

UNIVERSITE DE BLIDA 1
Faculté de Technologie
Département de génie des procédés

THÈSE DE DOCTORAT

En Chimie Industrielle
Spécialité : Chimie Industrielle

LA VALLEE DE OUED RIGH : POLLUTION DE LA NAPPE ET DEGRADATION DES PALMERAIES

Présentée Par

Samia BENGUERGOURA
Eps : LARADJ

Devant le jury composé de :

A. AOUABED	Professeur, Université de Blida 1	Président
M. KADRI	Professeur, Université de Boumerdes	Examineur
M. HABI	Professeur, Université de Tlemcen	Examineur
D.BOUTOUTAOU	Maitre de conférences(A), Université de Ouargla	Examineur
D.GHERNAOUE	Maitre de conférences(A), Université de Blida 1	Examineur
B. REMINI	Professeur, Université de Blida 1	Directeur de Thèse

Blida, Novembre 2014

DEDICACES

A mon mari à qui je doit tous le respect et le dévouement pour m'avoir aider, encourager et supporter dans tout les sens du terme du début jusqu'à la fin de ce travail.

A mes enfants pour m'avoir supporter loin d'eux ,et dans tous mes états d'âmes certains moment ou j'ai été plongée dans mon travail .Je voudrais qu'ils comprennent par cela que j'ai voulu leur laisser le souvenir d'être fières de leurs maman.

A mes chers parents qui m'ont éduquer dans le sens de rester ferme et solide et de ne jamais baisser les bras quelques soit les circonstances.

A mes frères et sœurs.

A tous ceux dont la science est un plaisir.

☞ En science qui ne prend pas le risque de se tromper , perd la possibilité majeur d'évoluer.

Niels Bohr

REMERCIEMENTS

✓ Avant tous je remercie **LE BON DIEU** pour l'aide , la volonté , la persévérance et l'endurance qu'il m'a donner afin que ce travail puisse voir le jour et aboutir à sa fin.

✓ Je tiens dans un premier temps à remercier monsieur le professeur **REMINE BOUALEM** qui a accepter de diriger ce travail en m'apportant des critiques constructives et des conseils pertinents et ceux suite à l'intérêt qu'il a accorder à mes travaux de recherche ,je ne finirais jamais de le remercier pour l'agréable sujet qu'il m'a donner à exploiter.

✓ Toute ma reconnaissance et remerciements vont aussi aux membres du jury qui on acceptez de me donner de leurs temps pour lire et juger ma thèse ,et me faire profiter de leur idées instructives, je cite :

- **M : AOUABED ALI** professeur à l'université de Blida 1. Président de jury de ma soutenance. Et je salut en lui sa bonté avec un grand merci pour toutes les instructions importantes , et les idées instructives qu'il m'a transmis afin que mon travail soit correcte.

- **M : REMINE BOUALEM** professeur à l'université de Blida 1. Directeur de thèse.

- **M : BOUTOUTAOU DJAMEL** maitre de conférence à l'université de Ouargla. Examineur.

- **M : KADRI MOHAMED** professeur à l'université de Boumerdes . Examineur.

- **M : HABI MOHAMED** professeur à l'université de Tlemcen. Examineur.

✓ Mes vifs remerciements sont adressées à monsieur **HABOUCH** et madame **KOUIDER** chef de service de l'ANRH d'Alger, pour leur accueil très conviviale , et les multiples analyses qu'ils m'ont permis de faire au sein de leur laboratoire .

✓ Il m'est aussi agréable de remercier monsieur **OUARDI** et monsieur **TABET THABET** chef de service de l'ANRH de Blida , ainsi que toute son équipe pour l'accueil chaleureux qu'il m'ont donner lorsque j'étais parmi eux lors de mon travail.

✓ J'ai l'agréable tache de témoigner ma grande reconnaissance à l'équipe de l'ANRH de Touggourt pour les différents services dont j'ai bénéficié, notamment l'accès aux différents points du canal et l'aide qu'ils m'ont procurer lors de mes prélèvements expérimentaux et de mesures, je cite en particulier Mr : **SAYAH LEMBAREK MOHAMED** (université Abou El Kacem Saadallah d'El Oued) et Mr : **SAYAH LEMBAREK YUCEF** ainsi que Mr : **EL ALMI FODIL** (ANRH de Touggourt) .

✓ Un grand merci au professeur **FADEL DERADJI** de l'université Badji Mokhtar de Annaba, département de géologie pour la documentation qu'il m'a envoyer au nom de la science.

✓ Il m'est aussi agréable de remercier monsieur **CHANANE KAMAL** pour m'avoir mis en contact avec les membres de l'ANRH d'Alger à travers son bureau d'étude Eco-Consult.

✓ Je remercie aussi monsieur **BERREKBIA MOHAMED** (attaché de recherche à la station expérimentale de sidi mahdi –INRAA de Touggourt), pour m'avoir diriger et aider lors de mes prélèvements piézométriques sur le terrain.

✓ Je ne dois pas oublier de remercier tous mes **COLLEGUES** en particulier M^r : **EDOUAOUdakamel** et M^m : **FODIL DJAMILA** pour m'avoir aider et encourager à aller jusqu'au bout.

✓ Je remercie vivement tous ceux qui ont contribuer de près ou de loin à la finalisation de ce travail .

✓ Par crainte d'avoir oublier quelqu'un , que tous ceux et toutes celles dont je suis redevable se voit ici vivement remercié.

RESUME

Depuis les années quatre vingt, les excédents hydriques causés par les rejets des eaux usées urbaines sans aucun traitement au préalable, rejoint le canal ancestral d'oued Righ qui rejoint la dépression naturelle du chott Melghir, et Merouane. L'absence d'un système de drainage adéquat et efficace, et la surexploitation des eaux des nappes profondes ont provoqué la remontée des eaux, qui a causé un déséquilibre dans la vallée. La stérilisation de plusieurs zones agricoles, a été observée. Les eaux du canal collecteur sont de très mauvaise qualité, très dures, de salinité très élevée (classe C5), une conductivité électrique allant jusqu'à 26.30 ms/cm, un SAR > 28 (classe S4), une valeur des TDS allant jusqu'à 20 g/l. Les paramètres de pollution ont révélés des teneurs en MES, MO, R.Sec, DBO₅, DCO, composés azotés, et composés phosphorés notamment élevées. L'eau du canal est très chargée en sels minéraux, c'est une eau saumâtre de faciès chloruré sodique.

Mots clés :

Algérie - Eau - Détérioration - Palmier dattier - Sol - Vallée de Oued Righ

ABSTRACT

Since eighty years ago, the excess water caused by discharges of urban sewage, some of this wastewater without pre-treatment joins the ancestral channel of wadi Righ, which is join the natural depression of chott Melghir et Merouane. The lack of an adequate and effective drainage system combined with overexploitation of deep groundwater caused the upwelling of groundwater, which led to an imbalance in the valley. The sterilization of several agricultural areas has been observed. The canal water are much degraded, very hard, of very high salinity (class C5), with electrical conductivity up to 26.30 ms/cm, and SAR > 28 (class S4), a value of T.D.S up to 20 g/l. Pollution parameters have revealed a high contents in the suspensions (MES), organic contents (MO), dry residue (R.Sec), BOD5, COD, nitrogen compounds, including high phosphorus compounds. Thus canal water is mostly of very poor quality, charged with mineral salts; it is a brackish water of the sodium chloride facies.

Keywords:

Algeria - Water - Deterioration - Date palm - Soil - Wadi Righ valley

ملخص

منذ الثمانينات، فائض المياه الناجم عن تصريف مياه الصرف الصحي للمناطق الحضرية، دون أية معالجة مسبقة تصب في الوادي القديم (واد ريغ) الذي تصب مياهه في شط ملغير وشط مروان.

عدم وجود نظام ملائم و فعال لمياه الصرف الصحي و مياه السقي، و الإستخدام المفرط للمياه الجوفية العميقة تسبب في صعود هذه المياه الجوفية التي أدت إلى عدم توازن في البيئة المحيطة بواد ريغ، هذا ما أدى إلى تعقيم التربة الزراعية.

لقد أظهرت دراستنا أن مياه قناة واد ريغ هي من نوعية رديئة جدا حيث درجة الكثافة بالأملاح المعدنية لهذه المياه مرتفعة،ملوحة عالية جدا (درجة 5) و الموصلية الكهربائية تساوي 26.30 ميلي سيمنس/سم،نسبة امتصاص الصوديوم أكبر من 28 (درجة 4)،قيم المواد الصلبة الذائبة معظمها تصل إلى 20 غ/ل .

عناصر التلوث بينت أن مستويات المواد الصلبة العالقة، و المواد العضوية ، و بقايا المواد الجافة،و نسبة الطلب البيوكيميائي للأكسجين،و الطلب الكيميائي للأكسجين،و المركبات الأزوتية و الفسفورية عالية جدا.

الأغلبية العظمى من مياه القناة مكثفة بالأملاح المعدنية و نستنتج بها أن المياه ذات نوعية مالحة جدا ، و ذات سحنة الكلورة الصوديوم.

كلمات البحث:

الجزائر - الماء - تدهور - واحة النخيل - التربة - منطقة واد ريغ.

TABLE DES MATIERES

Liste des tableaux	14
Liste des figures.....	16
Liste des abréviations.....	22
Introduction générale.....	24

CHAPITRE 1 : CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

1.1. Présentation de la région d'étude.....	27
1.2. Climatologie	28
1.2.1. Les précipitations	28
1.2.2. L'humidité relative.....	28
1.2.3. L'Evapotranspiration.....	29
1.2.4. L'insolation.....	29
1.2.5. Pluviométrie.....	29
1.2.8. Les vents.....	29
1.3. Classification du climat.....	30
1.3.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen.....	30
1.3.2. Climagramme d'EMBERGER.....	30
1.4. Hydrogéologie.....	31
1.4.1 Le continental intercalaire (CI)	32
1.4.2. Le complexe terminal(C.T).....	33
1.4.3. La nappe phréatique.....	34
1.5. Caractéristiques physiques (cadre géologique et pédologique).....	35
1.5.1 Géologie et géomorphologie.....	35
1.5.2. Pédologie.....	35
1.5.3. Topographie.....	36

CHAPITRE 2 : LES SOLS SALES : CARACTERISTIQUES ORIGINES ET CLASSIFICATION

2.1. Répartition des sols salés dans le monde.....	37
2.1.1. Définition des sols salés	38
2.1.2. Salinité et paysages salinisés.....	38
2.2. L'horizon du sol.....	39
2.2.1. Origines et causes de la salinisation des sols	40
2.2.2. Salinisations primaires.....	41
2.2.2.1. Salinisation géologique	41
2.2.2.2. Salinisation par les eaux	41
2.2.3. Salinisation secondaire.....	42
2.2.4. Mesure de la salinité des sols.....	42
2.2.4.1. Mesure et normes de salinité des sols à partir de l'extrait de pâte saturée.....	43
2.2.4.1.1. Conductivité électrique et bilan ionique	43
2.2.4.2. Echelle de salinité d'après l'extrait de pâte saturée.....	44
2.2.4.2.1. Echelle de salinité pour les sols salés	44
2.2.4.2.2. Echelle de salinité des sols salés gypseux	44
2.2.4.2. Mesures et normes de salinité des sols à partir des extraits dilués.....	45
2.2.4.2.1. Conductivités des extraits dilués.....	45
2.2.4.2.2. Echelle de salinité.....	45
2.3. Salinité des eaux : mesure et normes de qualité des eaux d'irrigation.....	46
2.3.1. La salinisation causée par l'irrigation.....	46

2.3.1.1. Participation de l'irrigation à la salinisation des sols.....	46
2.3.1.2. Les problèmes de la salinisation des terres irriguées	46
2.3.2. Etendue des problèmes de salinité dans le monde	46
2.3.3. Coûts des problèmes de salinité dans le monde.....	47
2.3.4. Evolutions de la salinité dans le sud Algérien	47
2.3.4.1. Cas d'une nappe superficielle proche avec une eau médiocre	48
2.3.4.2. Cas d'exploitation des nappes phréatique.....	49
2.4. Historique piézométrique	50
2.5. Qualité chimiques des eaux mesure et normes	52
2.5.1. La concentration totale en sels dissous.....	52
2.5.2. La composition chimique de l'eau le S.A.R	52
2.5.3. Le pH de l'eau d'irrigation.....	53
2.5.4. Alcalinité	53
2.5.5. Dureté de l'eau	54
2.6. Normes pour la qualité des eaux d'irrigation.....	54
2.6.1. Classification en fonction de la salinité totale.....	54
2.6.2. Classification en fonction du danger d'alcalinisation.....	55
2.7. L'effet des sels sur les plantes	58
2.7.1. Effet des sels sur l'alimentation en eau des plantes.....	59
2.7.2. Toxicité de certains sels	60
2.7.3. Effet de la salinité totale sur le sol.....	60
2.7.4. Notions de transfert des solutions dans le sol.....	60
2.7.5. Bilan de salinité du sol	61

