elles sont reprises par le pompage. Le phénomène est cumulatif. Au début, peu sensible, il peut ensuite augmenter rapidement, se traduisant par un  $R^2$  élevé (Fig. 37).

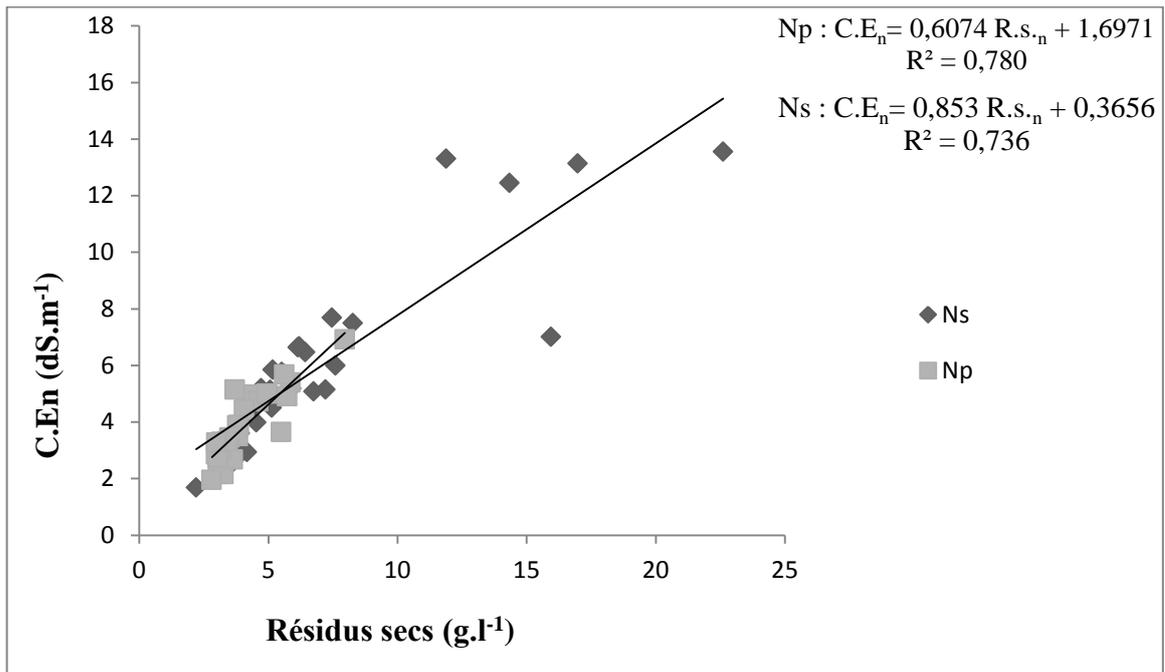


Figure 36. Relations entre le degré et la charge saline des eaux phréatiques d'El-Oued

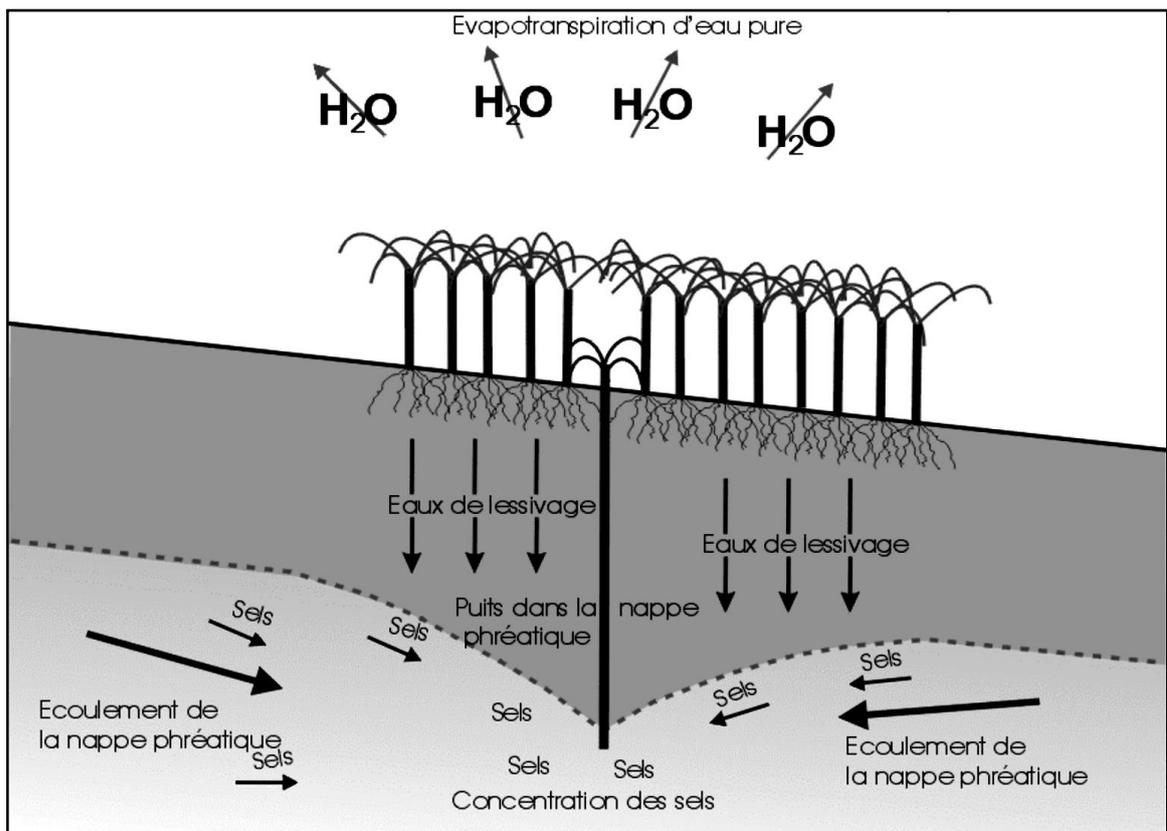


Figure 37. Cultures irriguées par puits dans la nappe phréatique (B.G., 2004)

### 1.2.2. $pH_n$ des eaux phréatiques

L'eau de la nappe phréatique de l'espace agraire d'El-Oued est alcaline. Les valeurs de  $pH_n$  sont comprises entre 6,4 et 8,94 avec une moyenne de  $7,18 \pm 0,06$ . Le  $pH_n$  des eaux phréatique des Ghouts et des exploitations de mises en valeurs varie respectivement de 6,61 à 8,94 et de 6,4 à 8,43 (Fig. 38 et annexe 10).

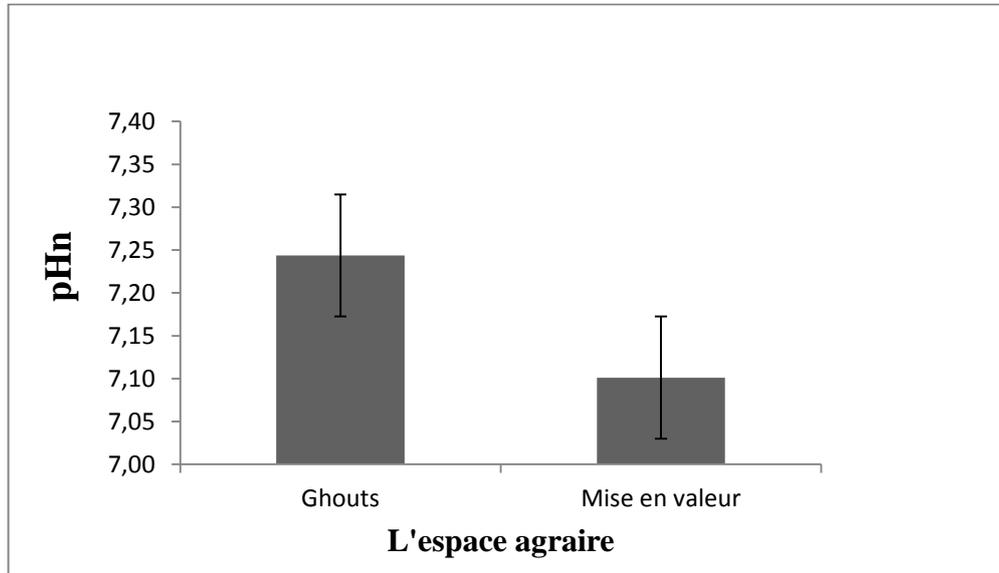


Figure 38. Variations du  $pH_n$  moyen des eaux phréatiques

## 2. Dégradation édaphique à l'El-Oued

### 2.1. Salinisation des sols

A la lumière des résultats obtenus, la conductivité électrique et le pH des sols se caractérisent des variations du degré de salinité et d'alcalinité dans les horizons du sol de l'espace agraire d'El-Oued.

#### 2.1.1. Degré de salinité

Concernant l'étude de la variation spatiale du degré de salinité des différents horizons de sol de l'espace agraire d'El-Oued, où celle-ci montre une certaine dégradation variable par l'effet de la salinisation, comprise entre  $0,31$  et  $2,73 \text{ dS.m}^{-1}$ , où les sols sont non salés à très salés, selon la classification de MATHIEU et PIELTAIN (2009) (Annexe 11).

Aussi, nous avons regroupé les classes de salinités en deux catégories, selon les niveaux de dégradation, à savoir les sols non dégradés et ceux dégradés.

En effet, les sols non dégradés comprennent les classes de salinités non salés et légèrement salés, et ceux de la catégorie dégradés qui comprennent les classes salées et

celles fortement salées. Nous avons remarqué aussi que la majorité des couches de sols sont salées à très salées (Fig.39 ; Fig. 40 ; Fig. 41).

La salinisation semble due à la conduite culturale, la mauvaise gestion de l'irrigation-drainage et la remontée des eaux phréatiques.

Nos résultats sont similaires au ceux trouvés par DADDI-BOUHOUN et al, (2011) ; BERRAH, (2009) ; KACHHA, (2009) ; BENHOUIDI (2010), où la salinité des sols de Oued Souf reste élevée.

