

UNIVERSITE DE SAAD DAHLEDB DE BLIDA

Faculté des Sciences de l'Ingénieur
Département des Sciences de L'eau et de L'environnement

MEMOIRE DE MAGISTER

Option : Sciences de L'eau

IMPACT DE L'OUED RIGH SUR LE DRAINAGE DES EAUX D'IRRIGATION DES PALMERAIES AVOISINANTES

Par

BERREKBIA Mohammed

Devant le jury composé de

A. GUENDOUZ	Maitre de conférence, Université de Blida	Président
S. HAMOUDI	Professeur, Université de Chlef	Examineur
M. HABI	Maitre de conférence, Université de Tlemcen	Examineur
M. BESSENASSE	Maitre de conférence, Université de Blida	Examineur
B. REMINI	Professeur, Université de Blida	Rapporteur

Blida, Juillet 2010

ABSTRACT

The Region of Oued Righ is known by the quality of its dates in the national and regional levels. We find many farms of date trees at the border of Oued Righ River that insures the gathering of the drainage, industrial and agricultural waters and pushes them towards the Chott of Merouane. It is known as well by its continuous and important flow, despite the Saharan dry climate of the region. This exposé suggests a study dealing with the impact of Oued Righ on the drainage of the palms irrigation neighboring waters. We can summarize the exposé as follows: Choice and dividing the experience field into two sites: The first cultivated and contains 11 fields of date trees irrigated by different types of water according to its source. The second contains empty Sebkhah grounds, near the Oued Righ River, spread on its whole extension. At these sites, 27 Pizometers had been put to measure the rate of the deepness of Oued Righ waters and its fluctuation adding to which the superficial ground waters and defining the direction of its flow into the date trees, under the effect of irrigation applications and drainage on one hand, and the climate season changing on the other hand. We are as well proceeded to execute some physiochemical analyses of soil samples and different waters: irrigation, drainage and river waters to control the evolution of salts in the soil, and its movement under the effect of the fluctuation of the superficial ground water rate in the two sites. The obtained results show that Oued Righ waters are very bad, of a high turbidity and very salty. It is recommended to avoid using them directly for irrigation. It is also observed that the flow of the river was higher 7 times during (1970 to 2007), with an increasing rate of 3,6 m³ /year. This flow permits to free a high quantity of salt (between 1,2 and 2,4 millions tons yearly at Merouane Chott. The irrigation of the cultivated soils during periodic and regular cycles of 10 to 15 days in the seasons, had given the following results:

- The gradual increasing of the deepness of superficial ground waters, by the increasing of the cycle time. It increases also under the effect of the gradual increasing of the Evapotranspiration (ETP)
- The increasing of the displacement velocity of water through the ground pores because of the increasing of (ETP), especially in summer.

The obtained relations prove the existence of a strong correlation between the different parameters: (Depth – Time: "R²= 0.85"), (Depth – ETP: "R²=0.93"), (Displacement velocity –ETP: "R²=0.67 ")

On the other hand, the experiences results at the cultivated grounds have shown a decreasing of the minerals concentration in the soil at the roots zone, if they are regularly irrigated by the deep sheet of water (CI, CT) of a good quality, what show its important role in leaving the soil, once the system of water drainage is set up. At the opposite, it was noticed an increasing of salts concentration and gathering in the soil, if it is irrigated by the superficial salty water, in the absence of the drainage system. It was also noticed an increasing of salts concentration in the empty grounds not irrigated, under the effect of the sub-aqua water rising and exposition to evaporation.

Key Word: Oued Righ, Palm ecosystem, Irrigation, Ground water, Drainage, Salinity.

RESUME

La région d'Oued Righ est connue par la bonne qualité de ses dattes et l'abondance de sa production au niveau régional et national. Les champs de palmiers sont étalés tout au long des bords du lit d'Oued Righ, qui assure le regroupement des eaux usées, industrielles et agricoles et les poussent vers Chott Merouane. Oued Righ est également connu par son écoulement permanent et son débit important, en dépit du climat saharien sec qui règne dans la région. Cet exposé propose l'étude de l'impact d'Oued Righ sur le drainage des eaux d'irrigation des palmeraies avoisinantes ; les étapes étant résumées comme suite : Choix et découpage du terrain des expériences en deux sites : le premier cultivé et compte 11 champs de palmiers irrigués chacun par des eaux de natures différentes selon leurs sources. Le deuxième contenant des terres de Sebka voisines au lit d'Oued Righ s'étalant sur son long. Dans ces sites, 27 Piézomètres sont installés pour contrôler la profondeur des eaux d'Oued Righ et leur fluctuation, outre les eaux de la nappe phréatique et le sens de leur écoulement dans les palmeraies et sous l'effet des modes d'irrigation et drainage d'une part, et les changements saisonniers climatiques d'autre part. Nous avons également effectué des analyses physicochimiques sur des échantillons de sol et des eaux diverses : irrigation, drainage, eaux de l'Oued pour contrôler l'évolution des sels dans le sol, et leur mouvement sous l'effet de la fluctuation du niveau hydrostatique des eaux de la nappe phréatique dans les deux sites. Les résultats obtenus ont démontré que les eaux d'Oued Righ sont d'une mauvaise qualité, d'une turbidité très élevée et salée, déconseillée de l'utiliser directement pour l'irrigation. Il a été également trouvé une augmentation de débit de l'Oued, d'une moyenne de 7 fois plus pendant la période (1970-2007), enregistrant un taux d'augmentation de 3,6 millions m³/année. Ce dit débit important permet de dégager une grande quantité de sel valant de 1,2 à 2,4 millions de tonnes/année dans le Chott Merouane. L'application d'irrigation dans les terres cultivées, pendant des cycles périodiques réguliers et répétées de 10 à 15 jours durant les saisons de l'année, a permis de donner les résultats suivants :

- Accroissement graduelle de la moyenne du niveau hydrostatique des eaux de la nappe phréatique, en fonction de l'augmentation du temps du cycle. Il y a également augmentation sous l'effet de l'élévation graduelle des valeurs de l'Evapotranspiration (ETP)
- Augmentation de la moyenne de vitesse de déplacement des eaux d'irrigation à travers les pores du sol, en raison de l'augmentation des valeurs ETP, notamment en été.

Les relations obtenues démontrent l'existence d'une très bonne corrélation entre les différents paramètres : (Profondeur – temps: " $R^2=0,85$ "), (Profondeur – ETP : " $R^2=0,93$ "), (vitesse de déplacement – ETP : " $R^2=0,67$ ").

D'une autre part, les résultats expérimentaux dans les terres cultivées ont montré un abaissement de la concentration des sels dans le sol au niveau de la zone racinaire, si elles sont irriguées régulièrement par des eaux de nappes profondes (CI – CT) d'une très bonne qualité, ce qui prouve son rôle important au lessivage du sol, à l'existence du système de drainage des excès des eaux. Au contraire, il a été observé une augmentation de concentration des sels et accumulation dans le sol, s'il est irrigué par des eaux de nappe phréatique salée à défaut du système de drainage. Il a été aussi enregistré une augmentation de concentration des sels dans les terres vides et non irriguées sous l'effet de la remontée des eaux de la nappe phréatique et son exposition au phénomène d'évaporation.

Mots Clés: Oued Righ, Ecosystème de palmeraie, Irrigation, Nappe phréatique, Drainage, Salinité.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord je remercie infiniment le bon Dieu puissant de la bonne santé, la volonté et la patience qu'il me donnée tout le long de mon étude.

Je présent mes sincères remerciements avec mes profonds respects à mon promoteur, Boualem REMINI, professeur à Université Saad Dahlab - Blida de m'avoir encadré et suivi mon travail de près avec sa rigueur scientifique, ses conseils ainsi que sa gentillesse qui m'ont permis de mener à bien ce travail ;

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à toutes les personnes qui m'ont permis de mener à mener à bien ce travail. Je remercie tout particulièrement Messieurs les membres du jury :

Abdelhamid GUENDOUIZ, maître de conférence à Université Saad Dahlab – Blida, pour l'honneur qu'il ma fait en présidant ce jury; Mohamed BESSENASSE, maître de conférence à Université Saad Dahlab – Blida; Saad HAMOUDI, professeur à Université Hassiba Ben Boulaid - Chlef ; Mohamed HABI, maître de conférence à Université Abou Bekr Belkaïd – Tlemcen d'avoir bien voulu assister et juger cette mémoire, malgré ses multiples occupations.

Il m'est agréable ici de remercier tous ceux qui m'ont aidé à réaliser cette mémoire, d'abord M. Ben Othman S, pour m'avoir accompagné sur le terrain et qui n'a cessé de me prêter son soutien, scientifique et morale et qui a accompagné ma carrière scientifique.

Nous remercions les responsables et l'ensemble du personnel de l'O.N.I.D de Touggourt, pour leur contribution et ses encouragements amicaux, sa sympathie et les services rendus, en particulier Monsieur le directeur Kafi A.H, M. Bentebba N.

Mes remerciements au Directeur de l'A.N.R.H de Ouargla, M. Zahrona pour l'aide qu'ils m'ont apporté dans la réalisation des analyses physico-chimiques au niveau de laboratoire.

Nos remerciements les plus sincères vont aussi à l'ensemble du personnel de l'A.N.R.H de Touggourt (Sayah Lembarek Y, Senousi S, Salah, et Foudil), pour leurs conseils, encouragements et m'avoir accompagné sur le terrain.

Je ne saurais jamais assez remercier tous mes collègues en magistère Rachid CHELLALI, M'Hamed BELKACEM FILALI, Ismail CHERFAOUI et Ilhem BOUAICHI et tout ceux et celles qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration et la mise en forme de ce document qu'ils retrouvent ici l'expression de mes vives remerciements.

TABLE DES MATIERES

RESUME	
REMERCIEMENTS	
TABLE DES MATIERES	
LISTE DES FIGURES	
LISTE DES TABLEAUX	
LISTE DES PHOTOS	
LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS	
LISTE DES LEXIQUE DES TERMES UTILISES	
INTRODUCTION.....	14
1. LES SOLS SALES : CARACTERISTIQUES, ORIGINES ET CLASSIFICATIONS	
1.1 Répartition des sols salés dans le monde.....	16
1.2 Qualité et classification des eaux d'irrigation.....	23
1.3 Effet de la salinité sur le sol et sur les plantes.....	26
1.4 Notion de transfert des solutions dans le sol.....	29
2. LA PROBLEMATIQUE DE LA SALINITE ET DU DRAINAGE DANS LES ECOSYSTEMES PALMERAIES DE LA VALLEE DE L'OUED RIGH	
2.1 Irrigation et drainage dans la vallée de l'Oued Righ.....	32
2.2 Aperçu historique du canal collecteur de l'Oued Righ.....	41
2.3 Diagnostic des problèmes sur le canal collecteur et leurs impacts sur l'écosystème	43
2.4 Remontée de la nappe phréatique de la vallée de l'Oued Righ.....	48
3. CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE	
3.1 Présentation de la région d'étude.....	53
3.2 Situation géographique et administrative.....	54
3.3 Topographie.....	54
3.4 Géologie.....	54
3.5 Ressources en sol.....	55
3.6 Climat.....	55
3.7 Hydrogéologie.....	57
3.8 Hydrologie.....	59
4. SITE D'ETUDE ET MATERIELS UTILISES	
4.1 Choix des sites expérimentaux	61
4.2 Méthode d'étude.....	64

5. CARACTERISTIQUES DES EAUX	
5.1 Caractéristiques des eaux du canal de l'Oued Righ.....	70
5.2 Caractéristiques des eaux d'irrigation.....	74
5.3 Caractéristique des eaux de drainage.....	75
5.4 Caractéristiques des eaux de la nappe phréatique.....	77
5.5. Conclusion.....	79
6. ETUDE DES FLUCTUATIONS DE LA NAPPE PHREATIQUE	
6.1 Introduction	80
6.2 Niveau piézométrique dans la parcelle cultivée.....	80
6.3 Fluctuation de la nappe phréatique sous l'effet d'irrigation.....	84
6.4 Niveau piézométrique dans les terrains non cultivés.....	91
6.5. Conclusion.....	95
7. EVOLUTION DE LA SALINITE DES SOLS ET DES EAUX	
7.1 Introduction.....	96
7.2 Evolution de la salinité en fonction de l'irrigation et du drainage.....	96
7.3 Les bilans salins à la parcelle.....	101
7.4 Conclusion.....	115
CONCLUSION.....	116
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....	119

LISTE DES FIGURES

Figure 1.1	Caractérisation des sols salés	17
Figure 1.2	Mesure de la salinité totale d'un sol	17
Figure 1.3	Facteurs aggravants l'accumulation des sels dans les sols	18
Figure 1.4	Origines des sols salés	21
Figure 1.5	Origine des eaux salées	26
Figure 1.6	Cycle des sels simplifié dans les paysages des zones arides	29
Figure 2.1	L'irrigation dans la vallée de l'Oued Righ	34
Figure 2.2	Les différentes acceptions, processus et classements des techniques de drainage dans la vallée de l'Oued Righ	37
Figure 2.3	Séquence des phénomènes pouvant conduire à la salinisation en cas de déficience du drainage dans la vallée de l'Oued Righ	39
Figure 2.4	Les causes de l'érosion sur le long du canal de l'Oued Righ.	45
Figure 3.1	Carte de la région d'Oued Righ	53
Figure 3.2	Situation géographique de la vallée d'Oued Righ (Google Earth., 2007)	54
Figure 3.3	Profil schématique des nappes artésiennes de l'Oued Righ	57
Figure 3.4	Schéma de la fluctuation naturelle de la nappe phréatique dans la vallée de l'Oued Righ	58
Figure 3.5	Schéma représentatif de la fonctionnement de l'écosystème du bassin de l'Oued Righ	60
Figure 4.1	Coupe géomorphologique de site expérimental dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007- 2008.	62
Figure 4.2	Coupe géomorphologique de site expérimental s'étend sur le long du canal de l'Oued Righ durant la période : 2007- 2008.	63
Figure 4.3	Carte de répartition des points et ouvrages de mesure dans la région de l'Oued Righ durant la période : 2007- 2008.	65
Figure 4.4	Carte de répartition des points et ouvrages de mesure, dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007- 2008.	66
Figure 5.1	Distribution des ions des sels soluble dans les eaux du canal de l'Oued Righ (Moyenne annuelle)	71
Figure 5.2	Débit moyen du canal de l'Oued Righ durant la période :1993 - 2007.	72
Figure 5.3	variation de la conductivité électrique moyenne du canal de l'Oued Righ on fonction des débits moyens durant la période : 1993 - 2007.	73
Figure 5.4	Évolution de la quantité de sel en fonction de débit moyen du canal de l'Oued Righ	74

Figure 6.1	Fluctuation de la nappe phréatique dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007 - 2008.	81
Figure 6.2	Carte piézométrique de la nappe phréatique ; dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007 - 2008.	82
Figure 6.3	Carte schématique de sens d'écoulement des eaux de la nappe phréatique dans la zone de Sidi Slimane durant la période: 2007- 2008.	83
Figure 6.4	Évolution dans le temps de la profondeur de la nappe phréatique avant et après l'irrigation.	84
Figure 6.5.1	Fluctuation saisonnière des n4eaux piézométrique de la nappe phréatique sous l'influence d'irrigation et de drainage d'une parcelle cultivé (S ₅ ; à Sidi Slimane en 2008).	86
Figure 6.5.2	Fluctuation saisonnière des n4eaux piézométrique de la nappe phréatique sous l'influence d'irrigation et de drainage d'une parcelle cultivé (S ₅ ; à Sidi Slimane en 2008).	87
Figure 6.6	variation saisonnière de la profondeur moyenne de la nappe phréatique d'un cycle d'irrigation.	88
Figure 6.7	variation Saisonnière de la vitesse de déplacement des eaux de la nappe phréatique en fonction des cycles d'irrigation.	89
Figure 6.8	Évolution de Profondeur et la vitesse moyen du n4eau la nappe phréatique en fonction de l'évapotranspiration	90
Figure 6.9	Évolution de la vitesse moyenne de déplacement des eaux de la nappe phréatique en fonction de l'évapotranspiration.	90
Figure 6.10	Fluctuation de la nappe phréatique de la vallée da l'Oued Righ durant la période : 2007 – 2008.	92
Figure 6.11	Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée de L'Oued Righ durant la période : 2007 – 2008.	93
Figure 6.12	Carte schématique de sens d'écoulement des eaux de la nappe phréatique de la vallée de l'Oued Righ durant la période : 2007 - 2008.	94
Figure 7.1	Évolution dans le temps de la salure (CE) de la solution du sol irriguée ; dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007- 2008.	97
Figure 7.2	Évolution dans le temps de la salure (CE) de la solution du sol irrigué dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007- 2008. dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007- 2008.	100
Figure 7.3.1	variation de la salure des eaux de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur (Terrains nus).	102
Figure 7.3.2	variation de la salure des eaux de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur (Terrains nus).	103
Figure 7.4	Carte de salinité de la nappe phréatique (ISOHYALINE) de la vallée de l'Oued Righ durant la période : 2007-2008.	104
Figure 7.5	variation de la CEm de la solution des couches du sol en fonction de la profondeur de la nappe phréatique (terrain nu).	106

Figure 7.6	variation du rapport de la concentration de la solution des couches du sol et des eaux de la nappe phréatique en fonction des profondeurs de ces eaux (terrain nu).	107
Figure 7.7	variation du rapport de la concentration de la solution des couches du sol et des eaux de la nappe phréatique en fonction du rapport des profondeurs de ces eaux (terrain nu).	108
Figure 7.8	variation de la CE des eaux de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur (terrain cultivé)	109
Figure 7.9	Carte de salinité de la nappe phréatique (ISOHYALINE) dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007 - 2008	110
Figure 7.10	variation de la CEm de la solution des couches du sol en fonction de la profondeur de la nappe phréatique (terrain cultivé).	112
Figure 7.11	variation du rapport de la concentration de la solution des couches du sol et des eaux de la nappe phréatique en fonction des profondeurs de ces eaux (terrain cultivé).	113
Figure 7.12	variation du rapport de la concentration de la solution des couches du sol et des eaux de la nappe phréatique en fonction du rapport des profondeurs de ces eaux (terrain cultivé).	114

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1.1	Echelle de salinité du sol	18
Tableau 1.2	Limites entre sols salins et alcalins	20
Tableau 1.3	Echelle de classification des sols salins à partir de la conductivité de l'extrait à saturation [dS / m]	22
Tableau 1.4	Classification française des sols salés (dit Référentiel Pédagogique Français, Simplifié)	22
Tableau 1.5	Classification des eaux d'irrigation (US Salinity laboratory)	23
Tableau 1.6	Tolérance relative de quelques plantes cultivées (d'après Richards, 1954, simplifié)	27
Tableau 1.7	Tolérance des cultures à la présence de sel	28
Tableau 3.1	Données climatiques durant la période: 1983 – 2003.	56
Tableau 4.1	Caractéristique des parcelles cultivées	61
Tableau 4.2	Calendrier de prélèvement des échantillons et paramètres mesurés	68
Tableau 5.1	Caractéristiques physico- chimique des eaux du canal de l'Oued Righ.	70
Tableau 5.2	Caractéristiques techniques de l'Oued Righ (Jaugeage du mois d'octobre, 1995).	71
Tableau .5.3	Bilans salins des eaux d'irrigation du terrain cultivé.	75
Tableau .5.4	Bilans salins des eaux de drainage selon la situation de drainage dans les sites cultivés	76
Tableau 5.5	Profondeur et bilans salins des eaux de la nappe phréatiques du terrain nu de la vallée de l'Oued Righ durant la période: 2007 – 2008.	78
Tableau 5.6	Profondeur et bilans salins des eaux de la nappe phréatiques du terrain cultivé dans la zone de Sidi Slimane durant la période:2007 – 2008.	79

LISTE DES PHOTOS

Photo 2.1	Canal d'amenée en terre "Seguia" dans la zone de Sidi Slimane en 2008.	32
Photo 2.2	Canal d'irrigation en béton dans la zone de Sidi Slimane en 2008.	32
Photo 2.3	Palmeraie en voie de dégradation est colonisée par une végétation halophyte et des graminées envahissantes " diss" dans la zone de Sidi Slimane en 2008.	38
Photos 2.4	Illustre la remontée de la nappe phréatique dans la région de l'Oued Righ à cause de la défektivité du système de drainage	40
Photo 2.5	Trajectoire du canal d'Oued Righ (Google Earth., 2007)	41
Photo 2.6	Tronçons du canal Oued Righ envahi par des peuplements de roseaux dans la zone de l'Meggarine en 2008.	43
Photos 2.7	Drains secondaires colmatés et envahi par les mauvaises herbes " Roseaux" crée des risques d'excès de sels et des eaux (stagnation) en 2008	44
Photos 2.8	Dégradation des berges par l'érosion et des affouillements des talus sur plusieurs tranchons du canal de l'Oued Righ en 2008.	46
Photo 2.9	Protection du canal de l'Oued Righ contre l'érosion des berges dans la zone de Ranou en 2009.	47
Photo 2.10	La remontée du niveau des eaux du canal l'Oued Righ après une pluie intense dans la zone de Sidi Slimane en 2009.	47
Photos 2.11	Asphyxie des palmiers dattiers par la remontée des eaux dans les zones de Sidi Slimane et Tinedla en 2008.	48
Photo 2.12	Jeune plantation de palmiers " Djebars" inondée après une pluie importante dans la zone de Nezla en 2004.	49
Photos 2.13	L'accumulation des sels et la formation d'un croûte saline blanchâtre a la surface du sol dans la zone de Sidi Slimane en 2008.	50
Photos 2.14	Sol halomorphe et saturé en eau et en sels hors palmeraie en 2008.	50
Photo 2.15	Détérioration et effondrement des habitations dans la zone de Sidi Amrane en 2008.	51
Photo 2.16	Ecoule primaire envahi par l'eau de la remontée (zone de Tinedla)	51
Photos 4.1	Implantation des piézomètres de surveillance et prélèvement des échantillons du sol.	68
Photo 4.2	Conductimètre électrique (HI 8733)	69
Photo 4.3	Appareil (JENWAYPPF7)	69

APPENDICE B
LISTE DES LEXIQUES ET DES TERMES UTILISÉS

- Chott : Dépression salée (exutoire) recevant les eaux de pluies ou de drainage des palmeraies
- Déggaga : Puits arabe utilisés pour l'irrigation
- Djebars : Jeune de palmiers
- Neze : Hydromorphie ou plan d'eau proche de la surface du sol, milieu anaérobique
- Khandeg : Drain à ciel ouvert pour l'évacuation des de lessivage (excès d'eau)
- Sebkha : Marécage salé, parfois asséché, qui occupe le fond d'une dépression, dans les régions désertique, et ou se
- Seguia : Canalisation d'amener d'eau à ciel ouvert pour l'irrigation, elle est constituée généralement en terre.

APPENDICE A
LISTE DES SYMBOLES ET DES ABREVIATIONS

A.N.R.H	:	Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
CI	:	Continental Intercalaire
CT	:	Complexe Terminal
DSA	:	Direction des services Agricoles.
ESP	:	Pourcentage du sodium échangeable
ETP	:	Evapotranspiration potentielle
GPS	:	Global Position System
H ₁	:	Horizon
L'.A.P.F.A	:	L'Accession à la Propriété Foncière Agricole
P ₁	:	Piézomètre
P.D.A.U	:	Plan directeur D'aménagement et d'urbanisme
P. k	:	Point Kilométrique
P.M	:	Point Métrique
PVC	:	Polyvinyle chloride
R.F.U	:	Réserve Facilement Utilisable
S	:	Secteur
SAR	:	Sodium Absorption Ration
SOGREAH	:	Société Grenobloise d'études et d'Application Hydraulique.
CE _m	ms/cm :	Conductivité électrique de la solution du sol a la profondeur
CE _{np}	ms/cm :	Conductivité électrique des eaux de la nappe phréatique.
\overline{Cm}	:	Concentration réduite
H _{np}	m :	Profondeur des eaux de la nappe phréatique.
L	m :	Profondeur de sol considérée.
Pe	:	Paramètre de pecllet
V	m/j :	Vitesse de déplacement de l'eau dans les pores
Z	m :	Altitude de piézomètre de contrôle

INTRODUCTION

L'Oued Righ est une des régions les plus anciennement cultivées du Sahara Septentrional et aussi une des mieux connues. Actuellement les palmeraies de cette région représentent environ 25000 ha dont 9000 ha environ réalisés dans le cadre de L'A .P .F .A., répartis sur une cinquantaine d'oasis (plus de 2 millions des palmiers – dattiers dont près de 60% de deglet noir) et échelonnés sur 140 Km environ allant du sud au Nord [1]. Ces Oasis présentent presque les mêmes conditions pédoclimatiques, hydrogéologiques et socioéconomiques que les autres régions sahariennes. Elles présentent également les mêmes contraintes de gestion et de mise en valeur. La production dattière de la vallée de l'Oued Righ joue un rôle important dans la production nationale de la datte de l'Algérie .et un facteur de stabilisation des populations.

L'irrigation dans la région de l'Oued Righ est pratiquée depuis des millénaires. Les Oasiens utilisaient les eaux des nappes profondes pour les besoins en eau potable et agricole et parfois les eaux de la nappe phréatique et les eaux des retours d'irrigation (pour l'irrigation). Mais les prélèvements à partir des nappes de Complexe Terminal et le Continental Intercalaire ont augmenté Considérablement le volume des apports ; environ 360 a 500 millions de m³/an [2]. D'autre part, cette région se distingue en tant que zone dépressionnaire à écoulement d'eau permanent et le système de drainage est assuré par le seul grand canal dit (Oued Righ) en terre à ciel ouvert qui s'étale sur une longueur de 136 Km et joue le rôle de collecteur principale des excès d'eau de la palmeraie d'El Goug au Sud jusqu' à son exutoire naturel aux chotts Merouane au Nord. Le canal fait transiter un débit de 4.5 à 5 m³/s environ, soit environ 120 à 160 millions de m³/an [3]. Cette valeur représente presque 30 % du volume des apports ; il y' avait un déséquilibre entre la capacité d'eau apportée et celle évacuée.

L'état actuel du canal connaît une dégradation continue ; vu les faibles vitesses de l'eau et les faibles tirants d'eau dans les fossés de drainage; ces derniers sont rapidement envahis par végétation (roseaux) qui réduit les capacités d'écoulement. La dégradation des berges des fossés peut être accentuée lorsque les eaux de drainage son utilisées. Cette situation a contribué à la stagnation des eaux de drainage et la suralimentation de la nappe phréatique (Augmentation du volume de la nappe supérieure). Ceci s'explique par la remontée de la nappe dans les palmeraies. Aussi, la configuration de la région a donc entraîné très rapidement un accroissement de l'hydromorphie lorsqu'on se mit au début du siècle à forer et pomper dans les nappes sans retenue ni réglementation. Une étude de la sogréah

(1970) estimait à 800 000 tonnes la quantité de sel accumulée chaque année dans les terres cultivées de l'Oued Righ provoquant la suffocation des palmiers dattiers [4].

Les eaux de drainage, comme des pertes pour le système, sont généralement de piètre qualité car, à la suite de leur passage dans le sol, elles se sont enrichies en sels. Cette eau, en stagnation, provoque l'écoulement de la nappe phréatique omniprésente dans les palmeraies et à leurs environs. C'est le fait de l'accumulation des eaux d'irrigation excédentaires, particulièrement en hiver. La profondeur de la nappe, variable selon l'efficacité du drainage et la fréquence des irrigations, est généralement faible, très souvent entre 0,5 à 1,0 m, rarement jusqu'à 1,5 m. L'eau y est très salée, la conductivité électrique est supérieure à 9 mmhos / cm dans des 80% des cas [1].

La problématique du drainage en périmètres irrigués dans la région de l'Oued Righ se décline en deux grandes questions :

- 1- Au cas où l'émissaire naturel de l'Oued Righ se trouverait dans le pire cas de dysfonctionnement, quels seraient les risques ou les catastrophes éventuels encourus et leur impact sur le drainage des eaux d'irrigation de la palmeraie avoisinante.
- 2- Que faire des eaux de drainage rejetées ? Cette question est l'une des plus débattues. D'une part les eaux de drainage posent des problèmes pour l'environnement vu leur salinité et vu leurs concentrations potentielles en différentes substances nocives pour les milieux récepteurs. D'autre part ces eaux sont de plus en plus fréquemment réutilisées pour l'irrigation dans des périmètres où les tensions sur les ressources en eau sont vives. Quels sont les risques aussi et quelles pratiques de réutilisation de ces eaux recommander.

Le présent travail s'articule en trois parties : étude bibliographique, présentation du matériel et des méthodes, présentation des résultats et leur discussion. La première partie est constituée de deux chapitres, le chapitre (1) constitue une synthèse bibliographique sur les sols sales : caractéristiques, origines et leur classifications. Le chapitre (2) a été consacré à la présentation de la problématique de la salinité et du drainage dans les écosystèmes palmeraies de la vallée de l'Oued Righ. La deuxième partie comprend deux chapitres. Le chapitre (3) a été consacré à la présentation de la région d'étude (cadre géographique, géologique, hydrogéologique, climatique et pédologique). Le chapitre (4) a été consacré à la présentation des matériels et de la méthode utilisées. La troisième partie est constituée de trois chapitres. Tous d'abord le chapitre (5) est réservé à la caractéristique des eaux, Ensuite le chapitre (6) sur l'étude des fluctuations de la nappe phréatique. Le dernier chapitre porte sur l'évolution de la salinité des sols et des eaux de la nappe phréatique.

CHAPITRE 1

LES SOLS SALES : CARACTERISTIQUES, ORIGINES ET CLASSIFICATIONS

1.1 Répartition des sols salés dans le monde

Lorsque les fleuves ont une puissance suffisante pour traverser de grandes zones arides (Nil, Euphrate, Rio bravo, Sénégal.....), ce sont les basses terrasses des cours inférieurs qui sont les plus menacées par la salinisation des sols [5].

A l'échelle du globe terrestre, les sols salés occupent des surfaces étendues et constituent un grand problème pour l'agriculture mondiale ; ils occupent 24% environ des terres agricoles. Leur distribution géographique se superpose presque entièrement à celle des zones côtières (Durand J.H, 1983 in [6]).

La salinité des sols est donc un phénomène général à la surface du globe. Les surfaces cultivées contaminées par les sels représenteraient 720 millions d'hectares en milieu continental et 180 de mangroves de bord de mer (Szabolcs. 1979 [5]). Les pays arides ne sont pas les seuls à être touchés. On rencontre des sols salés au Canada (Stein et Schwartz, 1990 [5]), en Suisse (Lavanchy et Mermoud, 1992 [5]), et en France (Servant, 1975 [5]). La superficie des sols irrigués continentaux salés est en augmentation constante, tandis que celle des mangroves reste sensiblement constante. Dans tous les cas les quantités de sels mises en jeu sont très importantes [5]. La salinité en Algérie est due généralement aux nombreux massifs à affleurements gypso - salins. Les sols salés sont abondants dans les basses plaines et vallées d'Oran, dans la plaine du Mina près de Relizane, dans la Hodna, sur les hautes plaines au sud de Sétif et de Constantine, aux bords de certains chotts comme chott Melrhir. Ils sont aussi une grande extension dans les régions sahariennes au sud de Biskra, jusqu' à Touggourt et Ouargla. L'excès de sel dans les sols des périmètres irrigués, surtout ceux de l'Ouest du pays, a pour origine la nature des alluvions du quaternaire, la qualité de l'eau d'irrigation et de la remontée des niveaux des nappes phréatiques ; ce phénomène étant aggravé par l'absence de réseau de drainage efficace.

1.1.1 Définition des sols salés

Les sols salés se caractérisent par une accumulation de différents types de sels dans le sol. Leur pédogenèse est influencée par la présence de sels solubles (chlorures, sulfates, carbonates, bicarbonates de sodium et / ou de magnésium), dont la teneur élevée peut les rendre apparents à l'examen visuel et provoque une modification importante de la

végétation. La conductivité de leur extrait de pâte saturée est supérieure à 4 mmhos/cm à 25°C. (Commission de pédologie et de cartographie des sols 1967. "France" [3]).

Ce chiffre doit intéresser l'ensemble des profils pendant une partie de l'année, par la présence de sodium échangeable et / ou de magnésium avec apparition d'une structure massive, diffuse, et une compacité élevée. Le sodium occupe plus de 10% de la capacité d'échange.

Lorsque les sels solubles de sodium ou bien le sodium échangeable sont en quantité suffisante pour être notés mais inférieurs aux chiffres indiqués ci-dessus, ils conduisent à classer les sols dans les unités inférieures à d'autres classes. Les sols dont les textures sont légères ne permettent pas la confection d'une pâte saturée et n'appartiennent pas à la classe des sols sodiques. (Les solubles sont facilement éliminés).

1.1.2 Caractérisation des sols salés

La caractérisation d'un sol salé se détermine par les diverses propriétés physico-chimiques de ce sol : (Figure 1.1)

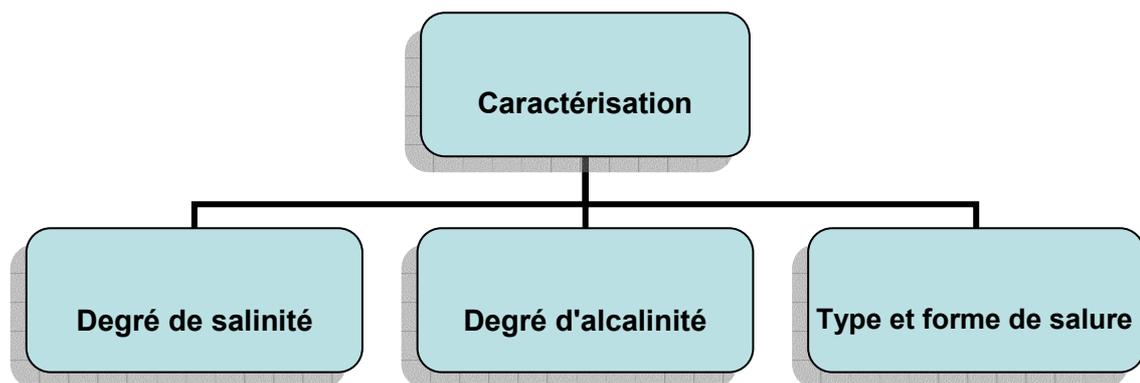


Figure 1.1 : Caractérisation des sols salés

1.1.3 Mesure de la salinité totale d'un sol

Trois mesures essentielles permettent d'identifier les sols (Figure 1.2)

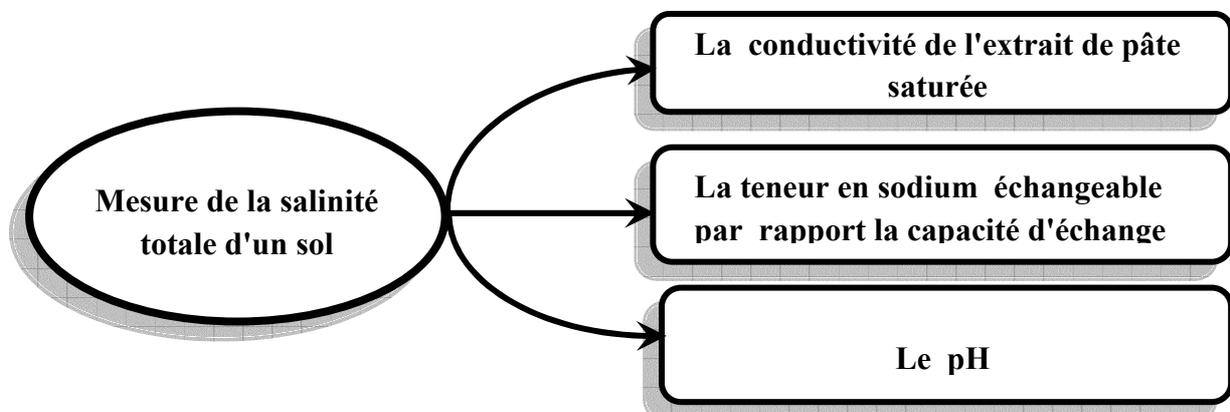


Figure 1.2 : Mesure de la salinité totale d'un sol

La salure de la solution du sol se mesure par sa conductivité électrique de l'extrait de pâte saturée (CEes) ou de l'extrait dilué 1/1, 1/5, 1/10, elle est exprimée en mmhos/cm à 25°C ou en mg/l : 1mmhos/cm .640 = 1ppm= 1mg/l. La conductivité électrique par unité de longueur (déci Siemens par mètre : dS/m). On la mesure directement à l'aide d'un conductimètre dont le principe de fonctionnement est basé sur la loi d'ohm : $U = R \cdot I$.

Une fois les mesures réalisées on effectue le classement du sol en question selon les normes présentées dans le Tableau 1.1 :

Tableau 1.1 : Echelle de salinité du sol (Durand J. H., 1954 [7]).

Degré de salinité		Non salin	Légèrement salin	salin	Très salin
meq/l		2.5	5	10	20
CEes dilué à 25 °C en $\mu\text{mhos/cm}$	- extrait 1/10	250	500	1000	2000
	- extrait 1/5	500	1000	2000	4000
Extrait saturé Riverside CEcs		2000	4000	8000	16000

L'accumulation des sels dans les sols a pour origine plusieurs facteurs dont les principaux sont représentés par la (Figure 1.3)

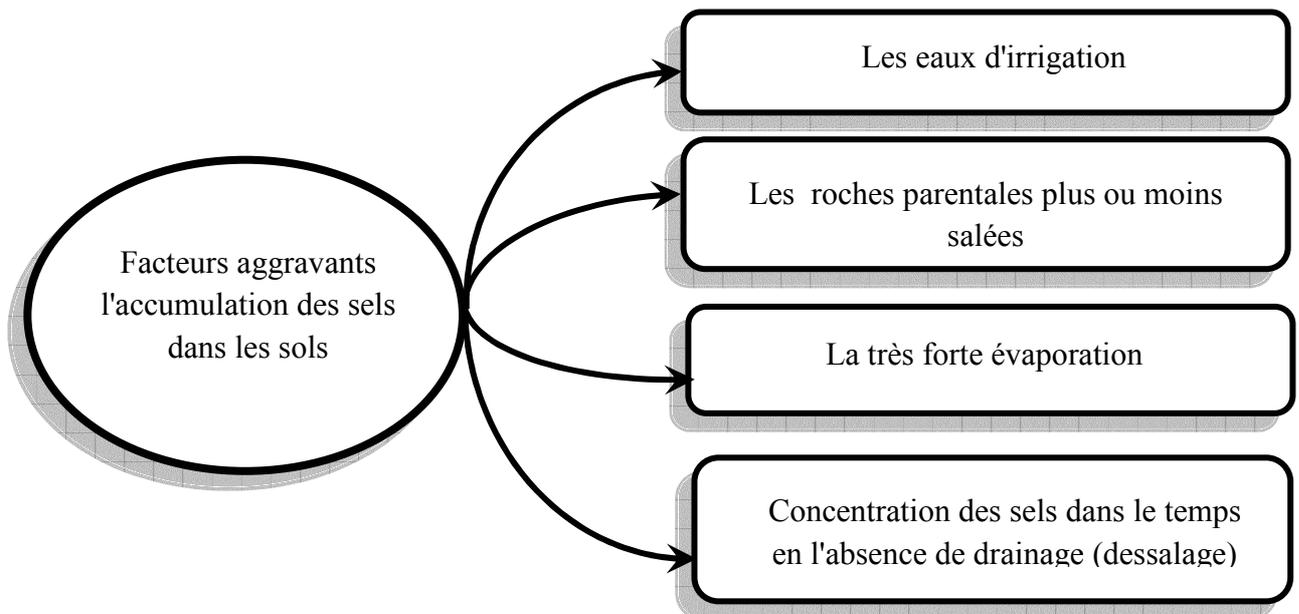


Figure 1.3 Facteurs aggravant l'accumulation des sels dans les sols.

1.1.4 Sodisation d'un sol

La sodisation est la saturation partielle des argiles par l'ion Na^+ qui occupe sur les sites d'échange une place prépondérante par rapport aux ions divalents Ca^{++} et Mg^{++}

Les sols sodiques sont peu salés en général, mais leur fertilité est faible. On les rencontre surtout en climat sub-humide, mais les sols argileux pauvres en ions bivalents des régions arides peuvent le devenir (Basse vallée de la Medjerda en Tunisie, Nord Mexique) [5].

1.1.4.1 Capacité d'échange cationique d'un sol (CEC)

C'est le nombre des sites d'échange en milliéquivalents, rapporté à 100 g de sol. Soit R . Le substrat argileux et son site d'absorption correspondant à un déficit de charge unité. Les ions adsorbés sont notés R . Na ou R . Ca. L'échange monovalent – divalent, illustré par l'exemple R . Ca \longleftrightarrow 2Na^+ , est le plus important car de lui dépendent les propriétés physiques des sols salés [5].

1.1.4.2 Pourcentage de sodium échangeable du sol : Na/T

On mesure en laboratoire le rapport Na / T , Na étant la concentration de sodium et celle des autres cations adsorbés sur l'argile en meq /100 g. On trouvera aussi dans la littérature le rapport R . Na / [CEC - (R . Na)], appelé pourcentage de sodium échangeable ou PSE. Ces deux paramètres sont égaux si on estime que la capacité d'échange du complexe est saturée. Ce qui est souvent le cas dans les sols salés. Tous les deux sont liés à l'alcalinité du sol. L'alcalinité d'un sol augmente donc avec Na/T. L'élévation du pH s'accompagne d'une baisse de perméabilité et d'une diminution de la fertilité.

1.1.4.3 Le SAR (Sodium Absorption Ratio) de la solution du sol

Pour connaître l'origine de la salure, un bilan ionique est nécessaire. Il faut doser Ca, Mg, Na, et K. Le bilan ionique permet d'évaluer le SAR qui est déterminé par la relation suivante (Gapon. 1933. et in Durand . 1958[7]) :

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}} \dots\dots\dots (1)$$

Dans laquelle Na^+ , Ca^{++} et Mg^{++} sont les teneurs en meq de la solution du sol à l'équilibre avec sa solution du sol. Cette expression est liée au pourcentage de sodium échangeable d'un sol à l'équilibre avec sa solution saline par la relation, est la plus utilisée et celle proposé en 1954 par l'U.S.S.L, sur la base des mesures réalisées sur 59 types de sols différents.

$$PSE (\%) = 100(-0.0126 + 0.01475 SAR) / 1+ (- 0.0126 + 0.01475 SAR) \dots\dots (2)$$

1.1.5 Les différents types des sols salés

Il existe trois grands types des sols salés définis selon leur pourcentage de sodium échangeable (PSE) et leur conductivité électrique (CEes). Les limites entre sols salins et alcalins sont indiquées dans le Tableau 1.2.

Tableau. 1.2 : limites entre sols salins et alcalins [7].

Types de sols	CEes (m mhos/cm)	PSE (%)	pH
Sols salins	>4	<15	<8.5
Sols alcalins salins	>4	>15	>8.5
Sols alcalins non salins	<4	>15	8.5 - 10

1.1.6 Origine des sols salés

Le processus de salinisation se manifeste de deux manières : une salinisation primaire et une salinisation secondaire (Figure 1.4)

1.1.6.1 Salinisation primaire

D'après (Gaucher et al ; 1974 [8]), une pédogenèse est primaire quand elle se développe directement sur une roche, de même une salinisation primaire lorsqu'un sol salé provient de la dégradation d'un matériel géologique (La roche mère salifère). C'est-à-dire qu'ici il n'y a pas eu de redistribution.