2.7.6. Besoin en eau de lessivage (Leaching Requirement L.R).....	62
2.8. Mesure préventives contre le risque de salinisation.....	63

CHAPITRE 3 : PATRIMOINE PHOENICICOLTE DANS LE SUD ALGERIEN

3.1. Introduction.....	64
3.2. Caractéristiques morphologique du palmier dattier.....	64
3.3. L'irrigation du palmier dattier.....	67
3.3.1. Besoin en eau et fréquence d'irrigation du palmier dattier.....	68
3.4. La problématique de la salinité et du drainage dans les écosystèmes palmeraies de la vallée de l'Oued righ	69
3.4.1. Introduction	69
3.4.2. Techniques d'irrigation des oasis dans le Sud Algérien.....	70
3.4.2.1. Oasis d'Ouargla.....	70
3.4.2.2. L'oasis du M'Zab.....	70
3.4.2.3. L'oasis des Ghouts	71
3.4.2.4. L'oasis des foggaras.....	72
3.4.3. Techniques d'irrigation des oasis dans la vallée d'Oued Righ	73
3.4.3.1. L'irrigation par submersion.....	74
3.4.3.2. L'irrigation localisée	75
3.4.3.3. Irrigation par puisage (puits arabe : Deggaga)	76
3.4.4. Les eaux d'irrigation dans la vallée d'Oued Righ et problématique	78
3.5. Objectifs de résolution de la problématique des eaux d'irrigations de la vallée d'Oued Righ.....	78
3.5.1. Objectifs scientifiques	78

3.5.2. Objectifs technique et économique	79
3.6. Le drainage dans les périmètres irrigués.....	79
3.6.1. Définition et méthodes de drainage	80
3.6.1.1. Drainage de surface	80
3.6.1.2. Drainage Souterrain	82
3.6.1.3. Réseau hydraulique	83
3.6.2. Objectifs et règles générales du drainage	83
3.6.3. Diagnostic des problématiques de drainage.....	84
3.6.3.1. Problématique du drainage sur le profil du sol	85
3.6.4. Le réseau de drainage dans la vallée d'Oued Righ.....	86
3.6.5. Contrainte rencontrées en matière de drainage dans la vallée d'oued Righ.....	90
3.7. La salinité des sols et le drainage.....	90
3.7.1. Rapport entre salure-dose de lessivage et remontée des eaux.....	93
3.8. Remontée de la nappe phréatique de la vallée d'Oued Righ.....	94
3.8.1. Introduction.....	94
3.8.2. Inondation des palmiers par pluies intenses	94
3.8.3. Dégradation des palmiers par asphyxie	96
3.8.4. Salinisation des terres arables	96
3.8.5. Détérioration de l'environnement	97
3.8.6. Impact de la remonté des eaux sur la santé	99
3.9. Gestion des eaux de drainage et lutte contre la remontée de la nappe phréatique	99

CHAPITRE 4 : LES PROBLEMES BIOLOGIQUES RELATIFS AUX PLANTES TOLERANT L'EAU SALEE OU SAUMATRE, ET A L'UTILISATION D'UNE TELLE EAU POUR L'IRRIGATION

4.1. Introduction	101
4.2. Classification des sols sales et alcalins.....	101
4.2.1. Sol alcalin	101
4.2.1.1. Sols alcalins non salins	101
4.2.1.2. Sols alcalins salins.....	102
4.2.2. Sol salin.....	102
4.3. Qualité de l'eau d'irrigation.....	102
4.4. Effets toxique d'ions déterminés	104
4.4.1. Sodium.....	104
4.4.2. Calcium	104
4.4.3. Magnésium	105
4.4.4. Potassium	105
4.4.5. Chlorures.....	105
4.4.6. Sulfates.....	106
4.4.7. Bicarbonates.....	106
4.4.8. Nitrates.....	106
4.5. Effet de la salinité sur le palmier dattier.....	106
4.6. Moyens de lutte contre la salinité	107

CHAPITRE 5 : CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

5.1. Historique du canal collecteur de l'Oued Righ	109
5.2. Etat actuel du canal collecteur de l'Oued Righ et son impact sur l'écosystème.....	113
5.3. Les causes des dégâts provoqués par l'érosion sur le long du canal d'Oued Righ.....	113
5.3.1. Manque d'entretiens	113
5.3.2. Dégâts typique provoqués par l'érosion	114
5.4. Les causes de l'érosion et des déformations des Talus et du lit	114

CHAPITRE 6 : ETUDE EXPERIMENTALE DU SITE DE LA VALLEE D'OUED RIGH

6.1. Introduction.....	116
6-2- Hydro-climatologie de la région d'oued Righ (Touggourt).....	117
6.2.1. La température.....	117
6.2.2. Les précipitations	120
6.2.3. L'évapotranspiration.....	123
6.3. Echantillonnage et analyse hydro-chimique.....	125
6.4. Moyens et méthodes d'analyses.....	127
6.4.1. Mesure in situ.....	128
6.4.2. Analyses aux laboratoires.....	128
6.4.3. Méthodes d'analyses.....	128
6.5. Caractéristiques physico-chimiques des eaux du canal d'oued Righ	132
6.5.1. Etude de l'évolution des paramètres physico-chimiques en fonction du temps des eaux du canal.....	133
6.5.1.1. Paramètres physiques	134
6.5.1.1.1. Potentiel d'hydrogène (pH).....	134
6.5.1.1.2. La conductivité électrique (CE)	135
6.5.1.2. Les éléments chimiques	136
6.5.1.2.1. Les cations	136
6.5.1.2.2. Les Anions	140
6.6. Détermination des principaux facies hydro-chimiques.....	146
6.6.1. Détermination des facies hydro chimiques des eaux du canal durant la période (2009-2010).....	146
6.6.1.1. Diagramme de PIPER.....	146
6.6.2. Diagramme de H. Schöeller Berkloff.....	155

6.7. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ.....	158
6.7.1. Paramètres physiques.....	160
6.7.2. Les éléments chimiques	161
6.7.2.1. Les cations.....	161
6.7.2.2. Les anions	162
6.7.3. Détermination du faciès hydro-chimique des eaux de la nappe phréatique durant la campagne (d'octobre 2010).....	163
6.7.3.1. Diagramme de PIPER.....	163
6.7.3.2. Diagramme de H. schoëller Berkaloff.....	166
6.8. Qualité des eaux de la vallée d'oued Righ et leur impact sur la culture du palmier dattier.....	167
6.8.1. Les risques de sodicité et salinité.....	168
6.8.1.1. Classification de Richards.....	169
6.8.1.2. Classification de WILCOX.....	174
6.8.2. Calcul des paramètres des eaux a usage agricole.....	179
6.9. Conclusion.....	187

CHAPITRE 7 : LES ELEMENTS INDICATEURS DE LA POLLUTION URBAINE

7.1. Introduction	188
7.2. Critères globaux de pollution.....	188
7.2.1. Matières organiques	189
7.2.2. Les matières azotés.....	190
7.2.3. Les Composés phosphorés.....	190
7.2.4. Le résidu sec (R.Sec).....	191

7.2.5. La turbidité.....	191
7.2.6. Les paramètres de dureté.....	192
7.3. Etude d'approche de la vulnérabilité de nappe phréatique de la région d'oued Righ.....	209
7.3.1. Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines	209
7.4. Qualité des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ.....	213
7.5. Analyse des métaux des eaux du canal d'oued Righ.....	221
7.6. Conclusion : (canal).....	224
7.7. Conclusion (nappe)	226
CONCLUSION GENERALE.....	227
RECOMMANDATIONS.....	232
PERSPECTIVES	234
REFERENCES.....	236
ANNEXES.....	244
GLOSSAIRE.....	250

Liste des Tableaux

Tableau.1.1 : Données climatiques (station de Touggourt, 1995-2005).....	29
Tableau.2.1 : Echelle de salinité pour les sols salés.....	44
Tableau.2.2 : Echelle de salinité pour les sols salés gypseux et non gypseux.....	44
Tableau.2.3 : Echelle de salinité en termes de conductivité de L'extrait au (1/5).....	45
Tableau.2.4 : Etendue des problèmes de salinité dans le monde.....	47
Tableau.2.5 : Indication de l'aptitude des eaux à l'irrigation en fonction de l'indice croisé C_n-S_n	57
Tableau.2.6 : Degrés de restriction des problèmes potentiels d'irrigation.....	58
Tableau.3.1 : Aperçu sur le nombre de palmiers dattiers et la composition variétale des Palmeraies de quelques pays de la rive sud de la méditerranée.....	66
Tableau.3.2 : Surfaces drainées et besoins en drainage dans les grands périmètres irrigués(Le drainage en Algérie, M.A.D.R).....	80
Tableau.6.1 : Facteurs climatiques durant les trois périodes de prélèvement....	118
Tableau.6.2 : Variations climatiques durant la période (2009-2010).....	118
Tableau.6.3 : Représentation des valeurs de Températures et des précipitations de la région de Touggourt durant la période(2009-2010).....	119
Tableau.6.4 : Données météorologiques de la région d'Oued Righ (station de Touggourt, 1999-2009)Source : (O N M, 2009).....	124
Tableau.6.5 : Evolution des paramètres physiques des eaux du canal Oued Righ.....	134

Tableau.6.6 : Evolution spatio-temporelle des cations des eaux du canal d'oued Righ.....	137
Tableau.6.7 : Evolution spatio-temporelle du bilan chimique des anions des eaux du canal d'oued Righ.....	141
Tableau.6.8 : Types de Faciès chimiques pour les différentes stations de prélèvement des eaux du canal (Février 2009).....	148
Tableau.6.9 : Types de Faciès chimiques pour les différentes stations de prélèvement des eaux du canal (Mai 2010).....	150
Tableau.6.10 : Types de Faciès chimiques pour les différentes stations de prélèvement des eaux du canal (octobre 2010).....	153
Tableau.6.11 : Evolution des paramètres physiques des eaux de la nappe phréatique (octobre 2010).....	160
Tableau.6.12 : Evolution spatio-temporelle des cations des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ (Octobre 2010).....	161
Tableau.6.13 : Evolution spatio-temporelle des anions des eaux de la nappe Phréatique de la région d'oued Righ (octobre 2010).....	162
Tableau.6.14 : Types de faciès chimiques pour les eaux de la nappe phréatique, période (octobre-2010).....	164
Tableau.6.15 : Evolution spatio-temporelle des paramètres de salinité des eaux du canal d'oued Righ.....	173
Tableau.6.16 : Classification de RICHARDS pour les eaux du canal d'oued Righ.....	176
Tableau.6.17 : Evolution du SAR et du %Na des différentes stations de prélèvement de la nappe phréatique de la région d'oued Righ (oct-2010).....	177
Tableau.6.18 : Résultats obtenus d'après l'interprétation du diagramme de RICHARDS des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ (octobre-2010).....	178

Tableau.6.19 : Les principaux facteurs reliant l'eau au sol des eaux du canal d'oued Righ.....	181
Tableau.6.20 : Limite supérieure admissible de (C.E) à 25°C de l'eau en fonction de la tolérance de la culture aux sels et à la texture du sol	182
Tableau.6.21 : Evolution des différents paramètres reliant l'eau au sol de la nappe phréatique de la région d'oued Righ (octobre-2010).....	185
Tableau.7.1 : Grille de classification des eaux usées (Norme Algérienne).....	192
Tableau.7.2 : Représentation de tout les paramètres de pollution des eaux du canal d'oued Righ durant les campagnes (fév-2009) et (Mai; oct-2010).....	192
Tableau.7.3 : Classification des eaux usées selon la concentration en DBO ₅	198
Tableau.7.4 : Evolution des paramètres de pollution dans les eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ.....	213
Tableau.7.5 :Analyse des métaux des eaux du canal d'oued Righ (Oct-2010).....	221