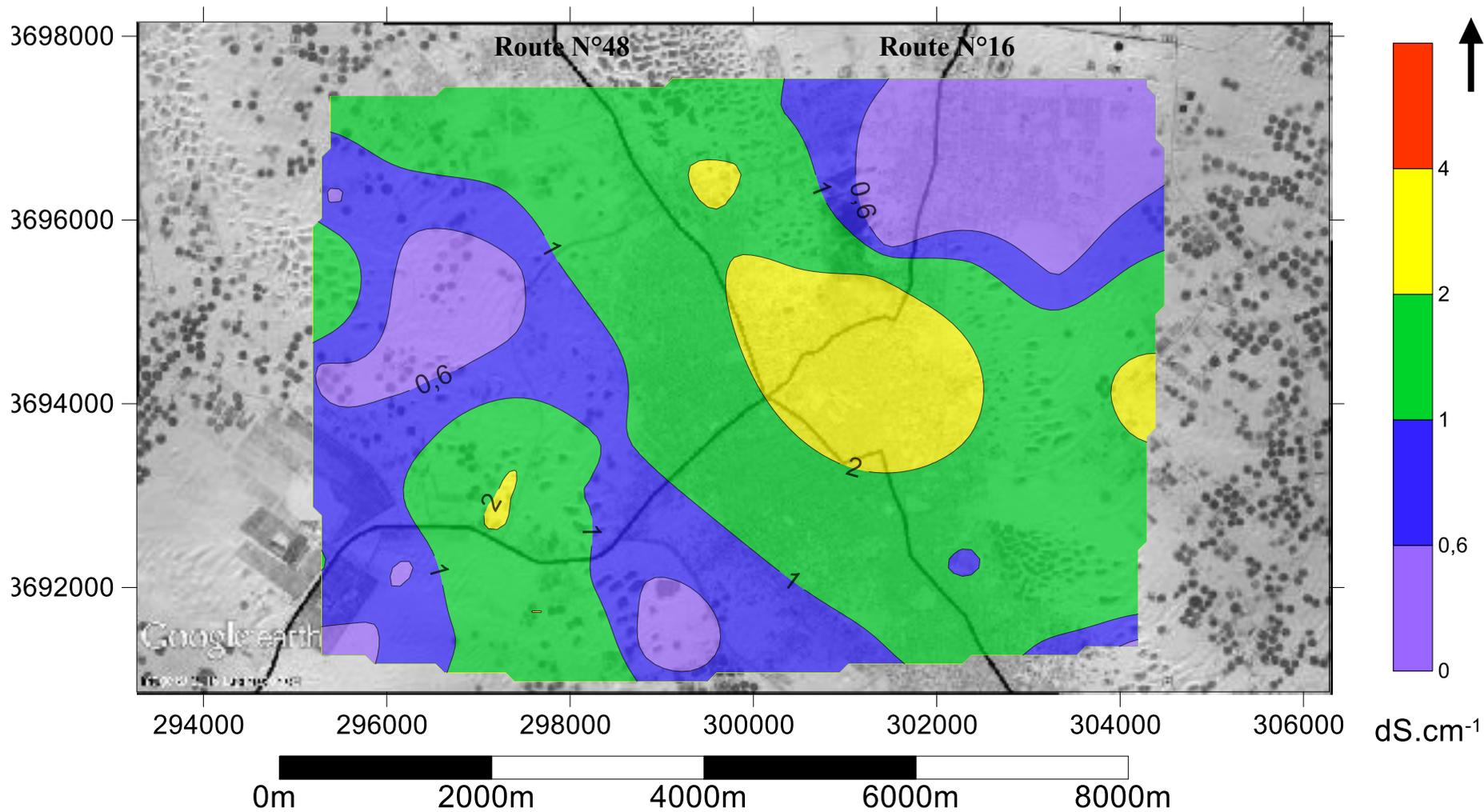


Figure 39. Variations de la salinité de la couche 0 - 40 cm des sols de l'espace agricole d'El-Oued

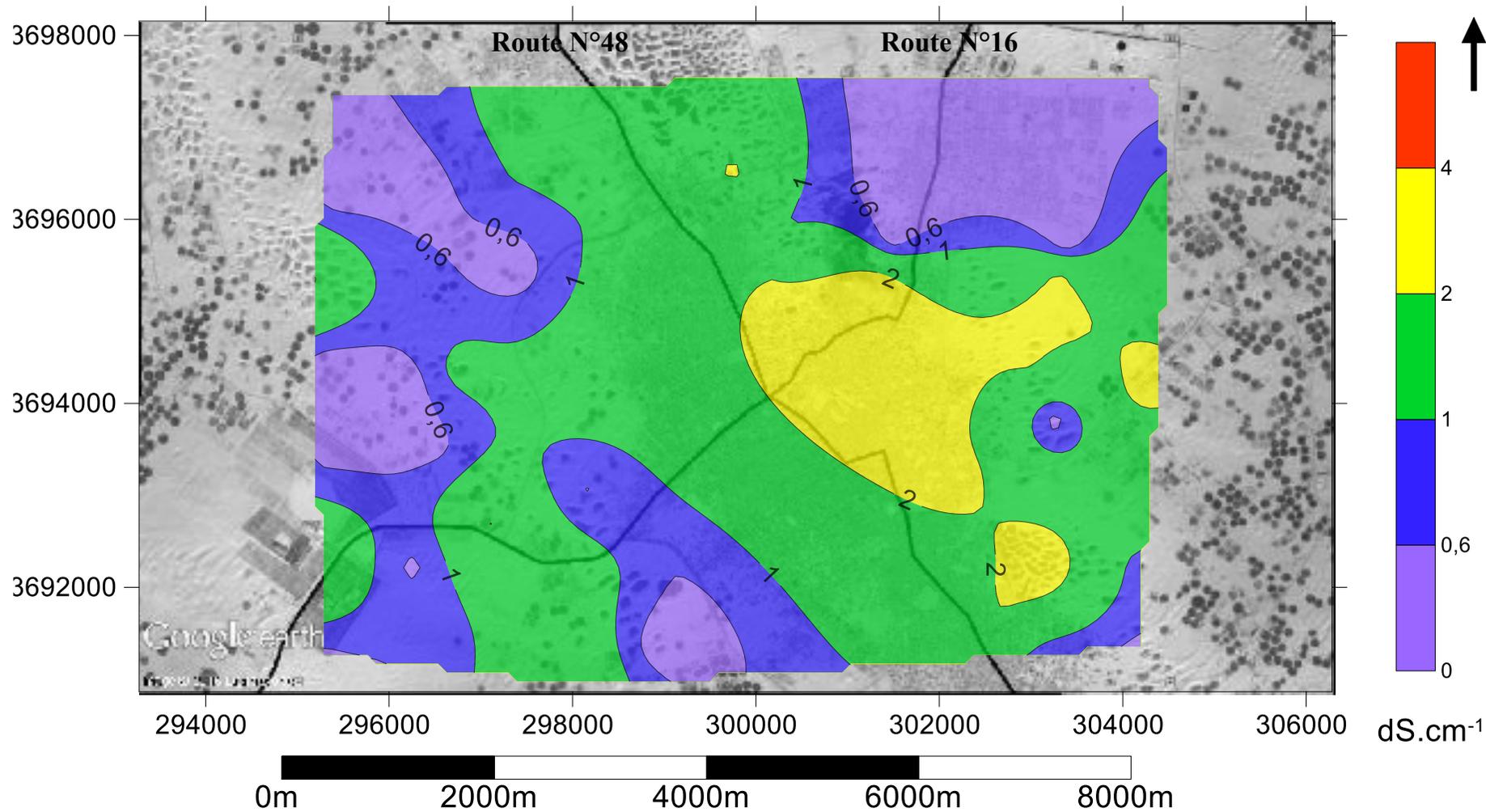


Figure 40. Variations de la salinité de la couche 40-80 cm des sols de l'espace agricole d'El-Oued

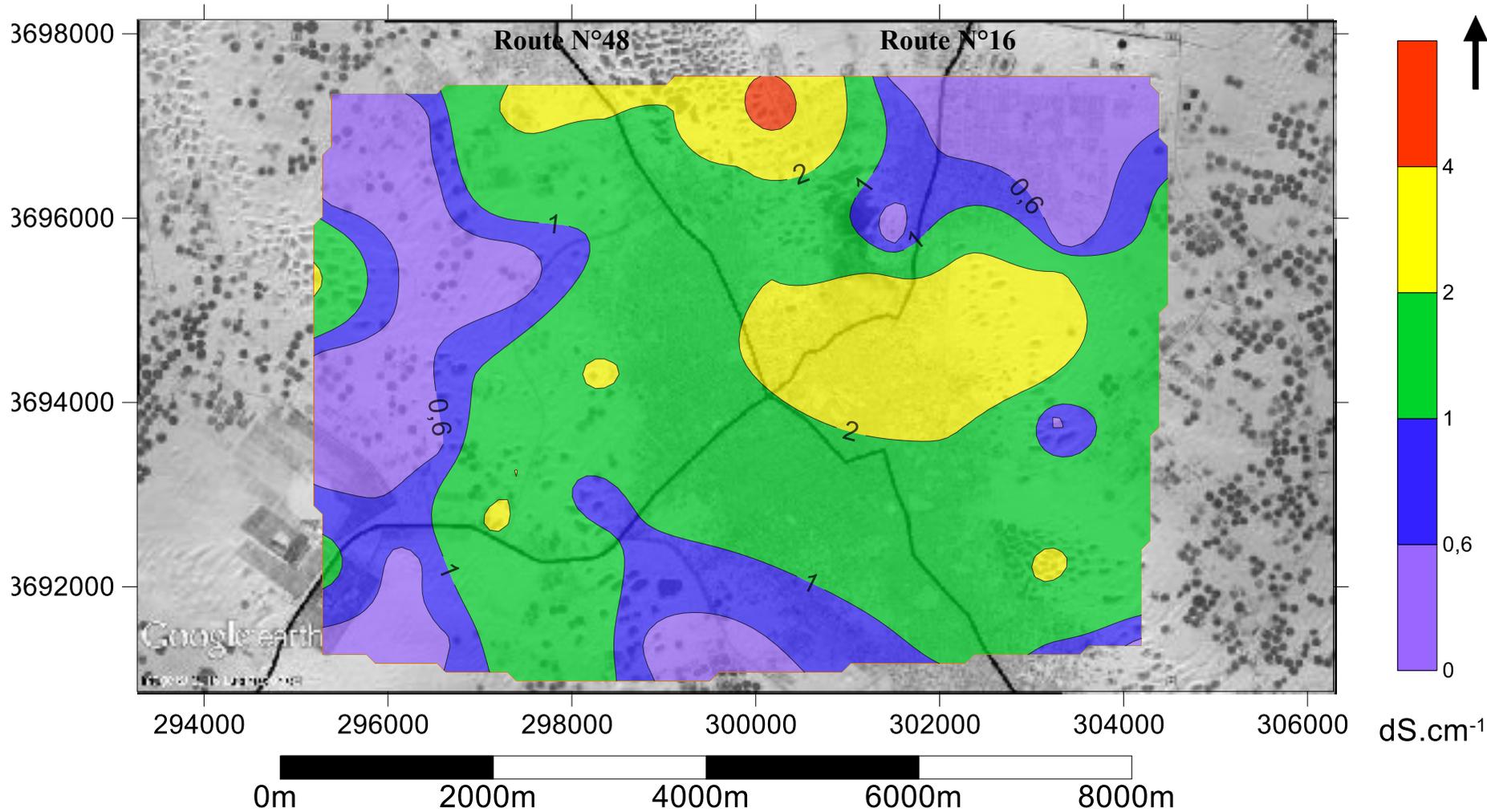


Figure 41. Variations de la salinité de la couche 80 - 120 cm des sols de l'espace agricole d'El-Oued

Nous avons remarqué également que les couches de « sols dégradées » sont les prédominantes dans les Ghouts, avec un taux qui oscille entre 60 et 63.33 %.

Toutefois, nous avons aussi observé que la catégorie des couches de sols dégradés ne dépasse pas les 40 % dans les exploitations de mise en valeur (Fig. 42).