1.1.6.2 Salinisation secondaire

La salinisation secondaire des sols irrigués s'effectue de deux manières (Durand ,1983 [9]) :

- Soit naturellement par un envahissement d'une eau salée (eau de mer ou de nappe phréatique) d'un terrain à l'origine non salé ;
- Soit artificiellement (origine anthropique) par l'irrigation d'une eau chargée suivie d'un lessivage et d'un drainage insuffisant.

La salinisation secondaire est un processus indépendant de la roche mère, le sel trouvé dans le sol provient de redistribution des sels accumulés précédemment. Ce type de salinisation est favorisé par plusieurs facteurs climatiques, hydrogéologiques, géomorphologiques ainsi que par l'activité humaine (Gaucher ., 1974. et Hullin ., 1983 et al [5]).

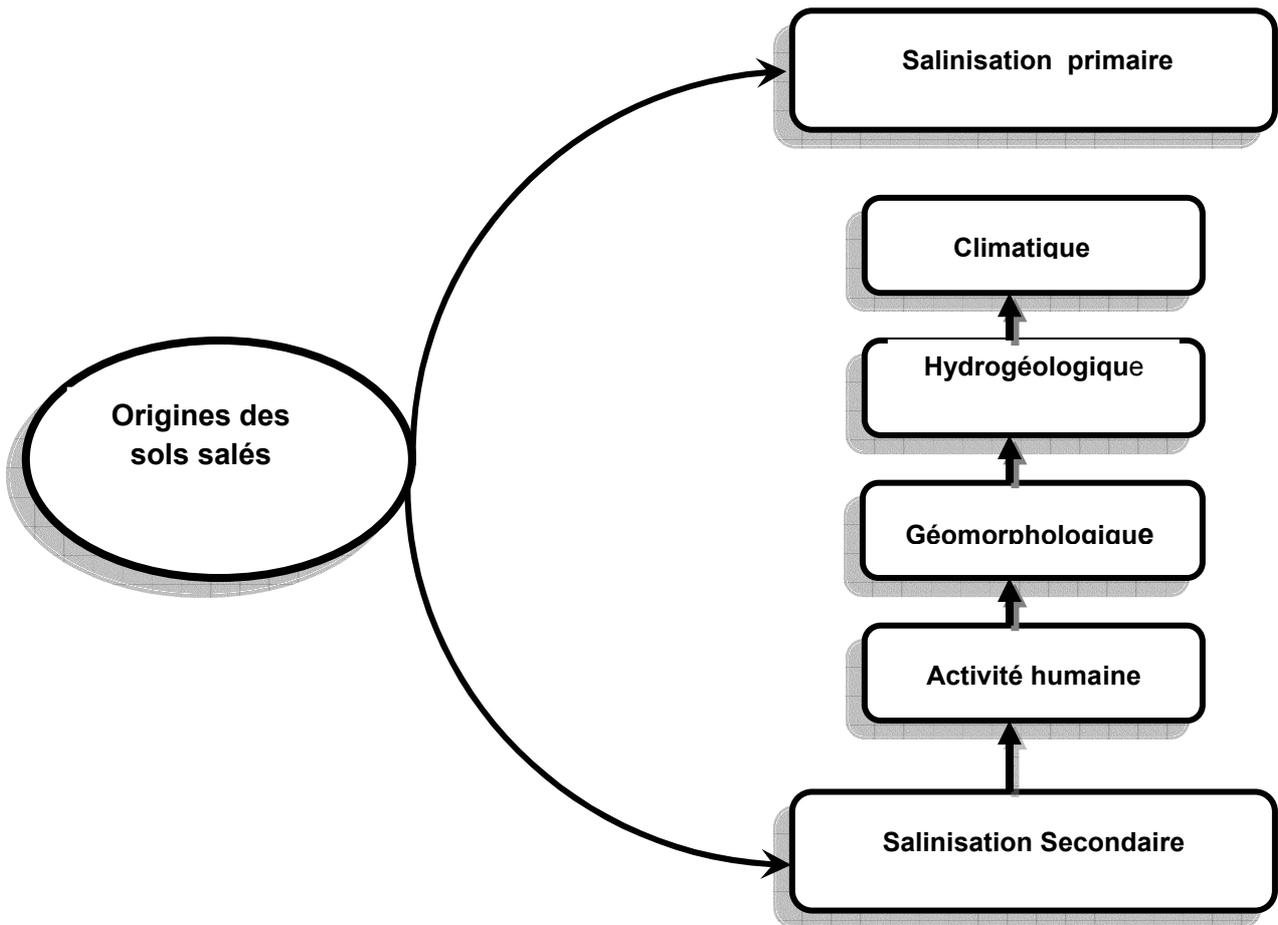


Figure 1.4 : Origines des sols salés

1.1.7 Classification des sols

D'une manière générale la classification des sols permet de regrouper les sols inventoriés, décrits et analysés, selon leur propriété morphologique et physico-chimique, elle rassemble les éléments communs aux sols, c'est-à-dire de constituer les différentes catégories agencées dans un ordre logique.

1.1.7.1 Classification des sols selon la chimie (type de salure)

De nombreuses classifications ont été proposées pour estimer le degré de salinité des sols. Quelques auteurs utilisent seulement le résidu sec comme critère ; d'autres utilisent le résidu sec et la teneur en Cl et SO₄, les pédologues de la mission soviétique déterminaient généralement la salure totale en pesant le résidu obtenu par évaporation d'un extrait de sol 1/5 ou 1/10. Les pédologues américains utilisent pour la détermination de la salinité un extrait obtenu à une humidité liée aux caractéristiques hydro – chimiques [2].

1.1.7.2 Spécificités de la classification des sols d'Oasis

En effet, la salure des sols d'oasis est étroitement liée au mode d'irrigation et aux méthodes culturales. Le plus souvent la salure des sols dans des parcelles moyennes peut être très différente. La classification des sols salés d'oasis n'apparaît qu'au niveau des faciès, car on ne peut pas appliquer aux sols d'oasis les mêmes normes que pour les autres sols (Nord du pays) et ce à raison de leur teneur élevée en sel : Sinon les sols d'oasis seraient tous classés dans la classe des sols halomorphes.

1.1.7.3 Classification des sols salés

Les classifications modernes distinguent les sols salins de pH inférieur à 8,5 et les sols alcalins de pH supérieur à 8,5. Les sols sodiques contiennent plus de 15% de Na échangeable et les sols classiques en contiennent moins. Ces divisions ont une justification géochimique et climatique (Szabolcs. 1981 in [5]). La conductivité électrique de l'extrait à saturation sert en première approximation à subdiviser les sols salins illustrés par le Tableau 1.3.

Tableau 1.3 : Echelle de classification des sols salins à partir de la conductivité de l'extrait à saturation (dS / m) [5].

CEst	0 – 2	2 – 4	4 – 8	8 – 16	Richard (1954, USA) Durand (1954, Algérie)
Classe	0 – 2.5 Non salé	2 – 5 Peu salé	5 – 10 salé	10 – 20 Très salé	

La valeur de Na /T sert à différencier les sols salins des sols alcalins (Tableau 1.4). Il existe aussi d'autres classifications : aux USA, en Bulgarie, en Chine aussi (Li et Wang, 1989 [7]), mais le principe de classification est le même.

Tableau 1.4 : Classification française des sols salés (dit Référentiel Pédagogique Français, Simplifié) [5].

pH	CEst	Na/T	Classification	Terme Synonyme	Groupe
< 8.5	>4	<15	Sol salin à complexe calcique	Solontchak Calciques	Salisols
		>15	Sol salin à complexe sodique	Solontchak sodique	
>8.5	>15	>15	Sols alcalins non lessivés	Solontchaj solonetz	Sodisol
			Sol alcalin lessivé	Solonetz	
			Sols alcalins dégradés	Solod	

1.2 Qualité et classification des eaux d'irrigation

Toutes les eaux naturelles contiennent des sels minéraux en solution. C'est la concentration et la proportion de ces sels qui déterminent les possibilités de leur utilisation.

La qualité des eaux est donc fonction de :

- La quantité totale des sels dissous
- La nature des sels

La qualité des eaux pour l'irrigation est intéressante à connaître, car elle a une influence directe sur l'évolution des sols, sur les choix des aptitudes culturales et sur le rendement des cultures. Plusieurs auteurs et organismes spécialisés ont proposé des critères et des normes pour classer les eaux selon leur utilisation et leur degré de toxicité. L'aptitude des eaux pour l'irrigation doit être définie selon des critères physico-chimiques en tenant compte des conditions du sol, du climat et des plantes. Généralement la classification des eaux pour l'irrigation d'après J.D. Rhoades (Laboratoire de salinité de Riverside [2]) considère la précipitation du Ca et Mg par les carbonates comme étant qualitatifs, quand les eaux d'irrigations sont appliquées aux sols. De ce fait, l'évolution de l'aptitude des eaux pour l'irrigation doit considérer la limite vers laquelle le taux de sodium échangeable (PSE) augmente dans le sol. Toute évolution convenable du danger d'alcalisation doit tenir compte du P.S.E. Il est important de souligner que l'évolution de l'aptitude des eaux pour l'irrigation est conditionnée par les facteurs du sol et du climat (Tableau 1.5). Le manque de telles normes rend difficile la détermination d'une classification précise ([2] et [9]).

Tableau 1.5 : Classification des eaux d'irrigation [9].

Classes	Concentration totale		Teneur chlorure mg/l
	Résidu sec mg/l	CE micromhos /cm	
Eaux excellentes à bonnes	< 500	< 750	< 175
Eaux bonnes à médiocres	500 à 1500	750 à 2250	175 à 350
Eaux médiocres à inutilisables	> 1500	> 2250	> 350

Aux Etats-Unis, le laboratoire de Riverside (Richard et al, 1954) classe les eaux en fonction de leur salinité (conductivité) et du danger d'alcalinisation du sol (estimé en fonction du sodium absorbable par le sol) [7].

Si, théoriquement, des eaux ayant le même taux d'absorption du sodium donnent au sol le même pourcentage de sodium échangeable à l'équilibre, la vitesse à laquelle cet équilibre est atteint, dépend de la concentration de l'eau, c'est-à-dire de sa conductibilité

spécifique. Quatre classes ont été distinguées d'après le taux d'absorption de sodium et la concentration de l'eau [7].

1.2.1 Classification par rapport à la salinité

Il existe quatre classes d'eau :

C1) CE (conductivité électrique) à $25\text{ °C} < 250$ micromhos/cm :

Eaux utilisables pour l'irrigation de la plupart des cultures, sur la plupart des sols. Léger lessivage nécessaire, mais il se produit en irrigation normale sauf en sol très peu perméable.

C2) CE. à 25°C comprise entre 250 et 750 micromhos/cm :

Eaux utilisables avec un léger lessivage. Les plantes modérément tolérantes aux sels peuvent pousser.

C3) CE. à 25°C comprise entre 750 et 2250 micromhos/cm :

Eaux utilisables pour les sols à drainage restreint.

Plantes ayant une bonne tolérance aux sels.

C4) CE. à $25\text{°C} > 2250$ micromhos/cm :

Ces eaux peuvent être utilisées exceptionnellement sur des sols très perméables avec un bon drainage et en grande quantité pour provoquer un fort lessivage du sol.

1.2.2 Classification par rapport au sodium

Selon sa teneur en sodium, une eau peut être partagée en quatre classes :(SAR= Sodium Absorption Ratio = Coefficient d'absorption du sodium) [7].

S1 : $0 < \text{SAR} < 10$

Il y a peu de danger d'alcalinisation

S2 : $10 < \text{SAR} < 18$

Danger d'alcalinisation appréciable dans les sols à texture fine et à forte capacité d'échange surtout dans des conditions de faible lessivage (Eaux utilisables sur les sols à texture grossière ou les sols organiques ayant une bonne perméabilité).

S3 : $18 < \text{SAR} < 26$

Eaux nécessitant un aménagement spécial : bon drainage, fort lessivage, addition de matières organiques.

S4 : $\text{SAR} > 26$

Fort danger d'alcalinisation.

De telles eaux sont utilisables pour l'irrigation si leur faible salinité permet l'addition de calcium soluble ou si le sol en contient suffisamment. Après avoir étudié tous ces facteurs, il convient de les hiérarchiser afin de déterminer les contraintes. Certains seront des facteurs limitants absolus (pente trop forte); D'autres des facteurs limitants importants (faible capacité de rétention en eau, forte salure). Il sera ainsi rendu possible l'établissement d'une carte des aptitudes des sols à l'irrigation.

1.2.3 La classification américaine des sols en vue de l'irrigation U.S.B.R

Diverses classifications existent selon les pays.

A titre d'exemple nous citerons la classification U.S.B.R (Bureau of Réclamation) : classification américaine des sols en vue de l'irrigation [7].

Cette classification comporte six classes se définissant comme suit :

1. Terres cultivables par irrigation – potentiel de production élevé – coût des infrastructures relativement faible.
2. Terres cultivables et irrigables au potentiel de production plus faible. A coût d'installation et de production un peu plus élevés.
3. Terres cultivables par irrigation à potentiel assez faible ne permettant pas la généralisation de l'irrigation sans aménagement.
4. Terres cultivables par irrigation dans des conditions limites ou à usages spéciaux (inondation, aspersion, etc...)
5. Terres provisoirement non cultivables par irrigation dans les conditions existantes. Elles peuvent présenter un potentiel suffisant pour envisager des études ultérieures qui permettront de définir quelle partie passerait en classe 4 et le reste en classe 6.
6. Terres non utilisables pour l'irrigation qui ne peuvent pas faire partie d'un projet d'aménagement.

1.2.4 Origine des eaux salées

Les eaux salées utilisées en irrigation ont des origines diverses qui peuvent être naturelles, humaines ou combinées et leur utilisation doit faire l'objet d'étude appropriées, quand on sait à quelle conséquence on doit s'attendre. (Figure 1.5)

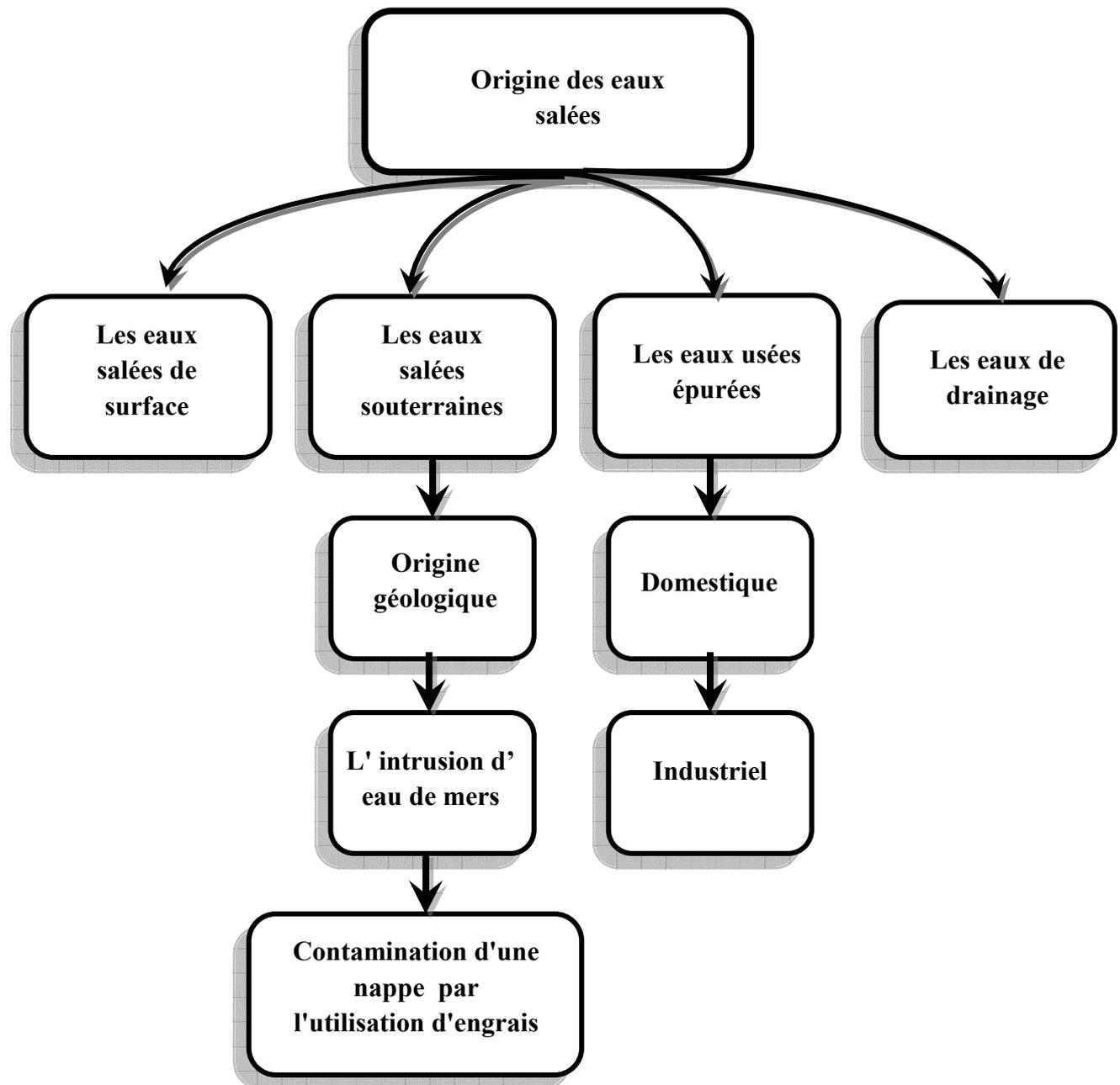


Figure 1.5 : Origine des eaux salées

1.3 Effet de la salinité sur le sol et sur les plantes

L'accumulation des sels dans le sol occasionne des effets nocifs sur les végétaux et sur le sol. Les sels exercent sur les cultures des effets spécifiques (par rapport à chaque ion), mais aussi des effets combinés relatifs à la salinité totale des cations et des anions en solution dans l'eau d'irrigation. En outre, les sels affectent certaines propriétés physico-chimiques du sol qui à leur tour peuvent avoir des conséquences néfastes sur la croissance des plantes. L'impérativité de développer des critères appropriés pour juger la convenance d'une eau saline à l'irrigation et la nécessité de contrôler l'évolution de la salinité des sols, exigent de connaître comment les sels affectent les sols et les plantes.

1.3.1 Effets de la salinité totale sur les plantes

Les sols salins gênent ou interdisent le développement des plantes cultivées. La salinité provoque une augmentation de la pression osmotique des solutions du sol, empêchant l'absorption racinaire. En effet, les plantes absorbent l'eau par osmose. Cette absorption est conditionnée par la différence de la pression osmotique de leur sève et de la solution du sol [10]. La plante prendra ses aliments dans la solution qui se concentre ; à un moment donné la plante aura une pression osmotique équivalente à celle de la solution et ne pourra plus absorber d'eau. De plus certains ions sont toxiques à dose importante (Bore par exemple)[11].

1.3.1.1 Tolérance des plantes à la salinité

Chaque plante a un comportement spécifique vis-à-vis de la salinité des sols. Certaines plantes sont très sensibles, alors que d'autres le sont moins.

On peut donc classer les plantes en catégories suivant leur tolérance (Tableau 1.6)

Tableau 1.6 : Tolérance relative de quelques plantes cultivées
(d'après Richards, 1954, simplifié)[7].

Désignation	Tolérance aux sels faible	Tolérance moyenne	Tolérance élevée
Fruits	Poires, pommes, agrumes, abricots, pêches, avocats, prunes	Figues, olives, melons	Dattes
Cultures maraîchères	Radis, céleris, petits pois	Tomates, brocolis, chou, laitues, pommes de terre, carotte, concombres, oignons	Asperges, épinards
Fourrages	Trèfle, betterave à sucre	Fétuque, blé, avoine	Orge

Il paraît logique d'exprimer la tolérance des plantes à la salinité par la conductivité électrique de la solution du sol (Tableau 1.7). Elle est facile à mesurer.

Tableau 1.7 : Tolérance des cultures à la présence de sel. [12].

Désignation	Types de culture	C_s (mS / cm) : Seuil critique au-dessus duquel une chute de rendement significatif se manifeste C (g / l) = 0,64 CE (mS / cm)
Cultures sensibles	La plupart des fruits et arbres fruitiers, quelques légumes (carottes, haricots, salades, radis...)	$C_s = 2$ mS / cm
Cultures à tolérance moyenne	Légumes, grandes cultures, quelques fruits (olive, raisin, figue, grenade...)	$C_s = 4$ mS / cm
Cultures tolérantes	Prairies, coton, orge betterave à sucre, dattier	$C_s = 8$ mS / cm

1.3.2 Effets de la salinité totale sur le sol

La salinité de l'eau d'irrigation entraîne une modification de la composition chimique du sol. Pour mieux appréhender l'effet de la salinité d'une eau d'irrigation sur le sol, il est nécessaire de comprendre les phénomènes d'échanges cationiques entre la solution du sol et son complexe adsorbant. Les sols renfermant des teneurs notables en sels solubles présentent une structure non modifiée et le sodium n'est pas fixé sur le complexe de façon importante. Lorsque les teneurs en sel solubles (sulfates, chlorures) sont importantes, ces sols sont colonisés par une végétation spécifique dit halophyte.

Les sols caractérisés par une fixation abondante de sodium sur le complexe adsorbant présentent des structures massives ou en colonnettes. L'utilisation de ces sols implique l'application de techniques culturales coûteuses (Sous-solage, mobilisation du sodium par traitement avec du sulfate de calcium ou du chlorure de calcium...etc.) [13].

1.4 Notion de transfert des solutions dans le sol

Les sels sont en mouvement grâce à l'eau qui circule dans le sol. Ces mouvements peuvent être descendants (lixiviation), ascendants (remonté capillaire) ou avec un autre mécanisme de migration appelé thermo dialyse. Les processus de formation et d'évolution des sols salés (Figure 1.6) sont la précipitation (dissolution des sels), la fixation des cations Ca^{++} , Mg^{++} , Na^+ , K^+ sur les sites d'échange du complexe absorbant du sol, la lixiviation et les remontées capillaires. De tous ces phénomènes ce sont les échanges de cations entre le sol et l'eau d'irrigation qui jouent le rôle le plus important pour l'irrigation.

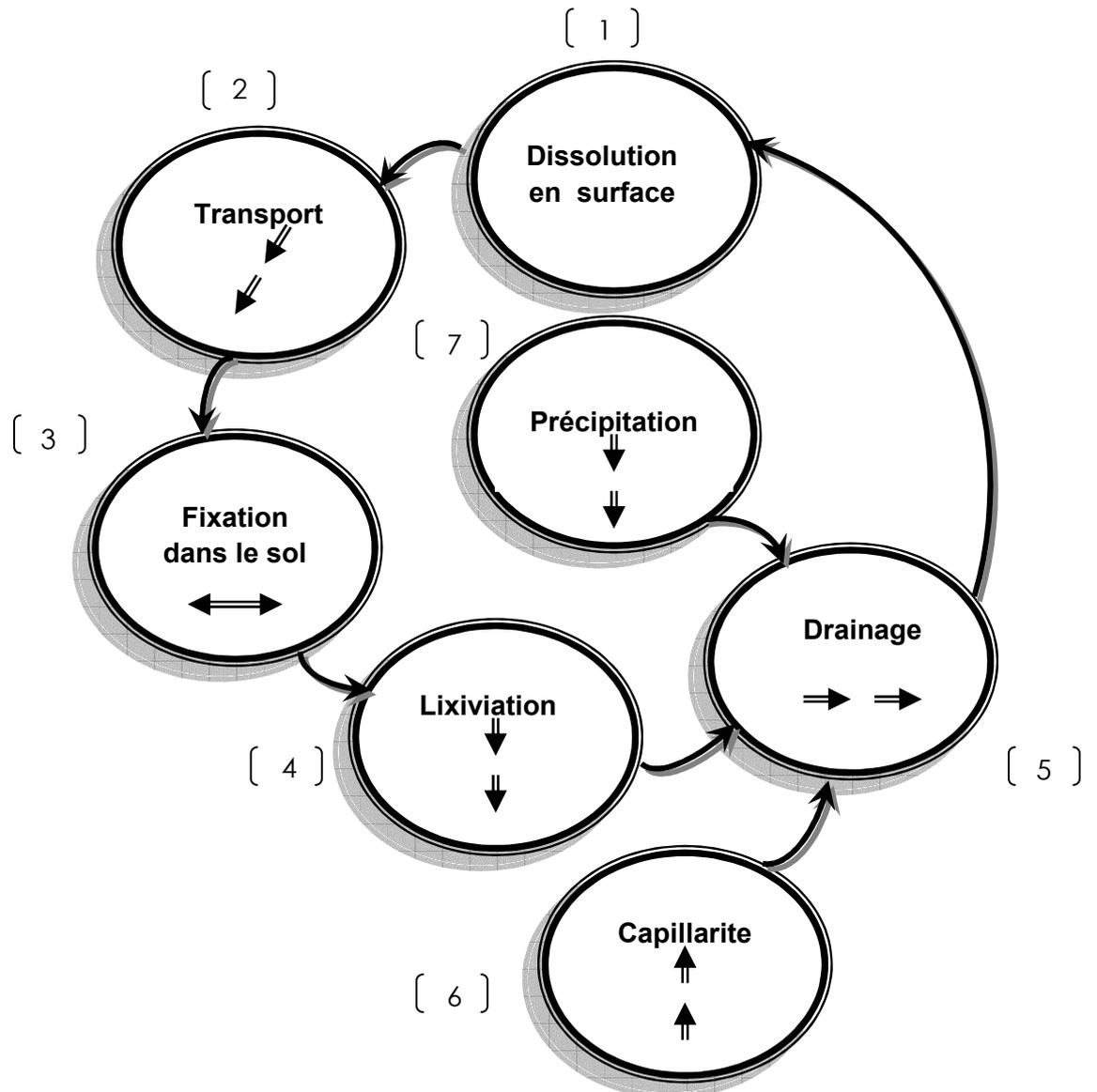


Figure 1.6 : Cycle des sels simplifié dans les paysages des zones arides

1.4.1 Equation de transfert des solutés

Le transfert des solutés dans le sol peut être caractérisé par différentes équations qui traitent de la cinétique et du dynamisme de ceux-ci. Cependant, dans notre étude, nous ne nous intéresserons qu'à l'aspect quantitatif de l'évolution des sels dans le sol.

1.4.1.1 Equation générale du transfert d'eau dans le sol

C'est une équation qui fait état de l'évolution de l'eau dans le sol indépendamment des sels qu'elle contient. Le transfert d'eau dans le sol obéit donc à l'équation [14] :

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left(D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right) - \frac{\partial K(\theta)}{\partial z} + r_w \quad \dots \dots \dots (3)$$

θ : humidité volumique

$D(\theta)$: diffusivité hydraulique

$K(\theta)$: conductivité hydraulique

r_w : taux d'extraction d'eau par les racines

t : le temps

z : la profondeur

1.4.1.2 Théorie de quantification de l'évaporation des eaux de nappe phréatique.

Les observations sur la variation de l'intensité de l'évaporation des eaux de la nappe phréatique dans un objectif de déterminer la profondeur correspondant au minimum possible de celle-ci doivent se réaliser dans des conditions naturelles (sans cultures et sans irrigation) c'est-à-dire en régime stationnaire.

Le transfert des sels solubles dans les sols est décrit par l'équation de diffusion-convection :

$$m \frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - V \frac{\partial C}{\partial z} + \frac{\partial N}{\partial t} \quad \dots \dots \dots (4)$$

Les sols sahariens ayant une capacité très faible, la solution utilisée pour la détermination de la concentration moyenne dans la couche << L >> du sol au dessus du niveau des eaux de la nappe phréatique est celle de S.F. Averianov obtenue à partir de l'équation (4) sans prise en compte de l'influence des échanges ([15], [14], [16], [17] et [18]).

$$\overline{Cm} = \frac{1}{2Pe\bar{L}} \left[e^{2Pe} - e^{2Pe(1-\bar{L})} \right] \dots\dots\dots (5)$$

$$\overline{Cm} = \frac{Cm}{Cnp}; \bar{L} = \frac{L}{hnp}; Pe = \frac{Enp \cdot hnp}{2 \cdot m \cdot D^*}$$

m : porosité effective, %

Cm : concentration en sels de la solution de sol à la profondeur X, g/l

Cnp : concentration en sels des eaux de nappe phréatique, g/l.

L : profondeur du sol considérée, m.

t : temps, j.

v : vitesse de déplacement de l'eau dans les pores, m/j.

$\partial N / \partial t$: terme d'échange.

\overline{Cm} : Concentration réduite.

Pe : paramètre de Peclet.

Enp : Evaporation des eaux de la nappe phréatique, m.

D* : Coefficient de diffusion convection, $D^* = 0.01 \text{ m}^2/\text{j} = \text{cte.}$ [17].

hnp : profondeur des eaux de nappe phréatique, m.

CHAPITRE 2

LA PROBLEMATIQUE DE LA SALINITE ET DU DRAINAGE DANS LES ECOSYSTEMES PALMERAIES DE LA VALLEE DE L'OUED RIGH

2.1 Irrigation et drainage dans la vallée de l'Oued Righ

2.1.1 Irrigation

L'irrigation dans les régions sahariennes se fait par plusieurs systèmes, du traditionnel au plus moderne et la source de captage diffère d'une région à une autre et ce, selon les conditions naturelles du milieu. Mais généralement c'est le captage par forage qui est actuellement le plus généralisé sur l'ensemble des aires d'irrigation. L'irrigation dans la vallée de L'oued Righ est pratiquée depuis des millénaires. A l'origine les sources naturelles représentaient les seules ressources en eau, puis l'exploitation des nappes souterraines par des puits jaillissants permet l'extension des cultures irriguées (Figure 2.1).

2.1.1.1 L'irrigation par submersion

Dans la vallée certains périmètres sont divisés en lots d'environ un hectare. Ce mode d'irrigation est la méthode traditionnelle pratiquée dans cette région où l'eau déversée à la partie supérieure du terrain par les bouches d'irrigations ou pertuis ruisselle sur toute la surface de la planche qu'elle humecte au fur et à mesure de sa progression. Le système est très simple ; chaque rigole (Seguia) de distribution mise en service alimente une ou plusieurs planches, selon les disponibilités (Photos 2.1, 2.2). La dérivation des eaux se fait à l'aide de vannettes en tôle ou par de simples mottes de terre. Tous les lots sont identiques avec un mélange de cultures traditionnelles. Les palmiers sont les plus souvent en peuplement pur avec un enherbement des planches d'irrigation. Chaque parcelle est irriguée à partir du pot d'irrigation dont le débit d'amenée est d'environ 10 l/s, mais nous avons vu des débits beaucoup plus forts.



Photo 2.1 : canal d'amenée en terre "Seguia" dans la zone de Sidi Slimane en 2008.



Photo 2.2 : Canal d'irrigation en béton dans la zone de Sidi Slimane en 2008.

La largeur des planches est d'environ 1 à 2 mètres. Pour que la répartition longitudinale de l'eau soit correcte, la pente doit être de l'ordre de 1‰ et le nivellement parfaitement réalisé. La totalité de la main d'eau est dirigée sur la même planche et toutes les planches sont irriguées successivement. On conseille habituellement de faire un apport tous les 10 jours en hiver et tous les 3 jours en été.

2.1.1.2 L'irrigation localisée

En irrigation localisée, encore appelée plus improprement micro- irrigation ou goutte à goutte, l'eau est apportée aux plantes par un réseau de tuyaux en polyéthylène et délivrée à chacune d'entre elle par un orifice (ajutage) ou un goutteur dont le débit est stable et connu. L'objectif est d'alimenter les plantes en fonction de la demande climatique en leur évitant les stress dus à l'excès ou au déficit en eau. Le système racinaire se développe dans un bulbe humide où il trouve l'eau et les sels minéraux indispensables. Il y aurait aujourd'hui un million d'hectares dans le monde qui seraient irrigués de cette manière. C'est en tout cas une méthode de choix pour le palmier dattier qu'on plante à de grands écartements ($9 \times 9 = 120$ arbres à 1 ha) et qu'on doit irriguer pendant toute l'année.

2.1.1.3 Irrigation par puisage (puits arabe : Deggaga)

Quand une nappe phréatique n'est pas très profonde, elle est captée par puits, lesquels ont généralement un très faible débit, trois moyens principaux de puisage sont utilisés :

- Les puits à poulie avec traction animale.
- Les puits à balancier dont la technique plus perfectionnée et à plus grand rendement utilisent la force d'un levier.
- Les puits arabes (Deggaga) avec une pompe centrifuge. C'est le type de pompes le plus utilisé. La pompe centrifuge est conçue pour élever l'eau à une hauteur H (3 à 12 m) à un débit Q (5 à 15 l/s), notamment au niveau du périmètre à Sidi Slimane.

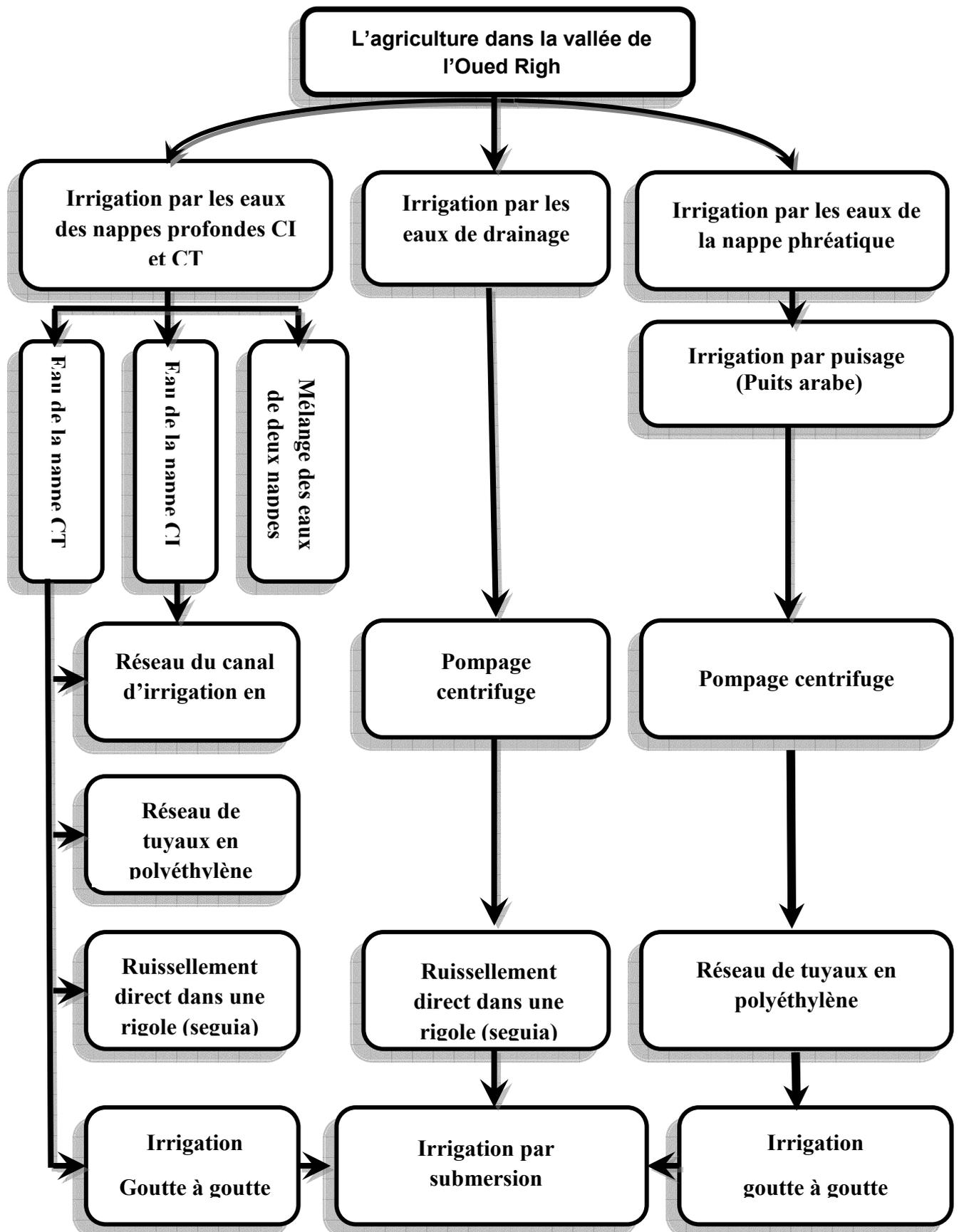


Figure 2.1 : L'irrigation dans la vallée de l'Oued Righ

2.1.2 Le drainage en périmètre irrigué

Le drainage est tout d'abord un mécanisme d'écoulement de l'eau : il désigne tout écoulement contribuant à vider un matériau poreux du liquide qu'il contient. La gravité est le premier moteur du drainage ; lorsqu'un matériau est suffisamment humecté, les forces dues à la capillarité sont moindres que celle de la gravité : l'eau s'écoule vers la profondeur si elle ne rencontre aucun obstacle. C'est le **drainage naturel**. Dans les sols qui présentent un obstacle à l'écoulement (barrière imperméable ou semi- imperméable) l'eau s'accumule au - dessus de ce dernier en formant une nappe. Seul un **drainage artificiel** par des techniques appropriées, soit par gravité, soit par pompage, peut alors évacuer l'eau (Figure 2.2).

Lorsque le mécanisme d'écoulement de l'eau n'est soumis ni à la gravité ni au pompage, le terme drainage peut dans certains cas être utilisé. Il en est ainsi des écoulements ascendants dus à l'évaporation ou à la transpiration des plantes qui conduisent à abaisser le niveau des nappes. Les techniques correspondantes restent actuellement marginales dans les périmètres irrigués et ne seront pas abordées ici.

La deuxième acception du terme drainage désigne la techniques ou l'ouvrage réalisé pour permettre l'évacuation de l'eau excédentaire. Les techniques de drainage sont généralement classées de la manière suivante :

- **Drainage de surface** : toute technique d'évacuation d'eau se trouvant à la surface du sol, généralement parce qu'elle n'a pu s'infiltrer ;
- **Drainage souterrain** : toute technique d'évacuation d'eau de nappe souterraine qui permet de contrôler le niveau de la surface libre de la nappe. Ces techniques peuvent se classer en :
 - **Drainage souterrain horizontal** : technique de drainage par fossés ou par tuyaux enterrés ;
 - **Drainage souterrain vertical** : technique de drainage par puit.

De manière générale, deux processus complémentaires dans le drainage sont distingués, à savoir le captage des eaux excédentaires et leur transport, généralement vers un émissaire du réseau hydrographique.

La problématique du drainage en périmètre irrigué se décline en trois grandes questions :

1. Comment estimer les besoins en drainage dans le temps et dans l'espace ? Le corollaire de cette question est la définition de priorités entre économie d'eau et évacuation des eaux excédentaires.
2. Quelle combinaison de technique faut-il mettre en place pour répondre au besoin identifié ? Comment raisonner et dimensionner les ouvrages à mettre en place ?
3. Que faire des eaux de drainage rejetées ? Cette question est l'une des plus débattues.

D'une part les eaux de drainage posent des problèmes pour l'environnement vu leur salinité et vu leurs concentrations potentielles en différentes substances nocives pour les milieux récepteurs. D'autre part ces eaux sont de plus en plus fréquemment réutilisées pour l'irrigation dans des périmètres où les tensions sur les ressources en eau sont vives. Quels sont les risques encourus dans ce cas et quelles pratiques de réutilisation de ces eaux sont recommandées ?

2.1.2.1 Réseau de drainage

Dans la région de l'oued Righ les réseaux de drainages sont constitués de fossés d'environ 1.20 m de profondeur pour 50 cm ou plus large. Ces fossés sont creusés à la pelle et à la pioche. Un progrès serait certes d'utiliser des pelles hydrauliques de petite dimension car il s'agit d'un travail considérable. Ces fossés écartés de 25 m totalisent avec le collecteur 500 m de terrassement à l'hectare. Ils doivent en outre être curés chaque année pour supprimer les mauvaises herbes et relever les éboulements fréquents en terrain meuble.

Malgré cela leur efficacité est bien souvent entravée faute d'une pente ; suffisante (au moins 3‰) qui pourrait entretenir un courant autonettoyant capable d'entraîner les sédiments les plus fins. Les techniques ont aujourd'hui complètement changé et on n'utilise dans les pays développés que des drains en poteries pour les collecteurs et des tubes annelés perforés en PVC pour le drainage proprement dit << enterrées >> mais surtout on dispose de système de repérage de niveau topographique qui permettent de réaliser des pentes au plus juste. Les eaux sont partout salées ou très salées (entre 2 et 7 g/l d'extrait sec)[19]. On doit donc irriguer avec abondance et lessiver.

Ce qui fait qu'aucune culture ne serait possible sans un réseau serré de drains (Khandegs qui évacuent les eaux de lessivages appelées ici eaux de Nezz) Dans les parties les plus basses. On crée ainsi de vaste Sebkhà à nappe d'eau libre en hiver avec des étendus considérables de chotts.

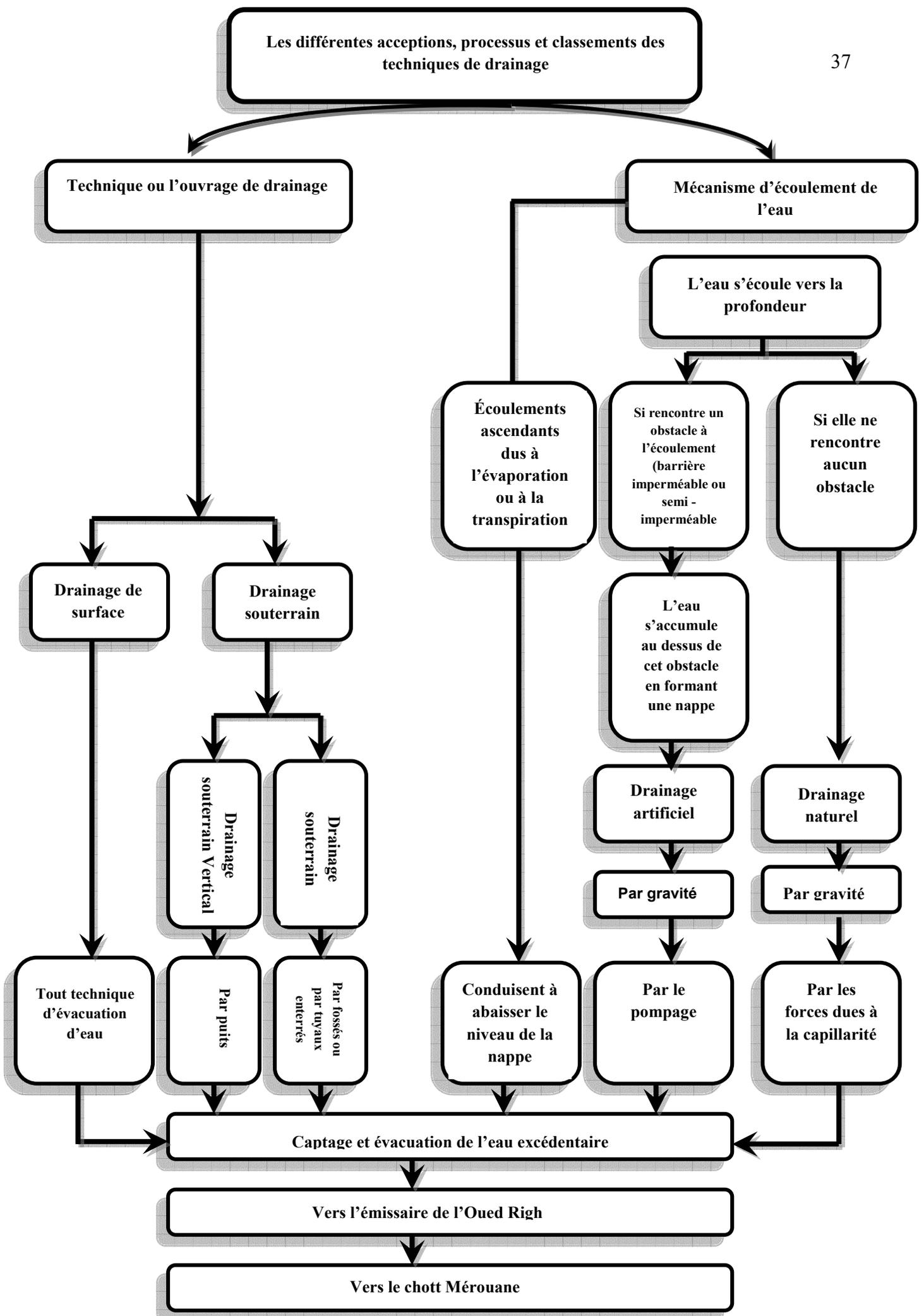


Figure 2.2 : Les différentes acceptions, processus et classements des techniques de drainage dans la vallée de l'Oued Righ

2.1.3 Les sols salés et le drainage

En périmètre irrigué, les besoins en drainage relèvent non seulement des excès d'eau, mais aussi des risques d'excès de sels, ces deux aspects étant liés. L'engorgement de la zone racinaire du sol est gênant pour la croissance de la majeure partie des plantes cultivées. Il réduit l'oxygène disponible pour la respiration et la croissance racinaires ; il provoque la réduction des oxydes ferriques en faisant apparaître des tâches verdâtres de gley. Il sélectionne une végétation envahissante nuisibles difficile à détruire ensuite (Phragmites communis = roseau commun. *Impérata cylindrica* = diss) [5] et [8].