LISTE DES FIGURES

Figure.1.1 : Situation de la vallée d'Oued Righ.....	27
Figure.1.2 : Situation des Oasis sur la vallée d'Oued Righ.....	28
Figure.1.3 : Diagramme Ombrothermique de la région d'Oued Righ	30
Figure.1.4 : Climagramme D'emberger de la région d'Oued Righ.....	31
Figure.1.5 : Délimitation du système aquifère du Sahara septentrional (SASS).....	32
Figure.1.6 : Coupe géologique du Sahara septentrional d'après UNESCO(1972).....	32
Figure-1.7 : Log stratigraphique synthétique de la région d'Oued Righ.....	34
Figure.1.8 : Profil schématique des nappes artésiennes de l'Oued Righ.....	35
Figure.2.1 : Représentation d'une couverture par une croûte de sel.....	39
Figure2.2 : Exemple d'assemblage d'agrégats.....	40
Figure.2.3 : Schéma de salinisation du système par accumulation des sels non évacués.....	48
Figure.2.4 : Principe d'extraction de l'eau du sol par les Foggaras.....	49
Figure.2.5 : Foggara une source pour l'eau d'irrigation.....	50
Figure.2.6 : Exemple de rabattement piézométrique en Algérie.....	51
Figure.2.7 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation de RIVERSIDE Le tableau indique l'aptitude des eaux à l'irrigation en fonction de cet indice croisé. Modifié d'après (US département of agriculture, 1994).....	56
Figure.2.8 :Représentation graphique de la croissance des plantes en fonction de la (C.E) ou de la (P.O) de l'extrait de saturation et du pourcentage du sel dans le sol salin	59
Figure.2.9 :Cycle des sels simplifié dans les paysages des zones arides.....	61
Figure.3.1 : Caractéristiques morphologiques du palmier dattier.....	65
Figure.3.2 : Propagation de la culture du dattier dans l'ancien continent selon Munier	66
Figure.3.3 : Les principales oasis Algériennes.....	67
Figure.3.4 : Photos représentant une Noryia (Saniya).....	70
Figure.3.5 : Petits ouvrages composés de barrages dans l'oasis du M'zab	70
Figure.3.6 : Plusieurs palmiers plantés dans des Ghouts au fond d'une cuvette en forme d'entonnoir dans le désert Algérien typique au monde.....	71
Figure.3.7 : Photos représentant des galeries de Foggara.....	72

Figure.3.8 : Bassin de collecte des eaux issue de la Foggara (Madjen).....	73
Figure.3.9 : Canalisation de l'eau par rigoles (Kesria) à la sortie d'une Foggara.....	73
Figure.3.10 : Canal d'irrigation à ciel ouvert (Seguia).....	74
Figure.3.11 : Déviation des eaux d'une Seguia par de simple mottes de terre.....	74
Figure.3.12 : Représentation d'une palmeraie irriguée par Seguia.....	75
Figure.3.13 : Représentation d'une irrigation au goutte à goutte.....	76
Figure.3.14 : Puits arabe (Deggaga).....	76
Figure.3.15 : L'irrigation dans la vallée d'Oued Righ.....	77
Figure.3.16 : Circulation de l'eau à la surface et dans le sol.....	81
Figure.3.17 : Photo d'une galerie drainante souterraine.....	82
Figure.3.18 : Photo d'un drain colmaté.....	84
Figure.3.19 : Fossés de drainage dégradés suite au manque d'entretien...	86
Figure.3.20 : Envahissement des palmeraies par les roseaux.....	87
Figure.3.21 : Les différents processus et classements des techniques de drainage dans la vallée d'oued Righ.....	90
Figure.3.22 : Photos des sols salins dans la vallée d'oued Righ.....	91
Figure.3.23 : Des palmiers envahie par (Diss) et des palmiers grisâtres aux palmes courtes et peu nombreuses.....	91
Figure.3.24 : Séquence des phénomènes pouvant conduire à la salinisation en cas de déficience du drainage dans la vallée de l'Oued Righ.....	92
Figure.3.25 : Irrigation non contrôlée contribuant à l'engorgement des palmeraies par la remonté de la nappe superficielle dans la région de Oued Righ.....	93
Figure.3.26 : Remontée des eaux de la nappe superficielle dans la vallée...	95
Figure.3.27 : Oasis malade de trop d'eau.....	95
Figure.3.28 : Dépérissement des palmiers dattiers dans la vallée de Oued Righ.....	96
Figure.3.29 : Irrigation par planche dans L'oued Righ.....	97
Figure.3.30 : Détérioration de l'habitation due à la remontée des eaux.....	98
Figure.3.31 : Evacuation d'eau impossible dans les zones basses de la vallée de l'Oued Righ.....	98
Figure.5.1 : Photo représentant le canal d'Oued Righ.....	109
Figure.5.2 : Zones humides de la vallée d'Oued Righ.....	110

Figure.5.3 : Trajectoire du canal d'Oued Righ (Google earth ; 2007).....	110
Figure.5.4 : Tronçon du canal d'Oued Righ envahi par les roseaux.....	112
Figure.5.5 : Drain colmaté créant un risque de stagnation des eaux dans la vallée de l'Oued Righ.....	113
Figure.5.6 : Eboulement et affouillement des talus le long du canal d'Oued Righ.....	115
Figure.6.1 : Relation entre le sol, les palmiers et l'eau.....	117
Figure .6.2 : Variations climatiques moyennes maximales et précipitations dans la région de Touggourt durant la période (2009-2010).....	119
Figure.6.3 : Diagramme Omrothermique de Gaussen de la région de Touggourt durant la période (2009-2010).....	120
Figure.6.4 : Représentation de l'indice d'aridité de (DE MARTONE) pour la région de Touggourt (Oued Righ).....	121
Figure.6.5 : Représentation du Climagramme de Louis Emberger de la région de Touggourt (Oued Righ).....	122
Figure.6.6 : Situation du canal d'Oued Righ et les différents points de prélèvements.....	127
Figure.6.7 : Dégradation du canal principal de la vallée de l'Oued Righ.....	132
Figure.6.8 : Points de déversement des eaux usées dans le canal de l'Oued Righ.....	133
Figure.6.9 : Evolution spatio-temporelle du pH des eaux du canal d'Oued Righ.....	135
Figure .6.10 : Evolution spatio-temporelle de la conductivité électrique (CE) des eaux du canal d'oued Righ.....	136
Figure.6.11 : Evolution spatio-temporelle des cations des eaux du canal d'Oued Righ.....	138
Figure.6.12 : Evolution spatio-temporelle des anions du canal d'Oued Righ.....	142
Figure.6.13 : Evolution des différents paramètres chimiques des eaux du canal d'Oued Righ.....	145
Figure.6.14 :Représentation sur le diagramme de PIPER de la qualité des Eaux du canal d'oued Righ durant la période (février -2009).....	147
Figure.6.15 : Types de Faciès du mois de (Février-2009-).....	149
Figure.6.16 : Digramme de PIPER de la qualité des eaux du canal (Mai-2010-)...	151

Figure.6.17 : Types de Faciès du moi de (Mai-2010-)	151
Figure.6.18 : Diagramme de PIPER de la qualité des eaux du canal (Octobre-2010)	152
Figure.6.19 : Types de faciès du moi (d'Octobre-2010)	152
Figure.6.20 : Diagramme de schöeller Berkaloff des eaux du canal pour la période (février-2009)	156
Figure.6.21 : Diagramme de schöeller Berkaloff des eaux du canal pour la période de Mai (2010)	156
Figure.6.22 : Diagramme de schöeller Berkaloff des eaux du canal pour la période d'octobre (2010)	157
Figure.6.23 : Photos représentant une remonté de la nappe phréatique	158
Figure.6.24 : Stérilité des sols et dégradation des palmeraies dans la vallée D'oued Righ	159
Figure.6.25 : Points piézométriques sur les sols cultivés près du canal dans la région d'oued Righ	159
Figure.6.26 : Evolution spatio-temporelle du pH et de la conductivité électrique des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ (oct-2010-)	160
Figure.6.27 : Evolution spatio-temporelle des cations des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ(octobre2010)	161
Figure.6.28 : Evolution spatio-temporelle des anions des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ(octobre2010)	162
Figure.6.29 : Types de Faciès de la nappe phréatique (Octobre-2010)	163
Figure.6.30 : Faciès chimiques des eaux de la nappe phréatique (octobre-2010)	165
Figure.6.31 : Diagramme de scoëller Berkaloff des eaux de la nappe phréatique (octobre-2010)	166
Figure.6.32 : Diagramme de RICHARDS des eaux du canal (Février 2009)	170
Figure.6.33 : Diagramme de RICHARDS des eaux du canal (MAI- 2010)	171
Figure.6.34 : Diagramme de RICHARDS des eaux du canal (Octobre-2010)	171
Figure.6.35 : Evolution spatio-temporelle du S A R des eaux du canal	172
Figure.6.36 : Evolution spatio-temporelle du %Na des eaux du canal	174
Figure.6.37 : Diagramme de WILCOX des eaux du canal (Février- 2009)	175
Figure.6.38 : Diagramme de WILCOX des eaux du canal (Mai-2010)	175
Figure.6.39 : Diagramme de WILCOX des eaux du canal (octobre- 2010)	175

Figure.6.40 : Evolution du S A R et du % de Na des eaux de la nappe phréatique de la région de oued RIGH (octobre-2010).....	177
Figure.6.41 : Diagramme de RICHARDS des eaux de la nappe (oct-2010).....	177
Figure.6.42 : Diagramme de WILCOX des eaux de la nappe (oct- 2010).....	178
Figure.6.43 : Evolution spatio-temporelle des différents paramètres reliant l'eau au sol des eaux du canal d'oued RIGH.....	183
Figure.6.44 : Evolution des paramètres reliant l'eau au sol de la nappe phréatique de la région de oued RIGH (octobre-2010).....	185
Figure.7.1 : Evolution spatio-temporelle du Résidu Sec des eaux du canal	194
Figure.7.2 : Evolution spatio-temporelle des (M. O) des eaux du canal	195
Figure.7.3 : Evolution spatio-temporelle des M.E.S des eaux du canal.....	196
Figure.7.4 : Evolution spatio-temporelle de la (D.B.O ₅) des eaux du canal	198
Figure.7.5 : Evolution spatio-temporelle de la (D.C.O) des eaux du canal.....	200
Figure.7.6 : Evolution spatio-temporelle de la dureté total des eaux du canal.....	201
Figure.7.7 : Evolution spatio-temporelle du (T. A. C) deseaux du canal	201
Figure.7.8 : Evolution spatio-temporelle des nitrites dans les eaux du canal.....	203
Figure.7.9 : Evolution spatio-temporelle des nitrates dans les eaux du canal	204
Figure.7.10 : Evolution spatio-temporelle de l'ammonium dans les eaux du canal d'oued Righ.....	205
Figure.7.11 : Evolution spatio-temporelle du (N.T.K) des eaux du canal.....	207
Figure.7.12 : Evolution spatio-temporelle des phosphates dans les eaux du canal.....	208
Figure.7.13 : Evolution spatio-temporelle du phosphore total dans les eaux du canal d'oued Righ.....	208
Figure.7.14 :Fluctuation de la nappe phréatique dans la zone de Sidi Slimane durant la période (2007-2008).....	211
Figure.7.15 : Carte schématique du sens d'écoulement des eaux de la nappe phréatique dans la zone Sidi Slimane durant la période (2007-2008).....	212
Figure .7.16 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée de l'Oued Righ durant la période (2007-2008).....	212
Figure.7.17 :Evolution du Résidu Sec dans les eaux de la nappe	213
Figure.7.18 : Evolution de la turbidité dans les eaux de la nappe phréatique.....	214
Figure.7.19 : Evolution de la DBO ₅ dans les eaux de la nappe phréatique.....	215
Figure.7.20 : Evolution de la DCO dans les eaux de la nappe phréatique.....	215