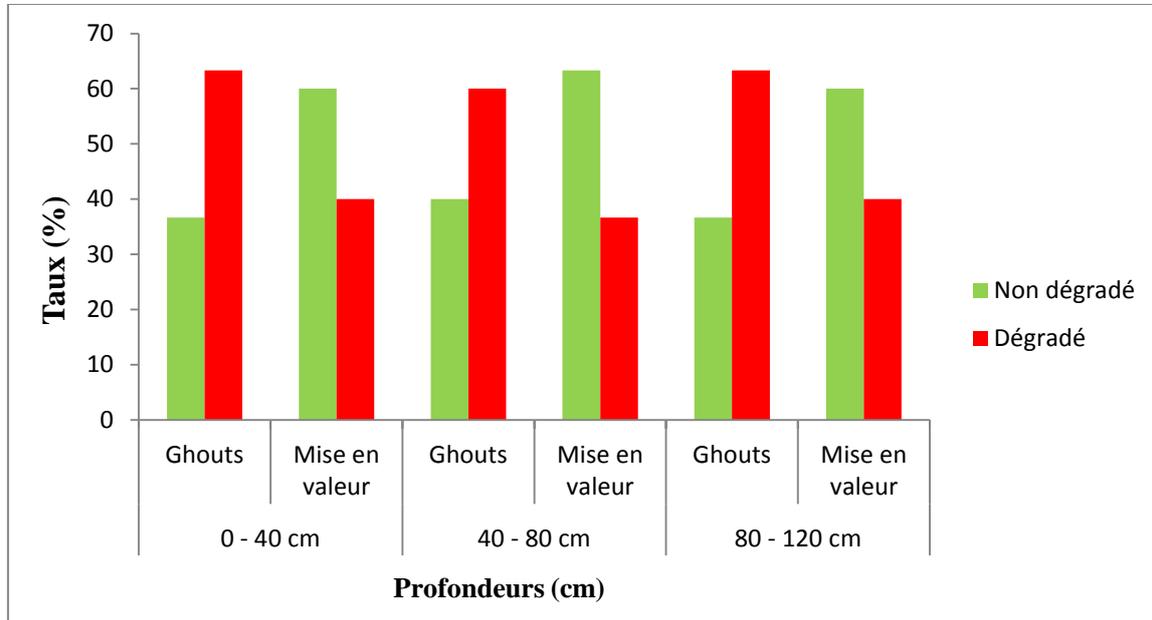


Figure 42. Taux de dégradation des sols par salinisation dans l’espace agraire d’El-Oued

### 2.1.2. Dynamique des sels

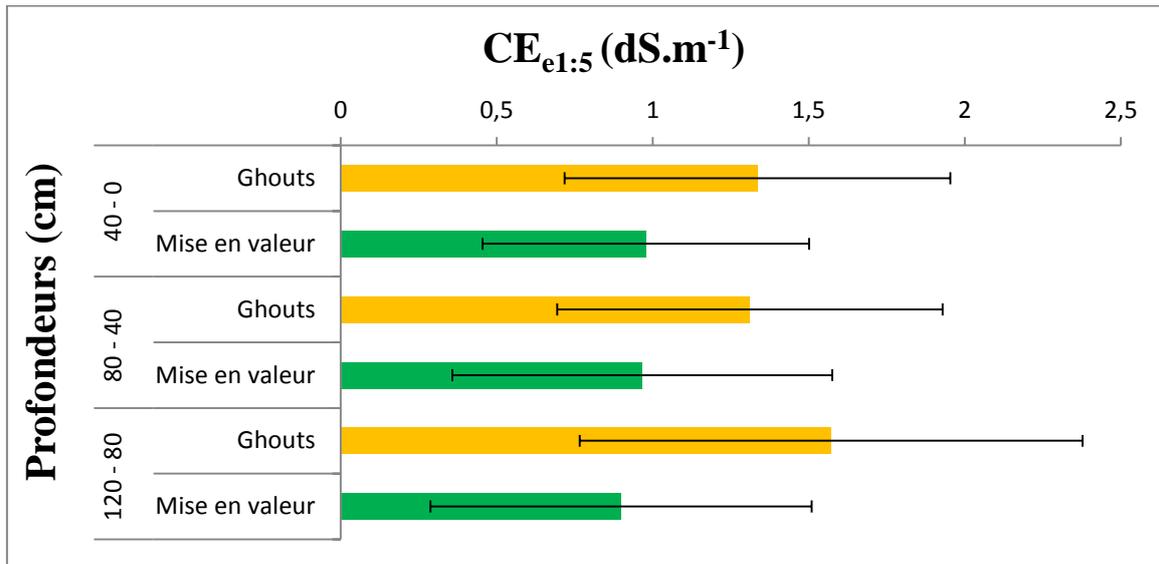
Dans le cadre de cette recherche, on estime que la dynamique des sels dans les profils des sols de l’espace agraire d’El-Oued diffère.

Aussi, nous avons remarqué que dans les Ghouts, la salinité du sol dans l’horizon profond est plus grande et est variable par rapport aux horizons moyens et superficiels, avec un intervalle moyen de 0,40 à 5,08 dS.m<sup>-1</sup>, et de 0,35 à 2,88 dS.m<sup>-1</sup> pour la couche de sol en moyenne profondeur, et de 0,34 à 3,13 dS.m<sup>-1</sup> pour la couche superficiel.

Par ailleurs, dans les exploitations de mise en valeur, la salinité dans les horizons de surface est plus ou moins importante, et reste variable par rapport à l’horizon profond, avec un intervalle moyen 0,27 à 2,49 dS.m<sup>-1</sup>, et de 0,25 à 2,20 dS.m<sup>-1</sup> pour la couche de sol de profondeur moyenne, et de 0,22 à 2,19 dS.m<sup>-1</sup> pour la couche profonde (Fig. 43 et annexe 12).

Les variations de la salinité sont soumises aux mouvements de sels ascendants par remontée capillaire et descendants par lixiviation. Le premier mouvement reste favorisé par la remontée de la nappe phréatique, le niveau de drainage et l’évapotranspiration élevée au Sahara. Le second varie avec la gestion des eaux d’irrigation 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 43.** Variations de la salinité moyenne dans les profils de sols à l'El-Oued

Dans le cadre de recherche, les quatre profils salins selon (SERVANT,1975 ; SERVANT,1978), à savoir : A, B, C et D existent à l'El-Oued (Fig. 44). Ils montrent que les sols ont subi différentes dynamiques de sels suivant deux situation : irrigués (exploitations de mise en valeur) et non irrigués (Ghouts).

La première dépend de la conduite de l'irrigation-lessivage et la seconde dépend de la fluctuation de la nappe phréatique, le climat, la densité du couvert végétal et la durée de délaissement des terres. Les profils peuvent être classés en deux catégories selon la dynamique des sels :

- Une bonne dynamique : profil salin de type B, caractérisée par une désalinisation temporaire et un profil D caractérisé par une désalinisation permanente.
- Une mauvaise dynamique : profil salin de type A caractérisée par une salinisation ascendante et un profil C caractérisée par une resalinisation de l'horizon de surface.

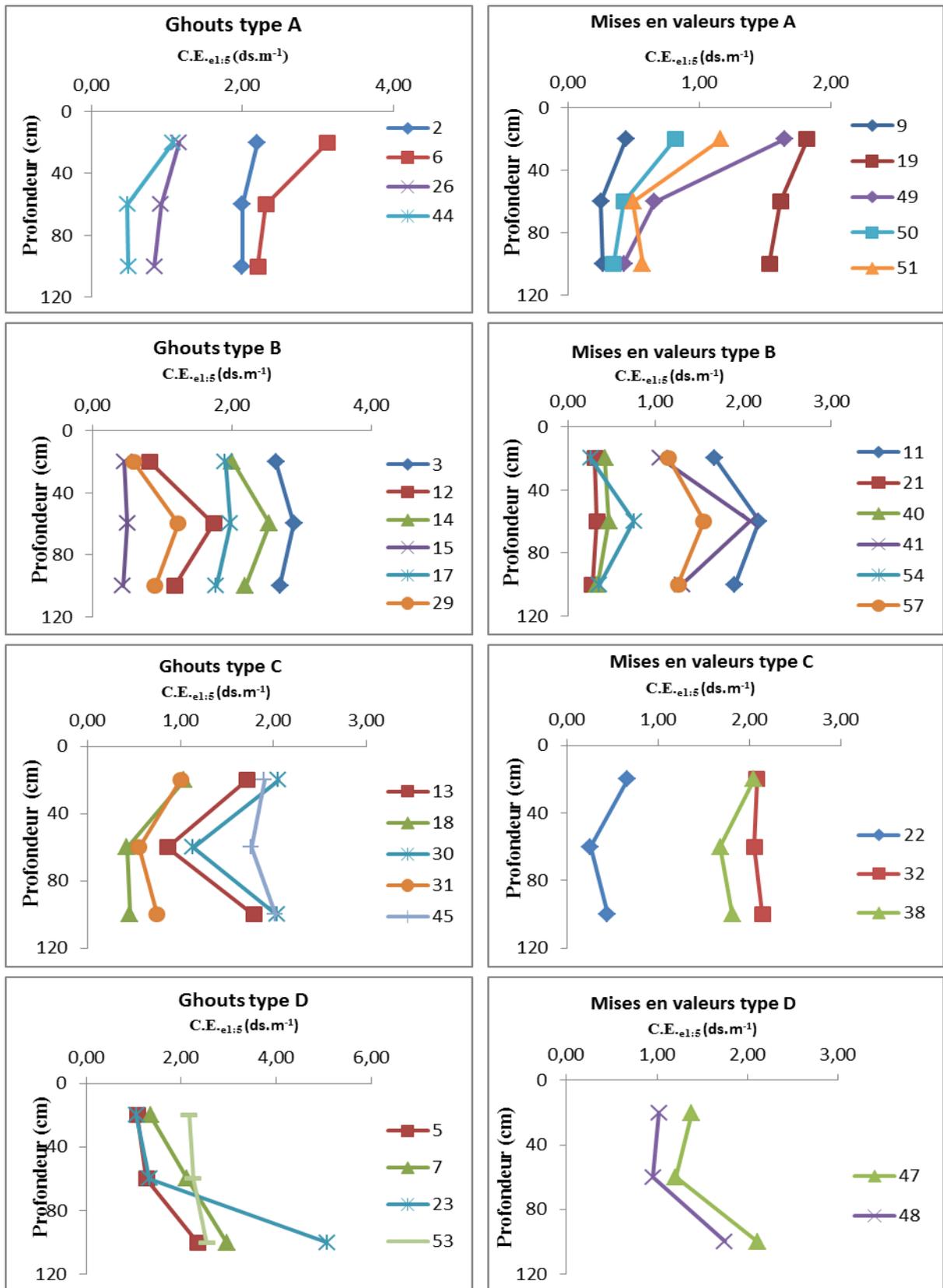
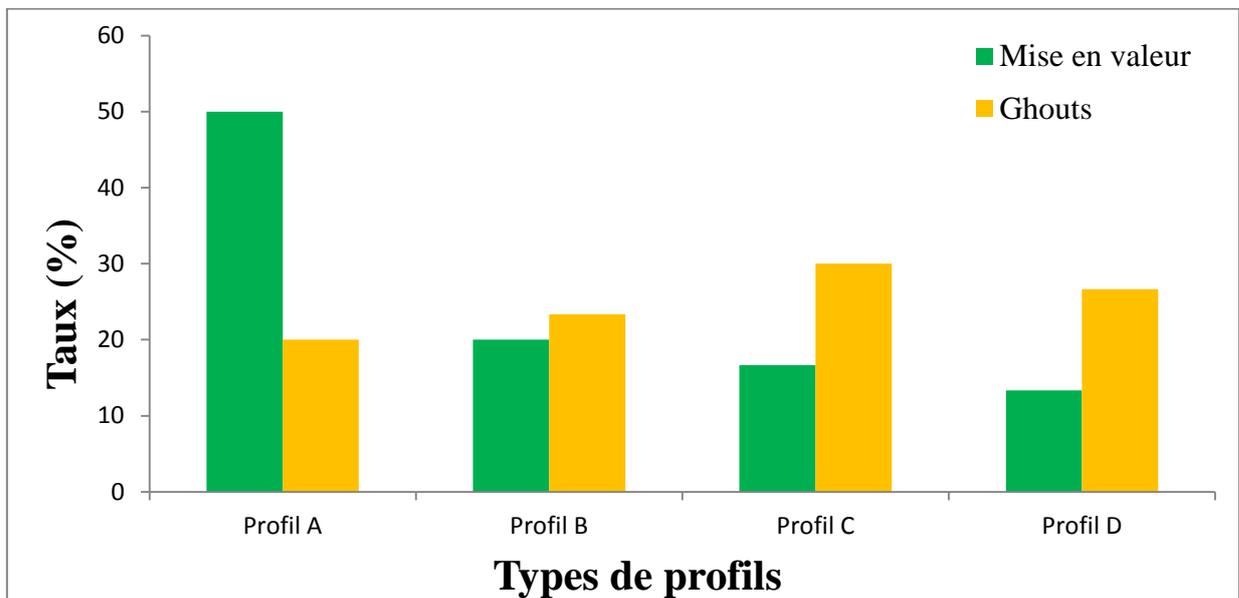