Les excès d'eau résultent soit des précipitations excessives vis-à-vis du drainage naturel du sol, soit d'une faible efficacité de l'irrigation dont les pertes en eau conduisent à des remontées des nappes profondes jusqu'à la surface du sol. Dans de nombreux périmètres, la justification principale du drainage est le risque de salinisation des sols .Ce risque se décline en deux grands problèmes :

- Celui de la salinité stricto sensu nuisible à la croissance racinaire ;
- Celui de la sodisation qui résulte d'une accumulation de sodium sur le complexe d'échange du sol, ce qui se traduit par une dégradation structurale du sol qui peut affecter la croissance des plantes.

En quoi le drainage artificiel peut-il apporter un remède à ce risque ?

A l'origine de la séquence conduisant à l'apparition de problèmes (Figure 2.3) il y'a l'apport de sels par l'eau d'irrigation ; cet apport est variable suivant les régions du globe. Dans les régions arides ou semi-arides ; les sels doivent donc être éliminés par l'eau d'irrigation elle-même : à la quantité d'eau correspondant aux besoins des cultures est ajoutée une dose de lessivage qui, en percolant à travers le sol, entraîne les sels accumulés. Cette dose est souvent exprimée en pourcentage par rapport à la dose d'irrigation ; on parle alors de fraction de lessivage. Si on oublie ce phénomène fondamental et on l'oublie très souvent, les périmètres cultivés prennent rapidement un aspect désolant avec des plantes bien caractéristiques telles que les Salsolacées, soudes et salicornes. Des graminées envahissantes (diss) ont pris la place des palmiers (Photo 2.3). Des palmiers grisâtres aux palmes courtes et peu nombreuses et puis partout des efflorescences salines recouvrant par taches les endroits où l'humidité apparaît[10].



Photo 2.3 : Palmeraie en voie de dégradation ; colonisée par une végétation halophyte et des graminées envahissantes " diss" dans la zone de Sidi Slimane en 2008

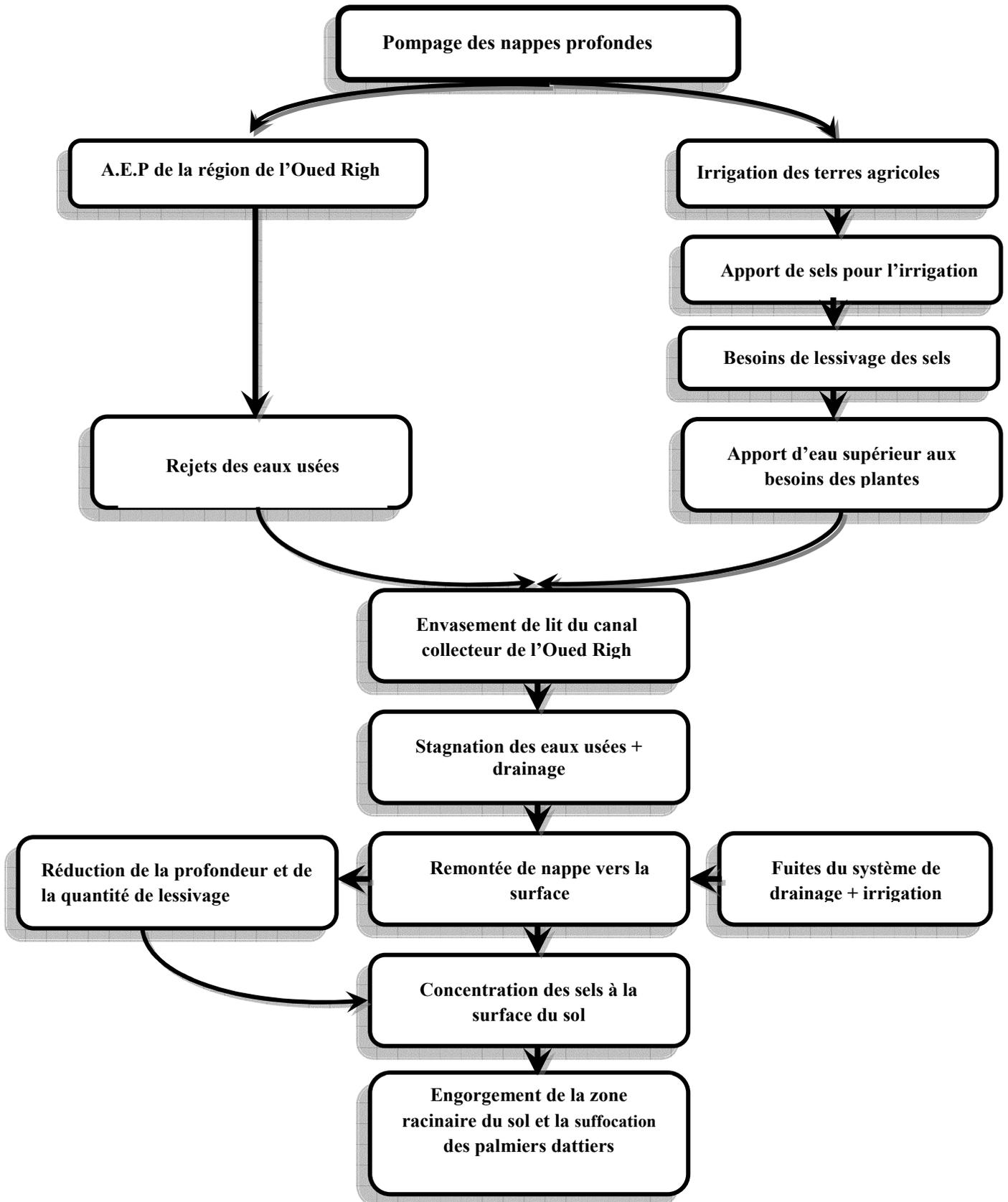


Figure 2.3 : Séquence des phénomènes pouvant conduire à la salinisation en cas de déficience du drainage dans la vallée de l'Oued Righ

2.1.3.1 Relation – dose de lessivage - remontée des eaux :

Bien souvent la dose de lessivage n'est pas explicitement prise en compte dans la gestion des périmètres irrigués car les doses apportées par l'irrigation sont de toute façon supérieures aux besoins des cultures. Combinés avec les inévitables pertes du réseau de canaux d'irrigation, ces apports excédentaires d'eau d'irrigation contribuent à faire remonter les nappes vers la surface du sol. Ce qui peut être triplement préjudiciable. La présence de la nappe phréatique réduit la profondeur jusqu'à laquelle les sels sont lessivés (Photos 2.4).



Photos 2.4 : Illustre la remontée de la nappe phréatique dans la région de L'Oued Righ à cause de la défektivité du système de drainage.

2.1.3.2 Relation – évapotranspiration – remontée capillaire – salure :

La demande évapotranspiratoire peut être prélevée directement dans la nappe ; l'eau chargée des sels lessivés est alors entraînée dans un mouvement ascendant appelé remontée capillaire. Au cours de cette ascension, l'eau est progressivement évapotranspirée ; ce qui concentre la solution du sol [5]. C'est le processus d'évapoconcentration. Ce phénomène, non seulement annule le lessivage, mais réentraîne les sels dans la partie supérieure du sol la plus sensible pour la croissance des plantes.

2.1.3.3 Relation – Lessivage – nappe phréatique – Salure

Les nappes phréatiques des périmètres irrigués sont souvent riches en sels. D'une part elles recueillent les eaux lessivant les sels ; d'autre part, lors de leur remontée, elles peuvent remobiliser des sels précipités lors du dépôt des couches profondes. Ainsi leur remontée signifie souvent l'enrichissement en sels de la solution du sol [5]. Il faut du même coup s'équiper d'un ensemble de piézomètres pour surveiller la remontée des eaux et leur salinité.

Dans un périmètre irrigué, il importe donc d'éviter la présence d'une nappe à proximité de la surface du sol. Pour ce faire, l'eau non strictement utile à la croissance des plantes doit être minimisée et, en tant que de besoin, évacuée du système.

2.2 Aperçu historique du canal collecteur de l'Oued Righ

La vallée a été composée de série de chott et des lacs donc une succession en chapelet de dépression humide et salées et de palmeraies mettant à profit de légère surélévation (1m ou 2m) parfois améliorées par des apports massifs de sable tandis que les bas fonds sont occupés par des sebkhas reliées par un canal collecteur de drainage, le tiers du sud de la longueur totale de l'oued Righ est de l'origine naturelle. Les deux tiers de sa longueur totale de 136Km au nord ont été creusés par des mains humaines de la région dans le dernier siècle (Photo 2.5).

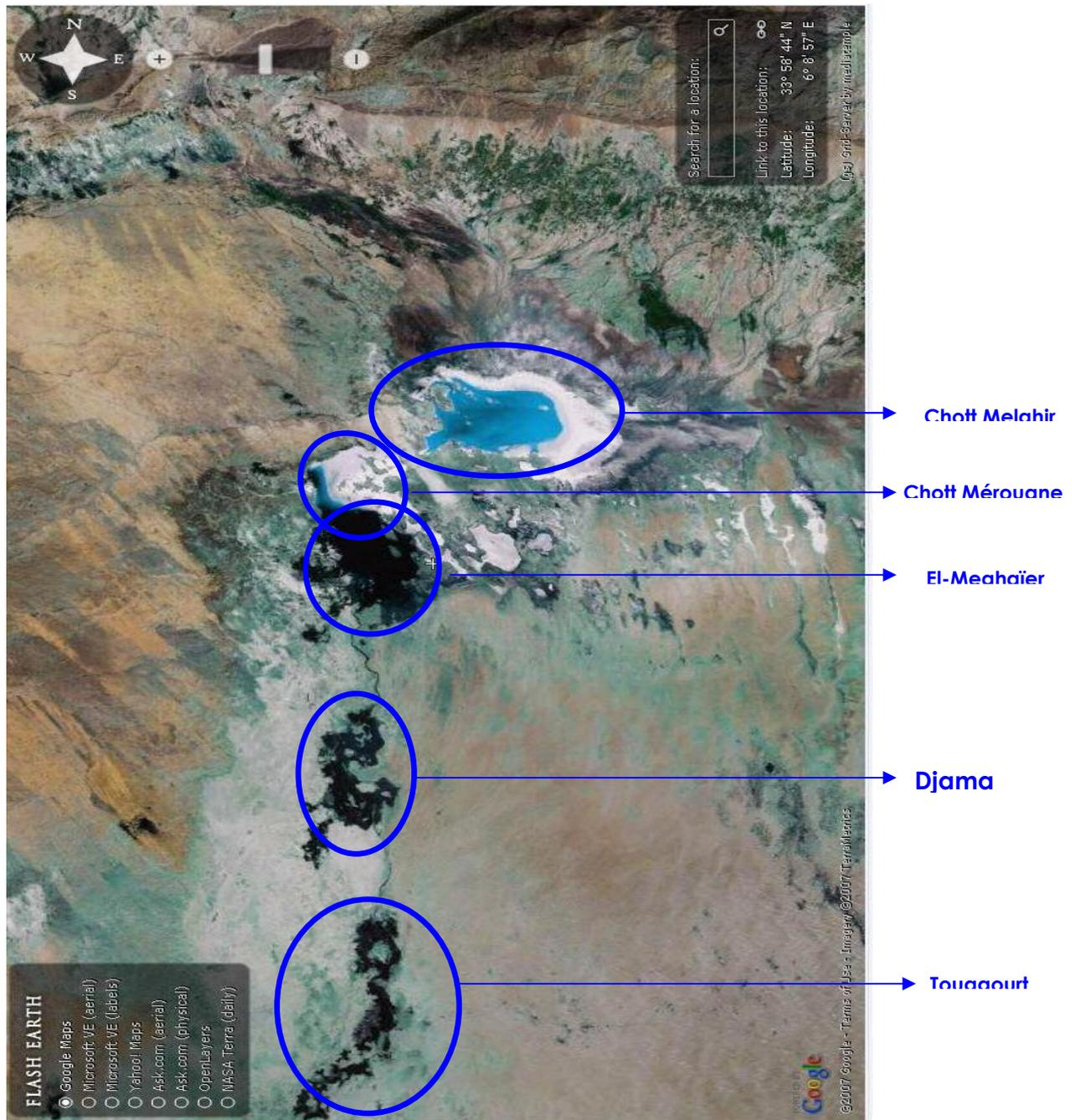


Photo 2.5 : Trajectoire du canal d'Oued Righ (Google Earth., 2007).[21]

L'irrigation dans la vallée est pratiquée depuis des millénaires. A l'origine les sources naturelles représentaient les seules ressources en eau, puis l'exploitation des nappes souterraines par des puits jaillissants permet l'extension des cultures irriguées.

<< Sous la direction de l'ingénieur JUS>> Le 17 mai 1856, on commença la réalisation du premier forage tubé à Tamerna (Djamaa) qui jaillit à raison de plus de 60 l/s ce qui apparaît comme un excellent débit qu'on est tout à fait incapable d'obtenir aujourd'hui à partir de la première nappe, qui d'ailleurs n'est plus ici artésienne.

En 1883, le débit d'exhaure avait été multiplié par 4 ou presque dans le bas Sahara, passant de 879 l/s à 3245 l/s (H. JUS., 1884 [8]), non content de multiplier les forages et concurrent un nouveau type de palmeraie géométrique, aux arbres alignés et espacés (120 arbres/ ha) régulièrement drainés. Dès 1925 on entreprit de creuser le grand canal collecteur partant de Blidet Amor et rejoignant le chott Mérouane en suivant approximativement la succession des sebkhas installées en bordure de L'erg.

En 1954 la continuité dans la cuvette du bas Sahara était mise en évidence par un sondage de 3684m à Tamellahat (Témacine) près de Touggourt, qui rencontrait le toit du C.I à 1300m et les couches aquifères entre 1400 et 1750m. Ce forage donnait une pression au sol de 27 Kg/ cm² et un débit jamais vu au Sahara de 350 l/s. De quoi irriguer une Oasis de 500 ha. Avec le débit d'irrigation augmentant par la création des palmeraies dans la région, le drainage insuffisant est devenu le plus grand obstacle au développement.

Malheureusement la pente d'écoulement est très faible souvent inférieure à 1/1000, et le canal doit traverser des zones sableuses et des chotts qui sont particulièrement propices au colmatage et à l'obstruction du canal dont de toute façon le gabarit est demeuré longtemps modeste.

Après plusieurs études préalables (SOGREAH 1970, Tesco-Viziterv 1974 et Compagnie du Bas Rhone 1984) le secrétariat d'Etat à hydraulique a décidé le <<réaménagement et l'extension des palmeraies de l'Oued Righ >> et en particulier le curage et le reprofilage du réseau d'assainissement avec le projet de créer 1000 ha irrigués supplémentaires.

En 1974 les autorités ont conseillé à Tesco - Viziterv une étude ayant pour but d'aménager le canal collecteur principal de l'Oued Righ afin de faire le premier pas au drainage efficace dans la vallée. Le bureau d'étude a élaboré les avant-projets sommaires et détaillés respectivement en 1975 et 1976. Au cours de l'élaboration des études des documents de « SOGREAH » ont été pris en considération.

La réalisation de l'aménagement du canal collecteur principal a démarré en Novembre 1976 au voisinage de la palmeraie de Merdjadja en présence des secrétaires d'Etat à hydraulique de l'Algérie et de la Hongrie. Le canal fut profondément modifié, élargi et approfondi, les tronçons menacés par le sable furent busés et les jonctions avec les drains secondaires protégées. La pente générale demeura cependant insuffisante pour induire un courant autonettoyant. Dans la région de Touggourt (Photo 2.6), deux années plus tard le lit du canal était largement encombré de vides sableuses et d'abondant peuplement de roseaux (Phragmites).



Photo 2.6 : Tronçons du canal Oued Righ envahi par des peuplements de roseaux dans la zone de Megarine en 2008.

De 1977 à 1980 les travaux réalisés autour de Touggourt ont été de moindre importance à cause du manque de pelles mécaniques appropriées. A partir de juillet 1980 l'excavation du canal a commencé à Tinedla, puis la réalisation se déroulait sur plusieurs tronçons à grande échelle en utilisant les grandes pelles mécaniques (les Bulldozers). Les travaux ont été terminés en fin 1983, début 1984. De 1986 à 1990 le réseau secondaire a été réaménagé dans le cadre de la mission B de l'ancienne étude selon les études de Tesco/Visitrev.

2.3 Diagnostic des problèmes sur le canal collecteur et leurs impacts sur l'écosystème

Dans les dernières décennies les palmeraies ont rencontrées certains problèmes qui empêchaient le développement agricole de la région . Vers le début des années '80 le problème le plus urgent résidait dans l'inefficacité du réseau du drainage. En vue de résoudre ce problème, une opération d'aménagement du Grand canal collecteur de l'Oued Righ a été achevée fin 1984 sur 100 Km environ du canal [1], permettant d'évacuer les eaux de drainage des palmeraies vers le chott Mérouane.

2.3.1 Etat actuel du canal collecteur de l'Oued Righ

Certaines parties du canal principal montrent déjà des signes d'érosion. La poursuite de cette érosion risque de mettre en danger la stabilité des berges et quelques ouvrages. Le manque d'entretiens réguliers empêche l'écoulement libre dans le canal principal provoquant le remous sur le niveau d'eau, l'origine de la stagnation des eaux de drainage dans le réseau secondaire (Photos 2.7). La végétation aquatique pousse rapidement dans l'eau à vitesse lente en résultant l'envasement du lit.



Photos 2.7 : Drains secondaires colmatés et envahis par les mauvaises herbes "Roseaux" crée des risques d'excès de sels et des eaux (stagnation) en 2008.

2.3.1.1 Le but de l'inspection sur le terrain

La visite sur terrain a pour but de déterminer l'état actuel du canal, l'identification des endommagements développés pendant les années passées, le diagnostic de l'origine des problèmes et l'élaboration d'une proposition de remède (Figure 2.4).

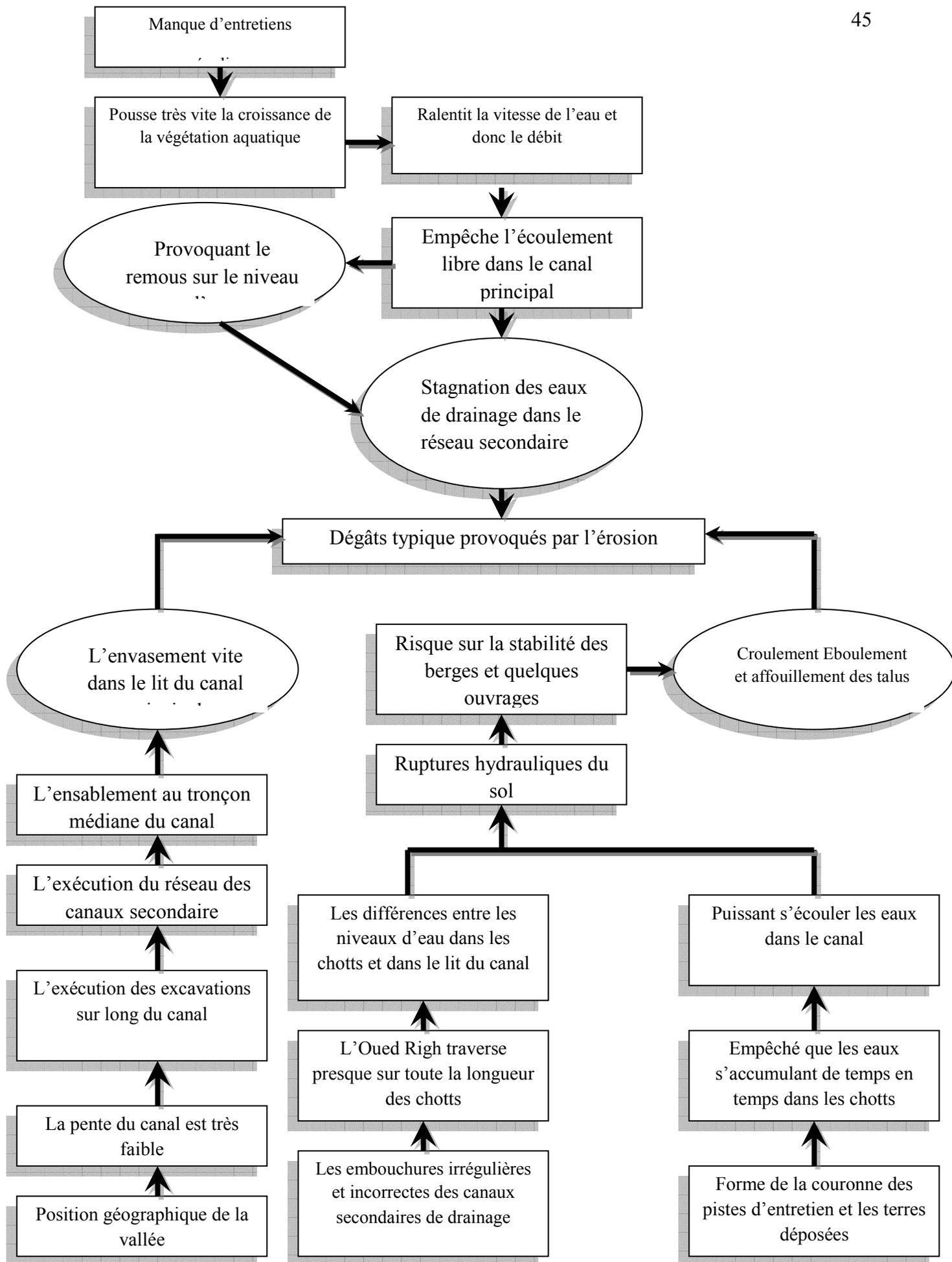


Figure 2.4 : Les causes des dégâts provoqués par l'érosion sur le long du canal de l'Oued Righ.

2.3.1.2 Analyse des déformations des talus et du lit

Pourtant sur certains tronçons du canal des envasements (dépôts limoneux), des écroulements de talus, des affouillements provoqués par érosion se sont présentés ; qui peuvent être considérés comme des dégâts typiques se présentant presque par tout le long du tronçon aménagé du canal (Photos 2.8).



Photos 2.8 : Dégradation des berges par l'érosion et des affouillements des talus sur plusieurs tronçons du canal de l'Oued Righ en 2008.

2.3.1.2.1 Les causes de l'envasement

Une partie de l'envasement ressort de l'exécution des excavations, sur le tronçon en aval, où à cause de la position géographique de la vallée de l'Oued Righ, la pente du canal très faible- une grande partie de limon s'était déposée au cours de l'excavation des tronçons en amont. L'exécution du réseau des canaux secondaires a également provoqué l'envasement du canal principal. L'ensablement au tronçon médian du canal contribue également à l'envasement, Le développement des dépôts de sable sur le tronçon aval s'effectue parce que l'eau ayant une vitesse relativement élevée formant des bancs de sable dans le lit.

2.3.1.2.2 Les causes de l'érosion et des affouillements des talus.

Le long du canal entier des dégâts de talus provoqués par érosion se sont produits plus ou moins partout.

Il vient du fait que la couronne des pistes d'entretien a été formée de façon qu'elle se penche vers le lit de l'Oued Righ. Ainsi l'eau de pluies creuse des petits filants qui s'écoulent sur les talus provoquant des affouillements, dont la profondeur dépasse les quelques centimètres. Le fait que l'Oued Righ traverse presque sur toute sa longueur des chotts, amènes également les éboulements, (Photo 2.9).



Photo 2.9 : Protection du canal de l'Oued Righ contre l'érosion des berges dans la zone de Ranou en 2009.

Ainsi la différence entre les niveaux d'eau dans les chotts et dans le lit peut atteindre les 2 à 3 m. Cela provoque des ruptures hydrauliques du sol, et plus exactement des éboulements des talus (Photo 2.10).



Photo 2.10 : La remontée du niveau des eaux du canal l'Oued Righ après une pluie intense dans la zone de Sidi Slimane en 2009.

Les éboulements et les affouillements des talus se sont produits surtout dans les courbes au rayon court et en aval de l'arrière radié des ouvrages d'art. Ces dégâts sont tellement développés que le canal a commencé à former des méandres. Cette situation pouvait s'aggraver par manque d'entretien.

2.3.2 Impact de l'inefficacité du réseau de drainage sur les palmeraies

Le problème qui imposait des interventions immédiates en 1986 fut la stagnation des eaux de drainage et par conséquent la remontée de la nappe dans les palmeraies provoquant l'accumulation des sels nuisibles et la suffocation des palmiers dattiers.

2.4 Remontée de la nappe phréatique de la vallée de l'Oued Righ

2.4.1 Introduction

Les nappes phréatiques sont partout présentes au Sahara et se situent généralement dans les zones de dépressions ou dans des vallées. Dans la région de l'Oued Righ elles sont présentes presque dans toutes les palmeraies de la vallée. Elles sont alimentées par, les eaux de drainage, les eaux d'irrigation, les pluies, les eaux usées ou pour certains cas par des fuites provenant des forages dont le tubage a été détérioré. Elles subissent une remontée progressive de leur niveau piézométrique.

Les profondeurs des nappes dites libres au Sahara varient entre 1 et 60 m. Sauf dans la région du nord des chotts où elles peuvent atteindre les 150 m [20].

Le recours à l'utilisation des eaux souterraines par la multiplication des forages d'exploitation captant les aquifères du CI et du CT destinés aux besoins d'irrigation et d'alimentation en eau potable a accéléré la remontée des niveaux hydrostatiques des nappes phréatiques. Cette situation d'excès d'utilisation d'eau a perturbé l'écosystème des oasis et a engendré des problèmes environnementaux nuisibles notamment pour l'agriculture (Salinité des sols, dégradation des palmeraies par asphyxie). De nombreuses palmeraies sont inondées en hivers (palmeraies de Tinedla, Djamaâ, Ferdjauoune, El Goug etc..) ; ce qui entraînerait la baisse du rendement des palmiers.

2.4.2 Conséquence de la remontée

Les conséquences de cette remontée spectaculaire sont néfastes et on peut citer les principales :

2.4.2.1 Dégradation des palmeraies par asphyxie

Aujourd'hui, la vallée de l'Oued Righ, qui compte plus deux millions de palmiers dattiers sur 15000 ha connaît encore des problèmes d'excès d'eau et subit depuis plusieurs années les conséquences néfastes de la remontée des nappes phréatiques. Ceci s'est traduit par une perte de plus de 120000 palmiers dattiers, qui ont péri par asphyxie selon la direction agricole de Ouargla, 1988 (photos 2.11).



Photos 2.11 : Asphyxie des palmiers dattiers par la remontée des eaux dans la zone de Sidi Slimane en 2008.

2.4.2.2 Inondation des palmiers par des pluies intenses

En revanche des dégâts importants peuvent survenir après des pluies abondantes quelle que soit la saison. L'augmentation du taux d'humidité des fruits qui est normalement de 25% (pour la deglet noir), [8] provoque l'éclatement et la fermentation de la pulpe. Les dégâts sont peu importants quand les pluies sont suivies d'une période sèche et modérément venteuse qui permet le ressuyage des dattes. En 1969, les pertes de récoltes de dattes provoquées par les pluies d'automne sont bien connues et à un moindre degré en 2004 (Photo 2.12), Dans l'Oued Righ des zones complètes ont été submergées par les inondations provoquées par la chute de 500 mm de pluies et sont demeurées remplies d'eau jusqu'au début de l'été 1970 provoquant la mort de milliers de palmiers par suffocation [1].

Dans les zones des chotts, des pluies intenses peuvent entraîner les sels de la surface jusqu'au contact des racines et provoquer des dégâts spectaculaires. Les plantes les plus atteintes sont celles qui sont les moins irriguées habituellement.



Photo 2.12 : Jeune plantation de palmiers " Djebars" inondée après une pluie importante dans la zone de Nezla en 2004.

2.4.2.3 Salinisation des terres arables

Dans le domaine agricole, la remontée de la nappe phréatique provoque l'accumulation des sels nuisibles et/ou la teneur élevée d'une croûte saline blanchâtre à la surface du sol (Photos 2.13); une structure poudreuse est observable dans les premiers centimètres, les argiles restent flocculées (Photos 2.14). On assiste effectivement en beaucoup d'endroits à un accroissement de la salinité des territoires irrigués et à des déséquilibres importants qui sont venus s'ajouter au tarissement des puits qui débouchaient aux cotes les plus hautes. Ces derniers alimentaient les palmeraies les mieux protégées par leur altitude.



Photos 2.13 : L'accumulation des sels et la formation d'un croûte saline blanchâtre à la surface du sol dans la zone de Sidi Slimen en 2008.



Photos 2.14 : Sol halomorphe et saturé en eau et en sels hors palmeraie en 2008.

A cause de l'invasion du sel, les meilleurs terroirs ont disparu et faute d'eau pendant qu'on en installait d'autres dans les bas fonds qui étaient quasi-impossible à drainer, lorsqu'on se mit au début du siècle à forer et à pomper dans les nappes sans retenues ni réglementation. Une étude de la [4] estimait à 800 000 tonnes la quantité de sel accumulée chaque année dans les terres cultivées de l'Oued Righ.

Avec une eau à 5g/l de sel et une irrigation de 2 0000 m³/an, c'est effectivement 100 tonnes à l'hectare qui restent dans le sol sous le seul effet de l'irrigation. Il faudrait ajouter l'évaporation des milliers d'hectares de sebka qu'on peut considérer de ce point de vue comme des nappes d'eau libre pendant une bonne partie de l'année. Bien entendu l'évaporation donc le dépôt de sels est d'autant plus vigoureuse que la nappe phréatique est proche de la surface [8].

Plus de 1 million menacés par la remontée des eaux et des sels (DSA Ouargla., 1997), ce qui entraînerait la baisse du rendement des palmiers puis la mort pure et simple par asphyxie, Ainsi la salinité augmente la pression osmotique de la solution du sol empêchant l'absorption de l'eau au niveau racinaire voir même un transfert d'eau de la plante vers la solution du sol.

2.4.2.4 Détérioration des habitations

Suite à la remontée des eaux à la surface du sol, des habitations se sont détériorées, des fissures préjudiciables se sont apparues dans plusieurs maisons, et quartiers notamment dans les zones d'El Goug, Tebesbest, Moggar, Sidi Amrane, djamma, Tinedla et Dendouga (Photos 2.15, 2.16). Plusieurs familles ont dû être transférées vers d'autres lieux par peur d'effondrement de leurs maisons. En 2007, plus de 623 habitations ont été détruites par la remontée des eaux sur un total de 811 que détient la Zone de Ksour (Tebesbest) selon le service de l'urbanisme de la Daïra de Touggourt.



Photo 2.15 : Détérioration et effondrement des habitations dans la zone de Sidi Amrane en 2008.



Photo 2.16 : Ecoule primaire envahi par l'eau de la remontée dans la zone de Tinedla en 2008.

2.4.2.5 Détérioration de l'environnement.

Les drains secondaires ont été envahis par les phragmites et "diss" (*Imperata cylindrica*) des Zones urbaines sont devenues de véritable accumulation des eaux de drainage et des eaux usées (colmatage) , et parfois des petits lacs se sont apparus surtout dans les quartiers les plus proches des terres agricoles (Temacine ,Sidi Slimane ,Sidi

Amrane, Tinedla et Dendouga) .l'évacuation de ces eaux est devenue quasiment impossible notamment dans les Zones basses.

Cette situation critique constitue une véritable menace pour la santé des populations : augmentation des maladies à transmission hydrique, dégagement d'odeur, prolifération des moustiques et insectes nuisibles.

Les impacts sur la santé publique sont généralement liés au fait que la remontée des eaux favorise la création de biotopes propices au développement des vecteurs de maladies parasitaires ou infectieuses[5].

Parmi les maladies dont la fréquence peut être fortement amplifiée par la remontée ,les plus dévastatrices sont :le paludisme (ou malaria),la schistosomiase (ou bilharziose),l'onchocercose et Typhoïde , cette dernière maladie touche plus de 360 personnes pour la plupart des enfants à travers principalement le sud de la région de l'Oued Righ .(direction de la santé , Ouargla 2005). On estime par ailleurs 150 cas à Blidet Amor , 110 cas à Nezla , et en un moindre degré à Sidi Slimane (7cas) .

Le sol est alors colonisé par une végétation halophyte qui prendrait la place des palmiers. Cette végétation est composée d'espèces plus ou moins adaptée à la présence de sels dans le sol.

On peut citer quelques espèces telles que : *Atriplex halimus* ,*Salsola tendra* ,*Sueda fruticosa* ,*Tamarix gallica* .Cette situation contribue au développement des animaux sauvages notamment les sangliers qui peuvent causer des dégâts aux cultures.

CHAPITRE 3

CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

3.1 Présentation de la région d'étude

La région de l'Oued Righ est une des régions les plus anciennement cultivées du Sahara et aussi une des mieux connues, entre El Goug(W. Ouargla) et Oum EL Thiour(W. d' El Oued). Elle s'étend sur 150 Km. La largeur de la zone varie entre 20 et 30 k m. Elle est aussi une entité économique bien précise qui regroupe près de 50 oasis et couvre 20000 ha environ de palmeraies [8]. Ces oasis sont alignées sur un axe Nord-Sud (Figure 3.1).

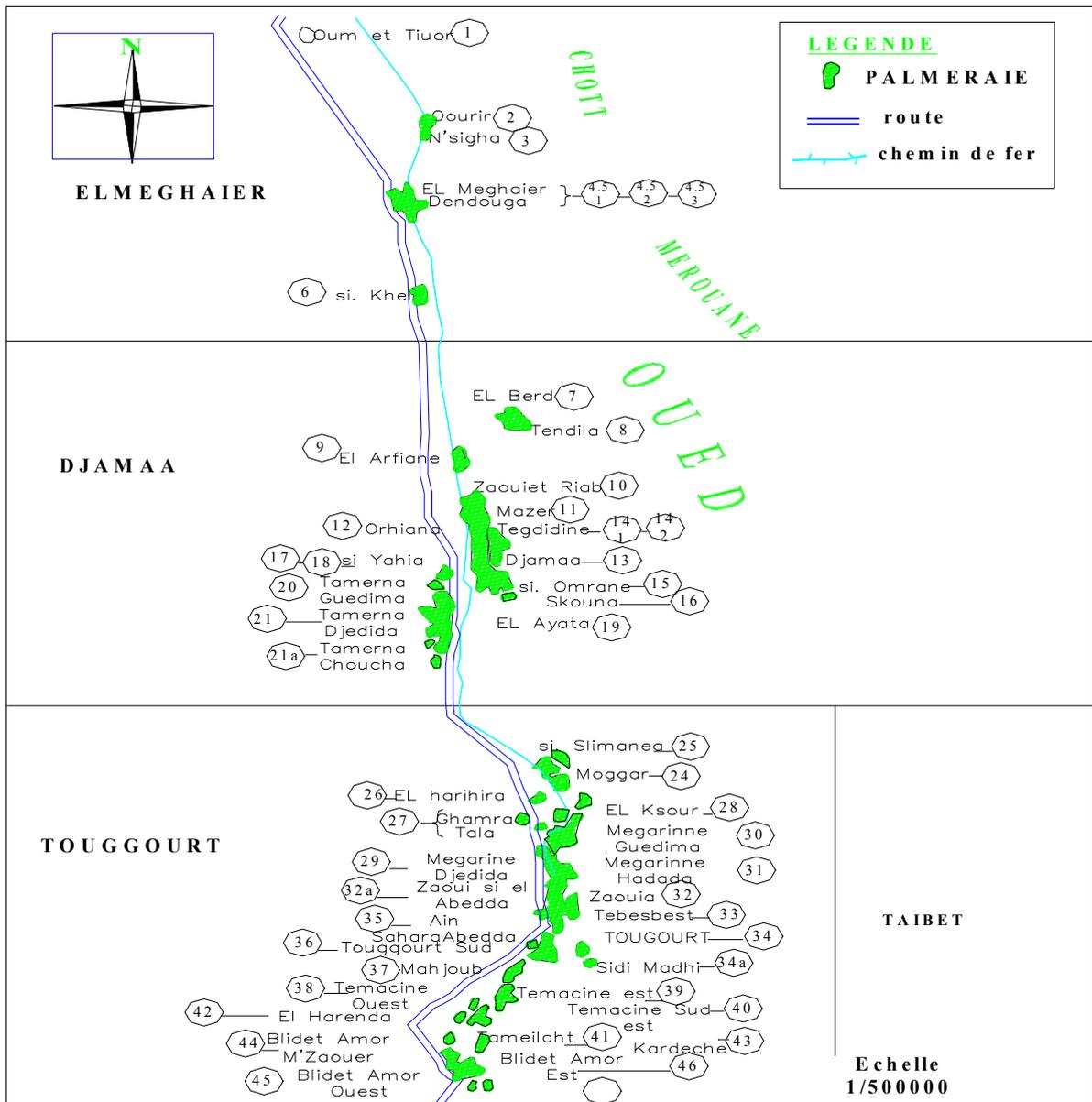


Figure 3.1 : Carte de la région d'Oued Righ [20].

3.2 Situation géographique et administrative

La région de l'Oued Righ est située au Nord -Est du Sahara, en bordure du Grand Erg Oriental et au sud du massif des Aurès. [8]. La vallée s'étend entre les latitudes Nord $32^{\circ}54'$ et $34^{\circ}9'$. Cette région est considérée comme la zone la plus basse du bas - Sahara (Figure 3.2).

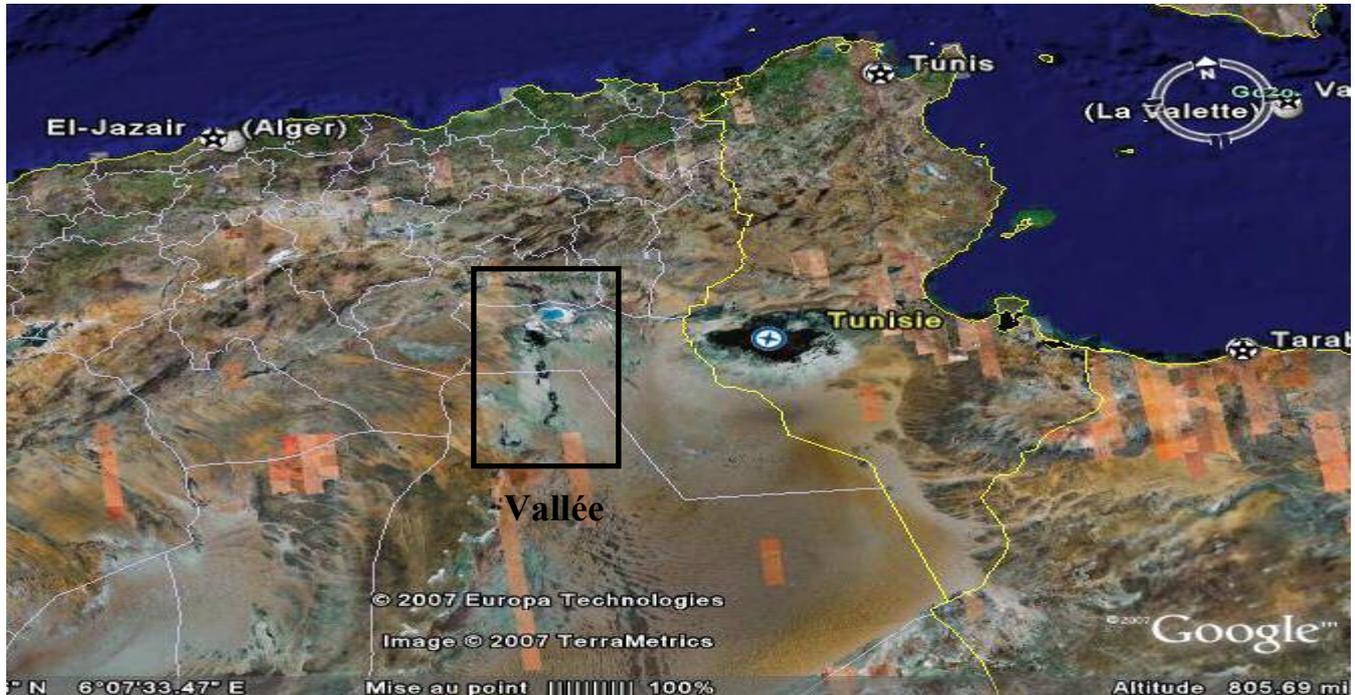


Figure 3.2 : Situation géographique de la vallée d'Oued Righ (Google Earth, 2007)[21].

3.3 Topographie

La région est connue sous le nom de bas Sahara, à cause de sa basse altitude, notamment dans la zone des chotts au Nord où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer. La caractéristique principale de cet ensemble est son inclinaison vers le Nord ou plus particulièrement vers les grands chotts, L'altitude passe très progressivement de plus de 100 m à El Goug, à moins de 27 m au milieu du chott Mérouane. La pente générale est très faible, elle est de l'ordre de 1‰. Cette pente permet aux eaux excédentaires de s'écouler vers le Nord.

3.4 Géologie

La prospection géophysique et les sondages pétroliers ont précisé la profondeur du socle précambrien (Furon, 1968 [22]), qui se situe entre 3000 et 5000 mètres .Il s'ensuit que les dépôts sédimentaires font environ 4500 mètres d'épaisseur. La série géologique permet de distinguer deux ensembles hydrogéologiques, post paléozoïques, importants : Le Continental intercalaire et le complexe Terminal.

3.5 Ressources en sol

Le sol de la vallée de l'Oued Righ est d'origine alluviale à partir du niveau quaternaire ancien enroulé avec les apports éoliens sableux, essentiellement en surface. Les phases successives d'érosion et de comblement du fond de la vallée sont responsables de l'hétérogénéité texturale constatée dans les horizons profonds. Particulièrement le long de la ligne de chott [4].