Figure.7.21 : Evolution de laM,O dans les eaux de la nappe phréatique.....	216
Figure.7.22 : Evolution de la dureté dans les eaux de la nappe phréatique	216
Figure.7.23 : Evolution du TAC dans les eaux de la nappe phréatique.....	217
Figure.7.24 : Evolution des nitrates dans les eaux de la nappe phréatique.....	217
Figure.7.25 : Evolution des nitrites dans les eaux de la nappe phréatique.....	218
Figure.7.26 : Evolution de l'ammonium dans les eaux de la nappe	219
Figure.7.27 : Evolution du N.T.K dans les eaux de la nappe phréatique.....	219
Figure.7.28 : Evolution du phosphore dans les eaux de la nappe phréatique...	220
Figure.7.29 : Evolution du phosphore total dans les eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ.....	221

LISTE DES ABREVIATIONS

- C.I** : continental intercalaire
- C.T** : complexe terminal
- E.T.P** : Evapotranspiration potentielle (mm).
- SASS** : Système aquifère du Sahara Septentrional.
- R.F.U** : Reserve Facilement Utilisable (mm).
- NaCl** : Chlorure de sodium. On l'appelle plus communément [sel de table](#) .
- F.A.O**: [Food and Agriculture Organization](#).
- U.S.S.L**: United States Salinity Laboratory
- U.S.D.A**: United States Department of Agriculture
- IPTRID**: International Program for Technology Research in Irrigation and Drainage
- P.N.B** : [Produit National Brut](#)
- D.R.S.O**: Disability Resources and Services Office.
- E.R.E.S.S** : Etude des Ressources en Eau du Sahara Septentrional.
- S.A.R**: Sodium Absorption Ratio (meq/l)
- E.S.P** : Exchangeable Sodium Percent: Pourcentage de Sodium Echangeable
- C.E** : Conductivité électrique (mmhos/cm-ds/cm)
- T.D.S**: Total Dissolved Salt (Total de Sel Dissout) (g/l)
- INRAT** : Institut National de Recherche Agronomique de Tunisie
- PH** : **Potentiel Hydrogène**
- PVC** : Polychlorure de vinyle ou chlorure de polyvinyle
- CP** : Obstruction des fossés par le Ciment de Portland
- CS** : Obstruction par la Chaux-Silice ou le gel d'hydrosilicate de calcium
- A.N.R.H** : Agence Nationale des Ressources Hydrauliques
- E.T.P** : Evapotranspiration Potentielle (mm)
- Na%** : Pourcentage de sodium échangeable
- E.T R** : Evapotranspiration Réelle annuelle en (mm).
- STEP** : STation d'EPuration des eaux usées
- DCO** : Demande Chimique en Oxygène (mg/l) de O₂
- DBO₅** : Demande Biochimique en Oxygène (mg/l) de O₂
- NTK**: Azote Total Kjeldhal (mg/l)
- P / Total** : Phosphore Total (mg/l)

R. Sec : Résidu Sec (mg/l)
MO : Matière Organique (mg/l)
TH : Titre Hydrotimétrique (°f)
TAC : Titre Alcalimétrique Complet (°f)
TA : Titre Alcalimétrique (°f)
O.M.S : Organisation Mondiale de la Santé
P.O : Pression Osmotique (atm)
I.P : Indice de Perméabilité (%)
NTU : Néphélometric Turbidités Unit
ERU : Eaux Résiduaire Urbaine
EUT : Eaux Usés Traité
SOGREAH : Société Grenobloise d'études et d'Application Hydraulique
D.S.A : Direction des Services Agricole
ONAS : Office National de l'Assainissement
O.N.M : Office National de la Météorologie
O.N.A : Office national de l'assainissement
M.A.D.R : Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural
IRD:L'Institut de Recherche pour le Développement (IRD)

INTRODUCTION GENERALE

En Algérie les ressources en eaux présentent l'une des principales richesses sur lesquelles repose toute action de développement économique et sociale.

Au Sahara, les ressources en eaux sont largement dominées par les eaux souterraines. Le Sahara septentrional algérien se caractérise par un système aquifère composé de deux importantes nappes profondes séparées par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques, de la base du crétacé supérieur : le continental intercalaire (C.I) et le complexe terminal (C.T), s'étendant sur des superficies respectivement de 700.000 km² (l'épaisseur peut atteindre 1.000 m) et de 350.000 km² (profondeur oscillant entre 100 et 500m). Les réserves théoriques des deux aquifères sont estimées à près de 60.000 milliards de m³ [1]. Dans la partie supérieure des formations continentales, les nappes non captives profondes de 02 à 10 mètres viennent augmenter les réserves hydrauliques du bas Sahara.

La vallée de l'oued Righ, située à l'est du Sahara septentrional, encore appelée bas Sahara, est une longue dépression méridienne comprise entre le grand erg oriental, et la zone des chotts au nord, c'est une vaste fosse synclinale dissymétrique caractérisée par l'existence d'un sol sableux, en majorité siliceux et formé de quartz pure donc insoluble, dans les régions sédimentaires on trouve des sables calcaires (CaCO₃) et gypseux (CaSO₄.2H₂O) [2].

Le système de production agricole dans cette région gravite essentiellement autour de la phoéniculture qui constitue son ossature principale, un ruban d'une cinquantaine d'oasis réparties sur 150 km allant du sud au nord, avec près de 2 millions de palmiers dattiers dont 60% de deglet-nour [3]. Ces oasis présentent presque les mêmes conditions pédoclimatiques, hydrogéologiques et socio-économiques que les autres régions sahariennes. Cependant au fil des années d'exploitation la renommée de la production dattier n'est plus ce qu'elle était, elle accuse une chute progressive en quantité et en qualité. La dotation en eau destinée à l'irrigation a considérablement augmenté dans l'ensemble des oasis du Sahara septentrional, ce phénomène s'est traduit par l'augmentation des débits des rejets

des eaux d'assainissement et de drainage .Cependant l'absence des exutoires naturels de réception des rejets a provoqué des déséquilibres dans ces régions sèches, connues comme des écosystèmes très fragiles .On assiste alors à des inondations provoquées par la remontée des eaux dans les oasis de Souf et de Ouargla ; et au tarissement de la nappe dans les régions de Touat et de Gourara ceci se traduit par la remontée de la nappe phréatique et la salinisation des sols.

Si la vallée de l'oued Righ a échappé au phénomène de la remontée des eaux avant les années quatre-vingts, c'est grâce au seul grand canal dit (oued Righ) 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 au chotts Merouane au nord. Le canal fait transiter un débit d'environ $5 \text{ m}^3/\text{s}$; soit environ 120 à 160 millions de m^3/an [4] ; cette valeur représente presque 30% du volume des apports.

Aujourd'hui vu la multiplications des points de rejets des eaux usées et de drainage dans le canal, plusieurs oasis connaissent des remontées des eaux qui se traduit par l'asphyxie de certaines palmeraies ,suite au déséquilibre entre la capacité d'eau apportée et celle évacuée, 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 sont 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).Le rejet des eaux usées urbains se fait en plusieurs points d'une manière anarchique, certain se trouvent à proximité de la palmeraie, une partie de ces eaux usées est sans aucun traitement au préalable ; rejoint le canal collecteur principal et se mélange au eaux de drainage ; l'absence d'un système de drainage adéquat et efficace ont eu des conséquences très néfastes tant sur le plan écologique que sur le plan économique ,notamment la palmeraie de l'Oued Righ, qui est aujourd'hui menacées par la remontée de la nappe phréatique ,cette oasis est entrain de connaître à présent l'une des situations écologiques les plus catastrophique de son existence qui pourrait être qualifiée à juste titre d'oasis malade de trop d'eau [5] .De nombreuses palmeraies sont inondées en hiver (palmeraie de Tinedla , Djamaa, Ferdjaouenne ,el Goug ...etc) cette remontée de la nappe provoque l'accumulation des sels et/ou la teneur élevée d'une croute blanchâtre à la surface du sol ,en effet le degré de salure de la nappe phréatique varie de 6 à 7 g /L dans l'oued Righ [6].La salinisation

secondaire à la suite de l'irrigation avec des eaux très minéralisées, une dureté permanente a entraîné l'extension de la salure dans toutes les palmeraies y compris les nouveaux périmètres mis en valeur. Une étude de la Sogréah (1970) a estimé à 800.000 tonnes la quantité de sel accumulée chaque année dans les terres cultivées de oued Righ provoquant la suffocation des palmiers dattiers [7]. Dans cette perspective et pour mieux contribuer à la résolution des problèmes suscités, nous nous sommes fixés comme objectif l'analyse des eaux en différents points de rejets dans le canal collecteur qui communique avec la nappe phréatique et qui est devenue actuellement un exutoire dans lequel sont déversés sans aucun traitement préalable, les effluents domestiques des quartiers avoisinants. Suite à cela nous nous sommes orientés vers l'impact de ces eaux, et la relation entre le canal et la nappe sur la culture du palmier dattier qui connaît actuellement une dégradation dans le rendement des cultures. Enfin cette étude ne peut pas être clôturée sans que nous puissions donner une éventuelle solution au problème qui se pose dans la dite vallée de oued Righ.

CHAPITRE 1

CADRE GENERAL DE LA ZONE D'ETUDE

1.1. Présentation de la région d'étude

La région d'Oued Righ est située dans le sud Est Algérien (figure.1.1), entre la latitude $32^{\circ} 54''$ et une longitude $34^{\circ} 09''$. Elle s'étale sur 150 Km de longueur et 20 à 30 Km de largeur, à cheval sur deux wilayas entre El Goug (w.Ouargla) et Oum El Thiour (w.d'El Oued) elle est limitée au nord par le plateau de Still, à l'est par l'erg oriental. Au sud par l'extension de l'erg oriental et à l'ouest par le plateau gréseux. Cette région est caractérisée par une dépression allongée du sud au nord, la cote la plus haute est de +100 m dans El Goug en Amont et -30 m dans le chott Merouane en Aval [8]. 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.

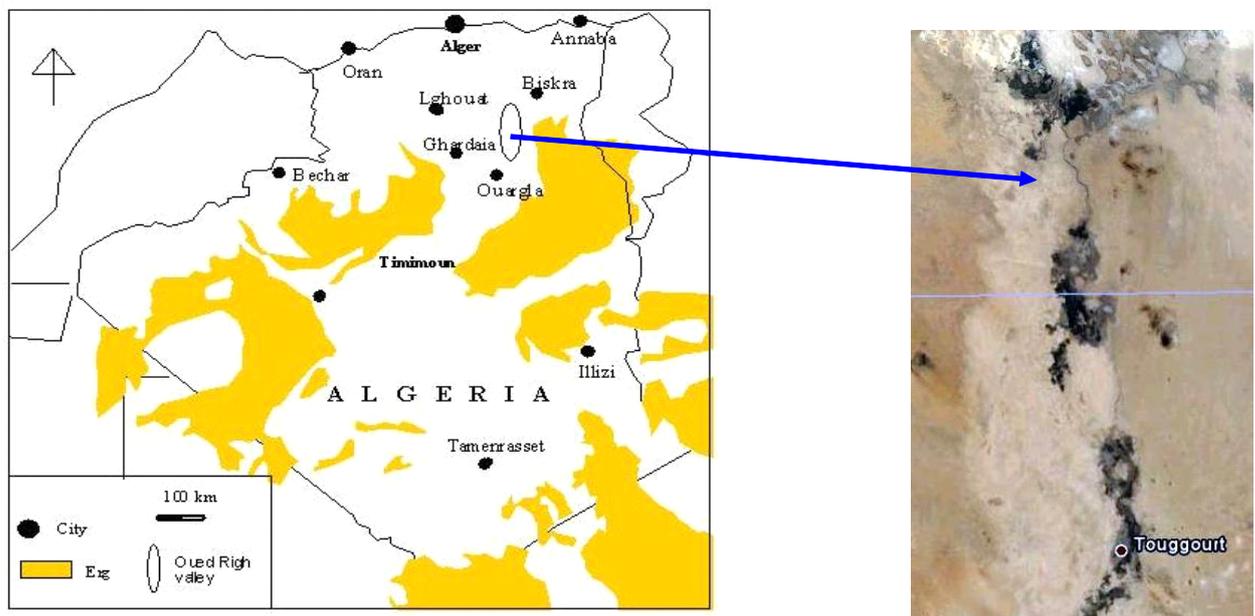
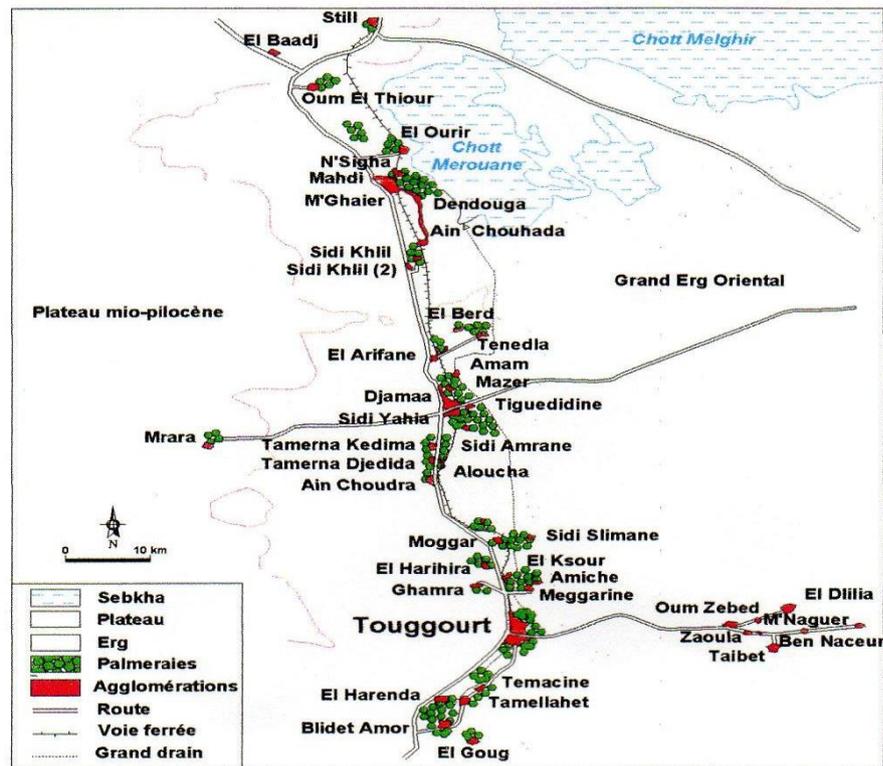