Figure 44. Types de profils salins dans l'espace agraire à El-Oued

Toutefois, le type de profil ne peut suffire à lui seul pour la détermination d'un bon profil salin adapté aux cultures. Pour cela, il est nécessaire d'assurer en plus une salinité au-dessous du seuil critique des cultures par une bonne conduite culturale, permettant la conservation du potentiel édaphique. Selon WEIBE et *al* (2001), la conservation des terres sous couverture végétale permanente et en cultures continues sont deux pratiques qui facilitent l'utilisation de l'eau de la rhizosphère, abaissant la nappe phréatique et réduisant le risque de salinisation du sol.

Néanmoins et à la lumière des résultats enregistrés dans le cadre de notre recherche, notre étude des profils de faible et de forte salinité relative à l'espace agricole d'El-Oued indique que le taux de types de profils reste variable entre les Ghouts et la mise en valeur, avec une dominance des types C et D dans l'ensemble des Ghouts, comprise entre 30 % et 26,67%, respectivement, et de type A dans la mise en valeur, estimée à 50% (Fig. 45).

Cette variabilité dans les types de dynamiques salines indique des effets de dominance de remontée capillaire des sels, d'origine de nappes phréatiques dans les Ghouts, et un effet de dominance de remontée capillaire des sels des eaux d'irrigation par évapotranspiration dans les exploitations de mise en valeur.



**Figure 45.** Taux des types de profils salins des Ghouts et de la mise en valeur à l'El-Oued

Dans le contexte de cette étude, nous estimons que le seuil critique de tolérance du palmier dattier 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 ont montré une salinité de sol inférieure au seuil critique pour le palmier dattier qui sont estimés à 53 % ; et 47 % qui sont dégradés par salinisation ascendante et descendante.

Les profils de faible salinité existent dans les Ghouts et les exploitations de mise en valeur, compris respectivement entre 43% et 63%, et les profils de forte salinité existent dans les Ghouts et les exploitations de mise en valeur, compris respectivement entre 57% et 37%.

En dépit de la pratique des doses excessives avec des infiltrations importantes dans les exploitations de mise en valeur, le taux de la salinité augmente au-dessus du seuil de tolérance du palmier dattier. Cela semble dû aussi bien à la mauvaise qualité des eaux d'irrigation et la conduite de l'irrigation inadaptée, favorisant l'accumulation des sels en surface et engendrant la chute des rendements des cultures. L'espace agricole d'El-Oued reste confronté aux problèmes de salinisation des sols et l'exploitation de la nappe phréatique. Cette augmentation de la salinité est préoccupante, car à moyen terme, elle risque de limiter l'exploitation de cette nappe. Le recours à des eaux de faible conductivité, pour abaisser la salinité, devient alors nécessaire, que ce soit les eaux d'assainissement traitées ou celles des nappes profondes.

### 2.1.3. pH des sols

Le  $pH_{e1:5}$  des couches du sol dans l'espace agricole d'El-Oued selon la classification de MATHIEU et PIELTAIN (2003) est alcalin (Annexe 13), avec des valeurs oscillant entre 7,42 et 8,58, et une moyenne de  $8,10 \pm 0,03$ . Le  $pH_{e1:5}$  des couches du sol des Ghouts et des exploitations de mise en valeur varie, respectivement de 7,53 à 8,54, et de 7,42 à 8,58 (Fig.46 et annexe 14).

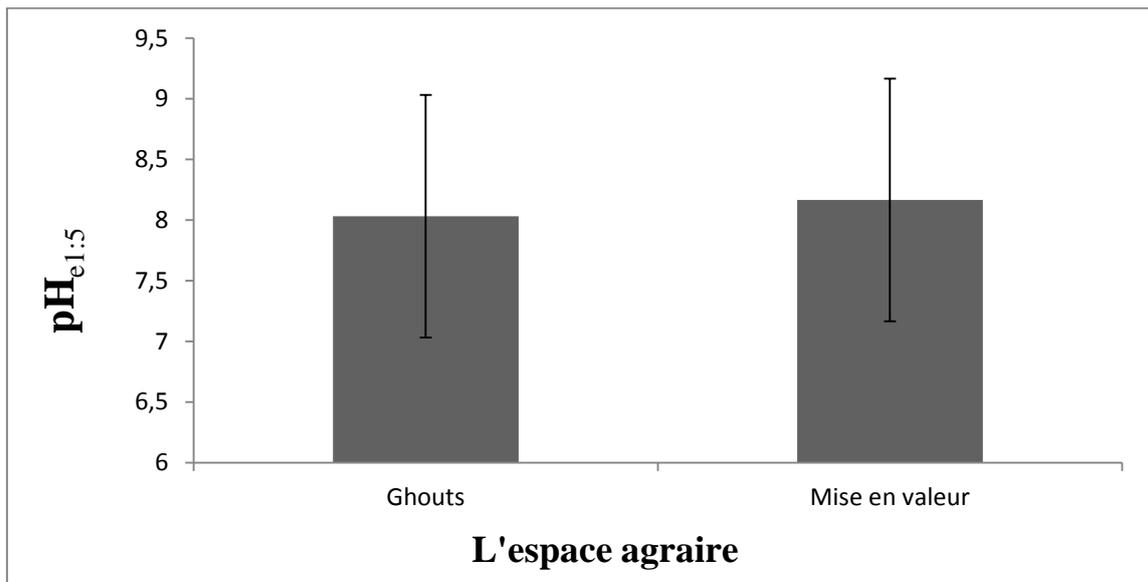


Figure 46. Variations du  $pH_{e1:5}$  moyen des couches du sol à l'El-Oued

#### **4. Conclusion**

Notre étude réalisée sur la variation spatiale de la nappe phréatique d'El-Oued ne cesse de s'empirer, montrant un niveau statique faible prédominant dans les Ghouts, et profond dans les exploitations de mise en valeur. Cela semble dû à la topographie de l'espace agricole où on trouve les Ghouts dans les zones basses, contribuent ainsi à la stagnation des eaux au fond des Ghouts, susceptibles de limiter leur exploitation et gêner leur réhabilitation.

Les zones agro-urbaines semblent plus affectées par la remontée de la nappe phréatique suite aux mesures piézométriques effectuées. L'écoulement des eaux de la nappe phréatique s'effectue vers l'intérieur de la ville et les zones agro-urbaines en direction des Ghouts, vers le Nord-est, le Nord-Ouest et l'est. Malgré le sens d'écoulement général vers le Nord-Est, l'écoulement d'autres eaux se fait en sens inverse, qui est le résultat de la topographie, favorisant ainsi l'état de stagnation des eaux dans les Ghouts.

Les eaux phréatiques peuvent engendrer un stress salin, car elles sont fortement à excessivement salées, minéralisées et alcalines. Aussi, les eaux des exploitations de mise en valeur sont les moins chargées en sels par rapport à celles des Ghouts. L'alcalinité augmente avec la salinité des eaux phréatiques.

Les cartes de variations spatiales de la salinité des couches de sols montrent une faible alcalinisation et une salinisation élevée dans les Ghouts, dépassant le seuil critique de tolérance du palmier dattier. Cette dernière a comme résultante une remontée des eaux phréatiques, favorisant les accumulations ascendantes des sels. Par ailleurs, les exploitations de mise en valeur se caractérisent par les irrigations abondantes, traduisant une bonne lixiviation des sels.

Toutefois, nous avons observé des accumulations de sels dans les horizons de surface, qui semblent dues à l'évapotranspiration élevée.

La dynamique des sels dans les profils est variable avec la dominance de l'accumulation ascendante, de type C dans les Ghouts et de type A dans les exploitations de la mise en valeur où existe un taux important d'accumulation de sels en surface.

Par conséquent, toutes ces observations faites au niveau d'El-Oued justifient amplement le dysfonctionnement dans la gestion des eaux, la dégradation hydro-édaphique de l'espace agricole et la nécessité de la mise en place d'un programme d'aménagement adéquat et sa mise en œuvre en vue de réhabiliter l'ancienne palmeraie Ghout et garantir la durabilité de l'espace agricole d'El-Oued.

# *Conclusion générale*

## *Conclusion générale*

### **Conclusion générale**

Au terme de cette recherche et à la lumière des résultats enregistrés, nous pouvons dire que l'espace agricole d'El-Oued reste caractérisé par plusieurs contraintes. Dans ce contexte, les Ghouts souffrent de plusieurs problèmes, principalement d'ordre hydro-halomorphique, ayant conduit à leur dégradation, selon divers degrés. L'avancement de l'urbanisation, les problèmes socio-économiques et la mauvaise gestion des eaux ont provoqué des pertes importantes des espaces agricoles.

L'étude de la gestion des ressources hydriques et leur estimation dans l'espace agricole d'El-Oued montre une surexploitation et un gaspillage de la ressource en eau d'irrigation, de qualité médiocre et fortement salée. Cela augmente les risques de salinisation des sols. Le système d'irrigation pivot pratiqué à El-Oued a contribué la surexploitation de la nappe par des calendriers d'irrigation inadaptés. Malgré, l'existence de réseaux de drainage, mais ces derniers ne desservent pas les Ghouts, et leurs eaux ne sont pas exploitées et sont rejetées dans les zones d'épandages.