Ce sont des sols généralement meubles et bien aérés en surface, dans la majorité salés ou très salés. L'influence de la nappe phréatique est déterminante, et on observe parfois un horizon hydro morphe ou un encroûtement gypso calcaire. Dans les sols non encroûtés, les propriétés hydrodynamiques sont bonnes, améliorées par des apports de sable de surface. D'après la même étude.

- La R.F.U varie entre 780 et 1050 m³/ha pour la profondeur du sol de 1m
- La perméabilité de drainage est comprise entre 0.00006 et 1 m/s.
- La vitesse d'infiltration au cours de l'arrosage est comprise entre 0.00003 et 1 m/s.

La salure est du type sulfaté – calcique dans les sols les moins salés (CE < 6 mmhos/cm) et du type chloruré – sodique pour les sols les plus salés.

Les sols peuvent être regroupés selon les classes suivantes :

- ❖ Sol peu évolué non climatique
 - Sous- groupe de sols atrophiques :
 - Représentés dans les extensions de la palmeraie vers le chott, caractérisés par des apports de sable
 - Sols à hydromorphie d'amas, modules et cristaux gypseux,
 - Sols sains ou modaux.
- ❖ Sols hydro morphes minéraux
 - Sols à gley dominant apparaissant à moins de 1.5 m de profondeur.
 - Sols pseudogley de surface ou d'ensemble.
- ❖ Sols à accumulation de gypse.

Les sols les plus représentés sont les sols an trophiques et hydro morphes minéraux [23].

3.6 Climat

La vallée de l'Oued Righ est caractérisée par un climat typiquement saharien ; une précipitation faible et capricieuse, une température élevée et une humidité de l'air relativement faible (Tableau 3.1).

3.6.1 Pluviométrie

Pour l'ensemble de la vallée, la pluviométrie est très rare, la moyenne annuelle est légèrement supérieure à 50 mm pour un nombre de jour de pluie de 25 jours. Ces pluies sont de type orageux caractérisées par une forte intensité engendrant ainsi d'importantes crues qui ne persistent que quelques minutes [24].

3.6.2 Humidité de l'air

L'humidité relative est maximum au mois de janvier avec 59%, le minimum est au mois de juillet avec 22% [24].

3.6.3 Température

Dans cette région l'hiver est très froid, comportant d'importants risques de gelée et pendant l'été le climat est très chaud au cours duquel l'ETP maximum dépasse les possibilités des plantes.

3.6.4 Vent

Les vents sont relativement fréquents dans la région de l'Oued Righ. En hiver, ce sont les vents d'Ouest qui dominent, tandis qu'au printemps, ce sont ceux du Nord –Est, alors qu'en été ce sont ceux du Sud Ouest [24].

3.6.5 Evapotranspiration

Dans la région de l'Oued Righ l'évapotranspiration maximum connaît une importante variation saisonnière. L'ETP mensuelle en hiver est trois fois moins importante que L'ETP mensuelle en été.

Tableau 3.1 : Données climatiques durant la période : 1983-2003 [24]

	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec
Température minimale (°C)	4.92	4.98	9.36	12.17	17.42	23.58	26.09	26.64	21.81	18.9	9.92	6.07
Température maximale (°C)	17.22	20.53	23.41	28.61	32.74	37.31	40.08	40.21	32.8	25.17	22.85	18.61
Précipitation (mm)	17.2	8.12	12.42	6.3	5.82	1.22	0	0	5.18	6.22	5.2	5.42
Humidité relative de l'air (%)	57.32	53.58	48.92	45.02	40.01	36.9	32.45	35.59	42.82	53.17	62.43	65.28
Vitesse du vent (m/s)	2.8	3.14	3.52	5.27	4.02	3.84	3.04	3.01	2.67	2.46	2.56	2.48
Insolation (heure)	6.12	7.53	7.41	8.9	9.14	9.62	10.72	9.58	8.34	7.5	6.66	6.2
ETP (mm/j)	2.23	3.42	4.14	6.41	7.85	9.25	10.14	9.92	6.32	4.62	3.13	1.86

3.7 Hydrogéologie

3.7.1 Introduction

La région de l'Oued Righ repose sur trois importantes nappes : Une nappe libre (phréatique) et deux nappes captives ; La nappe du Complexe Terminal et la nappe du continental intercalaire. La coupe schématique représente les nappes artésiennes de l' Oued Righ (Figure 3.3).

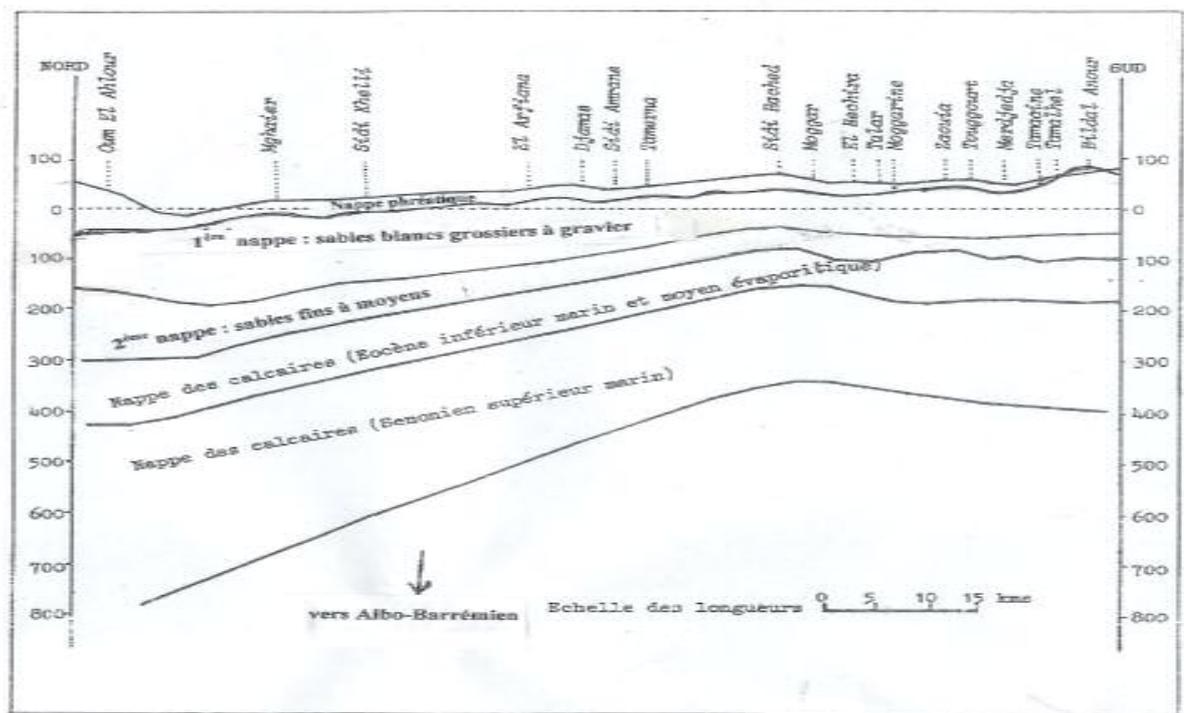


Figure 3.3 : Profil schématique des nappes artésiennes de l'Oued Righ.

3.7.2 Nappe phréatique

Elle est contenue dans les niveaux sableux et argilo- évaporatiques du Quaternaire. Elle se présente sous forme pelliculaire par rapport à la nappe des sables que lui succède en profondeur et dont elle est généralement séparée par un niveau semi – perméable du Mio – Pliocène. La nappe phréatique est omniprésente dans toutes les oasis de la vallée de l'Oued Righ .Cette nappe est donc alimentée par les eaux d'irrigation en excès ; Celles –ci sont d'origine souterraine et par la faible précipitation .les pertes sont surtout le fait de l'évaporation, La profondeur de la nappe, variable est généralement faible, l'eau en est très salée, la conductivité électrique est supérieure à 9 mmhos/cm dans 80 % des cas [1].

L'aquifère phréatique pose problème, car sa surface piézométrique remonte et étouffe l'appareil végétal des palmiers, ce qui entraîne leur dépérissement (diminution progressive de rendement, puis la mort (Figure 3.4)

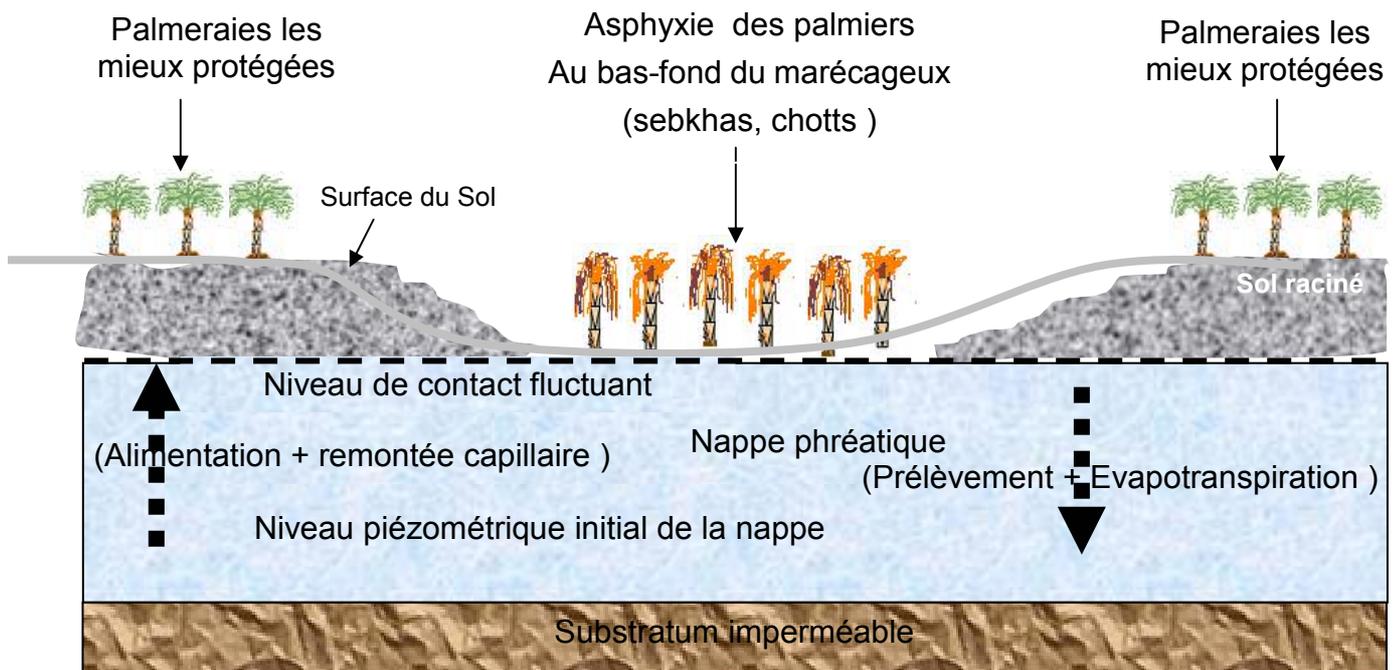


Figure 3.4 : Schéma de la fluctuation naturelle de la nappe phréatique dans la vallée de l'Oued Righ

3.7.3 Complexe Terminal (C.T)

Ce complexe Mio - pliocène a une extension Considérable 350 000 km² limitée au bassin oriental du Sahara Septentrional, une puissance moyenne de 50 à 100 m et une profondeur variant entre 200 et 500 m (toit). Dans le Complexe Terminal on distingue trois aquifères principaux : [22].

- La première nappe, dans les sables argiles et argiles du pliocène, qui est en fait un réseau de petites nappes en Communication.
- La deuxième nappe, dans les sables grossiers à graviers du miocène Supérieur.
- La troisième nappe, dans les calcaires fissurés et karstiques de l'Eocène Inférieur.

Historiquement, ces trois nappes sont artésiennes sur l'ensemble de la vallée de l'Oued Righ. Ce sont ces nappes qui assurent l'essentiel de l'irrigation à l'heure actuelle. Les eaux du Complexe Terminal deviennent très minéralisées à l'exutoire des chotts Melhir et Merouanane 6 à 7 g/l. Certaines zones de la nappe du Complexe Terminal sont caractérisées par une forte salinité (Conductivité électrique de 5 à 16 mmhos /cm) qui est en train de s'aggraver au regard de l'inversion du gradient hydraulique au niveau des chotts suite à l'intense exploitation de la nappe.

Il s'agit de la zone nord de l'Oued Righ (Djemmaa et Mghaier) et la zone sud de l'Oued Righ (Ouargla) [27].

3.7.4 Continental Intercalaire ou albien (C.I)

C'est un aquifère profond (1500 m et plus) composé de sables gréseux ou argileux qui s'étend sur plus de 600 000 Km², et dont la puissance varie de 250 m à 1000 m. Cet aquifère qui reste peu utilisé dans la vallée de l'Oued Righ en raison du coût des forages profonds, fournit, par artésianisme, une eau relativement peu minéralisée (conductivité électrique de 3 à 4 mmhos), mais dont la température est supérieure à 60 °C quand elle Jaillit , ce qui pose des problèmes de refroidissement préalable à l'irrigation . D'autre part, la détente et le refroidissement de cette eau provoquent un dépôt abondant de carbonate de calcium qui rendent sa distribution délicate [1].

3.8 Hydrologie

3.8.1 Cycle et bilan hydrique dans un site saharien

L'évaluation de la tendance globale de stockage ou de déstockage de l'eau de la nappe encore profonde du périmètre irrigué, sur une durée annuelle ou pluriannuelle, au minimum sur la durée des rotations culturales pratiquées sur le périmètre irrigué. (Figure 3.5). Lorsqu'une évaluation du niveau de la nappe est constatée. Ce niveau est mesuré à l'aide d'un réseau de piézomètres.

A l'échelle du périmètre, une première approche du fonctionnement hydrologique peut être faite sur l'ensemble sol – aquifère au moyen de l'équation de bilan hydrique suivante [5] :

$$\Delta S = I + P - ETR - D \pm N$$

Où :

Δ S : La quantité d'eau stockée ou déstockée dans le système

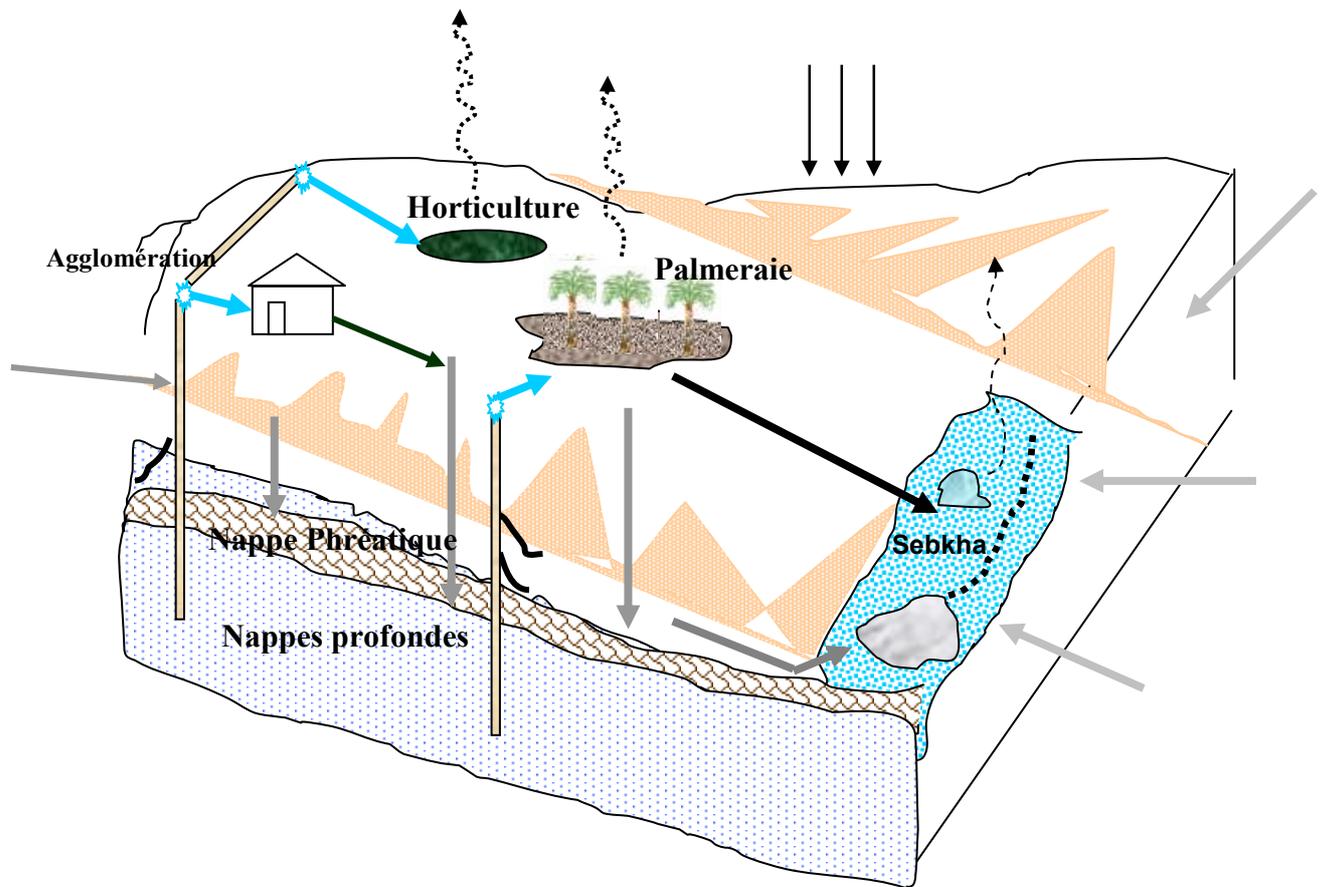
I : Est la quantité d'eau d'irrigation apportée ;

P : La quantité de précipitations ;

ETR : l'évapotranspiration réelle ;

D : A quantité d'eau drainée artificiellement par le système (drainage de surface, drainage souterrain et pompes) ;

N : la quantité d'eau provenant des échanges souterrains de la nappe (Drainance du système vers la profondeur, drainage ou alimentation par les exutoires naturels, transferts latéraux de nappe aux frontières du système considéré).



Les légendes

- | | |
|--|---|
|  : Alimentation en eau potable + irrigation |  : Précipitation. |
|  : Assainissements urbain et agricole. |  : Infiltration. |
|  : Évapotranspiration. |  : Fuite sur tubage |
|  : Evaporation |  : canal de l'Oued Righ |
|  : Chott Mérouane |  : Lac |

Figure 3.5 : Schéma représentatif de la fonctionnent de l'écosystème du bassin de l'Oued Righ.

CHAPITRE 4

SITE D'ETUDE ET MATERIELS UTILISES

4.1 Choix des sites expérimentaux

Les observations et nos travaux ont été conduits sur deux grands sites allongés sur un axe Nord – Sud dans la vallée de l'Oued Righ. Le premier site est cultivé par des palmiers dattiers et réparti en huit secteurs irrigués. Le deuxième non cultivé et jamais irrigué, soumis uniquement à la remontée et l'évaporation de la nappe phréatique, et aussi s'étend sur le long du canal de l'Oued Righ, et réparti en seize secteurs.

4.1.1 Caractéristique des parcelles cultivées.

La plupart des parcelles du site expérimental à terre cultivée sont situées dans la palmeraie de la commune de Sidi Slimane ; à 25 km au Nord - Est de la ville de Touggourt. La palmeraie de cette Commune dispose de 101821 palmiers sur une superficie de 1084,06 hectares ; (P.D.A.U ; Commune de Sidi Slimane), répartie en 5 secteurs notés (S₂, S₃, S₄, S₅, S₆) mais les autres secteurs situés comme suit : (S₁ ; Nezla dans la zone de Touggourt, S₇ ; Tinedla et S₈ ; Dendouga dans la zone de El-Meghaïer). (Tableau 4.1)

Tableau 4.1 : Caractéristique des parcelles cultivées.

Station Secteur	Ressource en eau	Mode d'irrigation	Situation de drainage	Culture
Nezla S ₁	CT	Submersion par planche	Inefficace	Anciennes palmeraies
Sidi Slimane	S ₂	CI	Submersion par planche	Palmeraies réaménagées
	S ₃	Mélange CI+CT	Submersion par planche	Palmeraies réaménagées
	S ₄	Nappe phréatique	Par puisage et localisée	Jeune Plantation de palmiers (Djabars)
	S ₅	CT	Submersion par planche	Jeune de palmiers
	S ₆	Réutilisation Des eaux de drainage	Submersion par planche	Plantation traditionnelle de palmiers
Tinedla S ₇	CT	Submersion par planche	Inefficace	Jeune de palmiers
Dendouga S ₈	CT	Submersion par planche	Efficace	Anciennes palmeraies

La majorité de ces Secteurs irrigués par submersion par planche et drainés, sauf le secteur S₄ dans l'aire de Sidi Slimane irrigué par les eaux de la nappe phréatique et non drainé, Les planches ont une Largeur (1.5 à 2 m) et une Longueur de (90 à 120 m) le palmier étant planté le plus souvent au bord ou au milieu de celles-ci. Généralement ; la nappe phréatique dans cette palmeraie se trouve à différents niveaux à cause de la topographie du terrain surtout dans l'aire de Sidi Slimane (Figure 4.1).

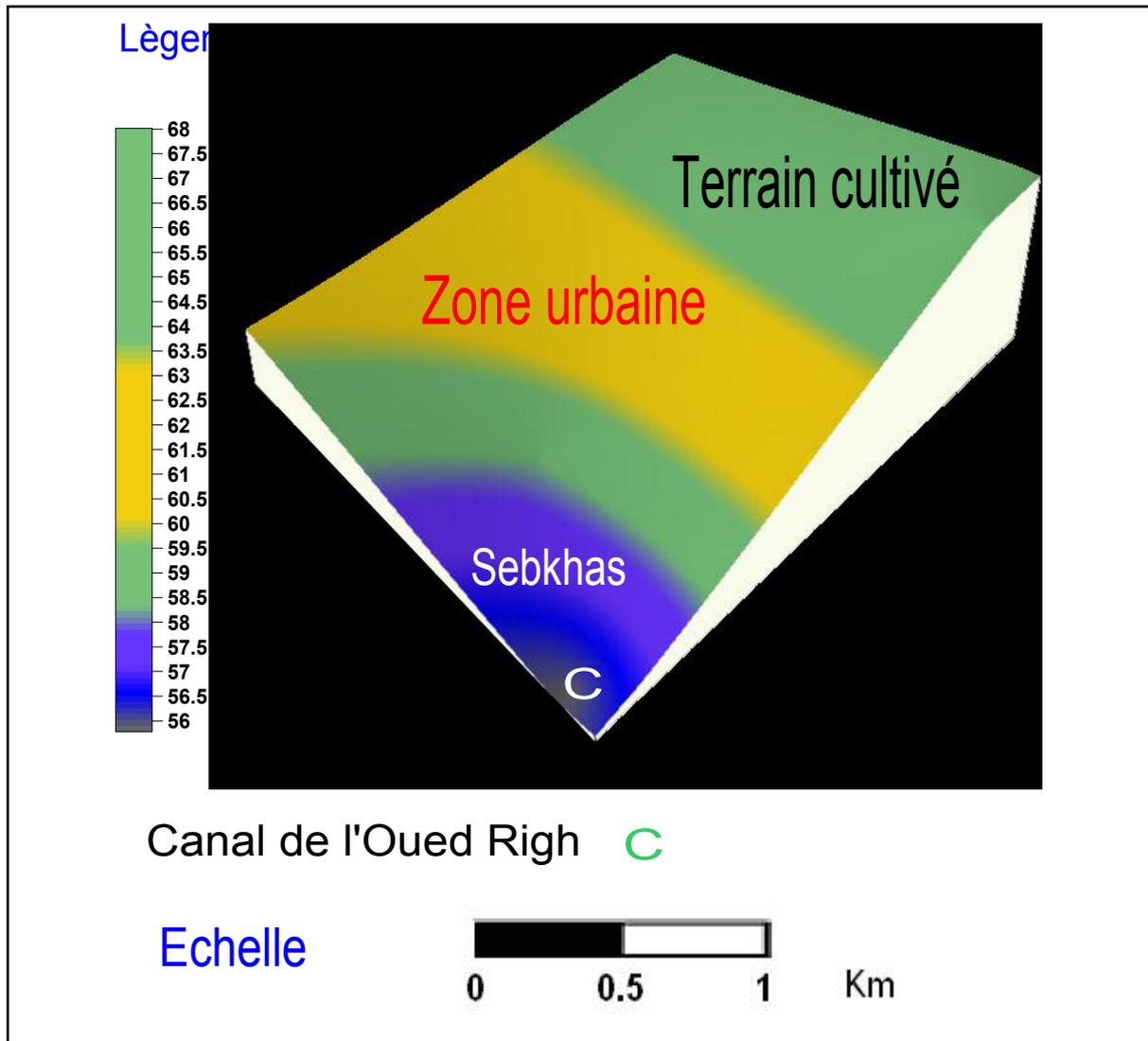


Figure 4.1 : Coupe géomorphologique de site expérimental dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007- 2008.

4.1.2 Caractéristique des les parcelles non cultivées

Notre site expérimental est une terre nue, répartie en seize secteurs, situés au voisinage du canal de l'Oued Righ, sauf le secteur de Dendouga qui est situé au bord de chott Merouane ; La terre du site n'a jamais été irriguée, ou cultivée dans le passé. On peut la considérer de ce point de vue comme des zones dépressionnaires (Sebkas).

La topographie de cet ensemble de secteurs est caractérisée par une légère pente vers le Nord. La nappe phréatique se trouve à différents niveaux par rapport à la surface du sol, (Figure 4.2).

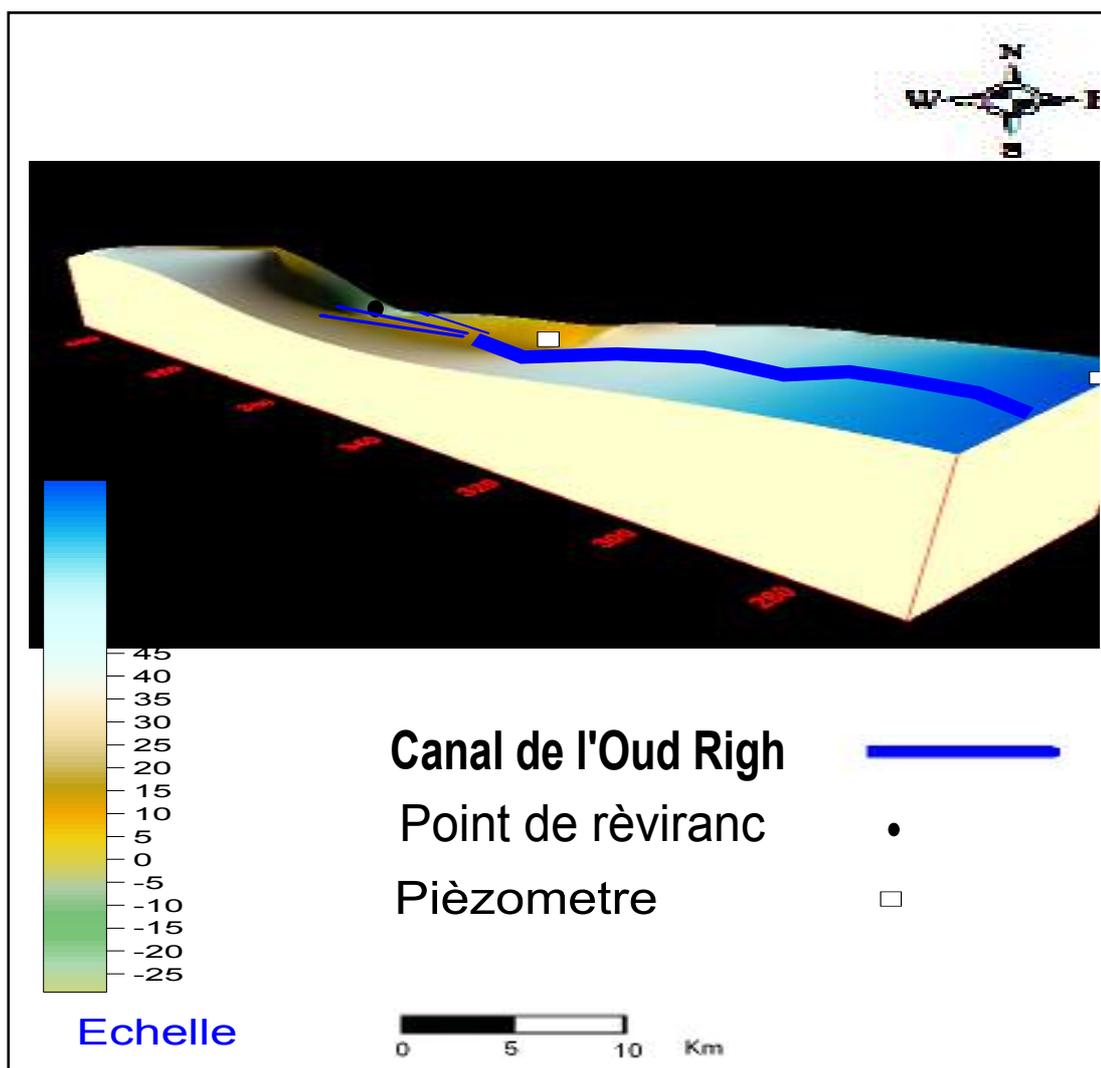


Figure 4.2 : Coupe géomorphologique de site expérimental s'étend sur le long du canal de l'Oued Righ durant la période : 2007- 2008.

4.2 Méthode d'étude

Le présent travail s'inscrit dans le cadre d'une contribution à l'étude de l'impact du canal de l'Oued Righ sur le drainage des eaux d'irrigation des palmeraies avoisinantes.

Cette étude est basée sur le diagnostic des systèmes d'irrigation et de drainage, le prélèvement des échantillons et du jaugeage, pour cela la campagne de mesure s'est étalée de septembre 2007 à Août 2008.

4.2.1 Objectif de travail

L'objectif principal de ce travail est d'étudier l'efficacité du système de drainage surtout le grand canal collecteur de l'Oued Righ et leur impact sur les écosystèmes palmeraies, avec le développement de différentes contraintes intervenues au sein du milieu naturel.

4.2.2 Synthèse méthodologique

L'approche méthodologique choisie permet de caractériser les sol et les eaux, de suivre la pratique de l'irrigation et évolution de la salinité des sols sous l'effet des fluctuations saisonnières de la nappe phréatique et aussi la corrélation entre climat, eau et sol dans deux sites différents, L'un cultivé et l'autre non cultivé. La méthodologie adoptée est réalisée à travers les étapes suivantes.

4.2.2.1 Sortie de prospection

Nous avons fait huit sorties au long de la vallée ; dont les objectifs sont :

- Choix des sites expérimentaux.
- Délimitation des deux sites choisis par GPS.
- Implantation de réseaux piézométriques de surveillance par GPS
- Mesures des niveaux piézométriques par rapport à la surface du sol (la profondeur de l'eau, dans l'Ouvrage est mesurée par la sonde électrique)
- La nature du sol de la surface et profondeur par un sondage à la tarière.

4.2.2.2 Préparation du site et densité de mesure

Le premier travail effectué après les choix expérimentaux :

La réalisation d'une série de 16 piézomètres dans le site à terre nue, particulièrement répartis au voisinage du canal de l'Oued Righ et aussi de 10 points de références qui s'étalent sur une longueur de 136 k m de direction Sud - Nord, (Figure 4.3).

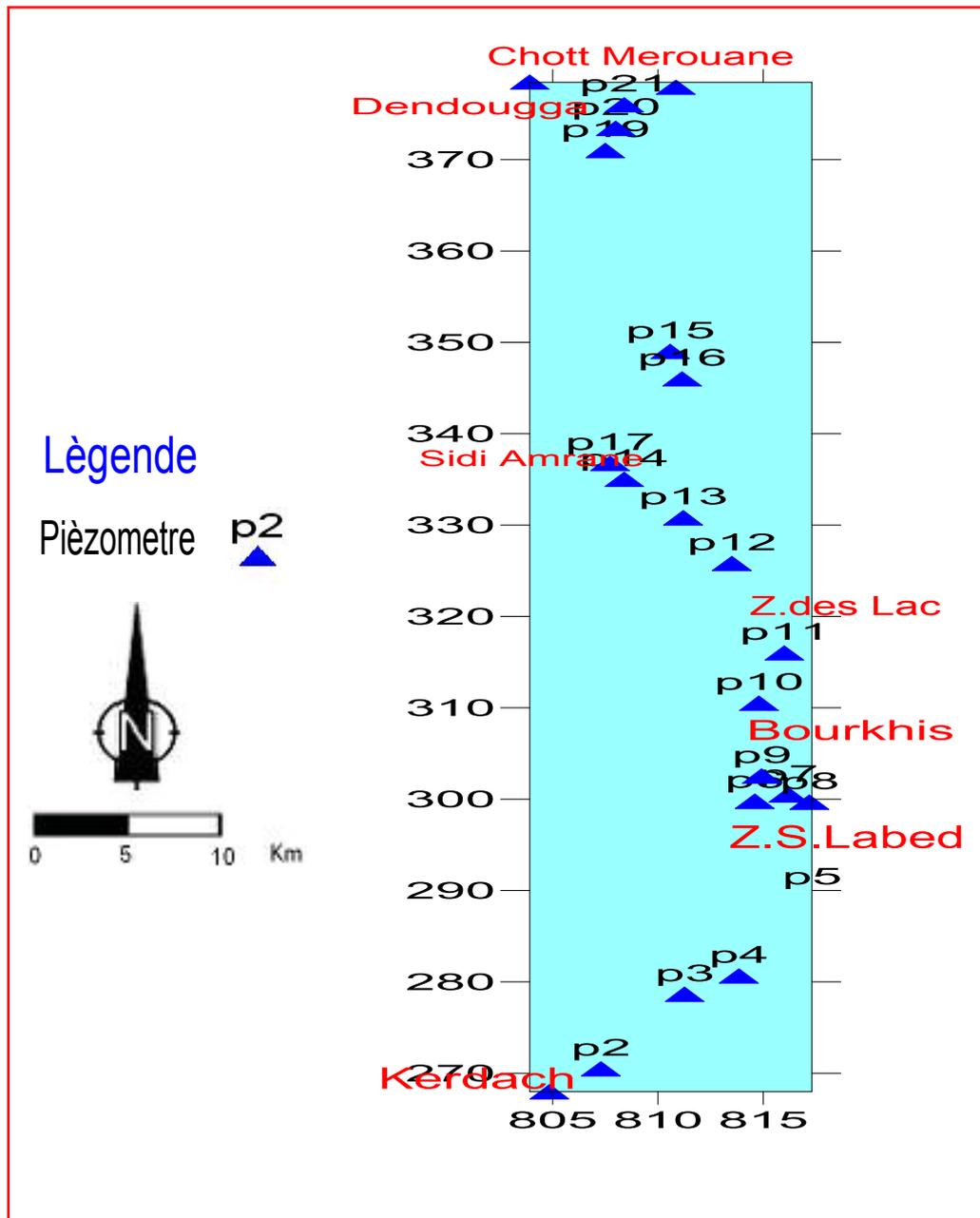


Figure 4.3 : Carte de répartition des points et ouvrages de mesure dans la région de l'Oued Righ durant la période : 2007- 2008.

Dans le site à terre cultivée il y a 11 secteurs. A l'intérieur de chaque secteur un piézomètre a été installé. Huit dans la zone du Sidi Slimane et trois répartis dans les zones de (Nezla , Tinedla , Déndouga). Les piézomètres sont maintenus équipés par des tuyaux en P.V.C. La profondeur de ces piézomètres a été fixée à 2m. La densité des piézomètres prend en considération la nature et l'intensité des problèmes (nappes proches de la surface du sol, conductivité hydraulique, colmatage, etc.....), (Figure 4.4).

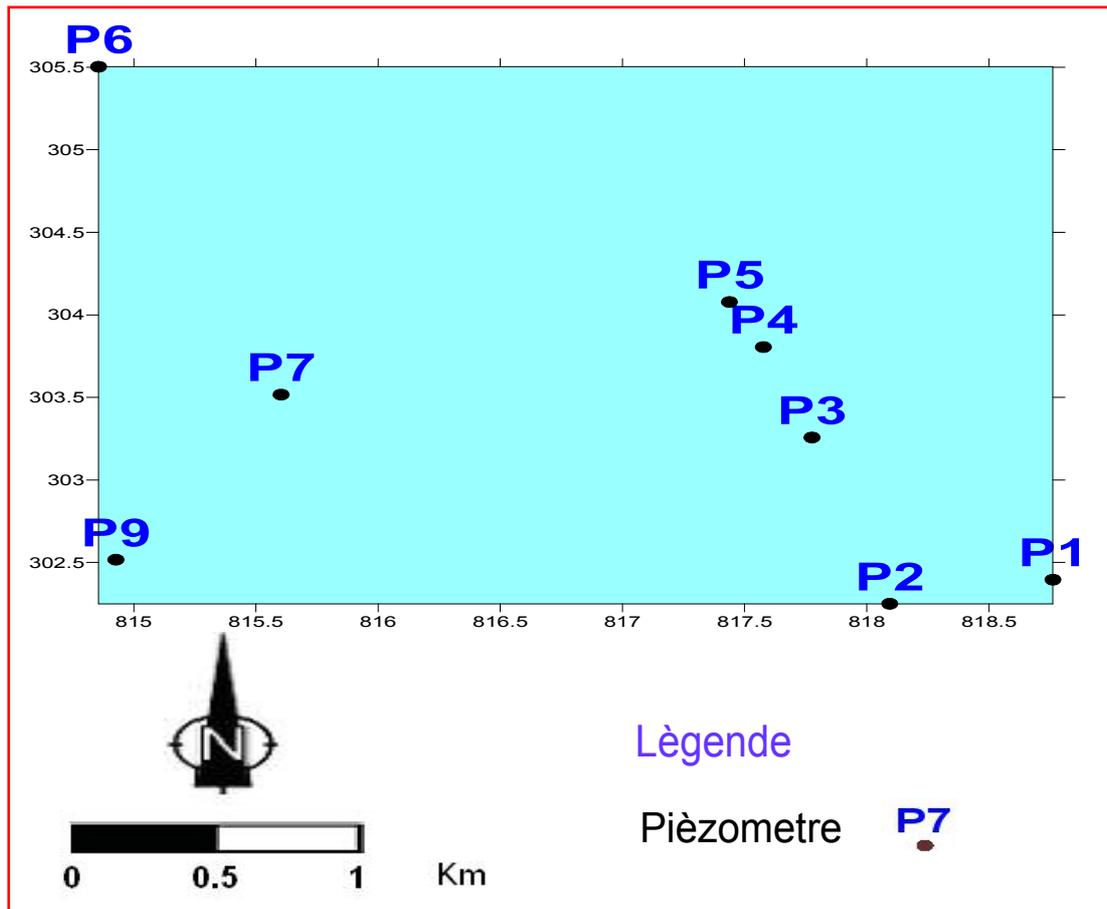


Figure 4.4 : Carte de répartition des points et ouvrages de mesure dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007- 2008.

4.2.2.3 Identification des horizons du sol

Un horizon est une couche de sol grossièrement parallèle à la surface, sensiblement homogène quant à l'aspect, la composition et les diverses propriétés, et qui diffère des horizons voisins [26]. Les séries des profondeurs ont été définies en fonction de réparation du système racinaire du palmier dattier et des cultures associées dans le sol [4].

- H_1 (0 - 30 m) : Correspond à L'horizon rhizosphère de l'étage herbacé (cultures sous palmiers) et à la couche du sol habituellement labourée.
- H_2 (30 - 70 m) : Correspond à la couche dans laquelle se trouve la majorité des racines nutritives du palmier.
- H_3 (70 - 120 m) : Il est généralement admis que pour assurer un bon développement du palmier, la nappe phréatique doit être rabattue à plus de 1m (Tableau 4.2).

4.2.2.4 Prélèvement d'échantillons

Dans notre étude le prélèvement des échantillons est une opération fondamentale délicate. Ce prélèvement sera effectué à différents niveaux (Photos 4.1) :

- Au niveau des piézomètres :
Des mesures de niveaux piézométriques seront effectuées en vue de suivre les fluctuations de la nappe phréatique dans le temps, avec des prélèvements des échantillons de la composition chimique de l'eau, et de vérifier l'efficacité des réseaux de drainage existants. Surtout sur le long du canal de l'Oued Righ.
Les mesures et les prélèvements seront effectués une fois tous les 3 mois ; une analyse fondamentale tous les 6 mois.
- Qualité des eaux d'irrigation :
L'évolution de la qualité d'eau d'irrigation sera suivie par :
 - ☒ Des prélèvements pour l'analyse physico – chimique une fois sur l'année agricole
 - ☒ Des prélèvements pour la mesure de la conductivité électrique tous les 15 jours (cycle d'irrigation) pendant une saison d'irrigation. Dans le secteur N°5 à Sidi Slimane avec le contrôle et les mesures de la vitesse de déplacement de l'eau d'irrigation dans les couches du sol.
- Qualité des eaux de drainage :
Des prélèvements pour l'analyse physico – chimique dans chaque secteur de la terre cultivée.
- Au niveau du sol :
Près de chaque piézomètre nous avons prélevé 3 échantillons à différents horizons adoptés (H₁, H₂, H₃). Chaque horizon permet de caractériser les sols et de suivre l'évolution de la salinité des sols sous l'effet des fluctuations saisonnières de la nappe phréatique et sous l'irrigation.
- Au niveau du canal de l'Oued Righ.
Des prélèvements d'échantillons d'eau pour analyses physico – chimiques sur une dizaine de stations de mesures.

Tableau 4.2 : Calendrier de prélèvement des échantillons et paramètres mesurés

Echantillonnage		Période de prélèvement												
		S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	O	
		Paramètres étudiés												
Climat		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	
Eau d'irrigation								★	★	★	★	★	★	△
Eau de drainage								★	★	★	★	★	★	△
Eau de nappe phréatique		○ ★ △			○ ★			○ ★			○ ★ △			
Eau du canal		★ △			★			★			★ △			
Sol	Terre cultivée	★ △ ■		■	★ ■		■	★ ■	■	★ ■	■	★ △ ■	★ ■	
	Terre nue	○ ★ △		○ ★		○ ★		○ ★		○ ★ △				

- Niveau piézométrique △ Bilan ionique ★ PH, CE, RS, SAR □ Profondeur de l'eau
 ● L'ETP ■ Vitesse de déplacement de l'eau dans les pores au voisinage de P5



Photos 4.1 : Implantation des piézomètres de surveillance et prélèvement des échantillons du sol., 2008.

4.2.3 Travaux de laboratoire

Arrivés au laboratoire, les échantillons sont enregistrés, puis mis à sécher à l'air libre et à l'abri de la lumière, avant de subir tout autre traitement.

Nous avons réalisé au laboratoire un extrait (1/5) par échantillon et pour chaque période de prélèvements. La moyenne des résultats analytiques a permis de suivre l'évolution de la salinité du sol. Dans notre étude, la salinité du sol et des eaux est traduite de deux façons :

- La teneur en sels (conductivité électrique à 25°C).
- La nature des ions dissous (bilan ionique).