Figure.1.1 : Situation de la vallée d'Oued Righ

La région dite "Oued Righ" dans le Sahara septentrional est une entité économique bien précise qui regroupe près de 50 oasis et couvre environs 25.000 ha de palmeraies. Ces oasis sont alignées sur un axe nord-sud (figure.1.2).



Source : Etablie d'après M. Côte, 2001

Figure.1.2 : Situation des Oasis sur la vallée d'Oued Righ

1.2. Climatologie

En général, la région d'Oued Righ est caractérisée par un climat sec et hyper aride accusant des écarts de températures importantes entre le jour et la nuit, et entre les saisons. La température moyenne annuelle est de 22.5°C, les mois les plus froids sont janvier 11°C et décembre 12,34°C, les mois les plus chauds correspondent en moyenne au mois de juin, juillet et août avec respectivement 30,44°C ; 33,08°C et 33,42°C et peuvent atteindre par moment les 40°C (tableau.1.1).

1.2.1. Les précipitations

Les précipitations sont très rares irrégulières (irrégularité mensuelle et annuelle) leur répartition est marquée par une sécheresse quasi absolue du mois de mai jusqu'au mois d'août et un maximum au mois de janvier avec 17,2 mm.

1.2.2. L'humidité relative

L'humidité relative de l'air est faible estimée à une valeur moyenne de 47,79 % la plus élevée est enregistrée au mois de décembre 65,28% et les plus faibles au mois de juillet et août respectivement 32,45% et 35,59%.

1.2.3. L'Evapotranspiration

Dans la région de l'Oued Righ l'évapotranspiration maximum connaît une importante variation saisonnière. L'E.T.P mensuelle en hiver est trois fois moins importante que l'E.T.P mensuelle en été.

1.2.4. L'insolation

L'ensoleillement est considérable à la vallée de l'Oued Righ, avec un maximum de 10,72 heures en juillet et un minimum de 6,12 heures en janvier et décembre.

1.2.5. 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 persiste que quelques minutes [9].

1.2.8. Les vents

Les vents sont fréquent et violent dans la région de l'Oued Righ, en hiver, ce sont les vents d'ouest qui dominant tandis qu'au printemps, ce sont ceux du nord-est, alors qu'en été ce sont du sud-ouest. Elles se caractérisent par une vitesse dépassant parfois les 20 m/s provoquant le déplacement des dunes et le dessèchement des végétaux. Le Sirocco qui est un vent chaud, souffle particulièrement du mois d'avril à juillet.

Paramètres Mois	Humidité (%)	Température T (°C)	Précipitation P (mm)	Insolation I. (h)	Vitesse de vent (m/s)	Evaporation E. (mm)
janvier	66,7	10,61	17,68	244,9	2,62	101,2
février	54,8	13,1	2,97	255,2	2,68	131,7
Mars	48,2	17,06	5,25	286,3	3,04	197,0
Avril	43,2	20,85	4,82	289,3	3,89	238,9
Mai	39,1	26,53	2,69	319,9	3,95	321,3
Juin	34,7	31,32	1,04	347,4	3,42	358,9
Juillet	31,7	34,32	0,02	357,2	3,09	404,2
Aout	34,2	33,99	2,17	329,6	2,85	360,0
Sept	45,2	28,76	7,21	275,1	2,85	260,4
Octobre	50,8	23,08	8,48	265,8	2,59	192,9
Nov	59,0	16,07	9,05	236,4	2,68	130,4
Déc	66,1	11,65	8,28	234,2	2,83	108,0
Moyenne	47,80	22,28	69,66 *	286,77	3,04	233,74

* : cumule.

Source : (O N M, 2005).

Tableau.1.1 : Données climatiques (station de Touggourt, 1995-2005). [9]

1.3. Classification du climat

1.3.1. Diagramme Ombrothermique de Gaussen

Le diagramme ombrothermique de Gaussen et Bagnouls est une méthode graphique qui permet de définir les périodes sèche et humide de l'année, ou sont portés en abscisses les mois, et en ordonnées les précipitations (P) et les températures (T), avec $P=2T$. La (figure.1.3) porte le diagramme ombrothermique de la région de l'Oued Righ, l'air comprise entre la courbe représentant les températures maximal et le niveau des précipitations, représente la période sèche, qui s'étale pratiquement sur toute l'année.

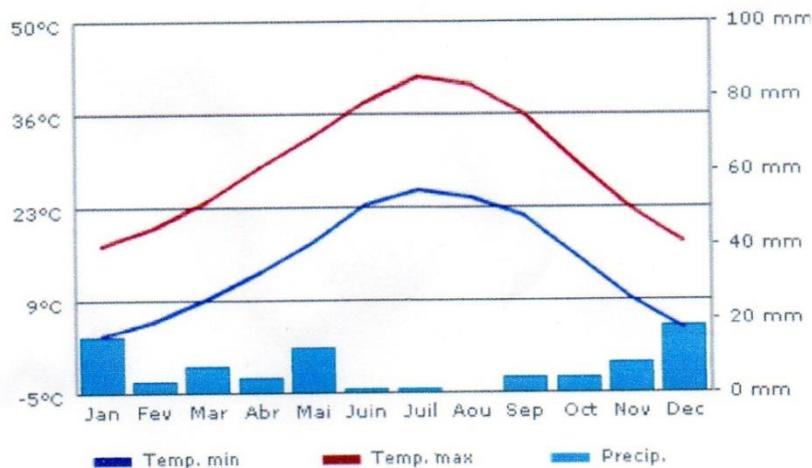


Figure.1.3. Diagramme Ombrothermique de la région d'Oued Righ

1.3.2. Climagramme d'EMBERGER

Ce climagramme permet, grâce au quotient pluviométrique d'EMBERGER (Q) spécifique au climat méditerranéen, de situer une zone d'étude dans un étage bioclimatique. Ce quotient tient compte des précipitations et des températures, il est déterminé comme suite :

$$Q = 3,43 \frac{P}{M - m}$$

Q : le quotient pluviométrique d'EMBERGER.

P : pluviométrie annuelle moyenne en (mm).

M : moyenne maximale du mois le plus chaud (en °C).

m : moyenne minimale du mois le plus froid (en °C).

La formule adoptée pour l'Algérie ou nous donne un $Q \approx 4,34$. D'après la (figure.1.4).Oued Righ est caractérisé par un climat saharien à hiver doux.

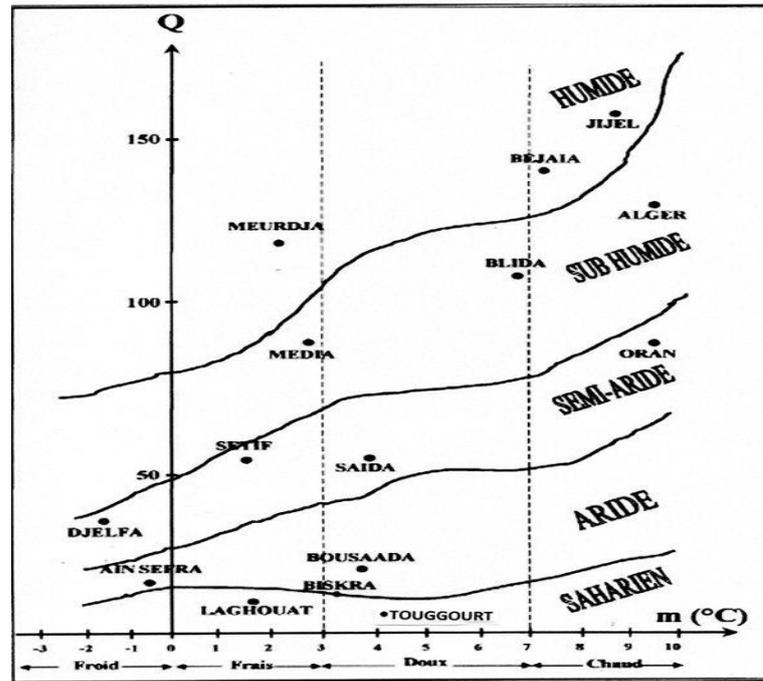


Figure.1.4 : Climagramme D'emberger de la région d'Oued Righ

1.4. Hydrogéologie

Le Sahara renferme d'importantes réserves d'eaux souterraines, les eaux des nappes du Sahara sont fossiles, elles se sont infiltrées et accumulées au cours des temps géologiques, leur alimentation s'est poursuivie au cours des périodes pluvieuses du quaternaire par infiltration sur les affleurements des couches perméables jusqu'à débordement de ces derniers, et que le niveau actuel des nappes traduit le résultat d'un tarissement pur depuis l'Holocène [10]. Dans la région d'Oued Righ il existe deux systèmes aquifères séparés par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques, de la base du crétacé supérieur. (figure.1.5)

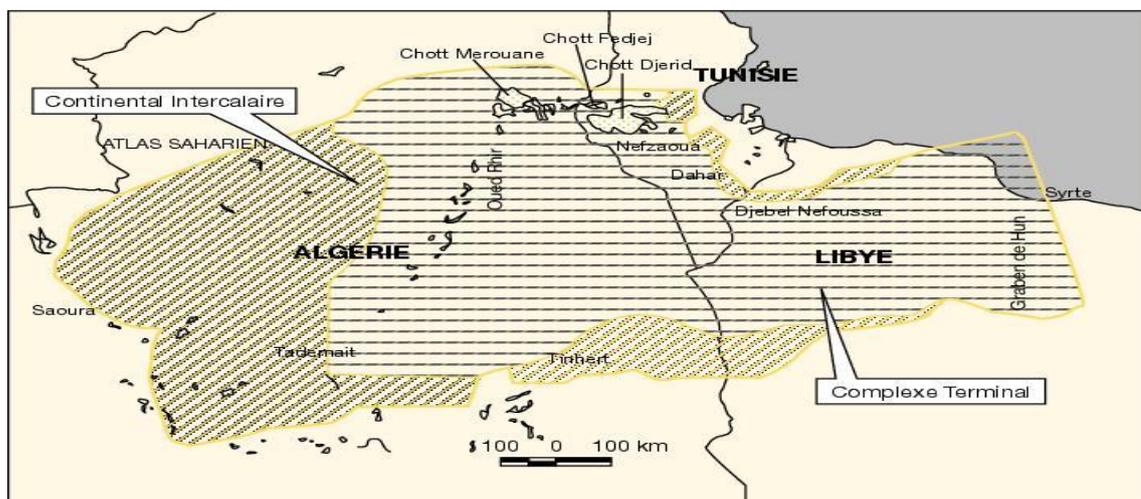


Figure.1.5: Délimitation du système aquifère du Sahara septentrional (SASS)

1.4.1 Le continental intercalaire (CI)

Le continental intercalaire occupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien. Ce réservoir a un volume considérable dû à la fois à son extension sur tout le Sahara septentrional (600.000 Km²) et à son épaisseur qui peut atteindre 1.000 mètres au nord ouest du Sahara.