Les eaux usées des fosses septiques, les zones de dépression et le manque de drainage dans les zones des Ghouts ont conduit à la stagnation des eaux et la remontée de la nappe phréatique dans les zones agro-urbaines. L'hydromorphie à long terme par les eaux phréatiques peut constituer un facteur limitant pour les cultures. Aussi, elle augmente la dégradation des sols par salinisation et accentue le stress salin. La carte piézométrique montre des sens d'écoulements vers les Ghouts situés au niveau des zones de dépressions qui favorisent l'écoulement des eaux usées des fosses septiques et les eaux d'infiltration des exploitations irriguées. Les anomalies constatées des niveaux statiques, se traduisant par des rabattements et des remontées liées à l'exploitation excessive de la nappe phréatique, d'une part, et l'irrigation à partir des nappes profondes d'autre part.

Cet état ne cesse pas de s'aggraver dans cet espace agricole sans exutoire. A long terme, cette situation risque d'engendrer des effets négatifs sur le niveau piézométrique de la nappe phréatique, suite au nombre important de puits exploités à partir de la nappe phréatique et le peu de forages utilisés à partir des nappes profondes.

Les problèmes de dégradation du système agricole d'El-Oued nous ont conduit à faire des recommandations d'aménagements en vue de réhabiliter l'espace agricole, le valoriser et assurer sa durabilité.

## *Conclusion générale*

Les recommandations proposées consistent en :

- La bonne gestion de la ressource en eau ;
- Amélioration des conditions de drainage et l'utilisation de leurs eaux ;
- Amélioration de la qualité des eaux de la nappe phréatique ;
- Assurer les rejets des eaux des zones agro-urbaines vers les zones d'épandage ;
- Assurer l'assèchement des Ghouts.

Aussi, il est nécessaire de réhabiliter et exploiter les surfaces des Ghouts pour encourager la mise en place des cultures adaptées, telles que le palmier dattier et l'olivier.

Certains propriétaires des Ghouts à El-Oued sont confrontés à des problèmes socio-économiques qui favorisent remblayage des Ghouts. Les conflits d'héritage est un des problèmes qu'il faut résoudre car il crée le morcellement des surfaces agricoles et parfois même le vente au comptant. Une vulgarisation et un soutien financier est nécessaire pour les agriculteurs afin de développer leur activité et de procéder à la réhabilitation des Ghouts. 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 Ghouts par urbanisation, 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 Ghouts, et la commune d'El-Oued 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 des Ghouts.

Enfin, ce modeste travail de recherche à El-Oued reste une phase préliminaire dans l'étude et la sauvegarde des anciennes palmeraies de la région d'Oued Souf où la gestion des eaux constitue un facteur limitant dans leurs développements. D'autres recherches sont nécessaires pour développer la zone d'étude et apprécier l'avenir 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.

## *Références bibliographiques*

## *Références bibliographiques*

### **Références bibliographiques**

- ABBASSENE N., 2006. Dépérissement de l'équilibre oasien. Cas de l'oasis de Timimoun. Mémoire de magister. Université de Biskra. 266p.
- ACHOUR A., 1995. Diagnostic de l'état du patrimoine phœnicicole Algérien et essai d'analyse du cout de production dattier .Cas de la palmeraie du Souf. Mémoire d'ingénieur. Université de Ouargla, 65p.
- ANRH, 1993. Coupe lithologique du forage F1. Direction régionale de Ouargla. Algérie.
- ANRH, 1994. L'inventaire des Forages et l'enquête sur les débits. Direction régionale de Ouargla. Algérie.
- ANRH, 1999. Note relative sur les ressources en eau de la wilaya d'El-Oued. Direction régionale de Ouargla. Algérie.
- ANRH, 2008. Les ressources en eaux de La Wilaya d'El-Oued. Rapports techniques. 27p.
- ANRH, 2009. Inventaire des forages d'eau de la wilaya d'El Oued. La Direction régionale Ouargla. Algérie.
- BELLALI, A. (2009). Le cas du système oasien à palmier dattier « Ghout » dans le Souf algérien. Clermont-Ferrand.
- BENHOUIDI S., 2010 : Contribution à l'étude de l'impact de la variabilité spatiale du niveau de la phréatique dans les Ghouts de Oued Souf sur la salinisation des sols. Mémoire ing. Univ de Ouargla, 98p.
- BERMOND R., VUICHAARD R., 1973 : Les paramètres de la qualité des eaux. Documentation Française, Paris, 179p.
- BERRAH S, 2009. Contribution à l'étude spatiale de la remontée de la nappe phréatique : Problème posés et conséquences sur le système agricole “ Ghout” à Oued Souf. Mémoire ing. Univ de Ouargla. pp 40-47.
- BNEDER, 1992. Inventaire du patrimoine phœnicicole. Irrigation drainage, Tipaza, 74p.
- BNEDER, 1993. Schéma directeur de mise en valeur de la wilaya. Projet type d'exécution (zone du Souf). (Rapport DE/302/93/08), Algérie, Wilaya d'El Oued, Direction des services agricoles.
- BNEDER, 1999. Etude du plan directeur générale de développement des régions sahariennes. Alger. 63p.
- BONNARD D., GARDEL A., 2004. Études d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires de lutte contre la remontée de la nappe phréatique. Lausanne Suisse, 110p.

## ***Références bibliographiques***

- BONNARD et GARDEL., 2001. Vallée du Souf. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires, pluviales et d'irrigation. Mesures complémentaires contre la remontée de la nappe phréatique. Mission 1A, Diagnostic Réseaux eaux usées, Rapport de synthèse. RADP, AGEP. 6002.01/RNO16.
- BOUAMMAR B., 2000. Les effets des changements de l'environnement économique et leurs impacts sur la rentabilité économique et financière des nouvelles exploitations agricoles oasiennes phœnicicole et céréalières et sur leur devenir : cas de la région de Ouargla. Mémoire de magister. INA d'El Harrach. Alger. 128 p.
- BOUAMMAR B., 2010. Le développement agricole dans les régions Sahariennes. Étude de cas de la région de Ouargla et de la région de Biskra. Thèse de doctorat, université de Ouargla, 293p.
- BOUBIR H., MEDARAG N. et FARHI A., 2009. Le rôle des services et des investissements dans l'hypertrophie de la ville d'El-Oued au bas Sahara algérien, Environnement urbain, volume, 3-2009, p.c-1 à c-23.
- BOUCHAHM NORA et ACHOUR SAMIA, 2008 : Hydrochimie des eaux souterraines de la région orientale du Sahara septentrional algérien- Identification d'un risque de fluorose endémique ; LA HOUILLE BLANCHE/N° 02-2008 ; 76-82
- BOUMADDA A., 2013. L'ancien système oasien dans la région de Ouargla : disparition ou réhabilitation. Mémoire Magister. Université de Ouargla. 174p.
- BOUSELSAL BOUALEM., KHERICI NACER., 2014. Effets de la remontée des eaux de la nappe phréatique sur l'homme et l'environnement : cas de la région d'El- Oued (SE Algérie), Afrique SCIENCE 10(3) (2014) 161 – 170.
- CASTANY G., 1982. Bassin sédimentaire du Sahara septentrional (Algérie, Tunisie). Aquifère du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal. Bulletin du BRGM (2), I II (2), pp: 127-177.
- CEAEQ, 2008. Ministère du développement durable, de l'environnement et des parcs du Québec, Guide d'échantillonnage à des fins d'analyses environnementales : Cahier 5 – Échantillonnage des sols, Québec, Centre d'expertise en analyse environnementale du Québec, Édition courante, p59.
- CHAOUCHE-BENCHERIF M., 2007: La Micro-urbanisation et la ville-oasis; une alternative à l'équilibre des zones arides pour une ville saharienne durable CAS du Bas-Sahara. Thèse de Doctorat, Université Mentouri, Constantine, 416p.
- CHAROY J., TORRENT H., 1990. Origine, gestion de l'eau, évaluation des aquifères dans les Oasis, Revue options méditerranéennes, CIHEAM, Série A, n11 ; pp 229-235.

## *Références bibliographiques*

- CHEYLAN J.P., 2005. Les oasis sahariennes à foggara: mutations sociales sous fortes contraintes écologiques. *Revue mappe monde*, Vol. 90-4 ; pp 44-48.
- CÔTE M., 1993. *L'Algérie, ou l'espace retourné*, Paris. Ed. Flammarion, 362p.
- CÔTE M., 1998. Des oasis malades de trop d'eau. *Sécheresse*, 9(2) ; pp 123-130.
- CÔTE M., 2001. *L'Agriculture peut-elle résoudre le problème de la remontée de la nappe?* Lausanne: BG. Group.
- COTE M., 2006. *Si le Souf m'était conté, comment fait et se fait un paysage*. Edition Mdia-plus, Constantine. 135 p.
- DADDI BOUHOUN M, 2010, *Contribution à l'étude de l'impact de la nappe phréatique et des accumulations gypso-salines sur l'enracinement et la nutrition du palmier dattier dans la cuvette de Ouargla (Sud Est algérien)*, Annaba, Thèse Doctorat., Université BADJI Mokhtar, 365 p.
- DADDI BOUHOUN MUSTAPHA., SAKER MOHAMED LAKHDAR., HACINI MESSAOUD., 2011. *Effets de la remontée des eaux phréatiques sur la salinisation des sols dans les Ghouts à Oued Souf (Sud Est Algérien)*, Laboratoire de Protection des Ecosystèmes en Zones Arides et Semi-Arides, Université Kasdi Merbah Ouargla,(Algérie).
- DAOUD Y., HALITIM A., 1994. *Irrigation et salinisation au Sahara algérien*. *Sécheresse*. Vol. 5 ; pp 151-160.
- DAVIAULT L., 1947 : *Une région du sud constantinois : Le Souf*, Adaptation pédagogique des Commissions de l'Institut Coopératif de l'Ecole Moderne, bibliothèque de travail, 63p.
- DAVIS J.C., 1984. *Statistics and data analysis in geology*. 2e édition, WILEY (éditeur), New-york, états-unis, 550 p.
- DHW, 2007 : *Bulletin d'information hydraulique* -Ed. Direction de l'hydraulique de la Wilaya d'El-Oued 22 p.
- DRE, 2013. *Documents techniques*. Alger, Direction des ressources en eau. Wilaya d'El-Oued.
- DREUX P., 1980. *Précis d'écologie*. Ed. Presse universitaire de France, Paris, 231 p.
- DSA, 2005. *La remontée des eaux de la nappe phréatique dans la région d'El-Oued Souf*, rapport synthèse.
- DUBIEF J., 1963. *Le climat du Sahara*. Tome II. Ed. Institut. Recherche. Saharien., Université Alger, 275p.
- EL AMAMI S.E., 1984. *Les aménagements hydrauliques en Tunisie*. Tunis, CRGR, 68pages. In Prof Abdallah Cherif, université de Tunis, Tunisie, la transition hydraulique en Tunisie: enjeux socio- économiques de l'eau et jeux d'acteurs ; pp 52-69. Article tiré de : actes du