4.2.4 Méthode d'analyses

Les procédures de dosage sont déduites des méthodes d'analyse standard:

- La conductivité est déterminée grâce à un conductimètre électrique (HI 8733) qui donne directement la conductivité de L'échantillon, à la température adoptée (25 °C) en ms/cm ou $\mu\text{s/cm}$, (Photo 4.2).
- Les mesures du pH sont effectuées à L'aide d'un pHmètre de type (BIOBLOCKSCIENTIFIC 93301) préalablement étalonné pour chaque gamme de pH considéré.
- Les mesures du résidu sec (R.S) par dessiccation à 110 °C consiste à mettre 10 ml de la solution d'extraction (1/5) dans une capsule tarée, pendant 14 heures, la différence du poids constitue le résidu sec.
- Les chlorures sont déterminés par la méthode de Mohr (RODIER ; 1984) qui consiste à précipiter les ions Cl^- sous forme de AgCl en présence de AgNO_3 .
- Les sulfates par la méthode gravimétrique au BaCl_2 , qui consiste à précipiter les ions SO_4 sous forme de sulfate de baryum en présence de BaCl_2 à 10%
- Les carbonates et bicarbonates par titrimétrie à H_2SO_4 . qui consiste à mesurer la dose de carbonates, en présence de phénophtaléine, par l'intermédiaire de l'acide sulfurique, et de la même façon pour les bicarbonates en présence de méthylorange.
- Le sodium et le potassium sont dosés par photométrie à émission de flamme sur un appareil (JENWAYPFP7), (Photo 4.3),
- Le calcium et le magnésium par spectrophotométrie à flamme.



Photo 4.2 : Conductimètre électrique (HI 8733)



Photo 4.3 : Appareil (JENWAYPFP7)

CHAPITRE 5 CARACTERISTIQUES DES EAUX

5.1 Caractéristiques des eaux du canal de l'Oued Righ.

L'émissaire naturel de l'Oued constitue le réceptacle de l'ensemble du bassin versant de l'Oued Righ, somme de tous les rejets naturels, et permet d'évacuer les eaux de drainage des palmeraies vers le chott Mérouane. L'état actuel du canal connaît une dégradation continue, qui risque de remettre en cause le rôle important de ce cours d'eau principal de la vallée. Le suivi du canal avec mesures de débits et prélèvements d'échantillons d'eau pour analyses physico- chimiques doit être poursuivi régulièrement sur une dizaine de stations.

5.1.1 Caractéristiques physico – chimiques des eaux

En vue de donner une idée plus précise sur la qualité chimique des eaux du canal, il a été jugé nécessaire de présenter les résultats obtenus durant la période 2007-2008 qui sont résumés dans le Tableau 5.1.

Tableau 5.1 : Caractéristiques physico- chimique des eaux du canal de l'Oued Righ.

Station Elément	Kerdache		Ranou		Sidi Slimane		Sidi Amrane		Tinedla	
	mg/l	még/l	mg/l	még/l	mg/l	még/l	mg/l	még/l	mg/l	még/l
Ca ⁺⁺	1172	58.48	978	48.3	959	47.85	994	49.6	1024	51.1
Mg ⁺⁺	1157	95.18	1247	102.59	956	78.65	1157	95.18	979	80.54
Na ⁺	4494	195.4	3807	165.52	3760	163.5	3988	173.4	4262	185.3
K ⁺	287	7.34	183	4.68	227	5.81	184	4.71	207	5.29
Cl ⁻	6896	194.3	6504	183.21	5801	163.4	6649	187.3	6400	180.28
SO ₄ ⁻⁻	6254	130.3	5381	112.1	4915	102.4	5095	106.2	5315	110.79
HCO ₃ ⁻	1890	30.98	1726	28.3	1714	28.1	1889	30.97	1866	30.59
CO ₃ ⁻⁻	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
NO ₃ ⁻	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Somme des cations (még/l)	356.39		321.59		295.79		322.88		322.23	
Somme des anions (még/l)	355.52		323.61		293.91		324.42		321.66	
Somme des ions (mg/l)	22150		19826		18332		19956		20056	
Résidu Sec 110°C(mg/l)	18097		17744		15824		16468		6338	
Minéralisation (mg/l)	17080		16845		14809		15419		5315	
C.E (ms/cm)	20.3		19.93		17.52		18.17		18.09	
PH	8.2		7.87		8.14		7.97		7.97	
TH (°F)	768		756		622		723		659	

D'après les résultats mentionnés dans les tableaux et figure. 5.1. On observe que :

- Cette eau est légèrement basique (Le pH varie de 7.85 à 8.20)
- pour tous les échantillons prélevés, le titre Hydrotimétrique (TH) minimal dépasse 620 °F ; Ce qui montre que les eaux du canal sont très dures.

- Toutes les valeurs mesurées de la conductivité (CE à 25°C) indiquent une minéralisation très élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 14 ms/cm et au voisinage de 21 ms/cm ; ce qui montre que les eaux du canal sont excessivement salées.
- Les ions dominants sont le plus souvent des chlorures (taux voisin de 32%) et les sulfates (voisin de 27%) parmi les anions et le sodium parmi les cations.
- Compte tenu de l'évaporation intense, les eaux du canal sont souvent hyper chlorurées sodiques (Figure 5.1).
- Selon la classification américaine des eaux ; l'eau du canal est classée en C₅-S₃ (SAR compris entre 18 et 23 ; CE dépasse 14 ms/cm).
- Ces eaux sont donc très déconseillées pour l'irrigation.

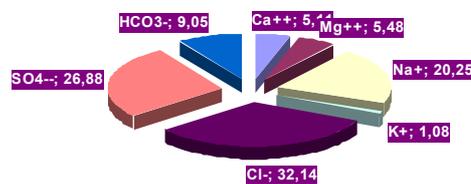


Figure 5.1 : Distribution des ions des sels solubles dans les eaux du canal de l'Oued Righ (Moyenne annuelle)

5.1.2 Caractéristiques techniques du canal de l'Oued Righ.

Les caractéristiques techniques du canal de l'Oued Righ selon les stations de mesure par zone de prélèvement sont présentées dans le Tableau 5.2,

Il apparaît ainsi, que :

- La largeur minimale enregistrée au niveau de la station de Kardache est de 4,4 m et la largeur maximum enregistrée au niveau de la station de Tinedla amont est de 15,6 m

Tableau 5.2 : Caractéristiques techniques de l'Oued Righ (Jaugeage du mois d'octobre, 1995) [27].

Station	Largeur du canal (m)	Profondeur moyenne (m)	Vitesse Maximum (m/s)	Vitesse Minimum (m/s)	Rayon hydraulique	Débit (m ³ /s)
Kerdache	4.4	0.426	0.486	0.162	0.443	0.735
Ranou	5.9	0.304	0.19	0.66	0.297	0.215
Z.S.Labed	5.5	0.99	0.475	0.041	0.73	1.345
Borkhis	5.4	1.06	0.418	0.151	0.85	1.924
Sidi Slimane	7.2	0.67	0.523	0.668	0.68	2.237
Sidi Amrane	8.4	0.442	0.857	0.266	0.409	2.275
Tinedla amont	15.6	0.494	0.741	0.151	0.809	3.8
Tinedla aval	10	0.883	0.678	0.187	0.795	4.315
Boufeggoussa	7.5	0.75	0.926	0.135	0.82	4.2

- La profondeur moyenne maximum du canal enregistrée est de 1,06 m au niveau de la station de Bourkhis, et la moyenne minimum enregistrée est de 0,304 m au niveau de la station de Ranou.
- La vitesse maximum enregistrée est de 0,926 m/s au niveau de la station de Bouffegoussa, et le minimum enregistré est de 0,041m/s à cause du problème de colmatage au niveau de ce point du canal.
- Le débit maximum enregistré à ce jour est de 5.3 m³/s au niveau de la station de Tinedla.
- Le débit minimum enregistré à ce jour est de 0.105 m³/s au niveau de la station de Kerdache.

Le fonctionnement du canal n'a jamais été très performant, surtout en amont. Une mission d'experts soviétiques ; 1970 a avancé les chiffres de 22 millions de m³ d'eau évacués chaque année dont 8 en été et 14 en hiver [8]. Les résultats des différentes campagnes de mesures de l'Oued Righ par la méthode de jaugeage effectuées par l'A.N.R.H (Agence National des Ressources Hydrauliques) durant la période 1993 - 2007 sont représentés dans la (Figure 5.2).

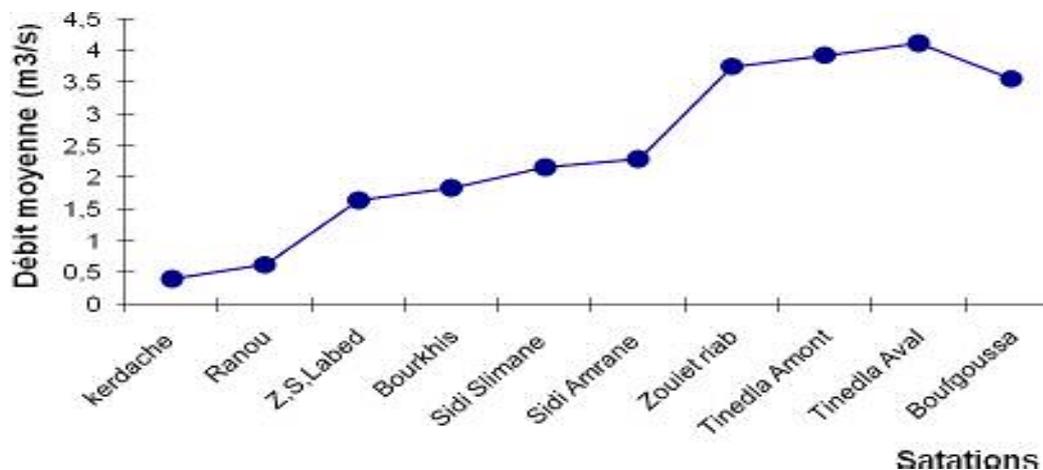


Figure 5.2 : Débit moyen du canal de l'Oued Righ durant la période : 1993-2007.

Cette Figure 5.2, représente l'évolution spatiale (une dizaine de stations de mesures) du débit moyen des rejets domestiques et des retours d'irrigation (les eaux de drainage des palmeraies) durant la période 1993 - 2007. Nous constatons que le débit croît linéairement selon le site de la station de mesure sur le sens de l'écoulement. Mais le débit moyen enregistré au niveau des deux stations (Kerdache, Ranou) est très faible (il varie entre 0.403 et 0.624 m³/s).

Ceci est certainement dû à la diminution de la pente du lit suite aux travaux de curage. D'autre part les deux stations situées au début du canal l'Oued Righ représentent un débit de démarrage d'écoulement. Au milieu du canal et à partir de la station de Sidi

Amrane, le débit a triplé ($2.29 \text{ m}^3/\text{s}$), tandis qu'au niveau de la station de Tinedla le débit maximum est de $4.11 \text{ m}^3/\text{s}$ à la fin du canal vers chott Merouane. Cette situation correspond à l'augmentation de nombre des terres cultivées et irriguées et le nombre de forages réalisés dans le projet de réaménagement de la palmeraie de l'Oued Righ et comme conséquence un rejet élevé des eaux usées et de drainage.

En 1970, le débit moyen enregistré du canal avoisinait les 22 millions de m^3 par année. Il continue à augmenter durant la période 1993 -2007, pour atteindre plus de 158 millions m^3/an actuellement [20] et [28]. Cette valeur représente 7 fois le volume il y a 37 ans (taux d'augmentation est de $3.6 \text{ million de m}^3 /\text{année}$).

5.1.3 Relation débit – salure des eaux évacuées par l'Oued Righ

La Figure 5.3, représente l'évolution de la conductivité électrique (CE) en fonction du débit des rejets (domestiques et d'irrigation) évacués par l'Oued Righ. Elle montre qu'il existe une bonne corrélation entre les deux paramètres ; les rejets augmentent dans le sens Sud - Nord par contre la salure de ces eaux décroît.

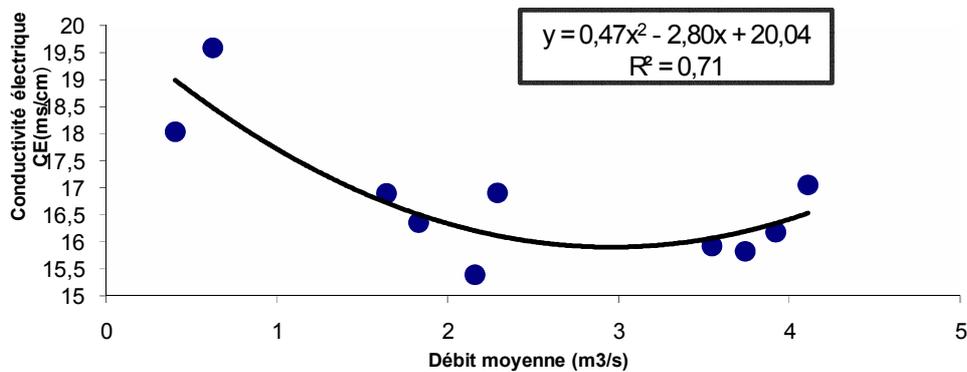


Figure 5.3 : Variation de la conductivité électrique moyenne du canal de l'Oued Righ en fonction des débits moyens durant la période : 1993 – 2007.

Une mise en graphique (Figure 5.4) de la quantité moyenne de sel transporté par les eaux usées et des retours d'irrigation en fonction du débit des rejets du canal de l'Oued Righ, dans le cas de cette étude, donne un très bon coefficient de corrélation $R=0.99$ pour une relation fonctionnelle de modèle puissance de la forme :

$$P = 17.20 \times Q^{0.89}$$

Avec :

- P** : La quantité moyenne de sel transporté en Kg ;
- Q** : Le débit moyen de rejet (m^3/s) ;

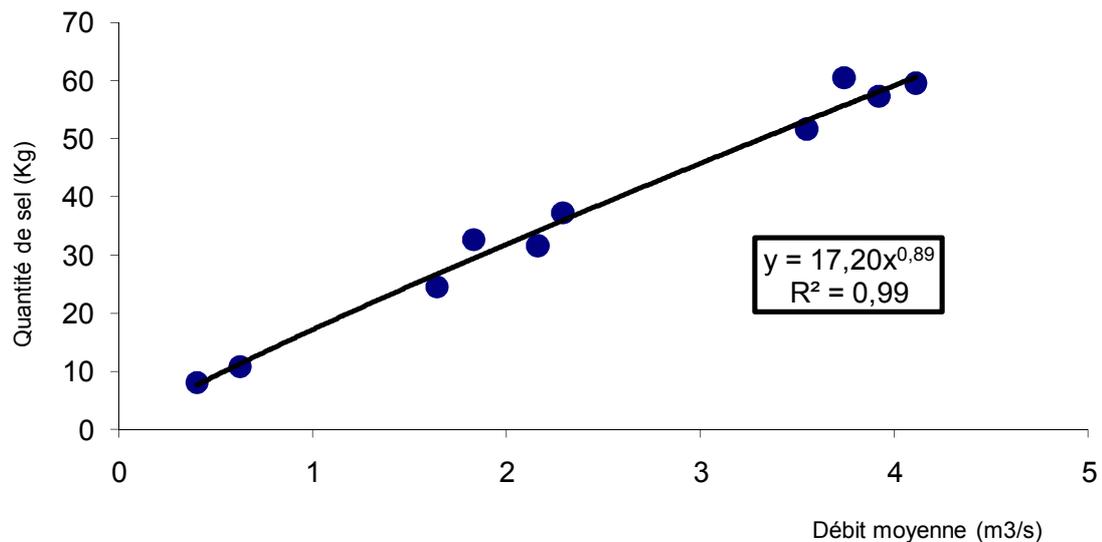


Figure 5.4 : Evolution de la quantité de sel en fonction de débit moyen du canal de l'Oued Righ

D'une manière générale, la qualité des eaux du canal de l'Oued Righ (rejets domestiques et d'irrigation) est mauvaise et leur teneur en sels peut dépasser les 15 g/l de résidu sec. Cette forte teneur en sels est accentuée par la présence d'une nappe phréatique proche de la surface du sol, surtout les chotts qui sont localisés au voisinage du canal de l'Oued Righ. Ce dernier fait transiter à son exutoire un débit de 4.5 m³ /s à 5 m³ /s, soit environ 140 à 158 millions de m³ /an .Dans tous les cas les quantités de sels mises en jeu sont très importantes, introduisant au chott Mérouane 1.2 millions à 2.4 millions de tonnes de sels par année.

5.2 Caractéristiques des eaux d'irrigation

L'eau utilisée pour l'irrigation provient de différentes ressources (nappes profondes : CI et CT), Mélange entre les deux nappes, Réutilisation des eaux de drainage et la nappe phréatique selon les différents secteurs d'étude. D'après les résultats de caractérisation des eaux d'irrigation Tableau 5.3, on note que :

- Le pH des eaux d'irrigation de différents secteurs (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 et S8) est voisin de la neutralité avec un caractère plus ou moins alcalin (varie entre 7.85 et 8.10) sauf dans le secteur S₄ ; l'eau d'irrigation provient de la nappe phréatique. Cette eau est Neutre du fait que le pH est souvent inférieur à 7.3.
- Très faiblement salée (CE varie de 2.5 à 7 ms /cm) sauf dans le secteur ; S₄ est moyennement salée (CE au voisinage de 10 ms/cm).
- Dans les secteurs S₁, S₄, et S₆ ; il apparaît ainsi que les ions dominants sont plus souvent les chlorures et les sulfates parmi les anions et le sodium parmi les cations, ce qui donne un faciès global chloruré sodique et sulfaté sodique.

- Dans les secteurs S₂, S₃, S₅, S₇ et S₈ les anions sont représentés par l'ion chlore et sulfate et les cations par l'ion magnésium.
, ce qui donne un type de salure ; chloruré magnésien
- Selon la classification américaine des eaux ; la majorité des eaux d'irrigation utilisées sont classées en C₄ – S₁ (SAR compris entre 0 et 10, CE dépasse 2.25 en ms/cm) ; qui représente une qualité médiocre à mauvaise pour l'irrigation.
- Dans le secteur 4 l'eau d'irrigation classée en C₅ – S₄ (SAR dépasse 26, CE dépasse 5 ms/cm) représente une qualité très déconseillée pour l'irrigation.

Tableau 5.3 : Bilans salins des eaux d'irrigation du terrain cultivé.

Station	Secteur	Ressource en eau	CE à 25 °C (ms/cm)	RS à 110 °C (mg/l)	PH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻	SAR
						meq/l								
Nezla	S ₁	CT	6.9	4854	7.9	21.6	14.8	37.9	0.85	41	31.21	2.01	0	8.89
Sidi Slimane	S ₂	CT	2.61	2024	8	9.18	13.4	9.82	0.79	12.46	16.54	2.59	0	2.92
	S ₃	Mélangé Cl + CT	2.7	2517	7.9	7.49	15.9	14.2	0.53	15.33	19.37	2.2	0	4.15
	S ₄	Nappe Phréatique	9.2	6260	7.3	12.9	24.1	13	20	10	74.04	10	0	30.22
	S ₅	CT	3.9	4678	7.9	12	32.1	25.2	0.62	33.07	31.15	1.83	0	5.36
	S ₆	Réutilisation des eau de drainage	4.4	3112	8	15.6	12.7	17.5	0.7	21.16	21.69	2.25	0	4.66
Tenedla	S ₇	CT	2.9	3282	7.7	8.4	20.2	16	0.47	22.39	21.63	1.31	0	4.24
Dendouga	S ₈	CT	2.7	3233	8.1	7.3	18.1	16.7	0.36	16.34	26.5	2.29	0	4.67

5.3 Caractéristique des eaux de drainage

Les résultats obtenus pour les eaux de drainage dans le site à terre cultivée sont établis dans le Tableau 5.4.

Toutes les valeurs mesurées de la conductivité indiquent une minéralisation très élevée (l'eau de drainage dans les différents secteurs est excessivement salée) car elles sont toutes globalement comprises entre 5 et 25 ms/cm.

- Le PH de toutes les eaux est voisin de la neutralité avec un caractère plus ou moins alcalin ; du fait que le PH est inférieur à 7.9.
- Le fasciés des cations est sodique, celui des anions est chloruré.
- Selon la classification américaine des eaux ; l'eau de drainage est classée en C₅ – S₄ qui représente une qualité très déconseillée pour l'irrigation.

Tableau 5.4 Bilans salins des eaux de drainage selon la situation de drainage dans les sites cultivés

S	SD	Pér	CE ₂₅ °C (ms/cm)	PH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻⁻	SAR	
					meq/l									
S ₁	In	Sep	14.2											
		Déc	10.1	7.35	30	24.89	105	23.7	135	45.3	10	0	20	
		Mar	11.73											
		Jui	13.8	7.11	55	40.53	195	6.12	210	74.2	10	0	28	
S ₂	Ef	Sep	6.3											
		Déc	5.1	7.81	22	25.33	150	60.7	100	65.6	9	0	31	
		Mar	5.4											
		Jui	4.9	7.93	23	24.8	148	58.3	99	63.4	9	0	30	
S ₃	Ef	Sep	9.7											
		Déc	5.3	7.75	23	27.39	157	60.4	100	58.4	9	0	31	
		Mar	5.8											
		Jui	5.6	7.89	24	26.3	153	55.9	110	65.7	9	0	30	
S ₄	Ix	Sep												
		Déc												
		Mar												
		Jui												
S ₅	In	Sep	19.2											
		Déc	9.2	7.53	25	31.4	175	50	100	70	9	0	33	
		Mar	12.5											
		Jui	24.5	9.09	35	30.12	120	26.2	145	53.2	10	0	21	
S ₆	In	Sep	14.8											
		Déc	12.3	7.17	42	35.31	150	48.1	100	70.5	9	0	24	
		Mar	11.98											
		Jui	13.05	7.2	54	43.51	197	7.3	200	75.1	10	0	28	
S ₇	In	Sep	12.5											
		Déc	8.9	7.71	25	31.2	168	52.7	120	69.4	9	0	32	
		Mar	10.14											
		Jui	12.8	7.18	54	43.57	179	7	200	75	10	0	28	
S ₈	Ef	Sep	5.8											
		Déc	5.1	7.88	25	27.37	157	47.4	115	59.7	10	0	30	
		Mar	6.2											
		Jui	5.1	7.78	24	25.9	150	51.8	110	55.4	10	0	30	

S : Secteur et station de prélèvement

SD : Situation de drainage

In : Inefficace

Ef : Efficace

Ix : Inexistante

Nezla S₁

Sidi Slimane S₂, S₃, S₄, S₅, S₆

Tenedla S₇, Dendouga S₈

5.4 Caractéristiques des eaux de la nappe phréatique

Les analyses physico – chimiques faites sur des échantillons des eaux de la nappe phréatique sont établies dans les Tableaux 5.5 et 5.6, On observe que :

- Dans le terrain nu le pH des eaux phréatiques est voisin de la neutralité (pH inférieur à 7.6) sauf certains des échantillons prélevés, le pH compris entre 7.8 et 8.3 présente aussi un caractère alcalin. Mais le pH de la plupart des eaux phréatiques dans le terrain cultivé est voisin de la neutralité.
- Dans le terrain nu, surtout dans les zones des chotts, l'eau de la nappe phréatique, est extrêmement salée et peut atteindre plusieurs centaines de g/l ou (CE dépasse 100 ms / cm). Au contraire dans les terrains cultivés toutes les valeurs mesurées de la conductivité sont inférieures à 15 ms/cm.
- Dans les deux sites les anions sont représentés par l'ion chlore et les cations par l'ion sodium.
- Dans le terrain nu et selon la classification américaine des eaux ; l'eau de la nappe phréatique est classée en C5 – S4 par contre dans les terrains cultivés ; les eaux phréatiques sont classées en (C5 – S2, C5 – S3 et C4 – S2) qui représente une qualité très mauvaise et très déconseillée pour l'irrigation.

Tableau 5.5 : Profondeur et bilans salins des eaux de la nappe phréatiques du terrain nu de la vallée de l'Oued Righ durant la période : 2007 – 2008

N° Piéz	P	hnp (m)	CEa25C (ms/cm)	PH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻⁻	SAR
					meq/l								
01	S	1.11	114										
	D	1.31	104	7.4	12.4	11.2	113	12	1300	150	9	0	32.73
	M	1.6	79.3										
	J	1.84	93.1	7.19	11	13.1	143	16.3	2550	182.9	7	0	41.26
04	S	1.43	109										
	D	1.51	115	7.37	11.8	13.4	180	15.3	2140	175.4	10	0	46.72
	M	1.82	101										
	J	1.98	89.5	7.51	11.3	12.9	166	16.8	2100	168.9	9	0	47.68
05	S	0.97	159										
	D	1.1	142	7.39	12.6	13.3	154	18.4	2225	160	9	0	42.71
	M	1.33	97.3										
	J	1.47	109	7.28	13.5	17.9	211	33	4160	250	10	0	54.29
08	S	1.15	158										
	D	1.46	164	7.16	18.5	15.9	200	27.5	3727	270.7	5.74	0	48.22
	M	1.73	120										
	J	1.81	130	7.9	14.2	16.2	237	17.5	4180	260	6.8	0	60.74
09	S	2.04	110										
	D	1.32	178	7.51	12.8	14.7	195	16.3	2100	186.4	7.99	0	52.67
	M	1.53	166										
	J	1.74	119	7.31	11.4	12.9	220	15.3	2750	177.5	5.11	0	63.1
12	S	13.7	0.51										
	D	10.5	0.92	8.9	31.2	49.8	90	3.4	107.3	60.11	12.7	0	14.14
	M	9.8	0.71										
	J	8.3	0.79	7.87	33.3	56.1	100	2.66	116.2	63.26	16.3	0	14.96
15	S	0.52	71.7										
	D	0.57	61.3	7.23	30.4	18.3	120	36.7	562.6	132.8	1.14	0	24.33
	M	0.65	47.9										
	J	0.68	53.7	7.21	8.74	9.71	90	11.4	850	149	10	0	29.63
16	S	13.7	1.48										
	D	31.35	0.72	7.73	42.1	21.4	159	7.57	320	127.7	9	0	28.21
	M	58.3	0.96										
	J	9.2	1.36	7.51	42.8	35.4	140	40.1	100	65.3	9	0	22.38
17	S	9.4	1.53										
	D	10.7	0.65	7.4	23.2	25.3	51.4	0.9	48.1	50.7	1.98	0	10.44
	M	13.6	0.79										
	J	8.3	1.2	7.1	21.82	28.78	47.28	0.55	29.85	53.13	2.38	0	9.4
18	S	0.79	9										
	D	-0.46	10.19	7.93	15.78	13.15	47.7	1.7	54.7	42.4	2.15	0	12.54
	M	-0.12	8.7										
	J	0.57	40.3	8.1	17.27	12.7	41.4	0.7	38.7	27.4	1.94	0	10.69

Tableau 5.6 : Profondeur et bilans salins des eaux de la nappe phréatique du terrain cultivé dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007 – 2008.

N° Piéz	P	hnp (m)	CEà25C (ms/cm)	PH	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻	CO ₃ ⁻⁻	SAR
					meq/l								
01	S	1.2	4.5										
	D	0.78	3.9	8	12	15	72	1	52	41	4	0	19
	M	0.93	3.2										
	Ju	1.05	4.6	8	15	18	69	1.4	56	45	6.3	0	17
03	S	2.21	7.5										
	D	1.68	10.3	8	21	27	68	1.8	96	20	2.3	0	14
	M	1.83	9.6										
	J	2.05	9.3	8	18	28	71	2.1	89	26	3.5	0	15
06	S	2.03	6.7										
	D	1.48	8.5	8	23	18	57	1.3	66	35	2.2	0	13
	M	1.53	7.36										
	Ju	1.85	6.98	8	19	24	69	3.1	94	15	4.9	0	15

P : période de prélèvement

5.5. Conclusion

On peut conclure, en partant des résultats de caractérisation des eaux d'irrigation, de la nappe phréatique, de drainage et du canal de l'Oued Righ que :

- L'eau utilisée pour l'irrigation provient de différentes ressources ; les eaux des nappes profondes (CT et CT) sont utilisables pour l'arrosage dans la majorité de cas mais avec beaucoup de précautions dans les sols légers, bien drainés aussi avec doses de lessivage.
- Les eaux de la nappe phréatique et de drainage sont excessivement salées et non utilisables pour l'irrigation. Ces eaux de drainage, comme des pertes pour le système, sont généralement de piètre qualité car, à la suite de leur passage dans le sol, elles se sont enrichies en sels. Ces eaux présentent des dangers qui provoquent des engorgements et la salinisation excessive de la zone racinaire des sols, et contribuent au développement d'une végétation envahissant l'écosystème palmeraie. Aussi, ces eau doivent être évacuées dans le canal de l'Oued Righ.
- Les eaux du canal de l'Oued Righ sont extrêmement salées, légèrement basiques, très dures, caractérisées par un faciès hyper chloruré sodique, Ces eaux sont de classe C₅, S₃, donc elles sont très déconseillées pour l'irrigation. Le débit et la quantité des sels mises en jeu sont très importants et croient linéairement dans le sens Sud vers le Nord.

CHAPITRE 6

ETUDE DES FLUCTUATIONS DE LA NAPPE PHREATIQUE

6.1 Introduction

La plupart des périmètres irrigués et les chotts (sebkhas) sont ou peuvent être menacés par une nappe à faible profondeur, le plus souvent salée, dont la remontée a déjà entraîné en certain endroits la stérilisation des sols. Dans cette optique, des campagnes mensuelles, et saisonnières d'observations de niveaux piézométriques ont été effectuées et ce, sur une année d'expérimentation. Malgré les difficultés rencontrées, il a été possible d'établir un annuaire piézométrique (profondeurs de la nappe avec des données chimiques) ainsi que des profils piézométriques et des cartes iso valeurs (isobathes, iso hyalines et sens d'écoulement) qui ont servi de base aux différentes études d'aménagement de plusieurs périmètres irrigués.

6.2 Niveau piézométrique dans la parcelle cultivée

Le niveau piézométrique de la nappe phréatique dans une parcelle cultivée subit des fluctuations saisonnières (suivant les facteurs climatiques) et spatiales. Le mode d'irrigation et l'efficacité du système de drainage ont eux aussi un effet direct sur ces oscillations. La première campagne de mesures piézométriques a eu lieu en septembre 2007. La Figure 6.1 schématise un profil représentant ces fluctuations.

On remarque que:

- Le réseau piézométrique de surveillance constitué de 8 piézomètres situés sur le long du drain secondaire dans les terrains cultivés de Sidi Slimane rejoint le canal de l'Oued Righ.
- La profondeur de l'eau de la nappe phréatique au niveau du premier piézomètre est comprise entre 1,7m à 2,5m de l'hiver à l'été. Dans ce point le niveau hydrostatique de la nappe dépasse 2m de profondeur à cause de l'utilisation des eaux de la nappe phréatique pour l'irrigation.
- La ligne piézométrique est plus proche à la surface du sol entre les deux piézomètres (P₄, P₅) que les autres points de surveillance ; ceci s'explique par l'existence d'un déséquilibre entre la capacité d'eau apportée (eaux d'irrigation) et celle évacuée (retours d'irrigation). Le piézomètre N°9 représente l'ouvrage de surveillance, permettant de mesurer et de contrôler la fluctuation de la nappe phréatique dans le temps au voisinage du canal de l'Oued Righ dans la zone de Sidi Slimane.

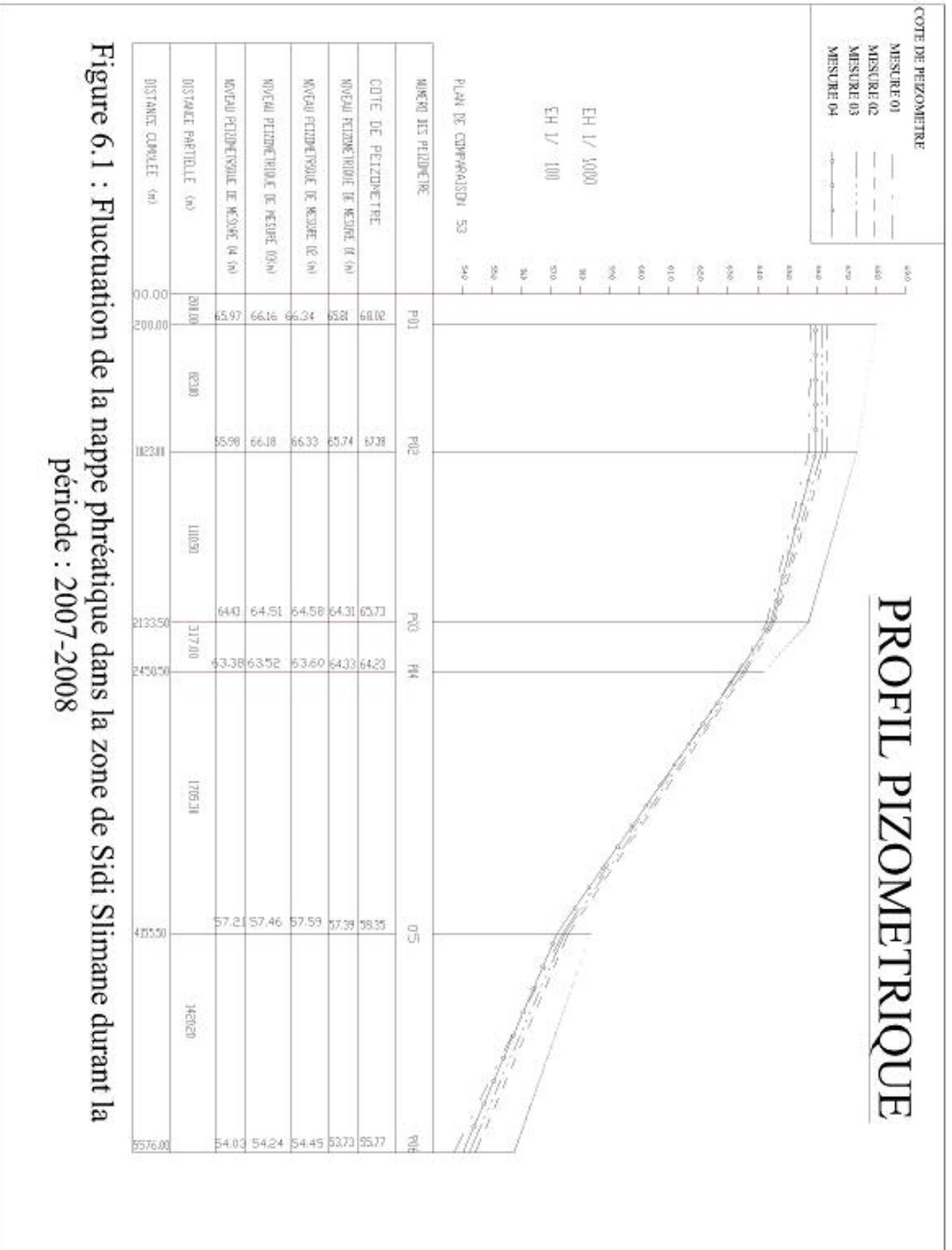


Figure 6.1 : Fluctuation de la nappe phréatique dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007-2008

6.2.1 Carte piézométrique de la nappe phréatique

Les données sur les niveaux hydrostatiques de la nappe phréatique enregistrées lors de la campagne d'observation et de mesures, ont permis d'élaborer une carte piézométrique (Figure 6.2). Cette carte définit la répartition spatiale des différents niveaux de la nappe sur l'ensemble de l'aire d'étude (Sidi Slimane).

La carte de synthèse (des niveaux hydrostatiques) montre que les fluctuations de niveaux de la nappe oscillent généralement entre 0.7 et 2m. Dans les deux tiers de la superficie des secteurs (périmètres irrigués), le niveau d'eau est compris entre 1.2 et 1.7 m. Ceci s'explique par l'utilisation des eaux des nappes profondes pour l'irrigation et aussi l'efficacité du système de drainage. Il existe également un équilibre entre les prélèvements et les rejets (retours d'irrigation). Dans le tiers de la superficie de ces périmètres, le niveau d'eau ne dépasse pas 1m de profondeur. Ceci s'explique par les prélèvements à partir des nappes de Complexe Terminal et le Continental Intercalaire qui ont augmenté considérablement le volume des apports. En parallèle cela a eu comme conséquence, un rejet des retours d'irrigation qui augmentent; à leur tour et causent la stagnation des eaux de drainage (Inefficacité du réseau de drainage). Imposant l'intervention des concernés. Dans certains périmètres, le niveau d'eau dépasser 1.7m de profondeur; ceci s'explique par l'utilisation des eaux de la nappe phréatique pour l'irrigation et l'absence d'un réseau de drainage.

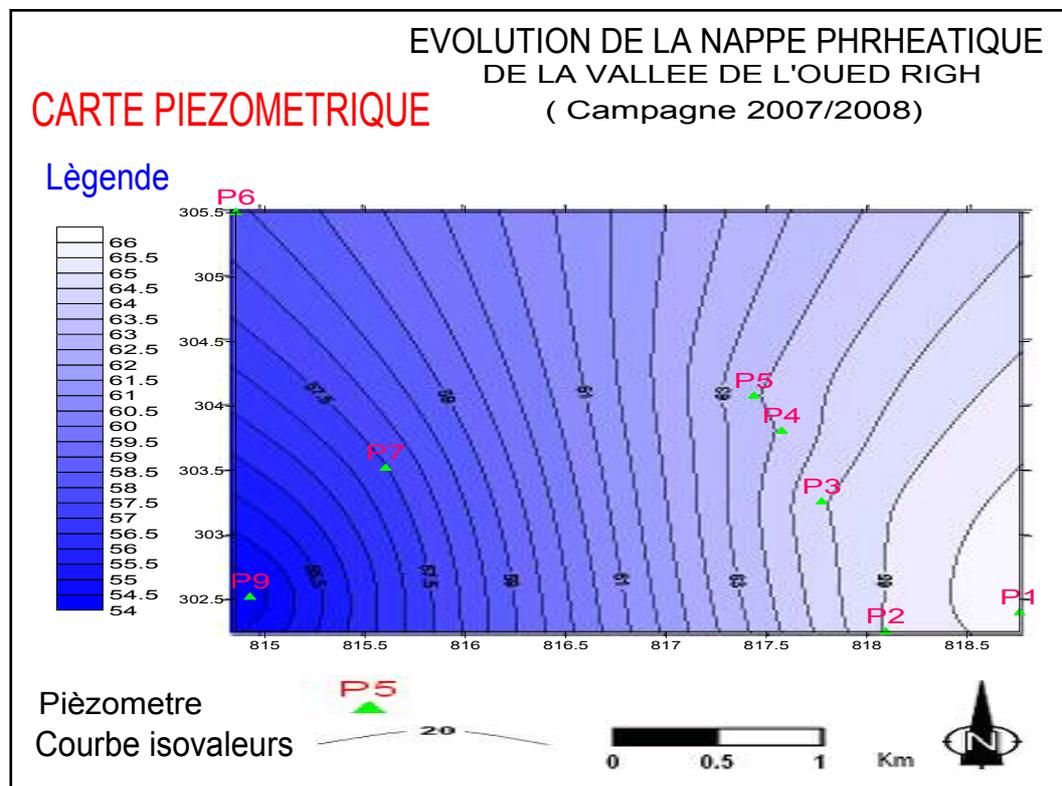


Figure 6.2 : Carte piézométrique de la nappe phréatique dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007- 2008.

6.2.2 Carte du sens d'écoulement

La Figure 6.3, représente le sens d'écoulement des eaux de la nappe phréatique qui suit un axe de direction : Est – Ouest, respectivement de la palmeraie (amont) vers le canal de l'Oued Righ qui représente l'exutoire en aval, caractérisé par un faible gradient hydraulique 0.0024. Cette même direction coïncide avec le sens du drain secondaire de la palmeraie.

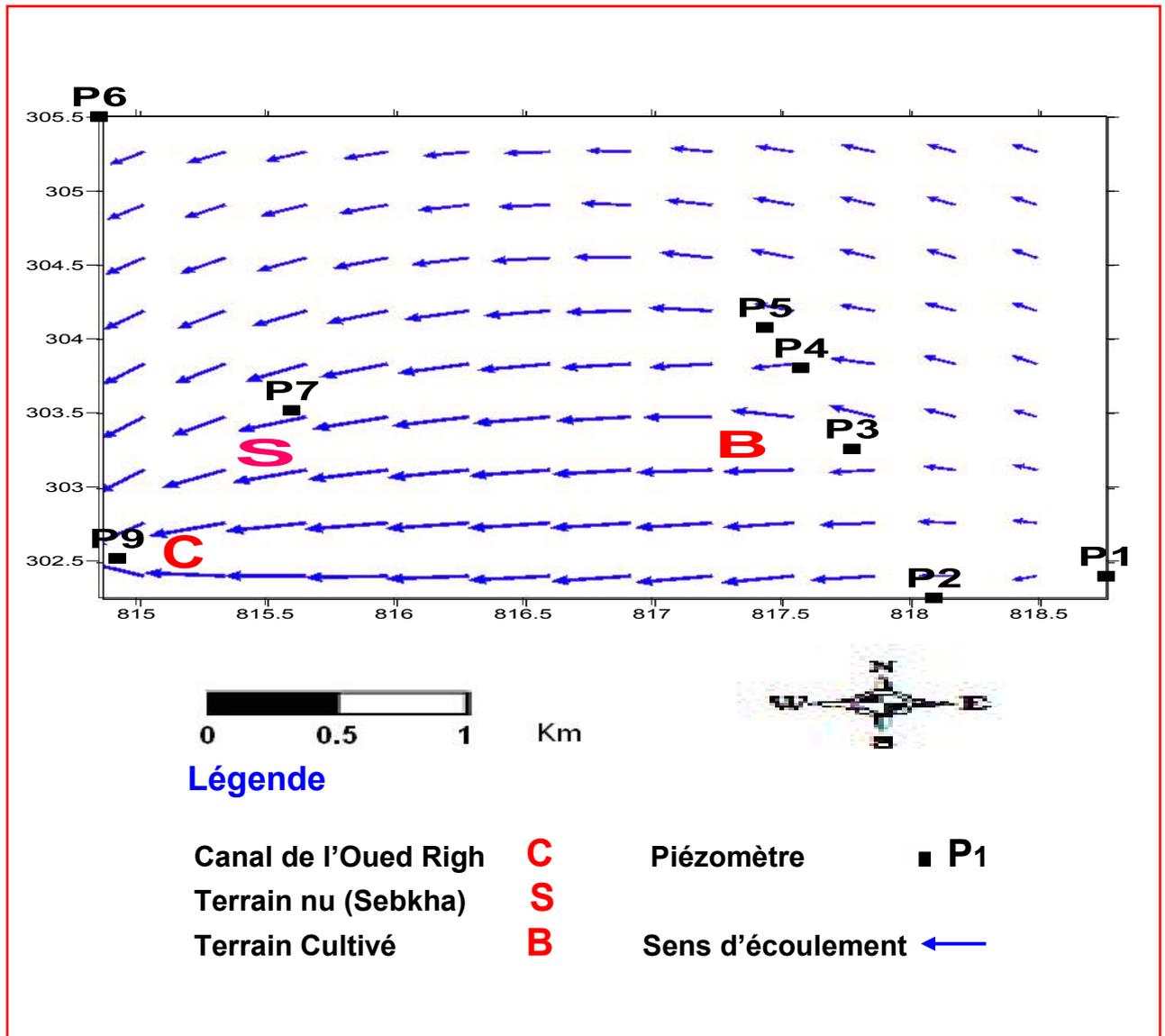


Figure 6.3 : Carte schématique du sens d'écoulement des eaux de la nappe phréatique dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007- 2008.

6.3 Fluctuation de la nappe phréatique sous l'effet d'irrigation

Un suivi permanent peut en outre être entrepris en équipant un piézomètre représentatif visualisant les fluctuations de la nappe phréatique dans le temps. Celles-ci peuvent être corrélées avec la capacité d'eau apportée (irrigation) et celle évacuée (infiltration et l'évapotranspiration).