C'est une aquifère composée de sable gréseux ou argileux, caractérisée par une température qui dépasse les 60°C quand elle Jaillit, une charge en H₂S et CO₂ qui lui donne un caractère corrosif. La minéralisation de l'eau oscille entre 1 et 2g/l de résidu sec et peut atteindre les 5g/l (Gassi Touil) l'écoulement des eaux de cette nappe se fait dans la partie occidentale du nord vers le sud et dans sa partie orientale de l'ouest vers l'est (Tunisie) et du sud vers le nord [11]. (figure.1.6).

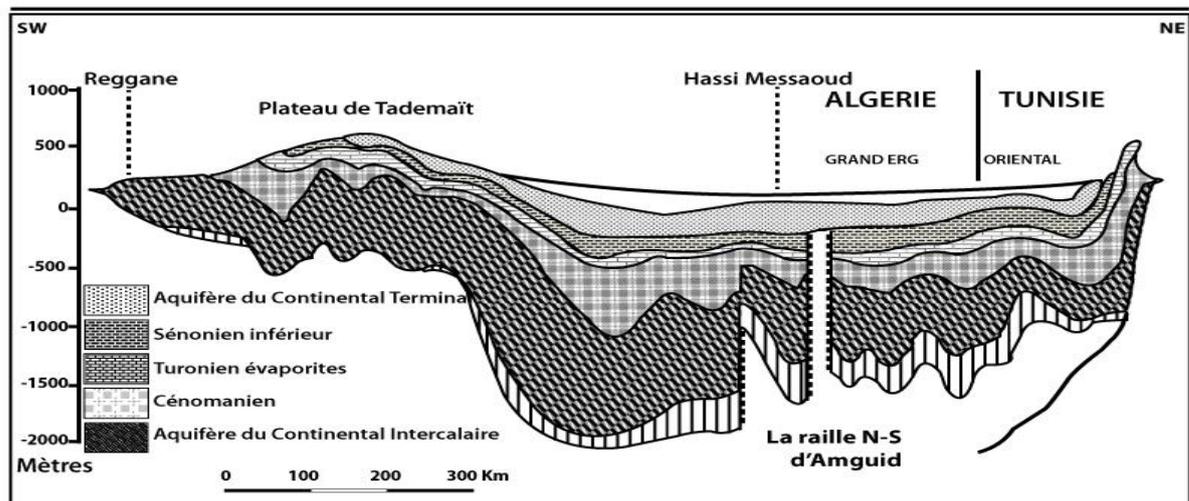


Figure.1.6: Coupe géologique du Sahara septentrional d'après UNESCO(1972).

1.4.2. Le complexe terminal(C.T)

La nappe du complexe terminal (C.T) se localise dans le Sahara occidental et s'étend sur une superficie de 350.000 km² avec une profondeur oscillant entre 100 et 500 m. Le (C.T) est quand à lui un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du crétacé supérieur et des épisodes détritiques du tertiaire, principalement du Miocène [12]. Dans le complexe terminal on distingue trois aquifères principaux [13]. (figure.1.7).

- 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'éocène 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 (C.T) deviennent très minéralisées à l'exutoire des chotts Melghir et Merouane 6 à 7g/l. Certaines zone de la nappe du (C.T) sont caractérisées par une forte salinité (conductivité électrique de 5 à 16 mmhos/cm) qui est entrain 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 de la zone sud (Ouargla) [14].

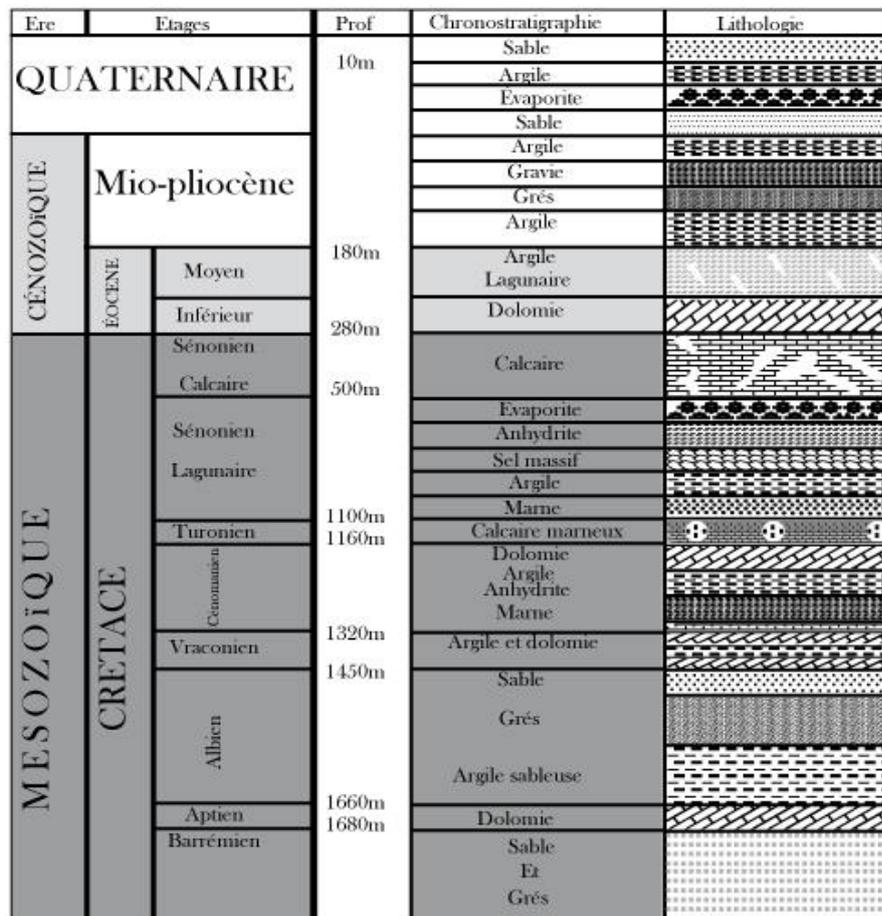


Figure-1.7: Log stratigraphique synthétique de la région d'Oued Righ

1.4.3. La nappe phréatique

Elle est contenue dans les niveaux sableux et argilo-évaporitiques du quaternaire. Elle se présente sous forme pelliculaire par rapport à la nappe des sables qui 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. Elle est située à une faible profondeur oscillant

entre 0,7 et 2 m, ce qui rend son exploitation aisée. Cependant cette nappe reste alimentée par les eaux d'irrigation en excès, celle-ci est d'origine souterraine, l'eau en est très salée, la conductivité électrique est supérieure à 9 mmhos /cm dans 80% des cas [13]. La faible profondeur de la nappe a provoqué de problèmes multiples notamment la remontée de la nappe en surface qui entraîne l'asphyxie par étouffement de l'appareil végétal des palmiers ce qui entraîne leur dépérissement, (diminution progressive du rendement puis la mort du palmier).

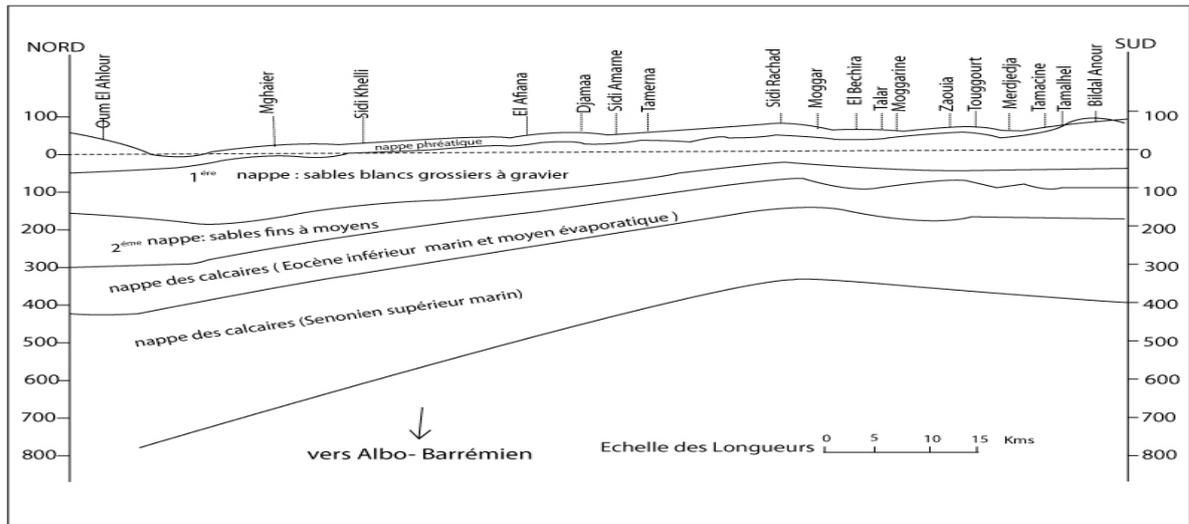


Figure.1.8: Profil schématique des nappes artésiennes de l'Oued Righ

1.5. Caractéristiques physiques (cadre géologique et pédologique)

1.5.1 Géologie et géomorphologie

Le bassin versant de l'Oued Righ présente des terrains du type quaternaire continental récent composés d'alluvions anciens constituant les seuls sols valables pour une mise en valeur agricole.

La vallée de la zone humide est constituée de calcaires, de grès et d'argiles. Notant la présence de dayas, hamadas (reg) et de dunes (erg).

Le relief du site est homogène avec la présence de quelques dunes de sables et de quelque hamada de faible hauteur. On note une évolution du sol faisant suite aux apports en matière organiques caractérisée par la présence d'une végétation saharienne éparpillée dans les vallées et les oasis [15] RAMSAR.

1.5.2. Pédologie

Dans la région de l'Oued Righ les sables sont en majorité siliceux et formés de quartz pur donc insolubles. Dans les régions sédimentaires (Oued Righ et Oued souf) on trouve aussi des sables calcaires (CaCO_3) et gypseux ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) [16].

Le matériau parental des sols de l'Oued Righ est d'origine mixte allu-colluviale et éolienne. Les allu-colluvions proviennent de l'érosion du niveau encrouté datant du quaternaire ancien ou du Mio-Pliocène.

Ce sol hydromorphe et peu humifère se distingue par quatre (4) types de sols :

- Sol gypseux daté d'une croûte avec une profondeur minimale de 0.30 m et un maximum de 1.20 m salin, sa texture est limono-sableuse. Le gypse est une fraction constitutive du sol (40% en moyenne) et qu'à ce titre, il contribue à donner à celui-ci des propriétés physiques et chimiques [17].
- Sol profond à Gley avec présence de gypse, dont la texture est limono-Sableuse.
- Sol d'apport éolien, salin d'une profondeur de 0.70 m à 1.20 m avec une texture Sablo-limoneuse
- Sol salin à pseudo- Gley avec présence de gypse d'une profondeur de 0.70 m à 1.20 m avec une texture limono-sableuse [RAMSAR]. Les sols d'Oued Righ sont 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 encroutés, les propriétés hydrodynamiques sont bonnes, améliorées par des apports de sables de surface.
- 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 1m/s.
- La vitesse d'infiltration au cours de l'arrosage est comprise entre 0.00003 et 1m/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 [18].

1.5.3. Topographie

La région est connue sous le nom du bas Sahara à cause de sa basse altitude.

La topographie de la région de Oued Righ en fait est une espèce de gouttières très aplaties orientées Nord-Sud et longue de 150 km entre El Goug (32° 4' de latitude Nord) et Oum El Thiour (34°9'). 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 27 m au milieu du chott Merouane (+ 70 m à Touggourt + 30 m Djamaa, et 0 m à El Megheir) cette pente de l'ordre de 1‰ permet aux eaux excédentaires de s'écouler vers le Nord (Dusost1991).