## *Références bibliographiques*

- forum scientifique international: prévision du climat et gestion stratégique des ressources en eau au maghreb. Adrar, 24-26 septembre 2001.
- ENAGEO, 1993. Entreprise nationale de géophysique, division exploitation sismique. Extension de l'étude géophysique par sondage électrique de la région du Souf.66p.
- FAO et UNESCO., 1973- Irrigation, Drainage and Salinity. Edition: Hutchinson & Co. 510 p.
- GHAZALI D. et ZAID A., 2013: Etude De La Qualité Physico-chimique Et Bactériologique Des Eaux De La Source Ain Salama-Jerri (Région De Meknes –Maroc);Larhyss Journal, 12 (2013), 25-36.
- GUENDOUZ A., REGHIS Z., MOULLA A.S., 1992. Etude hydrochimique et isotopique des eaux souterraines de la cuvette de Ouargla. Rapport N1, 65p, Rapport N2, 30p.
- HOUICHITI R., 2009. Caractérisation d'un agrosystème saharien dans une perspective de développement durable : Cas de l'Oasis de SEBSEB (Wilaya de GHARDAIA), Mémoire Magister. Université de Ouargla. 90p.
- ICRA, 1994. (Centre International pour la Recherche Agricole), Recherche agricole orientée vers le développement. Cours ICRA. 288p.
- KECHHA A., 2009
- KESSAH A., 1994. Diagnostic rapide et stratégie de développement en milieu oasien. Etude comparée des oasis au Maghreb et dans le monde. Cours International du 07 au 26 novembre 1994.CRDA, Tozeur, Tunisie. 23 p.
- KHADAAOUI A, 2000. Les ressources en eau dans le Sahara septentrional congrès scientifique Arabe El Oued 2000. pp 20-28.
- KHADRAOUI A., 2007. Eau et impact environnemental dans le Sahara algérien, Définition-Evolution-et perspectives de développement. Ed : Houma. Ouargla. 310p.
- KHECHANA S. et EL FADEL., 2012. Management of Water Resources in a Hyper-Arid Area: Strategy and Issues (Case of Oued-Souf Valley-South Eastern of Algeria), Journal of Water Resource and Protection, 2012, 4, 922-928.
- KHECHANA S., 2011. Hydrochemical Characteristics of Groundwater in Oued-Souf Valley (South East of Algeria), European Journal of Scientific Research ISSN 1450- 216X Vol.62 No.2 (2011), pp. 207-215. 80.
- KHECHANA S., DERRADJI F. et DEROUICHE A., 2010. La gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued-Souf (SE Algérien) : Enjeux d'adaptation d'une nouvelle stratégie, Revue des sciences fondamentales et appliquées, vol. 2, n° 2, 2010, p 22-36. 79.

## *Références bibliographiques*

- KHOLLADI M-K., 2005. SIG pour le suivi de la remontée des eaux de la wilaya d'El Oued Souf, Congrès internationale en Informatique appliquée CiiA'05 du 19 au 21 Novembre 2005 à Bordj Bou Arreridj, 10 p.
- KOUZMINE Yaël et AVOCAT Hélène, 2007. L'eau et les territoires sahariens en Algérie, Mutations et enjeux. Colloque international « Eau, ville et environnement » 27-28 novembre 2007 Université de sciences et de la technologie d'Oran, 13p.
- LADJICI A., SAKER M.L., BOUTAOUTAOU D., MEISSA B., DADDI BOUHOUN M. et KEMASSI A., 2015. Etude comparative de l'influence de deux techniques d'irrigation (goutte a goutte et par pivot) sur la culture de pomme de terre dans la région du Souf. Revue El-Wahat pour les Recherches et les Etudes ISSN : 1112 -7163. 7p.
- LAPERCHE et MOSSMANN., 2004 - Protocole d'échantillonnage des sols urbains pollués par du plomb. 26 p.
- LAROUSSE AGRICOLE, 1984. Ed. Librairie Larousse, Paris ; pp 492-493.
- LECLERC, 1999. Ecophysiologie végétale .ED. ISBN., Paris, 277 p.
- LEGHRISSI. I., 2007. la place d'un système ingénier (ghout) dans la nouvelle dynamique agricole de la région de Souf. Mémo. Ing. Univ d'Ouargla. 78p.
- 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. Edition Tec & Doc Lavoisier. 317 p.
- MESSEKHER I., MENANI M., 2010. Evolution de la Piézometrie de la Ville D'oued Souf (Entre 1993, 2002 et 2007) - Perspectives de la Maitrise du phénomène de Remontée de la Nappe phréatique, International Network Environmental Management Conflicts, Santa Catarina – Brasil, 1(1), pp 259-266.
- MILOUDI A, 2008. Mécanismes et remèdes de phénomène de la remontée des eaux dans la région d'Oued Souf -L'impact sur l'environnement de la région. Thèse Magister. Université de Ouargla. 112p.
- NADJAH A., 1971. Le Souf des oasis. Edition la maison du livre Alger, 174p.
- 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.
- OMEIRI N., 2008. Gestion intégrée de la fertilité d'un sol sale au sein d'un agro- écosystème oasien : cas de la palmeraie du ksar de Ouargla, Mémoire Magister. Université de Ouargla. 141p.

## ***Références bibliographiques***

- ONA, 2003. Office National de l'Assainissement. Etudes d'assainissement des eaux résiduaires pluviales et d'irrigation: Mesures de lutte contre la remontée de la nappe phréatique; ONA, Ouargla, 42p.
- ONA, 2011. (Office National d'Assainissement). Rapports techniques.
- ONM, 2014. Bulletin d'informations climatiques. Ed. Office National Météorologique, EL-Oued, 5 p.
- ONS, 2013 (Office National des Statistiques), Evolution des agglomérations 1998-2013, Collections statistiques.
- ONS, 2014. (Office National des Statistiques), Evolution des agglomérations 1998-2014, Collections statistiques.
- OZENDA P., 1982- Les végétaux dans la biosphère. Ed. Doin éditeurs, Paris, 431 p.
- OZENDA P., 1983. Flore du Sahara. Ed. Centre National des Recherches Scientifiques, Paris. 39 p.
- PAEPEGAEY PY., SEYNAVE O., SAADI N., 2011. Etanchéité de lagunes aérées dans la vallée du Souf par géomembrane bitumineuse. Rencontre Géosynthétique. pp264-267.
- PATW El Oued, 2012 : Agence nationale d'aménagement du territoire, Plan d'Aménagement de la Wilaya d'El Oued (Evaluation territoriale et diagnostic), Phase I, 120 p.
- PDGRS, 1999. Etude du plan directeur général de développement des régions sahariennes. Lot I, Etude de base, Phase IV, Articulation des activités, P 3.
- RAIMBAULT G., 1994. Comptabilité générale et analyse financière: outils de gestion. Edition Chihab Eyrolles, 177p.
- RAVÉREAU A., 1981. Le M'Zab, une leçon d'architecture .Edition Sindbad, Paris, 278 p.
- REMINI A, 2006. La disparition des ghouts dans région d'El-Oued (Algerie). Larhyss Journal, ISSN 1112-3680, n 05, pp.49-62.
- REMINI.B.,2004 . La remontée des eaux dans la région d'El Oued Revue vecteur environnement Canada.
- ROUVILOIS BRIGOL M., 1975. Le pays d'Ouargla (Sahara algérien), Variation et organisation d'un espace rural en milieu désertique. Edition Publications Université de Paris, 316p.
- SAIBI.H, 2003. Analyse qualitative des ressources en eau de la vallée du Souf et impact sur l'environnement, région aride à semi-aride d'El Oued, Mémoire Magister. Université Houari Boumediene, 160p.

## *Références bibliographiques*

- Saker M. L., 2000.- Les contraintes du patrimoine phoenicicole de la région de l'Oued Righ et leurs conséquences sur la dégradation des palmeraies. Problèmes posés et perspectives de développement. Thèse de Doctorat, Université Louis Pasteur, Strasbourg, 335 p.
- SALEM A., 1988. Foggara et Kettara : un système millénaire de captage des eaux, In L'eau et Maghreb, Edition PNUD ; pp 131-136.
- SENOUSSI A., BISSATI S., LEGHRISSI I., 2012. Le Ghout dans le Souf : l'agonie d'un système ingénieux, Revue des BioRessources Vol 2 N 1, pp 65-80.
- 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.
- TOUTAIN G., 1979. Eléments d'agronomie saharienne. De la recherche au développement. Edition la maison neuve , Paris, 276p.
- TOUTAIN G., DOLLÉ V. et FERRY M., 1990. Situation des systèmes oasiens en régions arides. In Options méditerranéennes série A: séminaire méditerranéens N°11 sur les systèmes agricoles oasiens ; pp 7-18.
- VOISIN A.R., 2004. Les Souf monographie, Edition El-Walid, El Oued Algérie. 319 p.74p.
- 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.
- YEVS JANUEL., 2010. Dans le contexte d'une nouvelle dynamique agricole, quels avantages du système traditionnel des Ghouts par rapports au système oasien évolué ?, Rapport de stage, l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie. pp 4-9.
- ZELLA L., SMADHI D., 2006. Gestion de l'eau dans les oasis algériennes, Larhyss Journal, 5 ; pp149-156.
- ZINE. B, 2009. La remontée des eaux souterraines en surface: mécanisme et l'impact sur l'environnement (cas d'Oued Souf). Mémoire Magistère en Hydraulique. Universit El Hadj Lakhdar -Batna. 145p.

## ***Références bibliographiques***

### **Les sources en ligne (sites web)**

- Google earth engine., 2016, [www.earthengine.google.com](http://www.earthengine.google.com)
- Google earth., 2016, [www.google.com/earth/](http://www.google.com/earth/)
- LANDSAT., 2016, [www.landsat.usgs.gov/](http://www.landsat.usgs.gov/)
- OSS., 2016, [www.oss.org](http://www.oss.org)