La Figure 6.4, représente l'évolution dans le temps de la profondeur de la nappe phréatique avant et après l'irrigation dans une parcelle cultivée (secteur N°5 à Sidi Slimane). Elle est composée en général, lorsque l'essai est correctement fait, de trois parties :

- La première partie correspond au début de la pratique d'irrigation (alimentation de la nappe phréatique par les eaux d'irrigation). Dans ce cas nous constatons que le niveau de l'eau de la nappe phréatique s'élevait progressivement avec le temps. La profondeur de la nappe par rapport à la surface du sol oscillait entre 0.1 m et 1.3 m dans une période d'environ 7 heures.
- La deuxième partie représente l'arrêt de la pratique d'irrigation. Ceci s'explique par la saturation des couches du sol et le niveau de la nappe phréatique qui restait stationnaire pendant 2 heures (0.1m).
- Dans la troisième partie nous constatons que le niveau de la nappe phréatique décroît progressivement ; ceci s'explique par le drainage des eaux d'irrigation excédentaire, et l'arrêt d'irrigation.

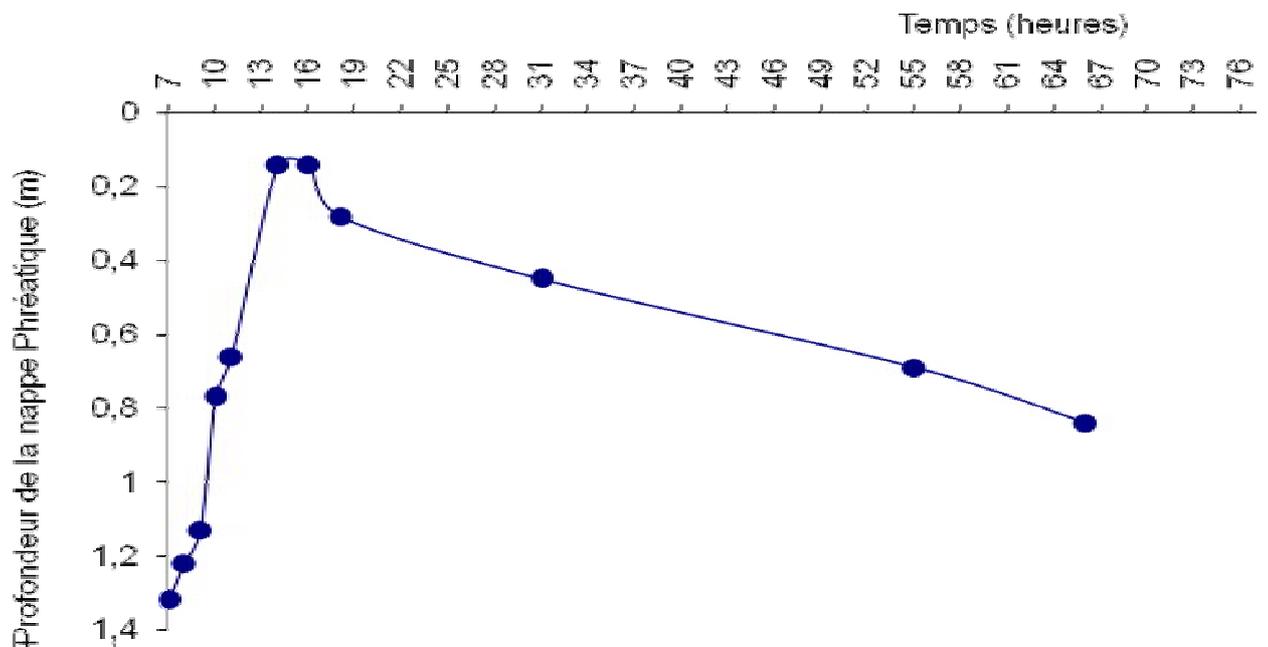


Figure 6.4 : Evolution dans le temps de la profondeur de la nappe phréatique avant et après l'irrigation.

6.3.1 Variations piézométrique

L'analyse des variations piézométriques en plan et en profil permet de connaître les valeurs minimales et maximales du niveau piézométrique, ainsi que leur amplitude moyenne annuelle ou interannuelle. Elle fournit également une bonne estimation de l'alimentation naturelle de la nappe et de l'évolution spatio-temporelle de ces réserves, en caractérisant, en particulier, des secteurs homogènes vis-à-vis de la recharge et de la décharge [29].

Les figures 6.5.1 et 6.5.2 représentent les fluctuations piézométriques saisonnières d'un ouvrage de contrôle des niveaux de la nappe phréatique sous l'influence d'irrigation et le drainage d'une parcelle cultivée à Sidi Slimane durant la période : 2007 – 2008. On constate des fluctuations relativement amorties durant les trois saisons (automne, hiver et le printemps) pendant lesquelles le niveau piézométrique variait entre 57.5m et 58.1m le long de 6 cycles d'irrigation. Chaque cycle représente une période de 15 jours, alors que pendant la saison d'été elles ont été très marquées et le niveau piézométrique enregistré s'est situé entre 57m et 58,3m au cours de 8 cycles d'irrigation. La durée de certains cycles a été réduite à une période de retour de 10 jours.

Pour compléter cette hypothèse, la Figure 6.6 représente la variation saisonnière de la profondeur moyenne de la nappe phréatique au cours des périodes de retour bien précises notées (cycle d'irrigation) pendant une année de surveillance et d'expérimentation. Dans les différentes saisons, la représentation graphique montre qu'il existe une très bonne corrélation entre les deux paramètres (profondeur – temps) ; qui suit une relation exponentielle et nous constatons que la profondeur moyenne croît avec le temps.

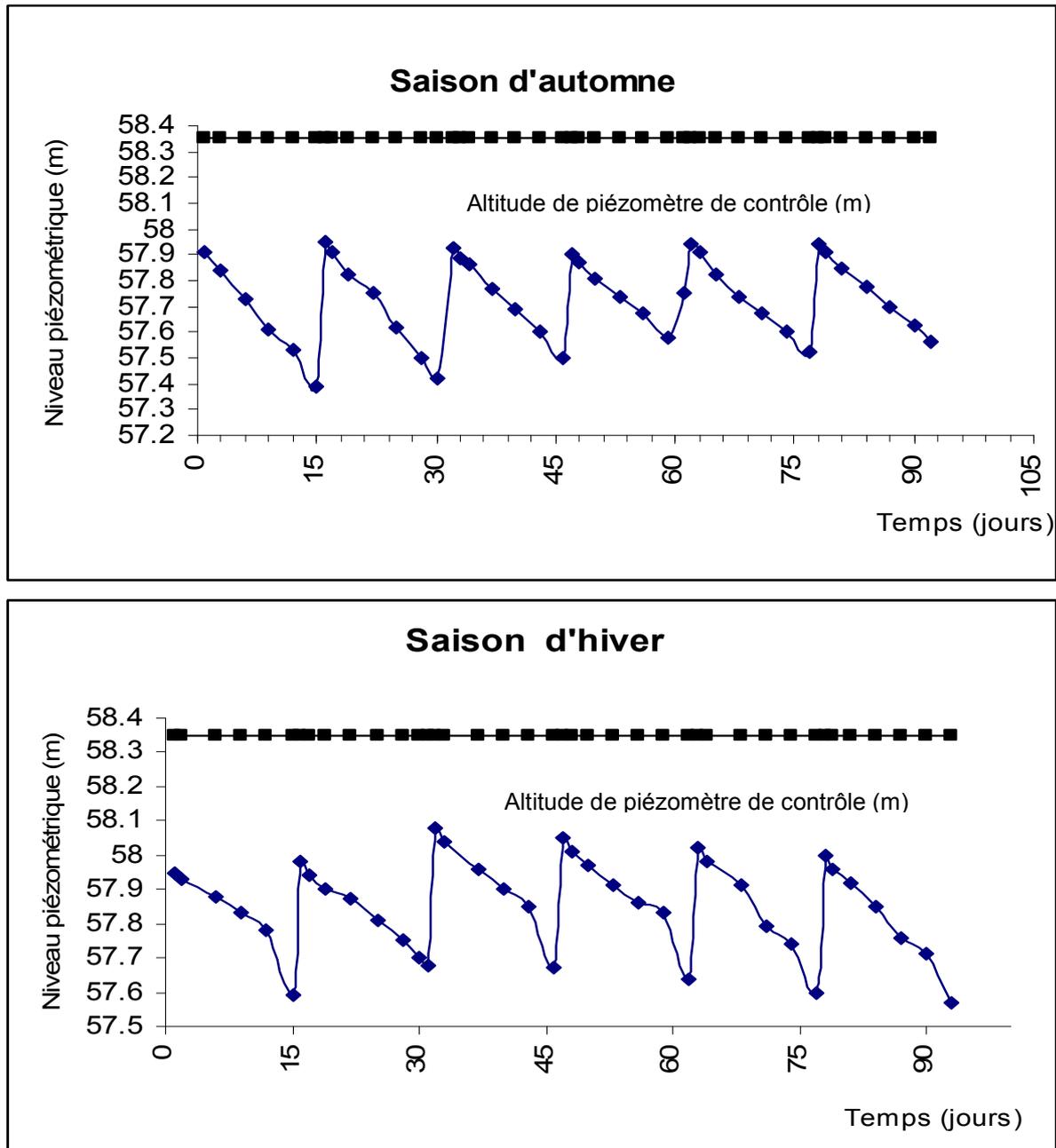


Figure 6.5.1 : Fluctuation saisonnière des niveaux piézométrique de la nappe phréatique sous l'influence d'irrigation et de drainage d'une parcelle cultivée (S₅ ; Sidi Slimane en 2008).

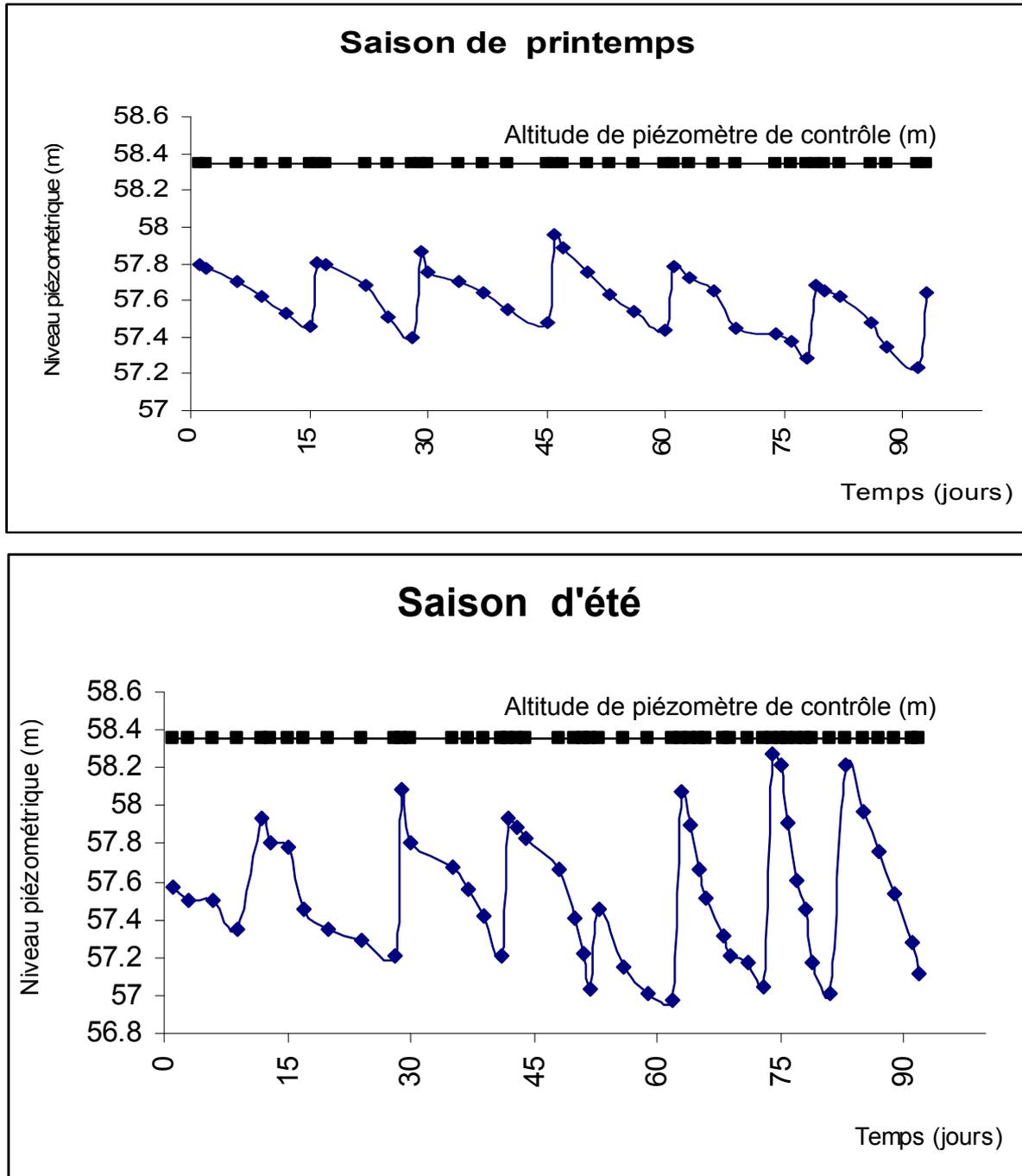


Figure 6.5.2 : Fluctuation saisonnière des niveaux piézométriques de la nappe phréatique sous l'influence d'irrigation et de drainage d'une parcelle cultivée (S_5 ; Sidi Slimane en 2008).

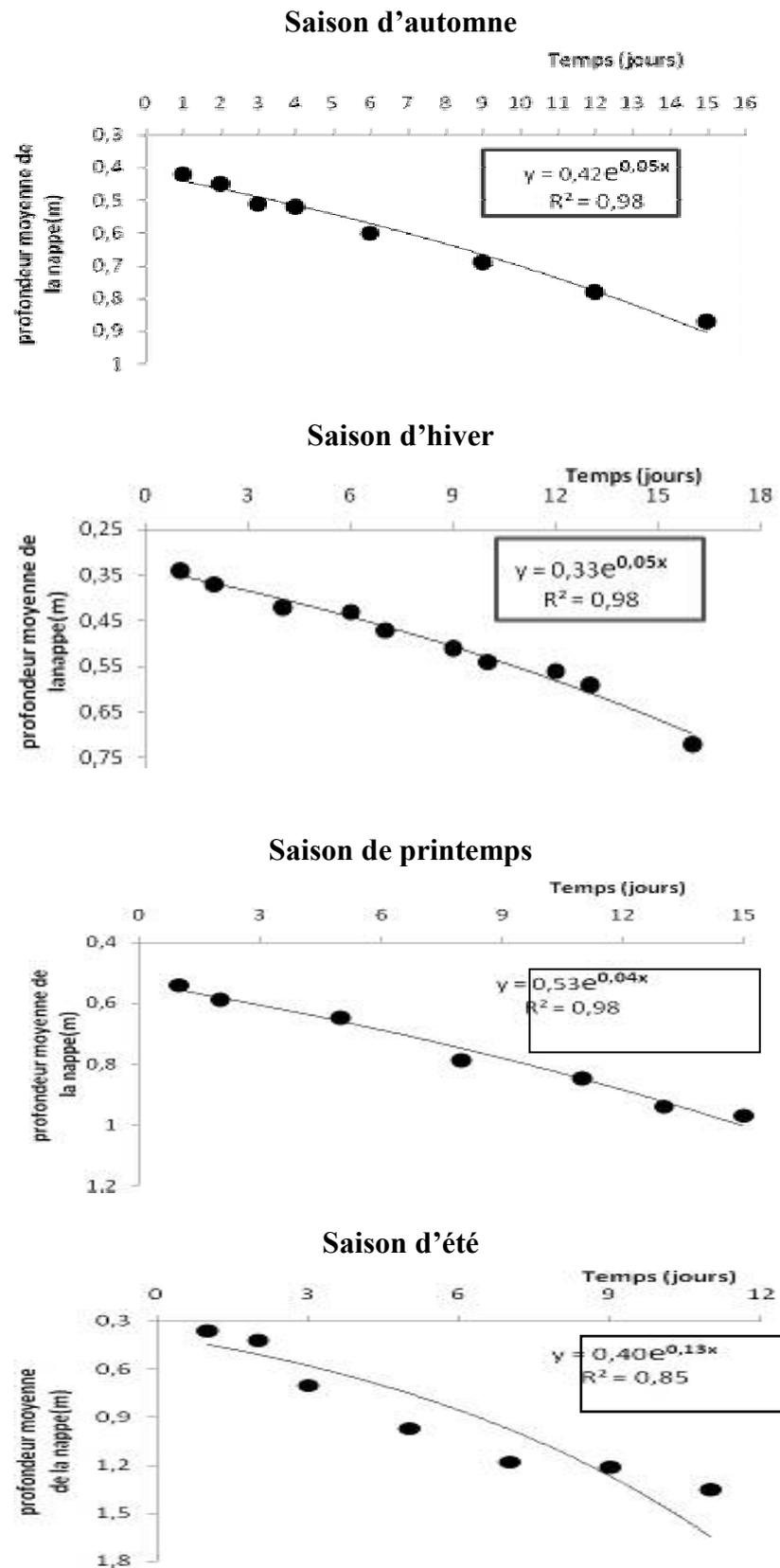


Figure 6.6. Variation saisonnière de la profondeur moyenne de la nappe phréatique d'un cycle d'irrigation.

6.3.2 Variation de la vitesse de déplacement

L'analyse des courbes (Figure.6.7) donnant la variation saisonnière de la vitesse de déplacement des eaux phréatiques en fonction des périodes (cycles) d'irrigation montre que les fluctuations sont relativement amorties durant les trois saisons (Automne, hiver et printemps).

Cette vitesse de déplacement dans les pores du sol oscillait entre 0.019 et 0.035 m/j, alors qu'elles sont très marquées au moment de la sécheresse (saison d'été). Généralement la vitesse s'accroît en revanche avec la durée des cycles d'irrigation (0.03 à 0.113 m/j), mais au niveau du cinquième cycle d'irrigation, il apparaît très nettement une diminution de la vitesse enregistrée (0.04 m/j) en liaison avec la forte diminution de l'apport (dosse d'arrosage) qui devenait insuffisant, ceci s'explique par les perturbations de la pratique d'irrigation (AEI).

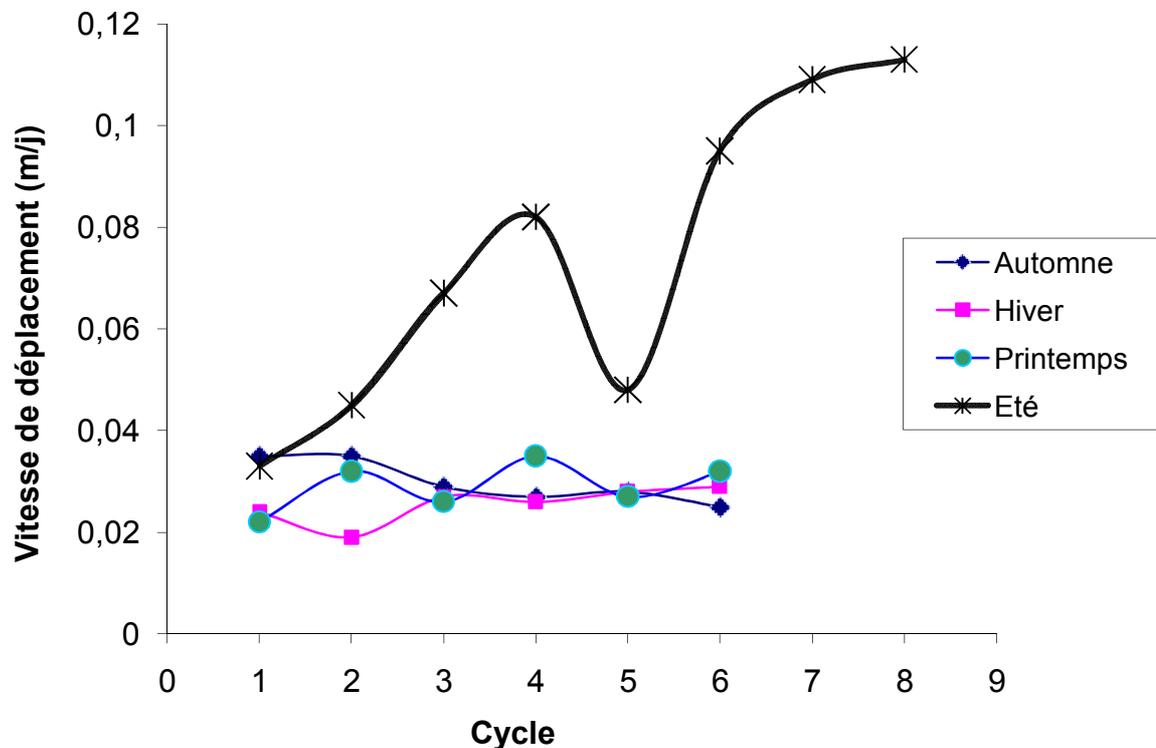


Figure 6.7 : Variation Saisonnière de la vitesse de déplacement des eaux de la nappe phréatique en fonction des cycles d'irrigation.

6.3.3 Relation ETP- Profondeur de la nappe phréatique – vitesse de déplacement

La Figure 6.8 représente une relation entre la profondeur du niveau statique de la nappe phréatique et l'évapotranspiration. Elle montre qu'il existe une très bonne corrélation (Coefficient de détermination $R^2 = 0.93$) qui se traduit par une relation exponentielle.

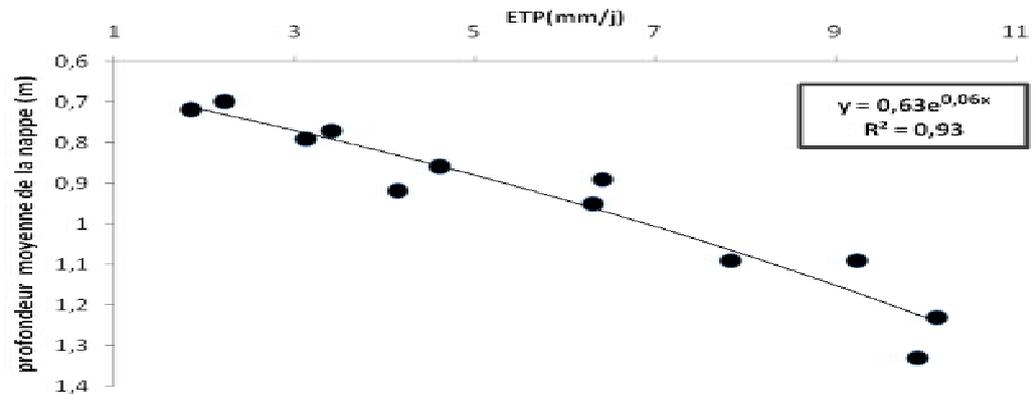


Figure 6.8 : Evolution de la profondeur moyenne du niveau de la nappe phréatique en fonction de l'évapotranspiration

La Figure 6.9 représente la relation entre la vitesse de déplacement et l'évapotranspiration. Elle donne un bon coefficient de corrélation ($R^2 = 0.67$) et montre qu'il existe une relation fonctionnelle de modèle parabolique entre les deux paramètres.

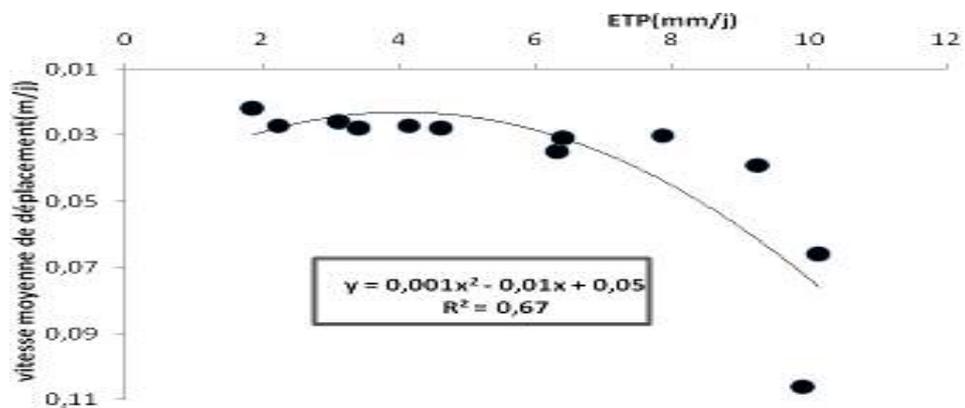


Figure 6.9 : Evolution de la vitesse moyenne de déplacement des eaux de la nappe phréatique en fonction de l'évapo-transpiration.

6.4 Niveau piézométrique dans les terrains non cultivés

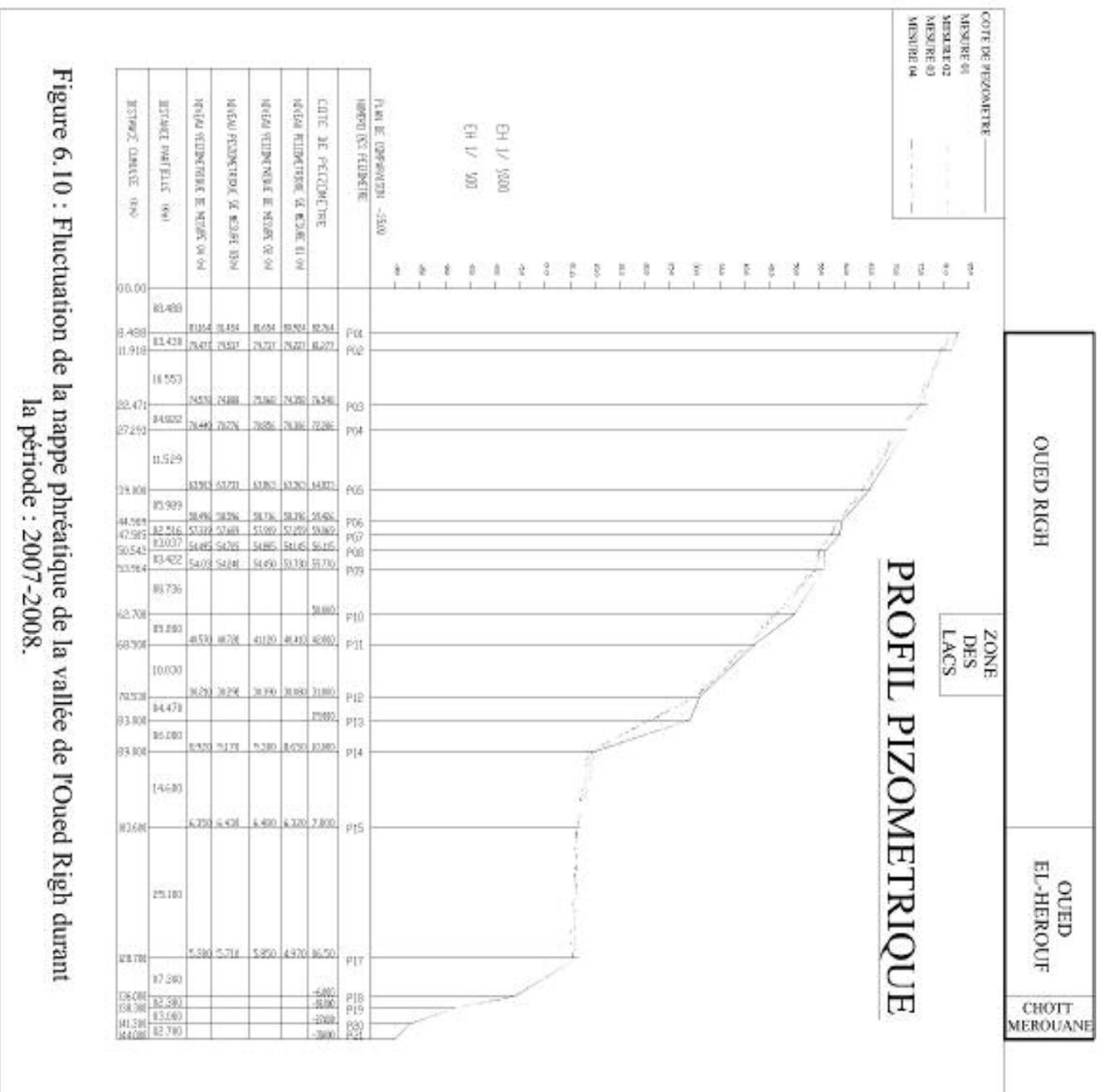
6.4.1 Variations piézométriques.

Nous avons effectué une étude sur la fluctuation et les variations piézométriques spatiales de la nappe phréatique le long du canal de l'Oued Righ durant la période 2007 - 2008, sur la base du relevé de 16 piézomètres et 6 points de références. Les résultats obtenus sont représentés sur la Figure 6.10.

Nous avons remarqué qu'il y a un rabattement de la nappe phréatique d'une période (saison) à une autre et d'un point de mesure à un autre cependant, entre l'hiver et l'été, qui est de l'ordre de 55cm au niveau de la station de Temacine (Piézomètre N°2). On constate des fluctuations très marquées, et d'une manière presque identique sur tous les piézomètres en amont (P1 et P9), sur la partie Sud du canal de l'Oued Righ. Alors qu'elles sont nettement amorties au droit des piézomètres en aval P12, P15 au niveau de ces deux piézomètres nous avons enregistré un rabattement d'environ 16cm.

Il apparaît très nettement l'intersection des lignes piézométriques des différentes périodes surtout au niveau des tronçons (P5 – P6, P12-P13, P14 – P15) ceci s'explique par :

- une faible pente du canal.
- l'excès d'irrigation dans la région de djamaâ.
- l'inefficacité du réseau de drainage de la palmeraie avoisinante.



6.4.2 Carte piézométrique de la nappe phréatique

Une carte en courbes hydro isohypses donne une représentation de la surface piézométrique à une date déterminée .Il est donc souvent nécessaire, pour juger des variations inter saisonnières de sa surface, d'établir plusieurs cartes piézométriques à des époques différentes et, en particulier, lors des périodes extrêmes (crue ou hautes eaux et étiage ou basses eaux) [30].

La Figure 6.11.représente la carte de synthèse des niveaux piézométriques de la nappe phréatique de l'Oued Righ. Cette carte a été établie en (2007-2008). Il apparaît très nettement que la plupart des sols des régions prospectées présentent des niveaux hydrostatiques autour d'un mètre. Par conséquent, il serait nécessaire de maintenir le niveau d'eau de la nappe par un flux descendant.

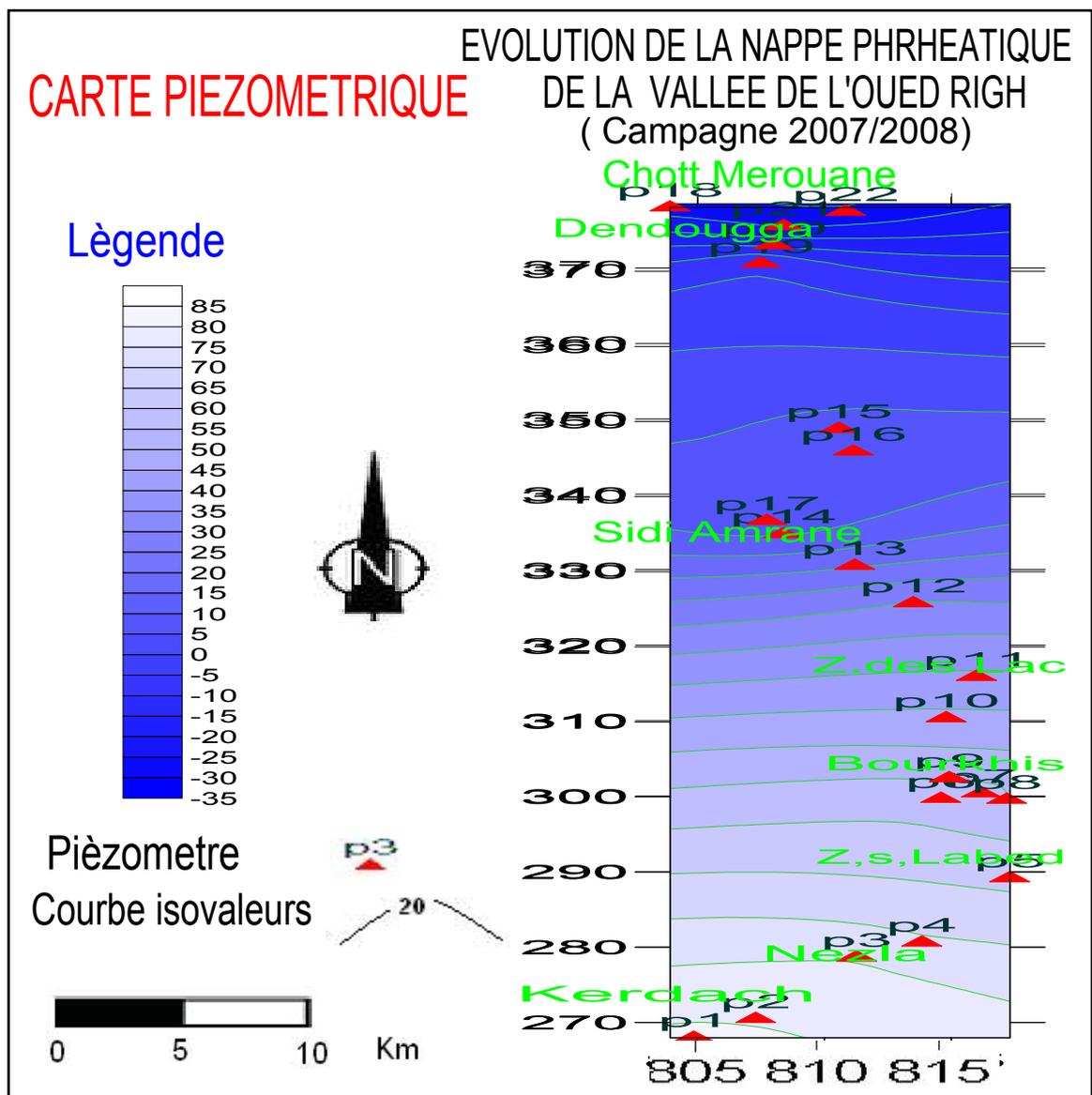


Figure 6.11 Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée de l'Oued Righ durant la période : 2007-2008.

6.4.3 Carte du sens d'écoulement

La Figure 6.12, représentant le tracé des courbes montre un écoulement général vers l'exutoire naturel de chott Mérouane. La nappe phréatique dans la vallée de l'Oued Righ est subdivisée en deux zones :

- Zone Sud, entre El -Goug et Boufegoussa, le sens d'écoulement général est du Sud (amont) au Nord (aval)
- Zone Nord, entre Oum El Thiour et El-Meghaïer, le sens d'écoulement général est du (Nord- Ouest vers le Sud -Est). Le gradient hydraulique présente une valeur moyenne de 0.0006 en amont et s'accroît très sensiblement en se rapprochant du milieu (0.001 - 0.002), ainsi, au sein d'un environnement plus homogène (amplitudes piézométriques de quelque mètres).

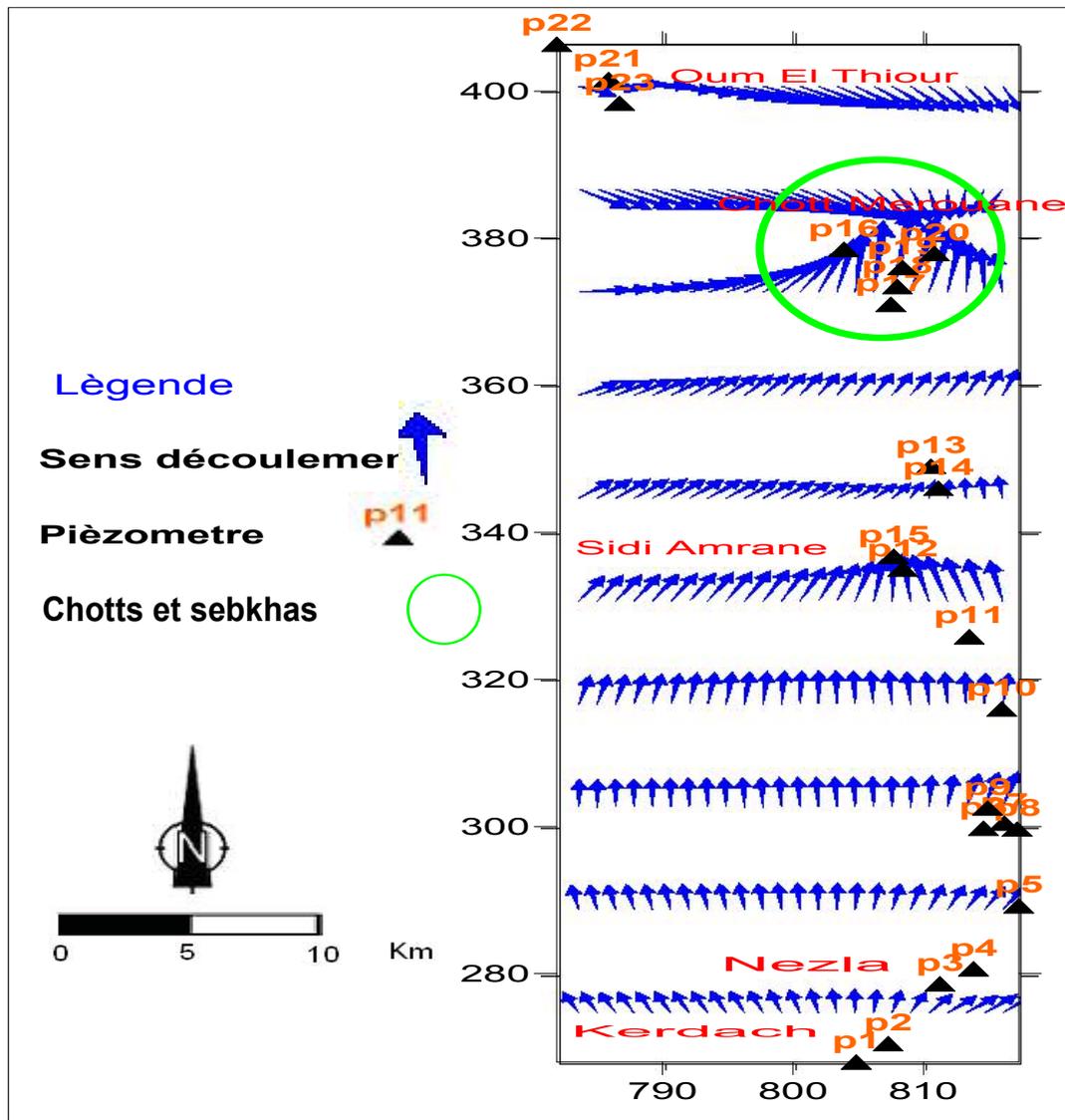


Figure 6.12 : Carte schématique du sens d'écoulement des eaux de la nappe phréatique ; de la vallée de l'Oued Righ durant la période : 2007-2008.

6.5. Conclusion

La nappe phréatique est omniprésente dans les palmeraies et à leurs environs. Cette nappe dont le niveau est plus ou moins contrôlé par un réseau de drainage par fossés, est le fait de l'accumulation des eaux d'irrigation excédentaires, particulièrement en hiver. La profondeur de la nappe est variable selon l'efficacité du drainage, la fréquence des irrigations, d'une période à une autre (saison d'irrigation) et les facteurs climatiques.

Les fluctuations de niveaux de la nappe phréatique sont généralement faibles et oscillent entre 0,3m et 1,3m, rarement jusqu' à 1,5m dans les parcelles cultivées et irriguées par les eaux des nappes profondes (CI, CT) d'une manière régulière. Par contre dans les parcelles non cultivées et non irriguées, les fluctuations des profondeurs de la nappe phréatique dans le temps et l'espace sont inférieures à 2,20m, dans la majorité des cas.

Dans la vallée de l'Oued Righ et dans chaque localité les réseaux secondaires de drainage assurent l'évacuation des eaux des palmeraies vers l'émissaire naturel de l'oued. Ainsi, ce dernier joue le rôle de collecteur principal de ces eaux vers le chott Mérouane, dont le sens d'écoulement est du Sud vers le Nord.

CHAPITRE 7

EVOLUTION DE LA SALINITE DES SOLS ET DES EAUX

7.1 Introduction

Les différentes études de l'aménagement hydro agricole [1] dans les régions sahariennes en général arrivent à la conclusion que la principale cause de cumul des sels solubles dans les sols est la faible profondeur des eaux fortement minéralisées de la nappe phréatique, néanmoins cet état de fait est complètement ignoré lorsqu' il s'agit des problèmes de drainage. L'argumentation nécessite la mise en place de mesures techniques adéquates justifiées afin de prévoir et de gérer le risque de salinisation des terres irriguées dans la vallée de l'Oued Righ.

7.2 Evolution de la salinité en fonction de l'irrigation et du drainage

Dans la région de l'Oued Righ, les palmeraies drainent naturellement. Chaque irrigant restitue à l'aval de sa parcelle une eau de qualité inférieure à celle qu'il reçoit. Dans les parties basses (zone des chotts), et partout où le drainage naturel est déficient, il se produit une accumulation de sels, dite salinisation secondaire d'origine anthropique. Nous avons vu que les terres irriguées accumulent en permanence les sels apportés par les eaux.

Des observations ont été conduites sur le terrain agricole de la commune de Sidi Slimane sur deux parcelles différentes :

- 1- parcelle irriguée par les eaux de la nappe CT et mal drainée (Secteur N° 5) ;
- 2- parcelle irriguée par les eaux de la nappe phréatique et non drainée (Secteur N°4)

La campagne de mesure s'est étalée de mars 2007 à Août 2008. Les résultats ont pu être compilés et présentés au tableau relatif à chaque secteur. Ces résultats ont fait l'objet d'une discussion sur la variation saisonnière de la conductivité électrique de l'extrait 1/5 du sol, de l'eau d'irrigation et de l'eau de drainage au cours de plusieurs périodes successives déterminées de 10 ou de 15 jours appelées cycles d'irrigation.

7.2.1 Evolution de la salinité au niveau de la première parcelle

Cette évolution a permis de montrer qu'une variation peut être divisée en trois graphes. Les résultats obtenus sont représentés sur la Figure 7.1.