CHAPITRE 2

LES SOLS SALES : CARACTERISTIQUES ORIGINES ET CLASSIFICATION

2.1. Répartition des sols salés dans le monde

Les sols salés ou sols halomorphes appelés actuellement sols salsodiques représentent un pourcentage important de la surface totale des sols dans le monde, soit environ 24% des terres agricoles, ce qui constitue un grand problème pour l'agriculture mondiale. 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 [19]. Les pays arides ne sont pas les seuls à être touchés. On rencontre les sols salés au Canada, en Suisse, et en France selon [20], et d'une façon générale « les sols sodiques en Afrique du nord proviennent principalement d'une action de la mer (pas actuelle) ou de la présence de dépôts lagunaires salés et gypseux répartis dans l'échelle stratigraphique depuis le trias jusqu'au quaternaire ». Ajouté à cela la qualité des eaux d'irrigation et de la remontée des niveaux des nappes phréatiques, ce phénomène étant aggravé par l'absence de réseau de drainage efficace. D'après [20] 3,2 millions d'hectares subissent à des degrés de sévérité variable, le phénomène de salinisation dont une bonne partie se trouve localisée dans les régions steppiques ou le processus de salinisation est plus marqué du fait des températures élevées durant presque toute l'année, du manque d'exutoire et de l'absence de drainage efficace.

Ce phénomène est observé dans les plaines et vallées de l'ouest du pays (Miya, Chellif, Maghnia) dans les hautes plaines de l'est (Constantine, Setif, Bordj, Bou Arreridj, Oum el Bouagui) aux abords des chotts et des sebkhas (chott Echergui, chott Gharbi, chott Hodna, chott Melghir, sebkha d'Oran, Zemmoul...etc) et dans le sud (dans les oasis, le long des oueds) au sud de Biskra, jusqu'à Touggourt et Ouargla, et s'étendent dans toutes les zones sahariennes.

2.1.1. Définition des sols salés

Les sols salés sont ceux dont l'évolution est dominée par la présence de fortes quantités de sels solubles, plus solubles que le gypse, ou par la richesse de complexe absorbant en ions provenant de ces sels et susceptibles de dégrader leur caractéristiques et propriétés physiques, en particulier leur structure, qu'ils rendent diffuse [21] les sels les plus habituels dans ces sols sont les chlorures, sulfates, bicarbonates, carbonates, borates, nitrates et parfois fluorures de sodium. Dans quelques cas se sont des sels de potassium, les sels de magnésium, sulfates en particulier peuvent s'y trouver. Enfin les chlorures de calcium ou de magnésium ou mixtes de ces deux cations donnent également naissance à des sols salés.

- Un sol salin résulte de l'accumulation des sels dans les horizons de surface, les sels les plus communs présent dans la solution du sol correspondent aux cations Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , et au anions Cl^- , So_4^{2-} , Co_3^{2-} , No_3^- . Ce processus dépend essentiellement du régime hydrique du sol, des sources de sel, du climat chaud et sec, l'évaporation ...etc.
- Un sol devient sodique lorsque la proportion d'ion Na^+ dépasse celles des autres électrolytes de plusieurs ordre de grandeur [22] cela dépend de la source de sel mais aussi des conditions physico-chimiques du sol, la salinité se produit si :

$$\text{CE}_i \times \text{Q}_i > \text{CE}_d \times \text{Q}_d$$

Avec :

CE_i : conductivité électrique moyenne de l'eau d'irrigation

Q_i : Quantité d'eau d'irrigation

CE_d : conductivité électrique moyenne de l'eau de drainage

Q_d : quantité d'eau de drainage

2.1.2. Salinité et paysages salinisés

Les sols salés sont des sols de forte salinité. Ils contiennent généralement un mélange de sels. Les incrustations blanches et la surface en sont une indication (figure.2.1). Ce dépôt blanchâtre est généralement un mélange de sels de sodium, de calcium et de magnésium. Tous ces sels ont une propriété commune ils se dissolvent facilement dans l'eau. D'autres sels comme le calcaire et le gypse se

rencontrent sous forme de concrétions ou de cristaux en profondeur dans le sol, ils sont très peu solubles mais n'élèvent pas la salinité du sol.



Figure.2.1 : Représentation d'une couverture par une croûte de sel [23].

La solubilité des sels est donc un facteur important et complexe de l'évolution de la salinité du sol. Par exemple les chlorures, plus soluble que les sulfates, migrent plus facilement dans le sol. La solubilité du gypse de l'ordre de 2 g/l à 20°C augmente en fonction de la température et aussi en présence de NaCl. [24]

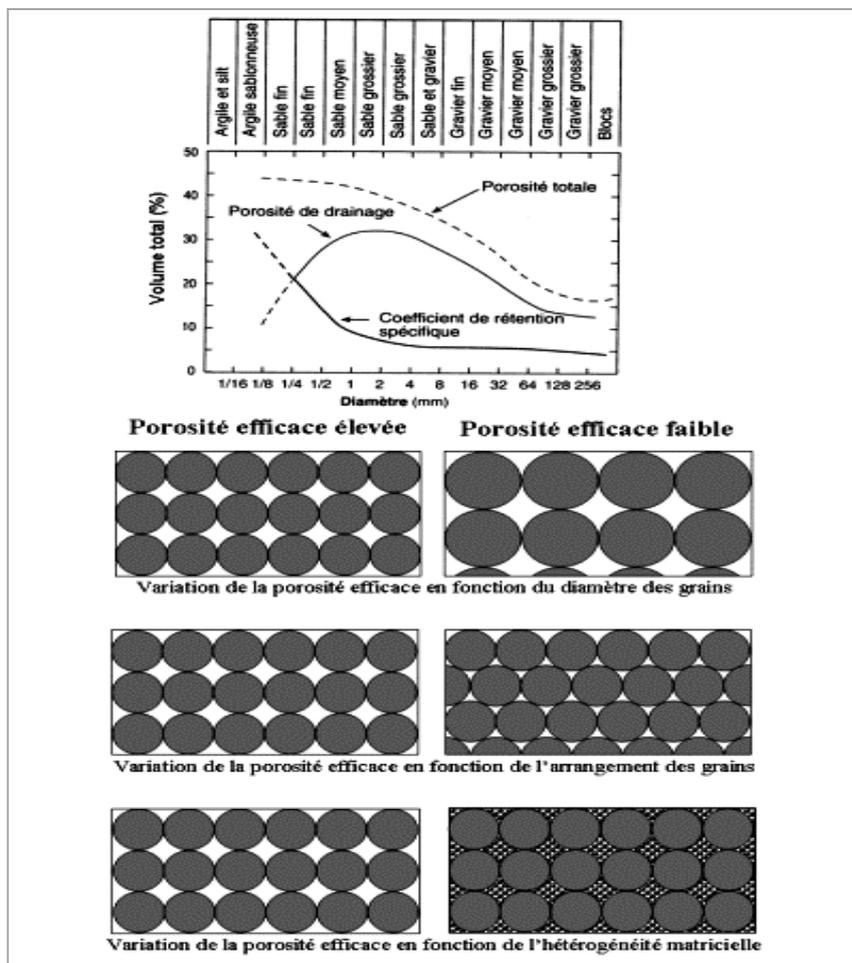
- Les processus de transfert des sels dans le profil sont soit :
 - Par ascensum à partir de la nappe salée.
 - Par descendum sous l'influence des pluies est de l'irrigation.
- Les sels proviennent généralement:
 - Des dépôts primaires des sels dans les sols.
 - D'une eau d'irrigation même peu salée.
 - D'une nappe salée superficielle.

On parlera généralement de sol salé lorsque la concentration en sels des solutions dépasse 0.5 g/l. Cette concentration est le plus souvent mesurée par la conductivité électrique (C.E) de la solution du sol saturée exprimé en mmhos/cm ou actuellement en ds/m ou en s/m et aussi en ms/cm.

2.2. L'horizon du sol

L'horizon du sol apparaît au niveau du profil pédologique. Ce sont des couches de sol d'épaisseur variable qui apparaissent homogène à l'œil nu du point de vue de leur structure, texture, couleur c'est-à-dire de tous les aspects de sa morphologie et de sa composition granulométrique.

L'étude micro-morphologique du sol a donné lieu à une typologie des organisations primaire du sol : la façon dont les particules d'argile, de limon, de sable sont arrangés ensemble pour former des agrégats qui eux même s'organisent en assemblages d'ordre supérieurs. Et c'est le niveau de l'agrégat primaire qui forme l'entité de base de la structure du sol [25] c'est au niveau de cet agrégat primaire dont la porosité est celle du plasma argileux que les mécanismes comme la rétention de l'eau par gonflement, la circulation de l'eau intra et inter agrégats les états hydro-structuraux du sol, les cycles de retrait- gonflement du sol, peuvent être abordés et caractérisés.(figure.2.2)



2.2.1. Origines et causes de la salinisation des sols

Les causes de phénomène de salinisation des sols sont multiples, cependant le critère d'identification pour chaque mode de salinisation est évidemment son origine dont la connaissance reste nécessaire pour l'amélioration des terrains salés. La salinisation des sols peut être due à :

- La lixiviation des sels solubles est / ou à l'évaporation qui déposent leurs sels dans les sols.

- Utilisation d'eau d'irrigation de qualité médiocre, et lessivage naturel insuffisant.

En Régime non saturé la remonté capillaire entraîne un transport des sels par flux de masse vers la surface du sol ou ils s'accumulent après évaporation de l'eau. Cette accumulation des sels en surface dépend des profondeurs de la nappe et des texture du sol, la salinisation d'un milieu implique la présence d'une source de sels qui peut être naturelle dénommée primaire, et une salinisation anthropique généralement liée à l'irrigation que l'on appellera secondaire.

2.2.2. Salinisations primaires

2.2.2.1. Salinisation géologique

Les sels solubles peuvent provenir :

- Soit de l'altération des roches contenant des minéraux sodique, potassique et magnésique. En région arides et semi-arides ces sols se concentrent sur place dans des dépressions fermées, en effet durant le processus d'altération chimique (hydrolyse, hydratation, solution, oxydation et carbonatation), les sels sont libérés progressivement avant de subir une solubilisation.

- Soit de dissolution des évaporites contenant des chlorures, des sulfates ...etc. Les évaporites se localisent essentiellement dans les bassins élémentaires (trias, ternaire et quaternaire).

- Soit de l'altération des roches volcaniques. [26]

Dans la plupart des cas, les sels sont apportés aux sols par l'eau qui contient des sels solubles dont la nature et la concentration dépendent des matériaux géologiques avec lequel l'eau a été en contact [27].

2.2.2.2. Salinisation par les eaux

Généralement ce sont les eaux de surfaces et les eaux de nappe souterraines qui constituent les principales sources de sel affectant l'agriculture irriguée. Pour l'eau d'irrigation le degré avec lequel s'opère la salinisation dépend de :

- La composition de cette eau qui à son tour est fonction de la teneur en sel du sol et des matériaux géologique avec lequel elle a été en contact.

- Le billant entre l'apport d'eau d'irrigation à la surface du sol et le déplacement de l'eau de drainage de la limite intérieur du profil.

En outre les nappes des zones arides et semi-arides véhiculent des eaux souvent chargées en sels solubles, la source la plus importante de ces sels reste l'eau d'irrigation ainsi l'augmentation du niveau de la nappe phréatique due à ces eaux favorise l'accumulation des sels en surface et cela suite à une évapotranspiration intense. Cette remontée très rapide de la nappe fût observée sur plusieurs périmètres irrigués, au sud de l'Algérie. Ce qui a entraîné une accumulation importante de sels dans le profil par remontée capillaire de la nappe.

D'après la F.A.O cité in [28] la superficie totale concernée par la salinisation hydraulique est proche de mille millions d'hectares soit près de 5% de la surface du globe.

2.2.3. Salinisation secondaire

Dans les zones à climat aride et semi-aride la pratique de l'irrigation représente l'une des plus importantes de la salinisation secondaire .Cette salinisation s'effectue de deux manières [29]:

- 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 déjà accumulés. Ce type de salinisation est favorisé par plusieurs facteurs, climatiques, hydrogéologiques, géomorphologique ainsi que par l'activité humaine [30].
- Plus de la moitié des terres irrigués du monde sont salées sodique ou sujettes à l'engorgement.
- En Algérie près de 10 - 15% de terres irriguées sont concernés par ces problèmes, on estime que les terres salinisées seront difficilement récupérables.