# *Annexes*

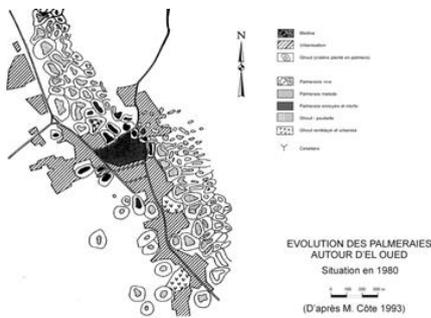
**Annexes**

**Annexe 1. Délimitation et évolution de l'espace agro-urbain d'El-Oued entre 1945 et 2000**

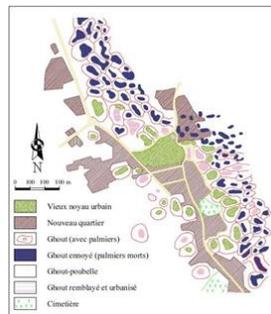
**1945 (DAVIAULT, 1947)**



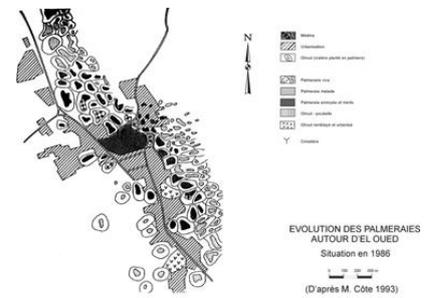
**1980 (COTE, 1993)**



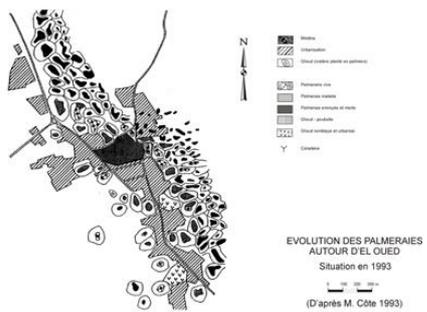
**1980 (CHAOUICHE-BENCHERIF, 2007)**



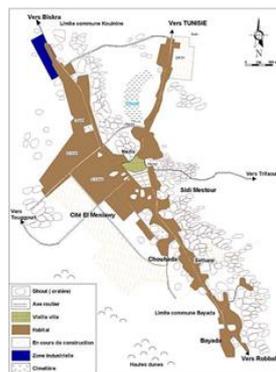
**1986 (COTE, 1993)**



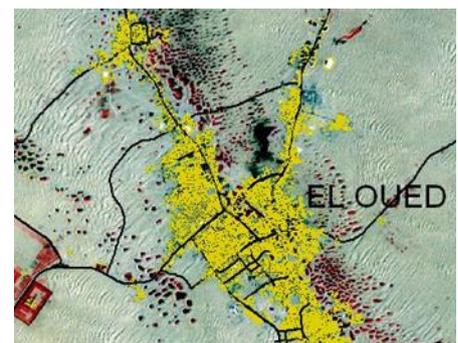
**1993 (COTE, 1993)**



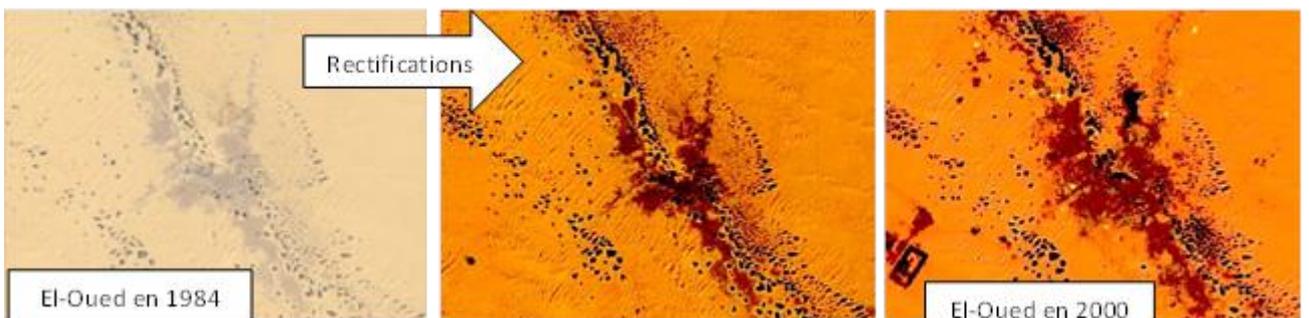
**1996 (CHAOUICHE-BENCHERIF, 2007)**



**2000 (BG, 2004)**



**Annexe 2. Traitement et rectification des images satellitaires (LANDSAT)**



## Annexes

**Annexe 3.** Paramètres physico-chimiques de l'eau d'irrigation dans 27 exploitations de mise en valeur à El-Oued

	pH	CE (dS.m <sup>-1</sup> )	R.s (g.l <sup>-1</sup> )
Min	6,4	1,95	2,80
Max	8,43	6,92	7,00
Moyenne	7,10	3,80	4,03
Ecart-type	0,46	1,21	1,21
Erreur standard	0,09	0,24	0,02

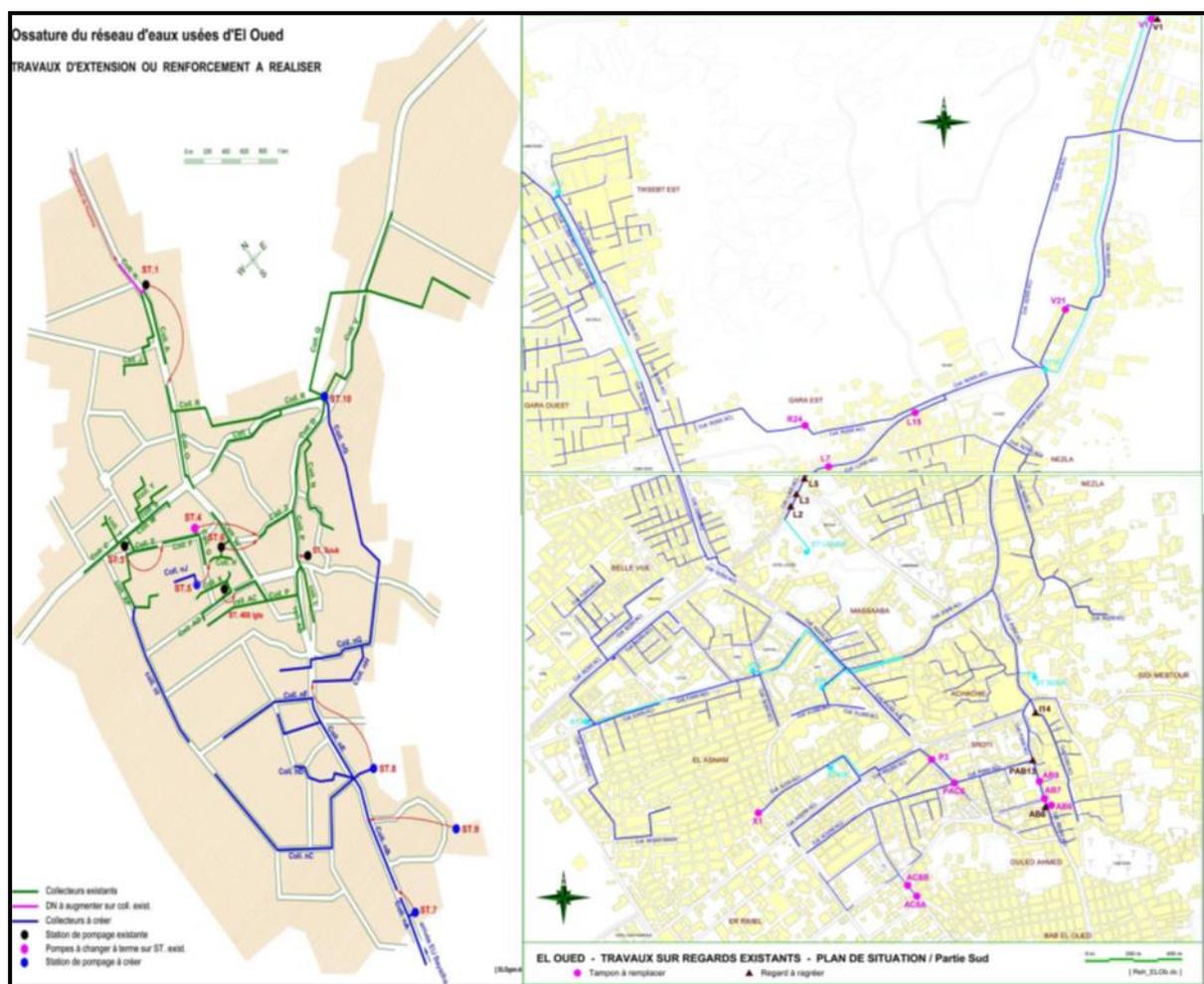
**Annexe 4.** Liste descriptive du réseau de drainage vertical à El-Oued

Propriétaire / Localisation	N° du Point d'eau	Coordonnées UTM Clarke 1880		Altitude (m)	Profondeur du niveau statique (m)	
		X	Y		mai-08	mai-09
Château d'eau chott	D01	301968.70	3696621.38	74.2	4.95	4.02
École Hazla Tahar	D02	301750.82	3696111.35	73.87	5.62	4.89
CM Tksept Nord	D03	299162.67	3696067.37	74.8	7.13	7.04
Complexe sportif Tiksept	D04	299190.00	3695750.00	75.75	6.94	6.88
Parc Wilaya	D05	301868.62	3695710.67	76.15	9.15	8.40
ST1 Tiksept	D06	299503.46	3695415.65	76.02	4.62	5.11
Lycée Tiksept	D07	299407.64	3695094.86	76.91	4.51	4.69
École Fertiat Ben Amara Tiksept	D08	299807.22	3694969.33	75.59	3.42	3.56
École nouvelle Tiksept ouest	D09	298939.31	3694850.67	79.45	6.37	6.35
Château d'eau El Gara	D10	299803.90	3694674.57	76.94	3.55	3.68
École El gara est	D11	300259.41	3694719.18	73.05	2.22	2.26
Direction El Moudjahidine	D13	301008.60	3694585.54	66.42	0.79	0.83
CM Tksept Est	D14	300215.12	3694473.90	73.89	2.40	2.39
École pratique Ali Ayadi	D15	299621.10	3694205.77	79.01	4.41	3.98
Mosquée El Kautar	D17	301085.67	3694108.35	70.34	1.88	1.55
CM Ghendire Omar	D18	301964.77	3694100.74	68.3	1.62	1.75
École Djebeli Djebeli	D19	300657.20	3694003.18	76.25	6.48	6.53
Hôtel Louss	D20	300463.06	3693926.22	69.57	-0.30	-0.40
Nazla Mehria	D21	301614.01	3693782.90	72.64	3.76	3.35
Annexe centre uni El Oued	D23	299322.30	3693745.35	80.87	4.81	4.11
DTP	D25	300683.31	3693511.99	79.07	5.46	5.11
Direction éducation (service p)	D27	300265.86	3693473.52	80.15	5.83	5.47
Souk	D29	301688.58	3693356.45	73.36	2.30	1.85
Château d'eau Sidi Mestour	D32	302373.47	3693286.29	70.33	0.43	0.41
ADE centre-ville	D34	300940.78	3693170.57	80.81	6.56	5.41
STB	D35	299617.02	3693170.07	78.9	2.50	2.16
ST 400 logements	D36	300570.70	3692922.98	79.66	3.50	2.70
CFPA3	D37	301099.26	3692773.55	80.31	5.26	4.20
CM Bachir Djab Alah	D38	302327.70	3692632.31	71.6	3.89	3.38

## Annexes

Écoie Mouhamed Serouti	D39	299732.34	3692603.67	84.02	7.45	7.23
Écoie Ouinissi El Hachemi	D41	301654.93	3692665.43	78.61	7.55	7.51
Château d'eau 300 logements	D42	300827.58	3692571.42	88.78	12.68	11.80
École 300 logements	D46	300676.19	3692148.17	87.2	11.00	10.36
Annexe c uni El Oued Sahane	D47	301319.54	3692206.56	84.1	8.50	7.86
Écoie Essaghaire Mouldi 1	D4S	301459.31	3691779.63	80.43	2.90	3.53
Conservation des Forets	D49	300500.69	3691766.95	89.46	13.85	13.16
Cimetière Sahane 1	D50	301948.40	3691704.98	78.61	3.60	2.75
École Maragni Kalrfa Sahane 1	D51	302338.15	3691647.24	79.33	5.92	5.46
DHW	D52	300762.06	3691450.00	92.13	15.30	15.17
École Kina El Aich	D53	301927.28	3691220.61	80.32	4.50	4.37
Mosquée Sahane 2	D54	302475.58	3691120.03	78.55	4.48	3.99
Résidence Universitaire	D55	302040.85	3690862.76	77.12	4.30	3.90
École Touati Ahmed Moustapha	D56	302653.43	3690698.26	79.45	5.32	5.21
École Mirhouet Ali Ouled Touat	D57	303214.34	3690502.62	78.65	6.42	6.08
École Bekakra Ben Ali	D58	302460.08	3690346.14	75.93	3.88	3.00