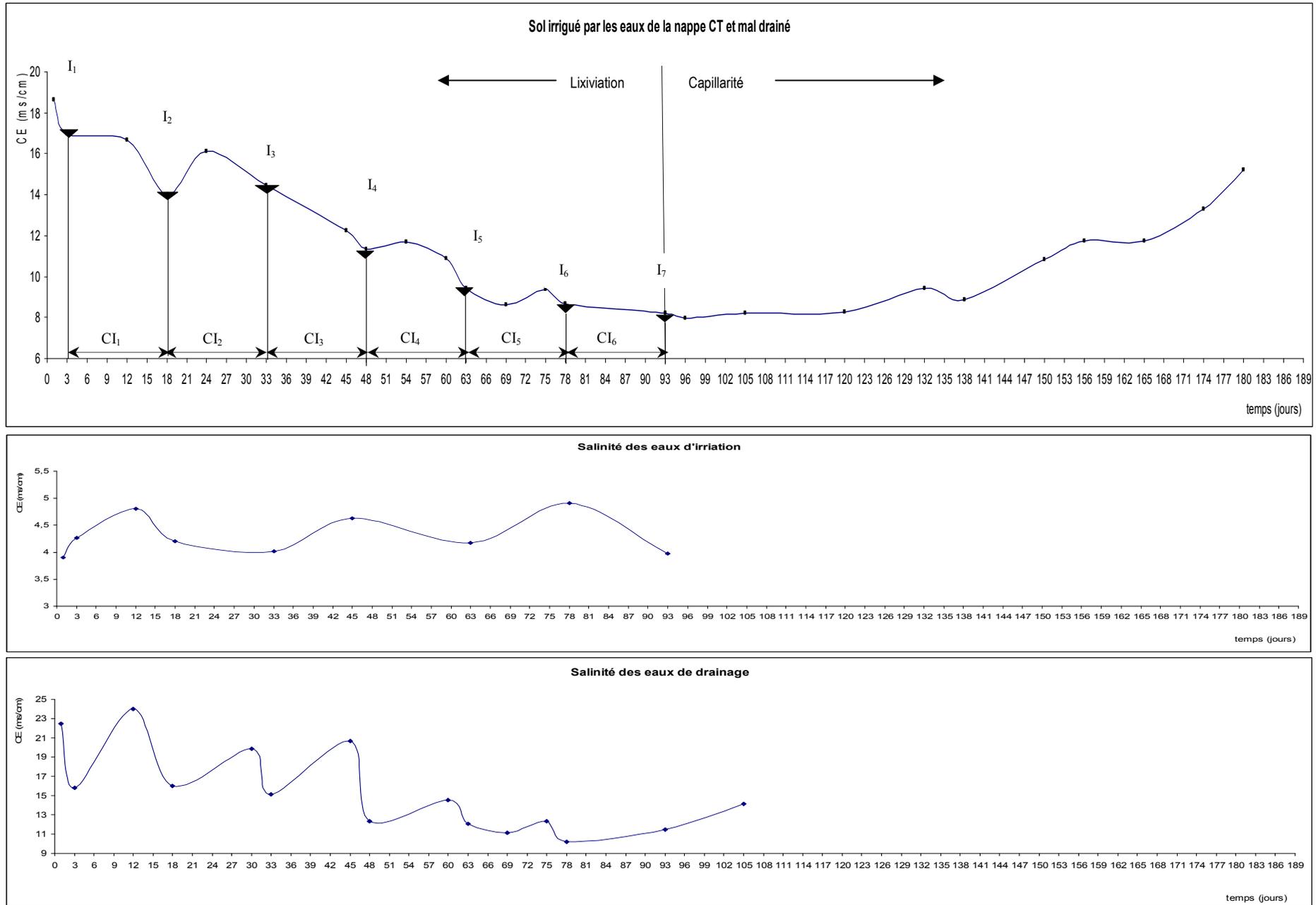


Figure 7.1 : Evolution dans le temps de la salure (CE) de la solution du sol irriguée dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007-20

❖ **Le premier graphe** : il est composé en deux parties :

- Dans une première partie, il apparaît très nettement que la salure du sol diminue très sensiblement dans le temps pour les différentes périodes successives de la saison d'irrigation. La salure de la solution du sol mesurée oscillait entre 8 et 19 ms/cm et toutes les valeurs mesurées de la conductivité indiquent que le sol est très salé. Ceci s'explique par la lixiviation résultant de l'irrigation par planche qui est plus efficace. En règle générale l'efficacité des premières irrigations est plus grande, on atteint ensuite un équilibre plus difficile à déplacer.
- Dans une deuxième partie, la pratique d'irrigation s'arrête directement après la sixième période (cycle) d'irrigation, mais il apparaît ainsi que la salure du sol reste constante dans le temps pendant pratiquement un mois puisque l'eau d'irrigation joue le rôle de lessivage des couches du sol dans les périodes passées. A partir de 120 jours, nous constatons que la salure du sol s'accroît avec le temps. Cette date correspond au début de la mise en valeur de la remontée capillaire qui se produit toujours dans de nombreuses terres basses irriguées ou non, dès que la nappe phréatique se situe à moins de 2 mètres de profondeur. L'eau monte en surface et s'évapore, abandonnant sa charge en sels sur l'horizon superficiel. Les microcristaux de sels brisent mécaniquement la structure des agrégats argilo limoneux en surface du sol [31].

❖ **Deuxième graphe** :

Ce graphe illustre l'évolution de la salure des eaux d'irrigation avec le temps. La conductivité électrique de ces eaux oscillait entre 3.8 et 4.9 ms/cm. La quantification des sels mobilisés dans une parcelle, ou dans un périmètre irrigué (submersion) ou dans les sols aux abords de chott ou de sebkha, nécessite donc le recours aux lois d'équilibre ionique fondamental. Dans tous les cas les quantités de sels mises en jeu sont très importantes. En Tunisie, l'utilisation de 700 millions de m³ d'eau d'irrigation par année introduit dans les sols 2 millions de tonnes de sels. Pour fixer les idées, une épaisseur de 1 mètre de sol de texture moyenne, de salure moyenne (5ds/m, d'extrait à saturation), contient environ 15 tonnes de sels par hectare [5].

Mais une étude de [4] estimait à 800 000 tonnes la quantité de sel accumulée chaque année dans les terres cultivées de l'Oued Righ. Et aussi avec une eau à 5 g de sel par litre et une irrigation de 20000 m³ /an c'est effectivement 100 tonnes à 1 hectare qui restent dans le sol sous le seul effet de l'irrigation [8].

Dans le cas de cette étude, au niveau de la parcelle cultivée par les palmiers-dattiers (secteur choisie N°5), l'utilisation presque de 8700 m³ / an, et une eau de moyenne de 5 g/l de sel, introduit dans le sol environ 43.5 de tonnes de sels.

❖ Troisième graphe :

Ce graphe représente l'évolution dans le temps de la salure des eaux de drainage et aussi dans le même temps le suivi de l'évolution de la salure de l'extrait 1/5 du sol et les eaux d'irrigation pour bien comprendre le phénomène de la salinité des sols sous l'effet d'irrigation et de drainage. Toutes les valeurs mesurées de la conductivité de ces eaux indiquent une minéralisation très élevée car elles sont toutes globalement oscillantes entre 10 et 25 ms/cm. D'après Daniel Dubost., 1991. Quand les eaux d'irrigation quittent la zone racinaire, elles sont de 3 à 10 fois plus concentrées en sels qu'en arrivant. Cette augmentation de concentration dépend de la perméabilité du sol (donc de sa texture) et de son complexe absorbant. Dans notre étude les eaux de drainage sont de 3 à 5 fois plus concentrées en sels que les eaux d'irrigation utilisée. Il apparaît ainsi que la salure de ces eaux diminue en parallèle en début de fonctionnement de la pratique d'irrigation, ceci s'explique par l'infiltration par des fuites ou l'évacuation des excès d'eau d'irrigation directement dans les drains. Il s'accroît directement après la fin de la pratique d'irrigation.

7.2.2 Evolution de la salinité au niveau de la deuxième parcelle.

La Figure 7.2, illustre l'évolution de la salure de la solution du sol irrigué par les eaux de la nappe phréatique de la même parcelle choisie. (Secteur N°4), ainsi que la parcelle non drainée. Dans ce cas l'eau de la nappe phréatique passe par un cycle fermé ; Ce cycle peut être perturbé par l'homme (irrigation, pollution). On peut considérer, arbitrairement, que le cycle d'irrigation commence par le pompage de la nappe phréatique. L'eau parvient à la surface du sol (Irrigation par submersion). Une partie de l'eau retourne vers l'atmosphère par évaporation directe ou par la transpiration des plantes : c'est l'évapotranspiration. Une autre quantité pénètre dans le sol, ce sera l'infiltration. Ce qui referme le cycle de l'eau. Il apparaît très nettement que lorsque la salure des eaux d'irrigation augmente (Oscillait entre 7 et 11 ms/cm) la salure de la solution du sol augmente aussi (CE est dans l'intervalle de 12 à 21 ms/cm). Il est évident qu'on ne peut aller au-delà ! Plus l'eau d'irrigation est minéralisée, plus la quantité de sel laissée dans le sol par l'évapotranspiration est importante (pour une ETP annuelle de 20 000 m³. il se dépose 20 tonnes de sel à l'hectare par gramme de sel dans l'eau d'irrigation) et plus la quantité d'eau nécessaire pour s'en débarrasser sera élevée [8].

Dans la Vallée de l'Oued Righ, sur des sols sablo - limoneux toutes les parties basses, (où se trouve une nappe à moins de 2 m.) sont touchées par les remontées capillaires. Dans ce cas les agriculteurs de la région surélèvent périodiquement leur parcelle avec du sable pour soustraire la surface des palmeraies aux influences de la nappe. D'autres gens pratiquent un amendement très abondant en matière organique sur une couche de sol de 25 cm, sarclée fréquemment, pour casser les remontées capillaires.

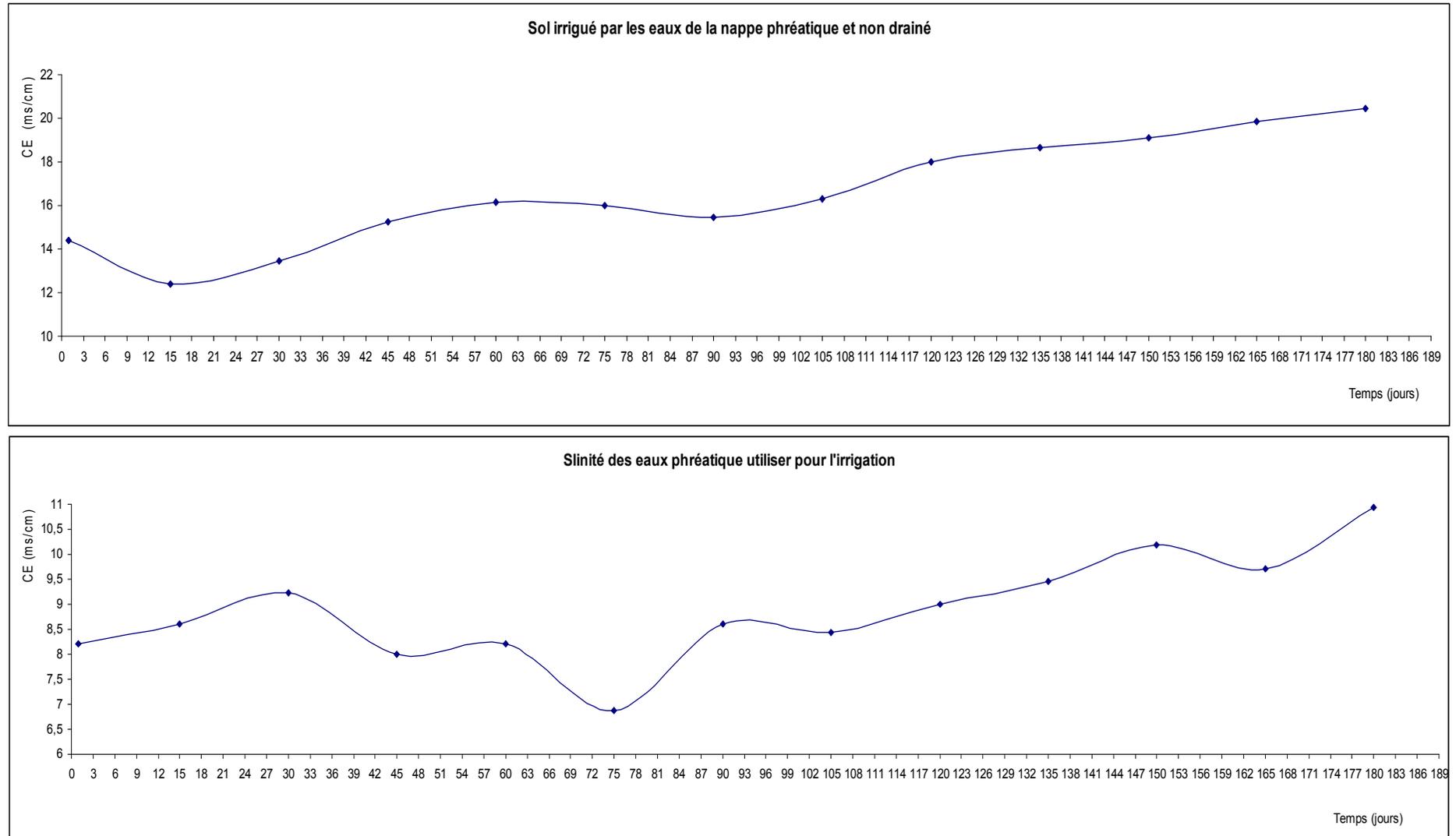


Figure 7.2 : Evolution dans le temps de la salure (CE) de la solution du sol irriguée dans la zone de Sidi Slimane durant la période 2007-2008.

7.3 Les bilans salins à la parcelle

Pour comprendre comment fonctionne un sol salé irrigué, la connaissance de la salinité du sol à un moment donné ne suffit pas. Il faut pouvoir déterminer les tendances à la salinisation ou à la désalinisation du sol. Cela se fait par l'étude des bilans salins du système hydrologique constitué par le sol, sa nappe phréatique, son système de drainage et son système d'alimentation en eau.

Dans une équation de bilan, on exprime que durant un intervalle de temps donné, la variation des stocks de sels dans le sol est égale à la somme algébrique des apports de sels par l'eau d'irrigation, moins celle des exportations par la nappe et le drainage [5]. Dans notre étude et pour suivre un bilan salin nous avons choisi 4 saisons d'irrigation durant la période 2007 – 2008, en même temps deux parcelles différentes : l'une terre nue représentée par le piézomètre N°9 et l'autre terre cultivée, au voisinage du piézomètre N° 2 et N° 6 à Sidi Slimane.

Pour répondre à l'évolution et les variations du bilan des suivis salins et à cet effet nous proposons des différentes relations comme suit :

- Relation entre la salure des eaux de la nappe phréatique et sa profondeur.
- Relation entre la profondeur de la nappe phréatique et la salure de la solution du sol (à différente couche).
- Relation entre la salinité des eaux et la salinité des sols.
- Deux cartes de la salinité des eaux de la nappe phréatique (isohyaline)

7.3.1 Bilan salin à la parcelle non cultivée

Les résultats obtenus dans cette parcelle sont représentés dans les Figures 7.3.1 et 7.3.2.

7.3.1.1 Variation de la salure des eaux de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur

La Figure 7.3.1 et 7.3.2, représentent la variation de la salure des eaux de la nappe phréatique (CEnp) en fonction de sa profondeur. Les résultats obtenus des travaux réalisés sur l'aire d'étude (huit piézomètres sur le long du canal de l'Oued Righ) montrent qu'il existe une très bonne corrélation entre les deux paramètres, et donnent des coefficients de détermination oscillant entre 0.54 et 0.81 pour une relation de type $y = a \ln x + b$, c'est – à dire la salure des eaux de la nappe phréatique s'accroît au fur et à mesure que la profondeur des eaux de la nappe phréatique se rapproche de la surface du sol sauf dans le cas au niveau du piézomètre P17 à Bouffegoussa qui donne un coefficient de détermination $R^2 = 0.42$ Cela explique le fait que le nuage de points est moins allongé (la dispersion des points est marquée) et aussi qu'il existe un écoulement graduellement varié (Remous), [32].

La présence d'une singularité dans ce point du canal de l'Oued Righ provoque une modification de la surface libre, en même temps le piézomètre P17 situé à une distance de 2 m au canal de l'Oued Righ.

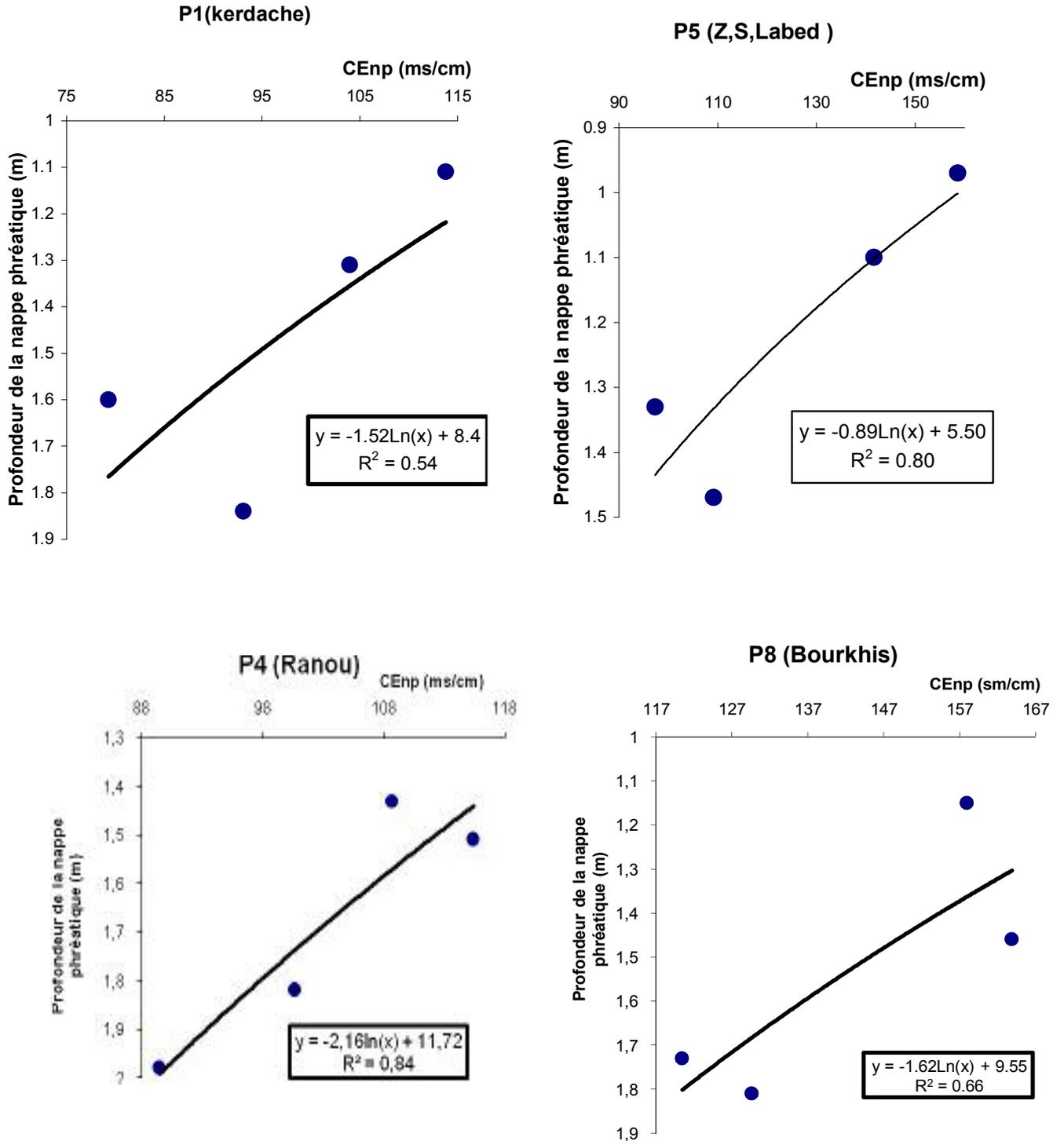


Figure 7.3.1 : Variation de la salure des eaux de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur (Terrains nus).

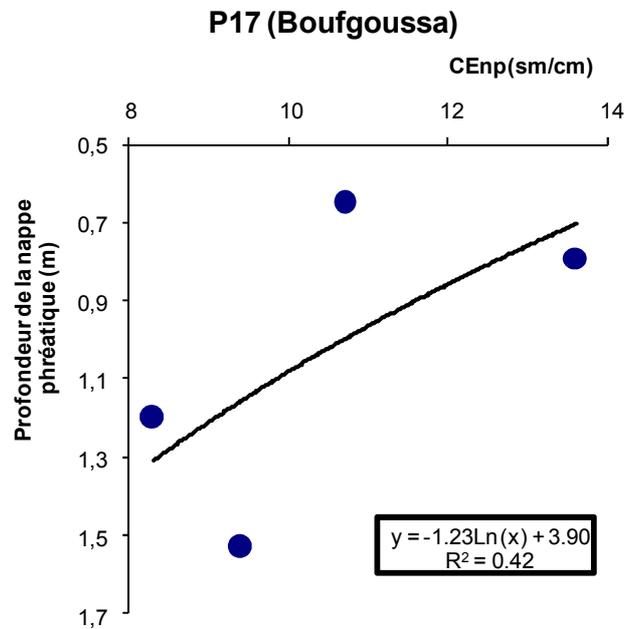
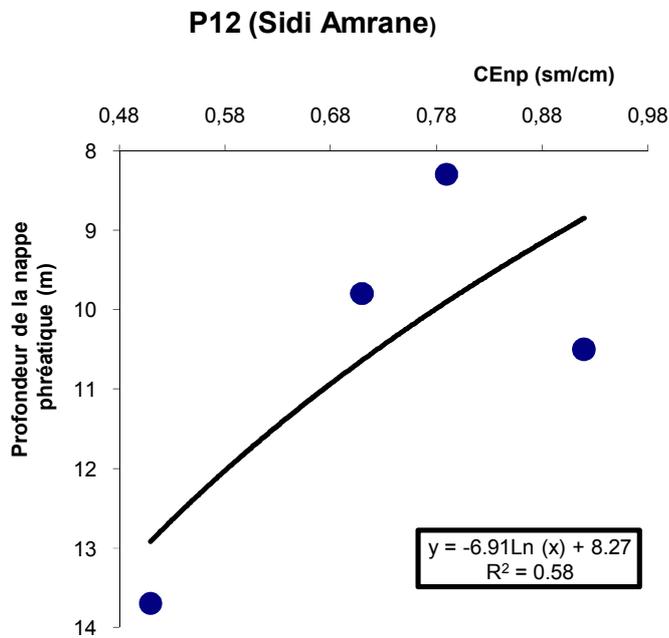
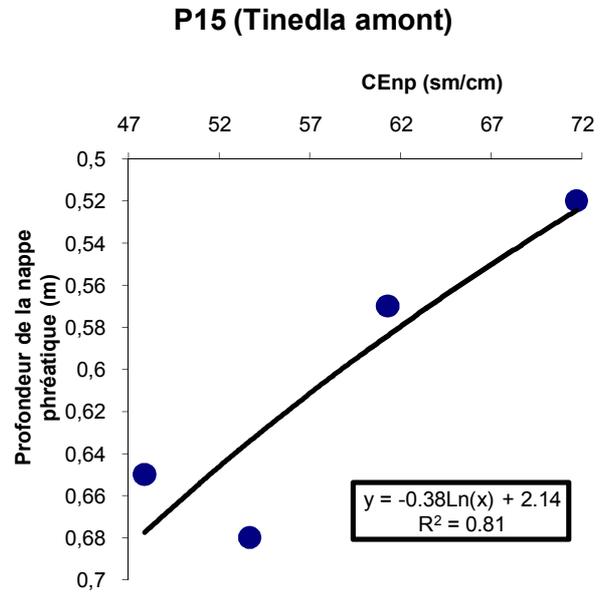
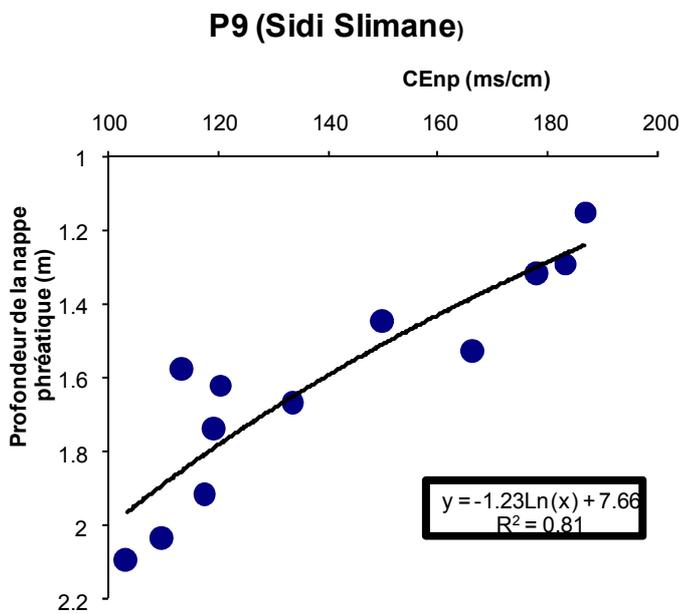


Figure 7.3.2 : Variation de la salure des eaux de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur (Terrains nus).

7.3.1.2 Carte de la salinité (Isohyaline)

La carte isohyaline (iso – conductivité électrique) établie pour les parcelles à terre nue (Figure 7.4) montre que :

En général la salinité diminue du Sud vers le Nord, en parallèle avec le sens d'écoulement de la nappe phréatique.

- Par contre dans la zone de Touggourt au Sud de la vallée, la salure des eaux s'accroît du Sud vers le Nord entre les stations (Kerdache et Sidi Slimane)
- La répartition spatiale de la salure sur l'ensemble de la vallée se présente comme suit :
 - 10 à 60 ms/cm au Nord et au milieu de la vallée entre (Sidi Amrane et Boufegoussa). Cela s'explique par le fait que la majorité de ces piézomètres sont situés très proche du canal principal.
 - 97 – 145 ms/cm au Sud et au centre de la vallée. Ceci s'explique par l'implantation de ces piézomètres dans les zones salines. Dans ce cas les eaux de la nappe phréatique se caractérisent, généralement par une salinité très élevée.

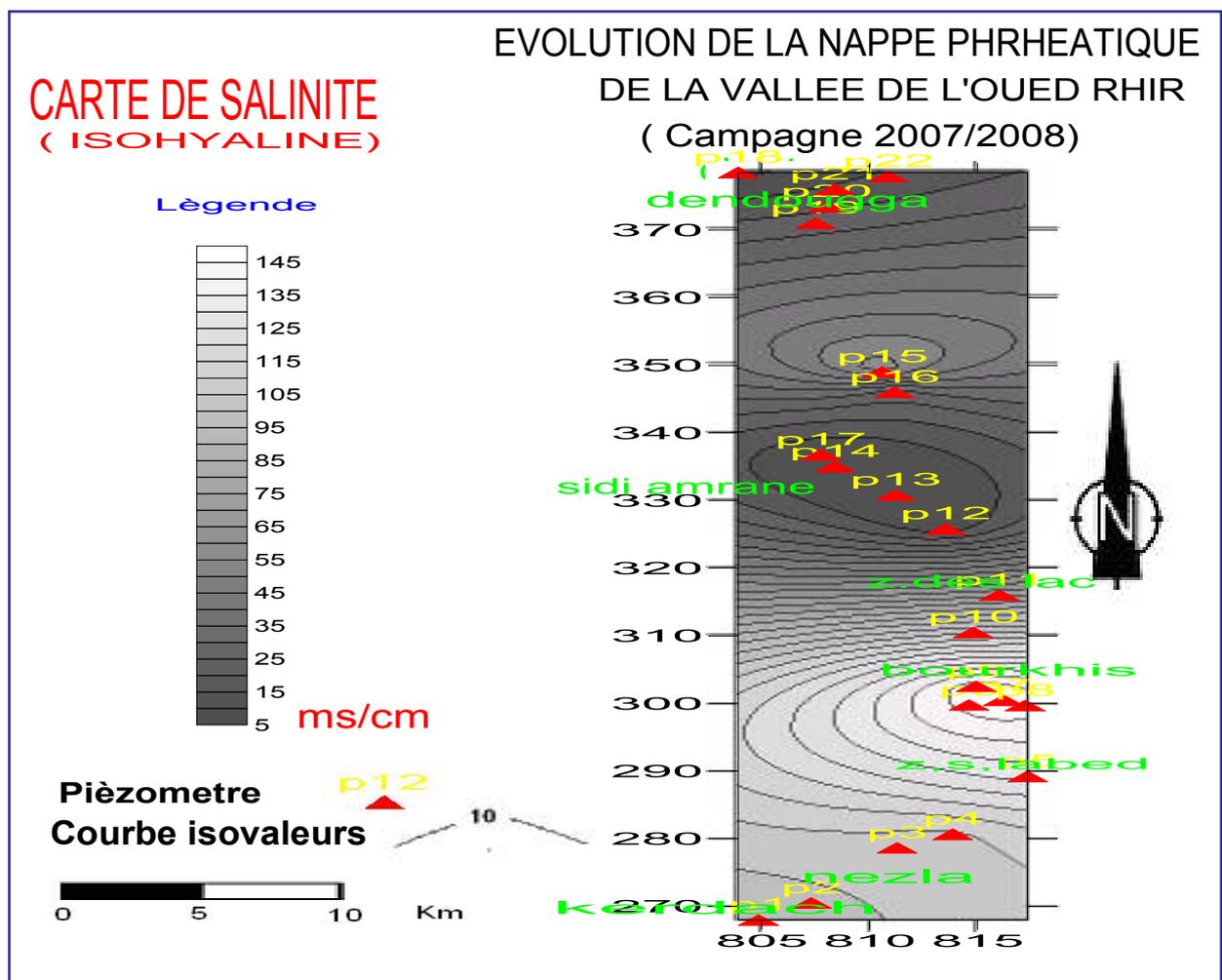


Figure 7.4 : Carte de salinité de la nappe phréatique (ISOHYALINE) de la vallée de l'Oued Righ durant la période : 2007-2008.

7.3.1.3 Variation de la salure des couches du sol en fonction des profondeurs des eaux phréatiques

- Une analyse graphique (Figure 7.5) de la salure des couches du sol en fonction de la profondeur de la nappe phréatique au niveau de la première couche superficielle ($P_9 - H_1$) donne un coefficient de détermination ($R^2 = 0.77$) et montre qu'il existe une bonne corrélation entre les deux paramètres ; la salure du sol s'accroît au fur et à mesure que la profondeur des eaux de la nappe phréatique se rapproche de la surface du sol. Par contre la diminution de la salure du sol devient significative à partir d'une profondeur supérieure à 1.2 m, nous paraît que la fluctuation de la salure du sol dans l'intervalle de 10 à 55 mg/cm et lorsque le niveau des eaux phréatiques est dans la tranche 1 à 1.6 m. Ceci s'explique par l'influence du niveau de la nappe phréatique sur la salinisation du sol
- Sur la même Figure, et au niveau des deux horizons du sol (P_9, H_2 et H_3), nous paraît très nettement l'indépendance entre les deux paramètres

$$(R_2^2 = 0.271, R_3^2 = 0.104).$$

7.3.1.4 Variation du rapport des concentrations – sol / nappe en fonction de la profondeur de la nappe.

La Figure 7.6, illustre la variation du rapport de la salure dans les couches de sol et des eaux de la nappe phréatique en fonction de la profondeur h_{np} , et montrent que :

- Au niveau du premier horizon ($P_9 - H_1$), l'analyse des résultats de toute la campagne de mesures a révélé que sur la profondeur de 0 à 2.2 m, la concentration réduite $\bar{C}_m = \frac{C_m}{C_{np}} > 0,1$. Le rapport de la salure (La teneur en sel), s'accroît au fur et à mesure que la profondeur des eaux de la nappe phréatique se rapproche de la surface du sol. Nous constatons que la diminution devient significative à partir d'une profondeur supérieure à 1.2 m. Cette diminution montre aussi qu'il existe une très bonne corrélation ($R^2 = 0.73$) entre les deux paramètres.
- Mais au niveau des deux horizons ($P_9 - H_2$ et H_3), la mise en graphique montre qu'il n'existe aucune dépendance fonctionnelle entre les deux paramètres.

$$(R_2^2 = 0.271, R_3^2 = 0.104).$$

7.3.1.5 Variation du rapport des concentrations – sol / nappe en fonction du rapport des profondeurs.

Pour compléter cette hypothèse, la Figure 7.7, représente la variation du rapport des concentrations sol / nappe noté \bar{C}_m en fonction du rapport des profondeurs $\bar{L} = \frac{h}{h_{np}}$. Les

résultats obtenus indiquent une corrélation satisfaisante ($R_1^2 = 0.799$) au niveau de la première tranche du sol. Mais au contraire au niveau (P_9, H_2 et H_3) la mise en graphique montre qu'il n'existe aucune dépendance fonctionnelle entre les deux paramètres et donne un coefficient de détermination :

$$(R_2^2 = 0.4, R_3^2 = 0.25).$$

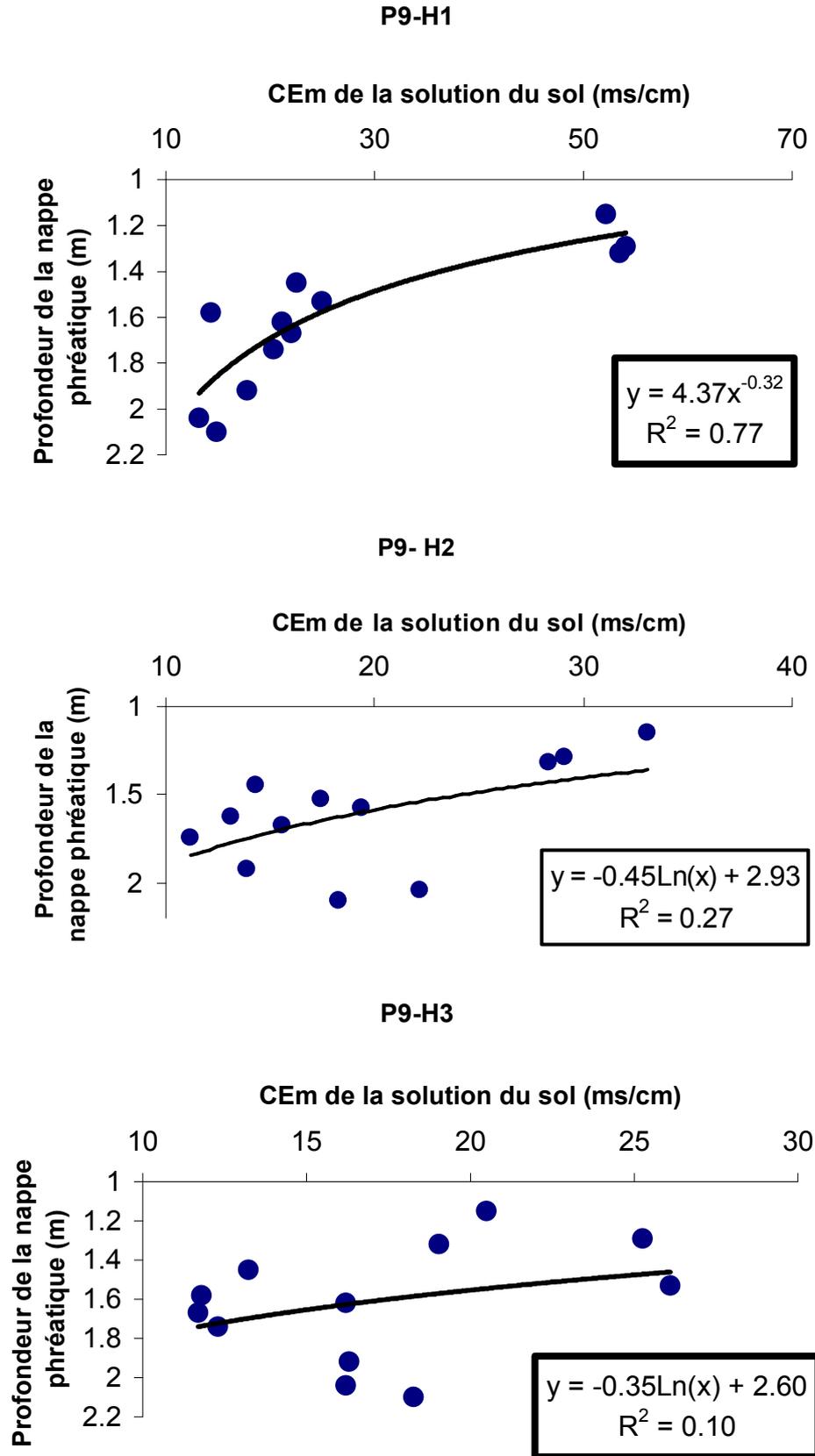


Figure 7.5 : Variation de la CEm de la solution des couches du sol en fonction de la profondeur de la nappe phréatique (terrain nu).

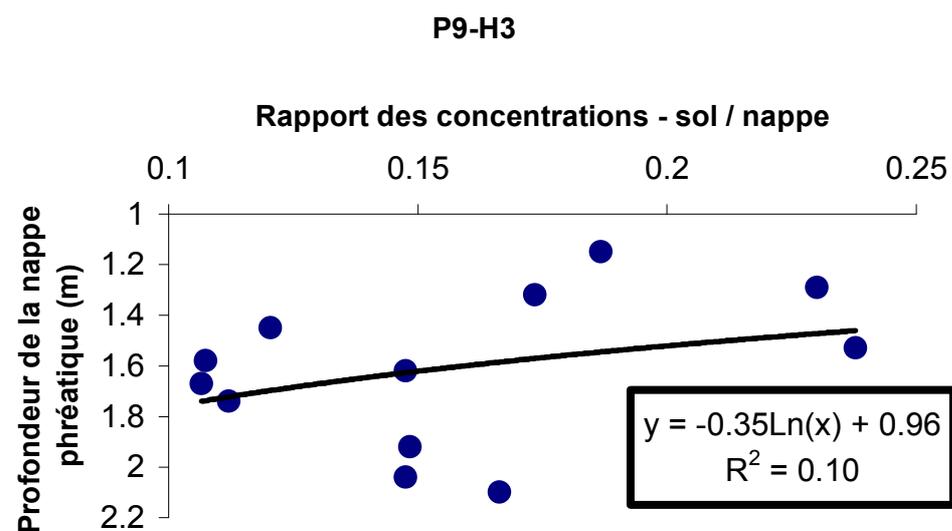
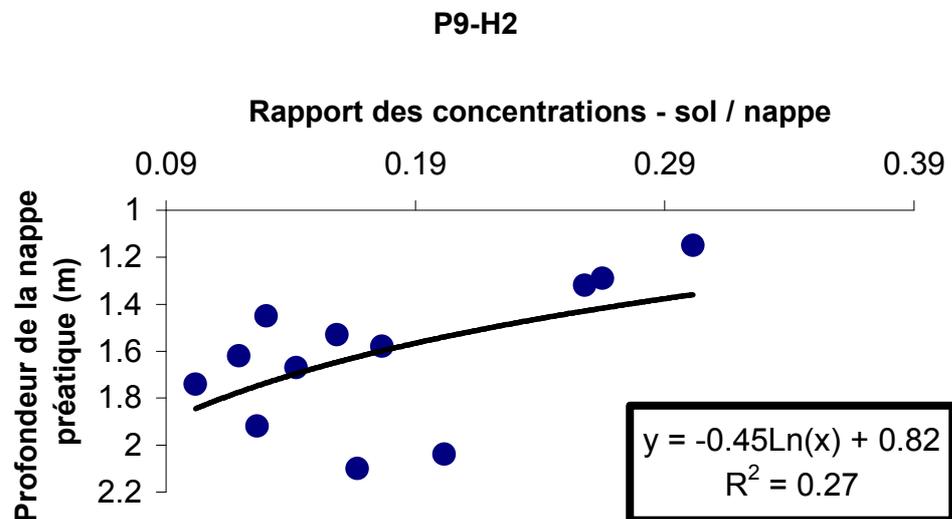
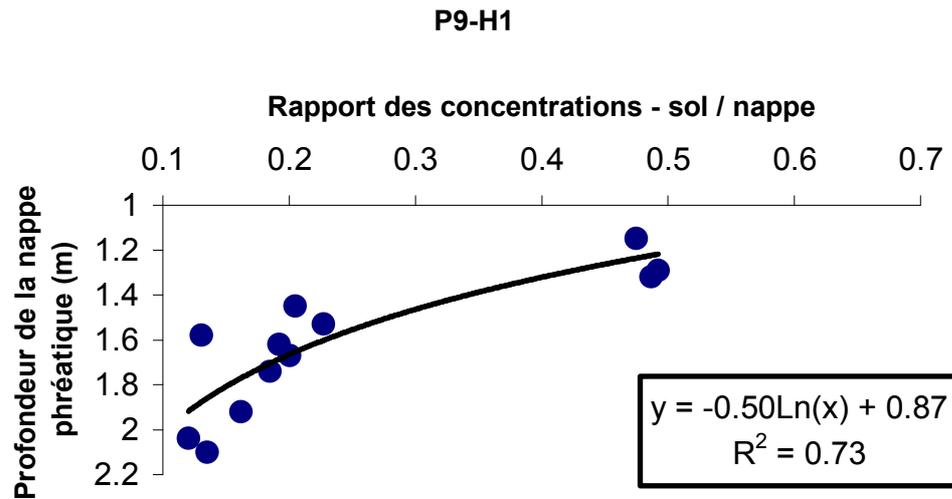
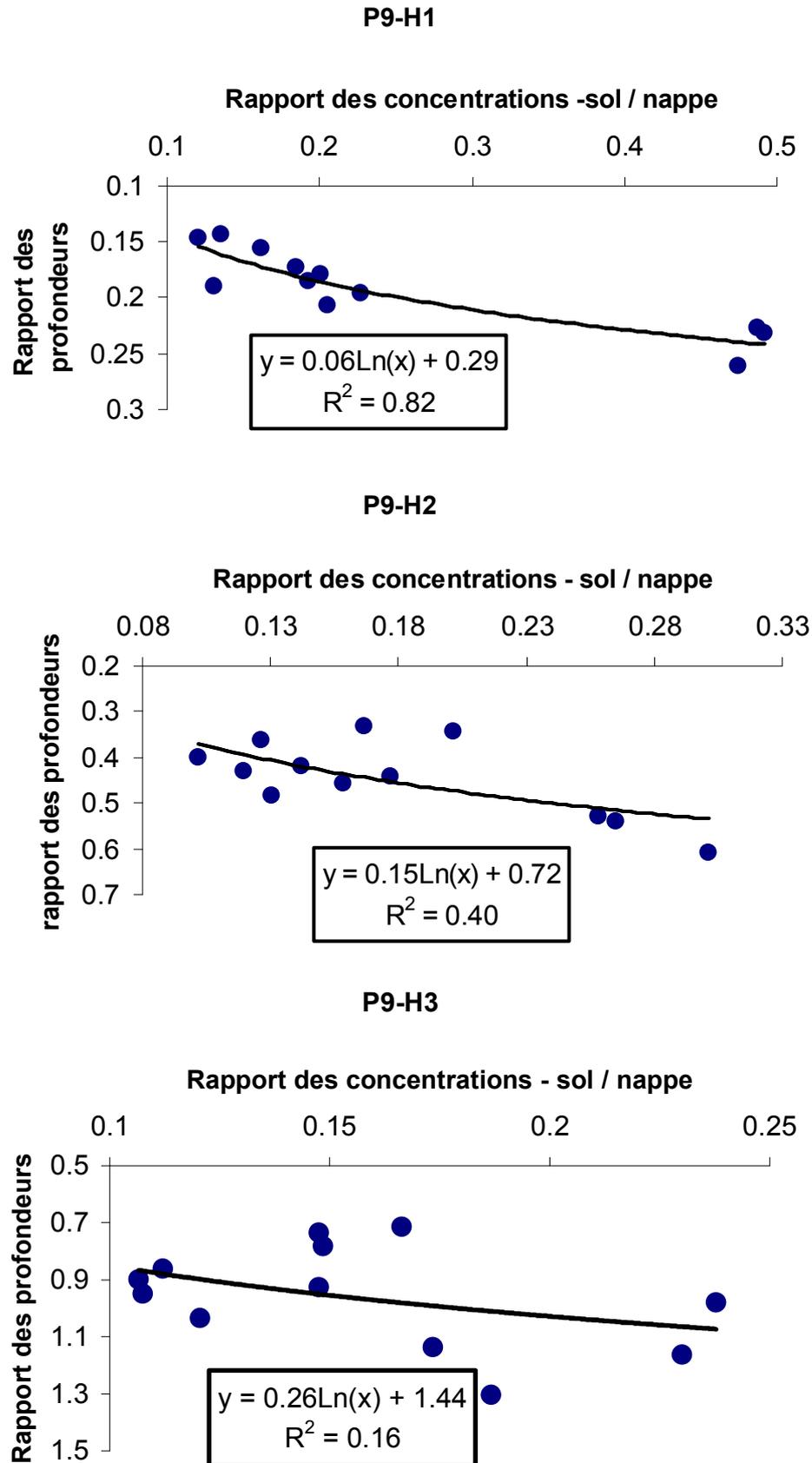


Figure 7.6 : Variation du rapport de la concentration de la solution des couches du sol et des eaux de la nappe phréatique en fonction des profondeurs de ces eaux (terrain nu).