**Annexe 5.** Réseaux secondaires d'assainissement des eaux usées plus les codes pour l'AFC



## Annexes

Zone	agro-urbain	1	NS	Faible <3m	1
	agraire	2		Profond >3m	2
Biotope	nappe superficiel (Ghouts)	1	CE,n ds/m	0.75 – 2.25	1
	nappe profonde (Mise en valeur)	2		2,25 -5	2
Assainissement	pas d'eau usé	1		Rsn g/l	5 - 20,0
	non assiné	2	0,5 à 4,5		1
	eau usé assiné vers fosse septique	3	4,5 à 10		2
	eau usé assiné vers réseau	4	10 à 25		3
CE,S	< 0.6	1	Irrigation	Irrigué	1
	0.6 – 1	2		Non irrigué	2
	1 – 2	3	Drainage	près du drain	1
	2 – 4	4		loin du drain	2
	> 4	5		pas de drains	3
Ecoulement	Vers le point de sondage	1	Inverse le point de sondage	2	

**Annexe 6.** Salinité des eaux phréatiques dans l'espace agraire à El-Oued en  $dS.m^{-1}$ .

	L'espace agraire	
	Mise en valeur	Ghouts
Min	1,95	1,68
Max	6,92	13,55
Moy	3,80	6,47
Ecart-type	1,21	4,12
Erreur standard	0,24	0,56

**Annexe 7.** Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique des eaux d'irrigation (DURAND, 1958)

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

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

Classe	CE à 25°C	Utilisation
C1	<0.25	Eaux utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures sur la plupart des terrains avec peu de chances d'apparition de salinité dans le sol. une légère lixiviation est nécessaire mais il se produit en irrigation normale sauf en sol peu perméable.
C2	0.25 < CE < 0.75	Eaux utilisables avec une légère lixiviation. Les plantes modérément tolérants aux sels peuvent pousser dans la plupart des cas sans pratique spéciale de contrôle de la salinité ;

## Annexes

C3	$0.75 < CE < 2.25$	Eaux inutilisables pour les sols à drainage restreint même avec un bon drainage des pratiques spéciales de contrôle de la salinité peuvent être nécessaires et les plantes ayant une bonne tolérance aux sels peuvent seules être cultivées ;
C4	$2.25 < CE < 5$	La salinité est qualifiée de très forte cette eau est inutilisable en conditions normales elle n'est autorisée que si en pratique un lessivage intense et sur des cultures très tolérantes
C5	$>5$	Cette eau est qualifiée d'inutilisable sauf sur sable drainé et pour des cultures du genre palmier dattier.

### Annexe 8. Classification des eaux phréatiques (FLOREA 1961 in OMEIRI 1994)

Résidu sec en g/l	Différents types d'eau de nappes
$\leq 0,5$	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 9. Variations de la charge saline des eaux phréatiques dans l'espace agricole à El-Oued en $g.l^{-1}$ .

	L'espace agricole	
	Mise en valeur	Ghouts
Min	2,81	2,20
Max	7,96	22,61
Moyenne	4,03	8,09
Ecart-type	1,21	7,19
Erreur standard	0,24	0,82

### Annexe 10. Variations du $pH_n$ des eaux phréatiques à El-Oued

	L'espace agricole	
	Mise en valeur	Ghouts
Min	6,40	6,61
Max	8,43	8,94
Moyenne	7,10	7,29
Ecart-type	0,46	0,54
Erreur standard	0,09	0,09

## Annexes

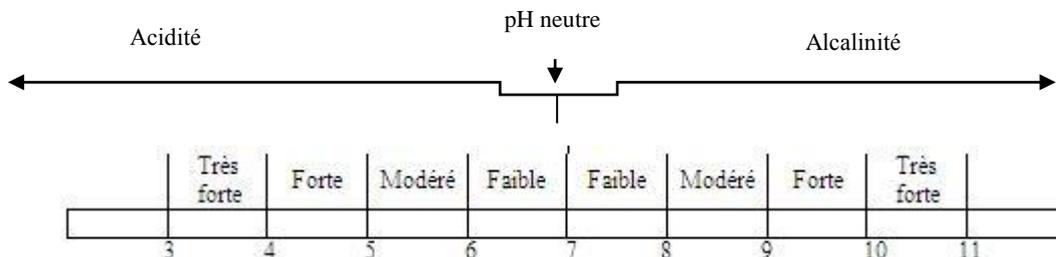
**Annexe 11.** Classes de salinité en fonction de la conductivité électrique de l'extrait aqueux 1/5 à 25 °C (MATHIEU et PIELTAIN, 2009)

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

**Annexe 12.** Variations de la salinité des sols de l'espace agraire à El-Oued en dS.m<sup>-1</sup>

	L'espace agraire	
	Mise en valeur	Ghouts
Min	0,31	0,37
Max	2,09	2,73
Moyenne	0,95	1,41
Ecart-type	0,61	0,72
Erreur standard	0,11	0,13

**Annexe 13.** Normes d'interprétation du pH-eau du sol MATHIEU et PIELTAIN (2003)



**Annexe 14.** Variations du pH<sub>e1:5</sub> du sol de l'espace agraire à El-Oued

	L'espace agraire	
	Mise en valeur	Ghouts
Min	7,42	7,53
Max	8,58	8,54
Moyenne	8,17	8,03
Ecart-type	0,27	0,30
Erreur standard	0,05	0,05

### الملخص : الماء و الفضاء الزراعي في وادي سوف : حالة بساتين النخيل القديمة

منطقة وادي سوف تعاني من مشكلة تسيير المياه، مما أدى إلى توليد آثار سلبية على المحيط الزراعي، خاصة مشكل صعود المياه الجوفية السطحية و مشكلة الملوحة. تهدف هذه الدراسة إلى دراسة تسيير المياه وتأثيرها على الفضاء الزراعي بالوادي، على مستوى الغيطان والمستصلحات الفلاحية. تعتمد هذه الدراسة على جمع عينات من التربة و الماء بطريقة عشوائية منظمة. تخضع هذه العينات الى تحاليل فيزيائية وكيميائية (الناقلية الكهربائية، درجة الحموضة و البقايا الجافة) وكذلك إلى معالجات إحصائية (AFC et ACP)

هذا الفضاء يتميز بمشكلة تملح التربة و صعود مياه جوفية عالية الملوحة، هذه الأخيرة تتميز بصعودها في أغلب الغيطان، و بعمق يفوق 3 متر في المستصلحات الفلاحية، وبمتوسط ملوحة يقدر بـ  $4,98 \pm 0,36$  ديسيمنس.م<sup>-1</sup>، هذه المعوقات عززت تملح التربة بمعدل يقدر بـ  $1,21 \pm 0,095$  ديسيمنس.م<sup>-1</sup>. أظهر التباين المكاني لخصائص المياه و التربة، تدهور حالة النظامين الزراعيين بمستوى متفاوت، حيث أن نوعية التربة المالحة تتجاوز نسبة 60 % في الغيطان ، ولم تتجاوز نسبة 40 % في المستصلحات الفلاحية .

هذه الدراسة تبين أيضا مستوى اجتياح المساحات العمرانية على حساب الغيطان، وإهمال جزء منها لأسباب اجتماعية واقتصادية، ولاسيما ارتفاع أسعار العقار ومشكلة الميراث. هذا الوضع يتطلب سياسة جديدة للحفاظ على التوازن بين المناطق الزراعية و المناطق الحضرية في الوادي لضمان تنمية مستدامة.

**الكلمات الأساسية:** ماء، مساحة زراعية، غيطان، مستصلحات فلاحية ، الوادي.

### Résumé : L'eau et l'espace agraire dans l'Oued Souf : cas de l'ancienne palmeraie

La vallée de Oued Souf souffre d'un problème de gestion des eaux ayant engendré des effets néfastes sur l'environnement agraire, notamment hydro-halomorphique.

Le présent travail se propose d'étudier la gestion des eaux et leurs effets sur l'espace agraire à El-Oued, dans les Ghouts et les exploitations de mise en valeur. Cette étude consiste à prélever des échantillons des sols et des eaux, par un échantillonnage systématique aléatoire. Les échantillons ont subi des analyses physico-chimiques (C.E., pH et R.s) et des traitements statistiques (AFC et ACP). Cet espace se caractérise par des problèmes de remontée des eaux phréatiques et de salinisation des eaux et des sols.

Les eaux phréatiques présentent une remontée dans la majorité des Ghouts et un niveau statique, de plus de 3m dans les exploitations de mise en valeur, avec une salinité moyenne de  $4,98 \pm 0,36$  dS.m<sup>-1</sup>. Cette dernière contrainte favorise la salinisation des sols, estimée en moyenne à  $1,21 \pm 0,095$  dS.m<sup>-1</sup>.

La variation spatiale des paramètres hydro-édaphiques montre un niveau de dégradation variable entre les deux systèmes agraires. Alors que le type de sol dégradé dépasse les 60% dans les Ghouts et ne dépasse les 40% dans les exploitations de mise en valeur. L'étude montre aussi une progression de l'urbanisation au détriment des Ghouts et le délaissement d'une partie de celle-ci pour des raisons socio-économiques, notamment l'augmentation des prix du foncier et l'héritage. Cette situation exige une nouvelle politique d'aménagement pour maintenir l'équilibre agro-urbain à El-Oued et lui assurer un développement durable.

**Mots clefs :** eaux, espace agraire, Ghouts, mise en valeur, El-Oued.

### Summary: Water and agrarian space in the Oued Souf: case of the old palm plantation

The valley of Oued Souf suffers from the water management, which generates negative effects on the agricultural environment, in particular, hydro-halomorphic. The present work, studies the water management and their effects on the agricultural area, Ghouts and the modern exploitation in El-Oued palm grove. This study consisted in taking samples of the grounds and water. by a random systematic sampling. The samples undergo with analyses of physicochemical parameters (E.C., pH and R.d) and of the statistical processing (AFC and ACP)

This space characterized by a rising phreatic waters and there salinity with the salinization of soil and water.

The phreatic waters are ascending in the majority of Ghouts with a static level of over 3 m in the development perimeter, with a salinity average of  $4.98 \pm 0.36$  dS.m<sup>-1</sup>. This constraint promotes the salinization of soils estimated to an average of  $1.21 \pm 0.095$  dS.m<sup>-1</sup>.

The spatial variation of hydro-edaphic parameters showed a variable level of degradation between the two agricultural systems. While the degraded soil above 60% in Ghouts and less than 40% in the development perimeters. The study also shows an increase in urbanization at the expense of Ghouts and neglect of a part of the latter for socio-economic reasons, including increased land prices and inheritance. This situation requires a new planning policy to maintain agro-urban balance in El Oued and ensure sustainable development of the latter.

**Key words:** water, agrarian space, Ghouts, development, El-Oued.