Figureue 7.7 : Variation du rapport de la concentration de la solution des couches du sol et des eaux de la nappe phréatique en fonction du rapport des profondeurs de ces eaux (terrain nu).

7.3.2 Bilan salin dans la parcelle cultivée

Pour donner encore plus de poids à cette hypothèse, nous avons effectué une même étude sur une parcelle cultivée qui a été divisée en deux terres à différentes caractéristiques :

- Secteur N°6 : C'est un terrain cultivé, irrigué par les eaux de drainage (retours d'irrigation) et mal drainé.
- Secteur N°2 : c'est un terrain cultivé irrigué par les eaux de la nappe profonde CI, et bien drainé.

Les résultats obtenus dans les deux secteurs sont représentés dans les Figures.7.8 et 7.10.

7.3.2.1 Variation de la CE des eaux de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur

- Dans le secteur N°6, La Figure 7.8, représentant la variation de la salure des eaux de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur, montre qu'il existe une bonne corrélation entre les deux paramètres ($R^2 = 0.69$) ; La salure des eaux diminue, avec l'augmentation de sa profondeur. Cette diminution devient significative à partir d'une profondeur supérieure à 1 m. Il apparaît ainsi que la salure des eaux de la nappe phréatique C_{np} est dans l'intervalle de 6.2 et 9.2 ms/cm et lorsque le niveau des eaux h_{np} est dans la tranche 1 à 2.2 m.
- Par contre dans le secteur N°2, la mise en graphique montre qu'il n'existe aucune dépendance fonctionnelle entre les deux paramètres (C_{np} , h_{np})($r = -0.18$). Ceci s'explique par la perturbation où il y avait un déséquilibre entre la capacité d'eau apportée (eau d'irrigation) qui alimente la nappe phréatique directement après la pratique d'irrigation et celle évacuée par le drainage. Cette situation a contribué à la suralimentation et la fluctuation de la nappe phréatique par le biais du niveau et la salure des ces eaux.

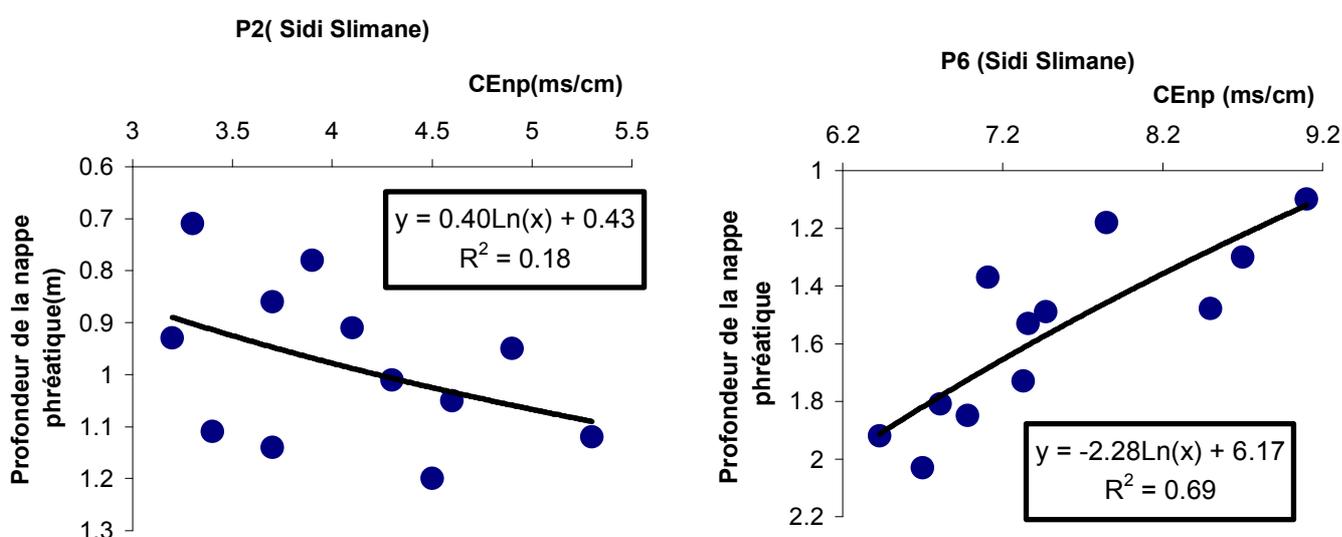


Figure 7.8 : Variation de la CE des eaux de la nappe phréatique en fonction de sa profondeur (terrain cultivé).

7.3.2.2 Carte de la salinité des eaux phréatiques

Les résultats d'analyse des échantillons d'eau prélevés lors de la campagne de mesures et d'observation ont permis d'établir une carte de salinité (Figure 7.9) .

Dans le site expérimental à Sidi Slimane (terrain cultivé), les eaux de la nappe se caractérisent généralement par une salinité très élevée de type chloruré - sodique .Dans certains temps l'accroissement de la salinité suit le sens de l'écoulement des eaux de la nappe phréatique (lessivage latéral) mais influencée par la qualité des eaux d'irrigation.

Au voisinage du piézomètre P₄ (7.5 à 10.3 ms/cm) localisé à l'est du canal de l'Oued Righ, au niveau du secteur N° 2, elle présente une salinité comprise entre 3.2 et 5.3 ms/cm . En fin, la teneur en salinité des chotts et sebkhas au voisinage du canal de l'Oued Righ oscille entre (100 et 190 ms/cm).

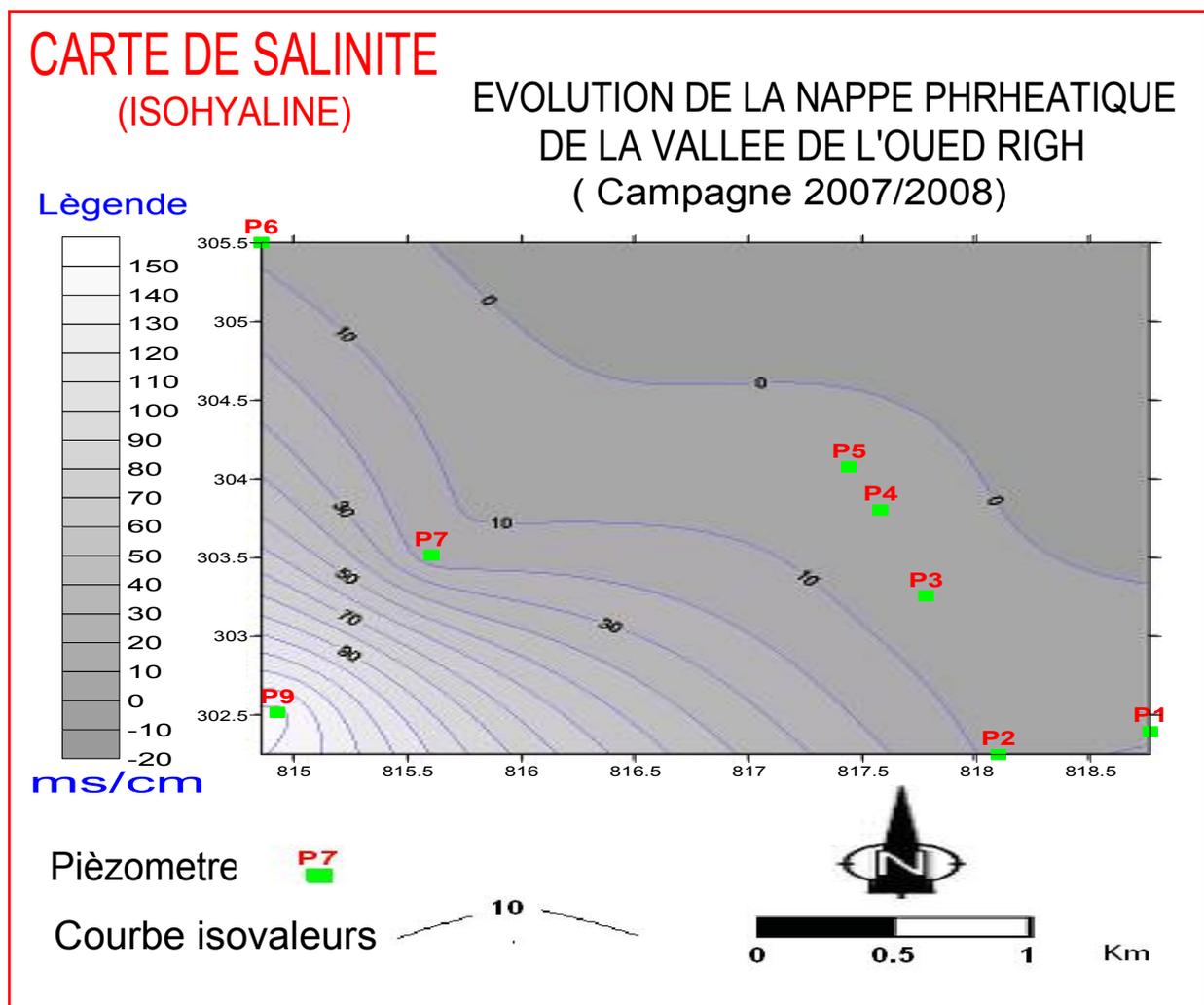


Figure.7.9 : Carte de salinité de la nappe phréatique (ISOHYALINE) ; dans la zone de Sidi Slimane durant la période : 2007-2008.

7.3.2.3 Variation de la salure de la solution du sol en fonction de la profondeur de la nappe

La principale difficulté dans l'étude du bilan salin d'un périmètre irrigué vient du fait que chaque agriculteur, ou chaque responsable d'un module d'irrigation, applique des doses d'eau différentes, et gère ses sols indépendamment des ses voisins. Le calcul devrait donc être fait à l'échelle de l'agriculteur. Ce n'est pas possible, car chaque parcelle n'est pas un sous système hydrologique indépendant. La nappe phréatique est commune à l'ensemble du périmètre irrigué.

La Figure 7.10, représente la variation de la salure de la solution du sol en fonction de la profondeur de la nappe phréatique durant la période 2007-2008 au niveau de la parcelle cultivée ($P_2 - H_1, H_2, H_3$: couches du sol). Nous constatons qu'il n'existe aucune dépendance fonctionnelle entre les deux paramètres et ce qui donne des coefficients de détermination R^2 qui oscillent entre 0.04 et 0.17; ceci s'explique par l'utilisation des eaux d'irrigation de la nappe profonde (CT) de qualité moins salée. Et aussi la perturbation des niveaux de la nappe phréatique; ce qui explique l'existence d'un déséquilibre entre le chargement de la nappe phréatique (par la pratique d'irrigation) et le déchargement par la pratique du drainage. Cela explique le fait d'efficacité du lessivage par ces eaux d'irrigation. Par contre au niveau de la parcelle cultivée ($P_6 - H_1$), la mise en graphique donne une très bonne corrélation ($R = - 0.77$), et montre que lorsque le premier augmente la deuxième diminue; ceci s'explique par l'utilisation des eaux de mauvaise qualité pour l'irrigation et l'inefficacité de système de drainage. Aussi l'abandon des sols salés s'accompagne souvent de remontées capillaires qui stérilisent la surface des sols. Au contraire dans les deux couches (H_2 et H_3) donne des coefficients de détermination ($R_2^2 = 0.006, R_3^2 = 0.0007$) montre qu'il n'existe aucune dépendance fonctionnelle. Généralement il apparaît très nettement la même remarque pour les mêmes relations d'étude. (Figure 7.11 et 7.12).

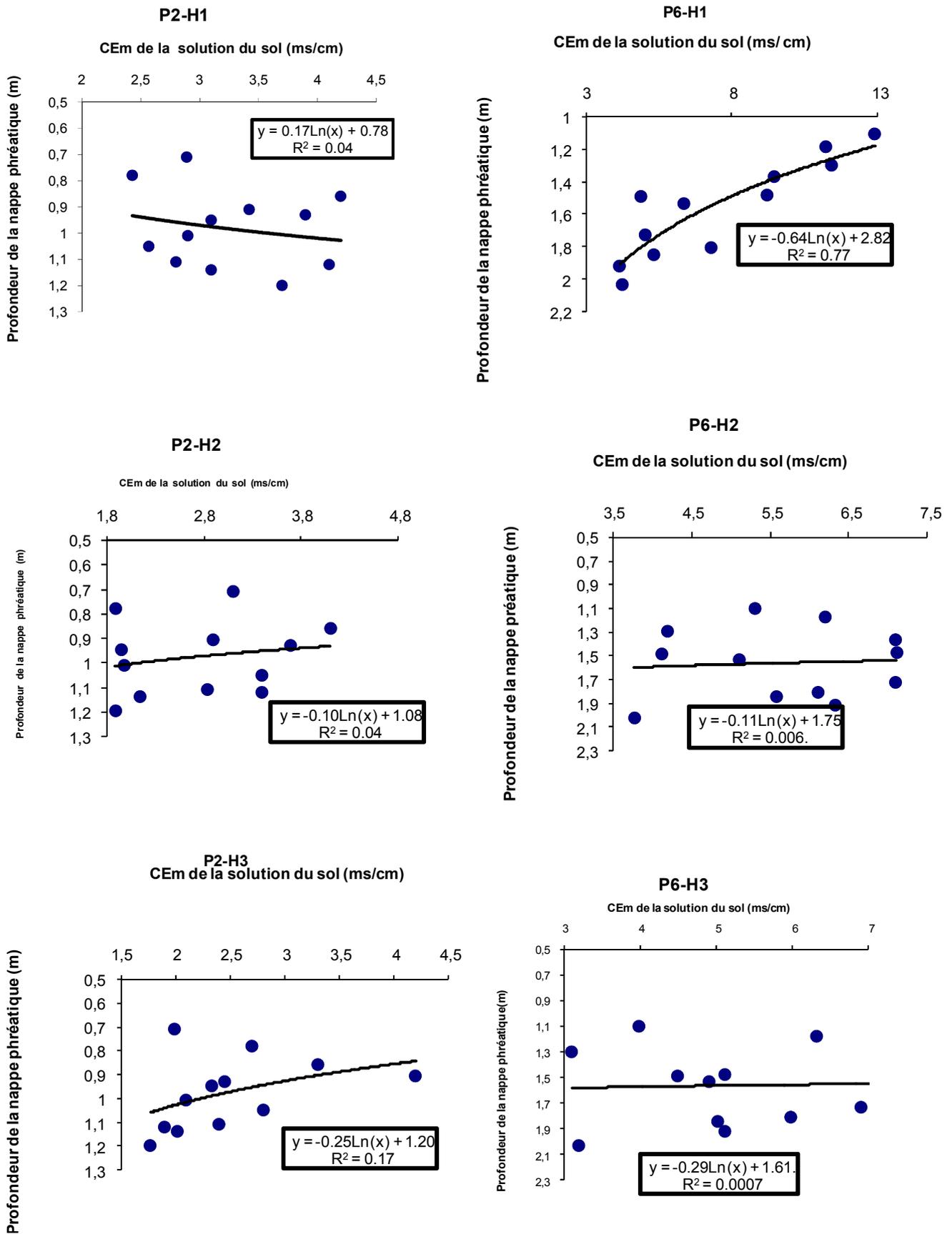


Figure 7.10 : Variation de la CEm de la solution des couches du sol en fonction de la profondeur de la nappe phréatique (terrain cultivé).

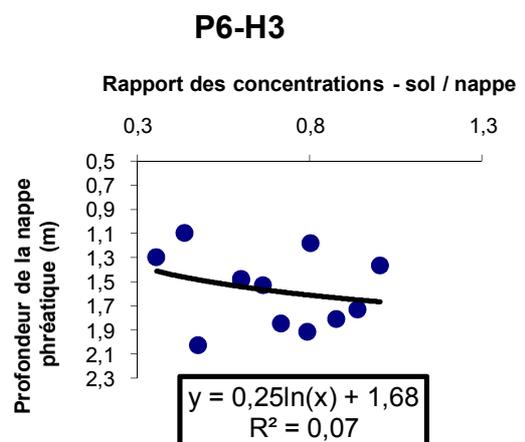
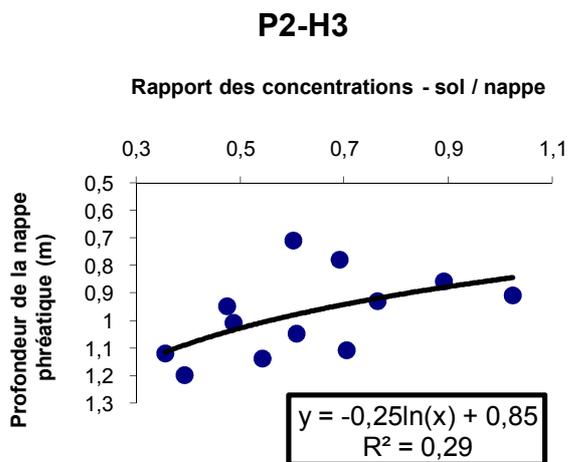
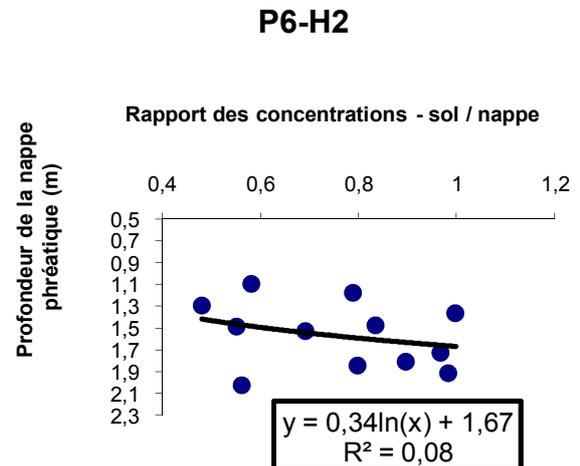
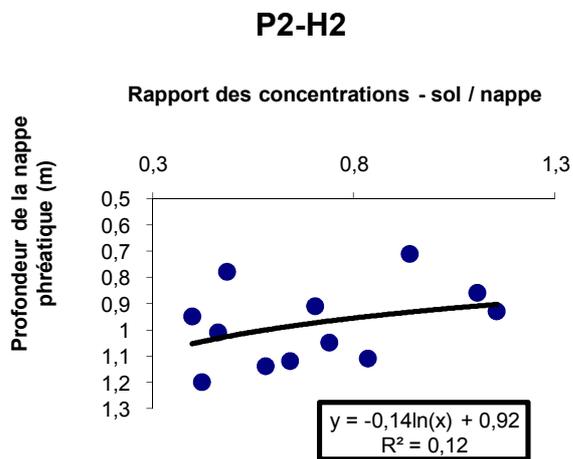
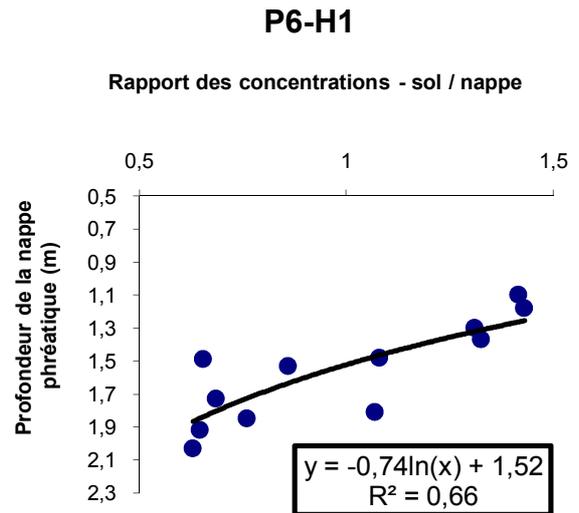
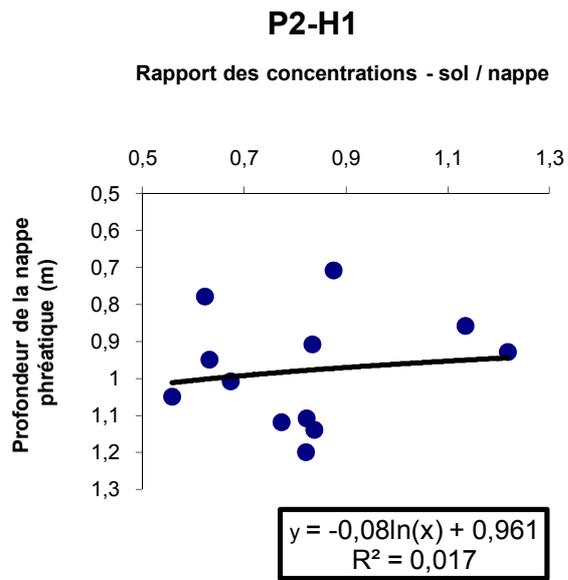


Figure 7.11 : Variation du rapport de la concentration de la solution des couches du sol et des eaux de la nappe phréatique en fonction des profondeurs de ces eaux (terrain cultivé).

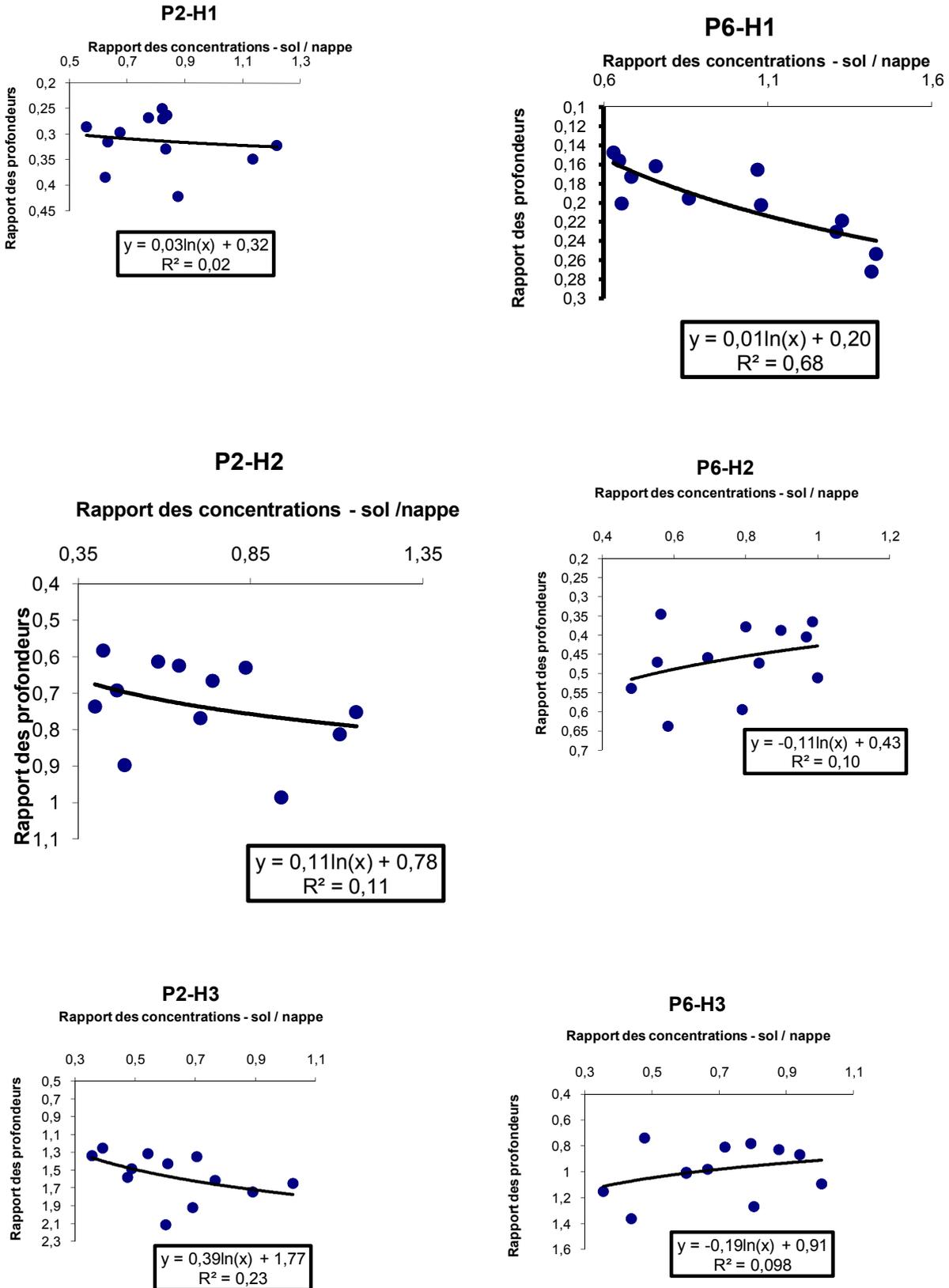


Figure 7.12 : Variation du rapport de la concentration de la solution des couches du sol et des eaux de la nappe phréatique en fonction du rapport des profondeurs de ces eaux (terrain cultivé).

7.4 Conclusion

Dans de nombreuses parcelles, la justification principale du drainage est le risque de salinisation des sols, la question qui se pose : En quoi le drainage par fossés peut-il apporter un remède à ce risque ?

La salinité du sol de la parcelle cultivée et irriguée par les eaux de la nappe CT et mal drainée diminue après chaque irrigation (cycle d'irrigation). Cela est dû à la lixiviation des sels par l'eau de l'irrigation. Ce sel augmente à nouveau entre les pratiques d'irrigation ou/ et l'arrêt de cette pratique. Par suite d'une remontée capillaire des eaux phréatiques par contre dans les palmeraies non drainées et irriguées par les eaux de la nappe phréatique, on enregistre une augmentation de la salinité et le niveau hydrostatique de la nappe fluctue en fonction des saisons d'irrigation.

Il est à remarquer également qu'il existe une relation très étroite entre la nappe phréatique – le sol – la salinité

Dans les terrains nus, les terrains non drainés et/ou mal drainés la salure de la solution du sol s'accroît au fur et à mesure que la profondeur des eaux de la nappe phréatique se rapproche de la surface du sol et la minéralisation de ces eaux diminue en fonction de sa profondeur.

Dans certains endroits de la région (Sidi Slimane) la salure de la solution du sol peut dépasser les 50ms/cm.

CONCLUSION

La vallée de l'Oued Righ est une Oasis connue par la très bonne qualité de ses dattes présentant presque les mêmes conditions pédoclimatiques, hydrogéologiques, et socioéconomiques que les autres régions sahariennes. Aujourd'hui le problème le plus urgent réside dans l'inefficacité du réseau de drainage et par conséquent la stagnation des eaux de drainage, et l'accélération de la remontée de la nappe phréatique dans les palmeraies provoquant l'accumulation des sels nuisibles et la suffocation des palmiers – dattiers.

La résolution de ce problème et le remède économique, à notre sens, n'était cependant pas suffisant sans prévoir le réaménagement des palmeraies dans la vallée, et la réalisation d'une opération d'aménagement du grand canal collecteur principal de l'Oued Righ.

Dans cette optique, notre étude porte sur l'impact de l'Oued Righ sur le drainage des eaux d'irrigation des palmeraies avoisinantes.

L'état actuel du canal connaît une dégradation continue, qui risque de remettre en cause le rôle important de cet exutoire principal de la vallée. Plusieurs tronçons de l'Oued sont déjà ou rapidement envahis par la végétation qui réduit les capacités d'écoulement. La dégradation des berges peut être accentuée lorsque les eaux de drainage sont utilisées, notamment pour abreuver le bétail surtout au niveau de Sidi Amrane.

Au fonctionnement du canal qui n'a jamais été très performant surtout en amont, s'ajoute d'autres problèmes : le colmatage et l'obstruction du canal dont le gabarit a demeure longtemps modeste. Mais il reste qui la richesse de cette région.

L'Oued Righ possède plusieurs caractéristiques très importantes qui sont rarement trouvées dans les autres régions à climat aride ou semi – aride dans le monde. De ce point de vue on peut dire: l'Oued Righ assure particulièrement le système de drainage dans la région, considéré comme un canal collecteur en terre à ciel ouvert qui s'étale sur une longueur de 136 Km, de la localité de El Goug au Sud jusqu' à son exutoire naturel aux chotts Mérouane et Melghir au Nord. Le canal fait transiter un débit de 4.5 m³/s à 5 m³/s environ, soit environ 142 à 158 millions de m³/an. Cette valeur présente presque 30% de la production des eaux des nappes profondes dans la vallée, par un écoulement permanent et continu tout au long de l'année.

La quantité de sel mise en jeu est très importante, elle introduit dans le même exutoire naturel environ 1.2 à 2.4 million de tonnes de sels par année. Les eaux du canal sont excessivement salée, très dures, légèrement basiques et de faciès chimique globale hyperchlorurées sodiques; donc ces eaux du canal sont très déconseillées pour l'irrigation. L'Oued joue ainsi le rôle d'entraînant des équilibres écologiques et les préservations des écosystèmes dans la région. De grandes différences se montrent entre les quantités d'eau des forages desservant les palmeraies, présentant des différences aussi à l'intérieur des palmeraies.

La différence est plus accentuée entre les palmeraies alimentées des forages exploitant la nappe de CI et de CT.

Les eaux de CT varient entre 4 à 7 ms/cm qui représentant une qualité du médiocre au mauvais ; Exclure les plants sensibles et les sols lourds, utilisable avec beaucoup de précautions dans les sols légers, bien drainés avec doses de lessivage.

La conductivité électrique des eaux de CI varie entre 2.5 à 4 ms/cm – qui représenté une bonne qualité pour l'irrigation. Mais les eaux de la nappe phréatique et les eaux de réutilisation des eaux de drainage. Dépasse 5 ms/cm qui représenté une qualité très déconseiller pour l'irrigation.

La nappe phréatique est omniprésente presque dans la majorité des palmeraies et à leurs environs. La profondeur de cette nappe variable selon l'efficacité du drainage et la fréquence des irrigation, est généralement faible, très souvent entre 0.4 m sur presque tout le long de la vallée. Le niveau le plus proche du sol entre 0.2 à 0.4 m se situe dans les zones de Sidi Slimane, Dendouga, Tinedla, tandis que les niveaux les plus profonds se trouve entre 1.5 à 2.20 dans les terrains nus.

L'évolution saisonnière et spatiale de la salure de la solution du sol et des eaux de la nappe phréatique sous l'effet de la fluctuation de la profondeur de la nappe, l'évapotranspiration, des apports et la qualité des eaux d'irrigation dans un site à terrain nu et l'autre à terrain cultivé a montré :

- Dans la parcelle cultivée et irriguée par les eaux de la nappe CT et mal drainée a montré qu'il y a une diminution de la salinité après les pratiques d'irrigations due à la lixiviation des sels par l'eau d'irrigation.
- Dans la parcelle cultivée et irriguée par les eaux de la nappe phréatique et non drainée a montré qu'il y a une augmentation de la salinité du sol sous l'effet de la remontée capillaire des eaux phréatique.
- d'après les résultats de ce travail la dynamique des sels est influencée dans la parcelle cultivée par la lixiviation (saison d'irrigation), la remontée capillaire et l'évapotranspiration, dans la parcelle non cultivée la dynamique des sels est influencée en plus de la remontée capillaire.
- plus l'eau d'irrigation est minéralisée. Plus la quantité de sel laissée dans le sol par l'évapotranspiration est importante.
- Généralement dans les terrains nus (Sebkhas) entre la station Kerdache et Sidi Slimane, la salure des eaux de la nappe phréatique varie entre (75 et 200 ms/cm) et diminue en fonction de sa profondeur. Cette diminution devient significative à partir d'une profondeur supérieure à 1.2 m par contre, la salure des ces eaux entre la station Sidi Amrane et Boufegoussa varie entre (5 et 75 ms/cm) et diminue en fonction de sa profondeur. Cette diminution devient significative à partir d'une profondeur supérieure à 0.5 m.
- Dans la zone de Sidi Slimane, le cumul des sels soluble dans la tranche de sol de (0 - 0.3 m) à terrain nu, diminue fortement lorsque le niveau des eaux de la nappe est à 1.8 – 2.20 m. et la teneur en sel s'accroît au fur et à mesure que la profondeur des eaux de la nappe phréatique s'approche de la surface du sol.

Enfin, «Last but not least», la salinité des sols est donc un phénomène général à la surface du globe, «la salinisation»est toujours un problème préoccupant .il faut l'envisager dès le début du programme d'irrigation, en particulier en prévoyant un bon système de drainage. La problématique de la remontée des eaux et du drainage est à prendre de façon sérieuse dans la région si l'on veut éviter une éventuelle catastrophe. Le rejet des eaux de drainage dans le réseau hydrographique, met en péril l'écologie à l'aval du périmètre et cause des problèmes de santé publique. Pour un développement durable, il faudrait veiller à la préservation des écosystèmes et l'implantation des réseaux piézométriques de surveillance. Les eaux de la nappe CT qui sont chargées de sel, seront mélangées avec les eaux de la nappe CI de bonne qualité, où un débit fictif continu plus élevé sera employé afin d'éviter l'accumulation du sel.

On est dans l'obligation de prendre comme profondeur optimale de maintien des eaux de la nappe à 1.8 – 2.20 m et par conséquent opter pour un drainage profond. Il est en conséquence indispensable de réaliser des études sérieuses d'impact afin d'en évaluer les conséquences à long terme et permettre l'étude de la possibilité d'exploitation des résultats du suivi vers d'autres régions les plus proches telles que les régions de l'Oued Souf et d'Ouargla.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **TESCO – VIZITERV. , 1992 – 1993.**
« Actualisation de l'étude du réaménagement et de l'extension des palmeraies de l'Oued Righ ». Dossier 3.1. Ed Budapest, Avril, 1992 – Juillet 1993, 85p .
2. **KHADRAOUI A., 2005.**
« Eaux et sols en Algérie, Gestion et impact sur l'environnement », recueil de communication, dépôt légal : 479/2006,392p.
3. **KHADRAOUI A.,2005.**
« Sols et hydraulique agricole dans les Oasis algériennes , caractérisation – Contraintes et propositions d'aménagement », 317p.
4. **SOGETHA – SOGREAH .,1970.**
« Participation à la mise en valeur de l'Oued Righ », Etude agro pédologique, 201p.
5. **SOUTRER M, ET MUSY A., 1998.**
« Statique et dynamique de l'eau dans le sol traité d'irrigation ». Ed. ENGEF Lavoisier. pp641 – 686.
6. **JOHN WILEY ET SONS., 1984.**
« Irrigation principles and practices », 4TH Edition arabic translation.368 p.
7. **MINISTERE DE COOPERATION (FRANCE),, 1974.**
« Mémento d'Agronomie, quatrième édition collection technique rurales en Afrique ». pp 159 -167.
8. **DUBOST D., 1991.**
« Ecologie, Aménagement, et Développement agricole des Oasis Algériennes », Thés de doctorat d'université en Géographie et Aménagement du Monde Arabe – de Tours, Octobre, 1991. TOMME II.
9. **U.S. SALINITY LABORATORY., 1950.**
« Diagnosis and improvement of saline and alkali soils », U.S.D.A Handbook N°60 Washington, 160 p.
10. **ZELLA.L ET MOUHOUCHE.B , 2004.**
« Guide pratique de micro irrigation », office des publications universitaires, 61p.
11. **VA KOVDA ., 1984.**
« Problèmes de la désertification et de la salinisation des terres irriguées » .Ed. Kollos, Moscou, 301p.

12. **MANSOURI R., 2003.**
« Présentation d'un modèle pour la simulation conjointe des mouvements des eaux et des sels dans le sol », laboratoire de génie civil et hydraulique BP401 Guelma, 24000, Algérie, Reçu dans sciences et technologie N°19. pp 144 –149.
13. **BOROVSKI .V.M, 1981.**
« Theoretical principales of soil salinisation – désalinisation ». Ed. Naouka, Alma – Alta, 290p.
14. **BOROVSKI .V.M, 1974.**
« Méthodes qualitatives dans la mise en valeur des terres salées ». Ed Naouka, Alma – Alta, p.60 -74.
15. **AVERIANOV. S.F, 1978.**
« Lutte contre la salinisation des terres irriguées » – Ed kollos, Moscou, 287 p.
16. **DM KATZ.V.M. CHESTAKOV, 1981.**
« Hydrogéologie de la mise en valeur des terres ». Ed Université d'Etat de Moscou, 295p
17. **MEZA N. SAOULI S., 2000.**
« Profondeur du niveau de la nappe phréatique, des drains, et leur impact sur les volumes de lessivage en région saharienne ». Actes CMEE 2000, Ed. ENSH Alger, pp .219- 226.
18. **L.F. PESTOV, V.KH. KHATCHA TOURIAN., 1982.**
« Méthodes de détermination de l'évaporation des eaux de la nappe phréatique dans les terres irriguées ». Mise en valeur des terres irriguées. Ed I.H.M., Moscou, pp, 158 – 169.
19. **MEZA N., 2001.**
« L'irrigation et le drainage en région saharienne et leur impact sur le milieu (cas de la vallée de l'Oued Righ dans 'L'environnement en Algérie' ». Ed Laboratoire d'étude et de recherches sur le Maghreb et la Méditerranée – Université de Constantine . pp 81 – 89 .
20. **A.N.R.H., 2007.**
« Inventaire des analyse physico – chimique des eaux d'irrigation et Jaugeage » 2003 – 2007.
21. **Site Internet :** www.rove.to/Algeria
22. **BENHADDYA M.L, 2006/2007.**
« Contribution à l'inventaire des éléments traces dans les sols et dans les eaux souterraines dans la région de l'Oued Righ : Leurs origine et leur impact sur l'environnement ». Thèse de Magister, centre universitaire Larbi ben M'hidi Oum El Bouaghi. 120p.
23. **HAFUDA. L, 2005.**
« Caractérisation et quantification de la salinité du sol et de la nappe dans la vallée de l'Oued Righ ». Thèse de Magister. Institut national agronomique –EL Harrach – Alger, 80p.
24. **ONM ., 2003.**
Données climatiques de l'an 2003 – 2004 de Touggourt, 2 p.
25. **REMINI B., 2005.**
« La problématique de l'eau en Algérie, collection hydraulique et transport solide », Edition 2005, 182p.

- 26. MAIGNIE. R.**
« Manuel de prospection pédologique ; office de la recherche scientifique et technique outre – MER » PP47 – 60, 116 – 119.
- 27. KHADRAOUI. A., 2005.**
« Eau et impact environnemental dans le Sahara Algérien, Définition – Evaluation et perspectives de développement », 305 p.
- 28. SAYAHLEMBAREK. M., 2008.**
« Etude hydraulique du canal de l'Oued Righ. Thèse de Magister Université de Ouargla », 82 p.
- 29. GILBERT CASTANY. , 1998.**
« Hydrogéologie, principes et Méthodes. DUNOD, Paris, 1998 pour la nouvelle présentation ». 237p.
- 30. ERIC GILLI., CHRISTIAN MANGAN., JACQUES M., 2004.**
« Hydrogéologie ; objet, méthode, applications, DUNOD, Paris, 2004.
- 31. DUPRIEZ H., DELEENER P, 1990.**
« Les chemins de l'eau, ruissellement, irrigation, drainage, manuel tropicale », 378 p
- 32. REMINI B., 2005.**
« Hydraulique appliquée, collection hydraulique et transport solide », Edition Mai 2005. 144 p

ملخص

تعرف منطقة وادي ريغ بجودة التمور ومنتوجها الهائل على المستوى الجهوي والوطني، حيث تتوزع حقول النخيل على امتداد ضفاف مجرى وادي ريغ، الذي يضمن تجميع مياه الصرف الصحي، الصناعي والفلاحي ويدفع بها نحو شط مروان، كما يتميز بالجريان الدائم وتدفقه الهام، رغم المناخ الصحراوي الجاف الذي يسود المنطقة. هذا البحث يقترح دراسة تأثير وادي ريغ على صرف مياه سقي النخيل المجاورة له، حيث تتلخص خطوات البحث فيما يلي:

اختيار وتقسيم ميدان التجارب إلى موقعين مختلفين: الأول مغروس ويشمل 11 حقل نخيل تسقى كل منها بمياه تختلف نوعيتها حسب منبعها. أما الثاني فيضم أراضي سباخ فارغة ومحاذية لمجرى وادي ريغ تتوزع على امتداد هـ. في هذه المواقع تم غرس 27 بيزومتر لرصد منسوب عمق مياه وادي ريغ وتذبذبه، بالإضافة إلى المياه السطحية وتحديد اتجاه جريانها داخل حقول النخيل وتحت تأثير طرق السقي والصرف من جهة والتغيرات الفصلية للمناخ من جهة أخرى. أيضا قمنا بإجراء تحاليل فيزيوكيميائية على عينات التربة ومختلف المياه: السقي، الصرف ومياه الوادي لمراقبة تطور الأملاح بالتربة وحركتها تحت تأثير تدبب منسوب عمق المياه السطحية في كلا الموقعين.

أوضحت النتائج المحصل عليها أن مياه وادي ريغ ذات نوعية رديئة، عالية العكارة وجد مالحة لا ينصح بإستعمالها المباشر في السقي، كما لحظ ارتفاع تدفق الوادي بمعدل 7 مرات خلال الفترة: (1970-2007) مسجلا نسبة تزايد قدرت بـ 3.6 مليون م³/سنة، هذا التدفق الهام يسمح بطرح كمية معتبرة من الملح ما بين 1.2 إلى 2.4 مليون طن / سنة في شط مروان. إن تطبيق السقي في الأراضي المزروعة، على فترات دورية متكررة بانتظام من 10 إلى 15 يوم خلال فصول السنة، مكنت من إعطاء النتائج التالية:

- تزايد معدل عمق مستوى المياه السطحية تدريجيا بدلالة تزايد زمن الدورة، كما يتزايد أيضا تحت تأثير الإرتفاع التدريجي لقيم التبخر والنضح النباتي "ETP".
- تزايد معدل سرعة انتقال ونفاذ مياه السقي بين مسامات التربة بفعل ارتفاع قيم "ETP" خاصة في فصل الصيف.

تبين العلاقات المحصل عليها على وجود ترابط جيد جدا بين الوسائط المختلفة:

(عمق- زمن : "R²= 0.85") ، (عمق- ETP : "R²= 0.93") ، (سرعة انتقال - ETP : "R²= 0.67") .

من جهة أخرى أظهرت نتائج التجارب في الأراضي المغروسة تناقص تركيز الأملاح في التربة على مستوى منطقة الجذور، إذا ما تم سقيها بانتظام بمياه الآبار العميقة (CT, CI) ذات نوعية جيدة، مما يؤكد دورها الفعال في غسل التربة عند توفر نظام صرف المياه الزائدة، على العكس لوحظ تزايد تركيز الأملاح وتراكمها في التربة، إذا ما تم ريها بمياه الطبقة السطحية المالحة في غياب نظام الصرف، كما سجل ارتفاع تركيز الأملاح في الأراضي الفارغة وغير مسقية تحت تأثير صعود مياه الطبقة السطحية وتعرضها لعملية التبخر.

مفتاح الكلمات: وادي ريغ – نظام بيئية النخيل – السقي – الطبقة السطحية – الصرف – الملوحة.