2.2.4. Mesure de la salinité des sols

Dans le sol, les sels solubles peuvent se trouver sous forme dissoute dans la solution du sol ou sous forme cristallisée lorsque la solution est concentrée et saturée, pour analyser les sels solubles contenus dans l'échantillon de sol on à le choix entre deux méthodes :

2.2.4.1. Mesure et normes de salinité des sols à partir de l'extrait de pâte saturée

La confection de la pâte saturée est simple, mais nécessite au moins 250 g de terre afin d'obtenir au moins 50 cm³ de solution d'extraction. Pour la préparation on malaxe la pâte dans une capsule, le point de saturation est annoncé par des critères simple. la pâte doit briller, couler le long des parois de la capsule et se détacher de la spatule, une fente creusée doit se refermer instantanément.

2.2.4.1.1. Conductivité électrique et bilan ionique

La salinité globale de l'extrait de pâte saturé est déterminée par la mesure de la conductivité électrique, laquelle est approximativement proportionnelle (pour les faibles concentrations) à la concentration en sels solubles, et donc aussi à la pressions osmotique P.O sous la forme :

$$P.O = K * CE$$

- K est un coefficient variable suivant la nature du sel.
- C.E la conductivité électrique.

La conductivité électrique d'une solution est la conductance de cette solution mesurée entre des électrodes de 1 cm² de surface distant de 1 cm .La résistance étant exprimée en ohm, la conductance s'exprimé en siemens ou (mho) et la conductivité en ds/m (mmhos/cm) et ms/cm.

$$1 \text{ mmhos/cm} \cdot 640 = 1 \text{ ppm} = 1 \text{ mg / L}$$

Le coefficient **K** varie de **0.36** pour NaCl et KCl, **0.30** pour MgCl₂, CaCl₂, Na₂SO₄ et **0.28** pour MgSO₄. (L'U.S.S.L) intègre les différents aspects que nous venons d'évoquer.

Il nous montre qu'a même pourcentage de sel correspondent des solutions du sol diversement concentrées, suivant que le sol est sableux ou argileux.

La teneur en anions et cations sont exprimées en milli-moles équivalents par litre (meq/l). Entre la C.E de l'extrait de pâte saturée et les sommes des ions existent une relation de la forme :

$$\text{Somme des ions} = K' * CE$$

Le coefficient **K'** est variable suivant la nature des sels dissout et oscille entre **8** et **20**. (L'U.S.S.L) propose un coefficient de l'ordre de **12,50**. [31]

2.2.4.2. Echelle de salinité d'après l'extrait de pâte saturée

2.2.4.2.2. Echelle de salinité pour les sols salés

L'échelle agronomique mise au point par l'U.S.S.L est exprimée en termes CE de l'extrait de pâte saturée. Cette échelle ne couvre pas le domaine des fortes salinités fréquentes près des Sebkhass et chotts. Elle varie de 0 à 16 ds/m et s'établit de la manière suivant :

Echelle de salinité ds/m	Type de sols
0 - 2	Non salin
2 - 4	Très faiblement salins, seuls les végétaux sensibles sont affectés
4 - 8	Salinité modérée, de nombreuses cultures sont affectées
8 - 16	Fortement salin, seules les cultures résistantes peuvent se développer normalement mais la pluparts des cultures sont affectées
- > 16	Très fortement salin, les plantes habituellement cultivées ne résistent pas à cette salinité. Seuls les végétaux halophites peuvent prospérer normalement

Tableau.2.1 : Echelle de salinité pour les sols salés

2.2.4.2.2. Echelle de salinité des sols salés gypseux

Etant donné qu'une solution saturée en CaSO_4 a une CE de 1.9 ds/m à 25°C et afin de tenir compte de la teneur élevée en gypse de certains sols salés. On a proposé l'échelle de salinité suivante qui majore de 2 ds/m les salinités précédente [32].

Sol non gypseux	Sol gypseux	Degré de salinité
< 2 ds/m	< 4 ds/m	sol non salin
2 à 4	4 à 6	sol faiblement salin
4 à 8	6 à 10	Sol légèrement salin
8 à 16	10 à 18	Sol salin
16 à 32	18 à 34	Sol très salin
> 32	> 34	Sol excessivement salin

Tableau.2.2 : Echelle de salinité pour les sols salés gypseux et non gypseux

2.2.4.2. Mesures et normes de salinité des sols à partir des extraits dilués

Dans cette méthode le but est d'extraire le maximum des sels contenus dans l'échantillon, pour cela on utilise des extraits aqueux, les rapports sol/eau les plus fréquemment utilisés sont du type $1/2$; $1/5$; $1/10$. Sur ces extraits on effectue comme pour les pâtes saturées (mesure de la C.E, dosage des anions et des cations).

2.2.4.2.1. Conductivités des extraits dilués

Les valeurs de la conductivité électrique des extraits dilués sont fortement inférieures à celles de l'extrait de pâte saturée obtenus sur le même échantillon, et c'est la conséquence logique de la dilution, théoriquement on a les relations suivantes [24].

$$CE (1/P) = CE (1/1) * 1/P$$

Où **P** est le rapport eau / sol et **CE (1/P)** la conductivité de l'extrait de dilution **P**.

Dans la pratique on constate que les mesures de C.E sont presque toujours supérieures à celle prévue théoriquement, sauf dans le cas des extraits à faible dilution. On met ainsi en évidence le fait que les extraits dilués dissolvent plus de sels que les extraits « concentrés » de type 1/1 ou pâte saturée.

2.2.4.2.2. Echelle de salinité

A titre indicatif [33] propose l'échelle de salinité de l'extrait au ($1/5$) suivant.

Degré de salinité ds/m	Type de sol
0.20 à 0.6	Sol faiblement salé
0.65 à 1.40	Sol moyennement salé
1.4 à 2.20	Sol salé
2.2 à 3.75	Sol fortement salé
3.75 à 6.00	Sol très fortement salé
6.00	Sol hyper salé

Tableau.2.3 : Echelle de salinité en termes de conductivité de l'extrait au (1/5).

Ces limites de salinité doivent être modifiées pour des types de sol et de sels donnés. L'extraction des sels en fonction de la dilution ne présente d'importantes variations que dans le cas de sol gypseux. Ainsi l'augmentation de la dilution des extraits aqueux entraîne la mise en solution de quantités supplémentaires de sels. Ce phénomène est surtout très sensible pour SO_4^- et plus faible pour les autres ions, par ailleurs les dissolutions supplémentaires deviennent négligeables dans le cas de forte salinité [32].

2.3. Salinité des eaux : mesure et normes de qualité des eaux d'irrigation

2.3.1. La salinisation causée par l'irrigation

2.3.1.1. Participation de l'irrigation à la salinisation des sols

L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en général un apport d'eau supplémentaire. Cet apport est toujours associé à un apport de sels. En effet même une eau douce de la meilleure qualité contient des sels dissous et si la quantité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les quantités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt en cumule de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable. L'eau pure est perdue par évaporation mais les sels restent et s'accumulent. Dans les régions arides l'effet est d'autant plus marqué, les eaux de surface et les eaux souterraines sont relativement riches en sels (parce que l'eau s'est infiltrée dans des sols qui contiennent généralement des minéraux facilement altérables) et le climat sec crée une demande évaporative élevée ce qui se traduit par la nécessité de grandes quantités d'eau pour l'irrigation des cultures. Un agriculteur en région semi-aride peut avoir à appliquer jusqu'à 90 cm d'eau pour répondre aux besoins en eau des cultures annuelles. Même si l'eau d'irrigation est relativement pauvre en sels cela entraîne le dépôt d'au moins 6 tonnes/ ha (2.4 tonnes/ acres) de sels sur le sol par an [34].

2.3.1.2. Les problèmes de la salinisation des terres irriguées

Le développement des systèmes d'irrigation a permis la mise en valeur des terres arables en zone arides et semi-arides. C'est ainsi que depuis une cinquantaine d'années de grands périmètres ont été construits en Algérie pour combler le déficit en eau des cultures. Cependant ces pratiques d'irrigation à grande échelle ont modifié le fonctionnement des sols et accru le risque de salinisation. En Algérie plus de 20% des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité. [35] près de 50% des terres irriguées salinisées se trouvent dans la zone aride.

2.3.2. Etendue des problèmes de salinité dans le monde

Pendant les trente dernières années, les pays à faible revenu dans les régions sèches du monde ont considérablement développé l'irrigation pour pouvoir produire l'alimentation nécessaire et répondre aux besoins d'une population croissante. En conséquence le pourcentage des terres arables irriguées a considérablement augmenté pendant cette période.

pays	% de salinité des surfaces irriguées
Pakistan	25%
Tunisie	25%
U.S.A	23%
Inde	17%
Chine	15%
Afrique du sud	9%
Algérie	20%

Tableau.2.4 : Etendue des problèmes de salinité dans le monde [36].

Globalement le monde perd en moyenne 10 hectares de terres cultivables par minutes dont 3 ha à cause des salinisations [36]. Aujourd'hui on estime à près de 400 Mha les terres affectées par les salinisations [37]. Beaucoup de projets d'irrigation n'ont pas été associés à la mise en place de système de drainage adaptés, ce qui à entrainé une salinisation accélérée des sols avec une accumulation des sels à des niveaux affectant négativement la production agricole, dans certaines zones des sols sodiques se sont formés.

2.3.3. Coûts des problèmes de salinité dans le monde

Les pertes financières occasionnées par la salinisation des terres irriguées s'élève à environ 250 dollars/ ha, soit environ 11 milliards de dollars de pertes totales les sols salinisée affectent les productions vivrières avec des conséquences dramatiques pour les populations rurales, selon la banque mondiale (environ 5% du P.N.B d'Asie centrale) sont perdus à cause de la salinité des sols [38].

2.3.4. Evolutions de la salinité dans le sud Algérien

Dans les régions sahariennes les nappes hydriques souterraines qui sont en grande part non renouvelables représentent les sources principale d'approvisionnement en eau pour l'irrigation. En outre, les conditions climatiques dans ces régions rendent l'irrigation nécessaire pour l'agriculture. L'agriculture irriguée dans ces régions est donc confrontée à des problèmes majeurs tels que la salinité des eaux et des sols et la surexploitation des eaux souterraines.

Les eaux profondes utilisées au Sahara pour la pratique des irrigations, qu'elles soit artésiennes ou proviennent de pompage, sont presque toujours fortement minéralisées. En effet le degré de salure de la nappe phréatique varie de : 6 à 7 g par litre dans l'Oued Righ ; 2.5 à 6 g par litre dans le Saouara ; 1.2 à 2.5 g par litre

dans la nappe de l'albien au Sahara [39]. Dans les Foggaras canaux souterrains creusés pour permettre de recueillir les eaux de nappes circulantes assez peu profondes et ,le plus souvent de faibles épaisseur et de faible étendue du Sahara central (Touat, Tidikelt, Gourara) la salinité des eaux, beaucoup moins élevée ne dépasse qu'exceptionnellement 2 g par litre. Les tâches salées saisonnières sous formes d'efflorescences à (Igli) ou de croûte salines à (Adrar) sont fréquentes. Mais elles sont facilement éliminées en raison de la grande perméabilité des terrains [40].

2.3.4.1. Cas d'une nappe superficielle proche avec une eau de qualité médiocre

- L'agriculture irriguée entraîne un surplus d'eau aux nappes souterraines superficielles. Les besoins en lessivage d'eau supérieur aux besoins des plantes, mais également une mauvaise gestion du transport et de l'application de l'eau (perte) entraînent une remontée des nappes vers la surface du sol.
- La demande évapotranspiratoire peut être directement prélevée de 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. C'est le processus d'évapo-concentration, ce phénomène annule le lessivage, et entraîne à nouveau les sels dans la partie supérieure du sol la plus sensible pour la croissance des plantes.
- Les nappes phréatiques des périmètres irrigués sont souvent riches en sels. D'une part elles recueillent les eaux lessivant les sels et d'autre part lors de leur remontée, elles peuvent remobiliser des sels des couches profondes précipités en surface lors du processus d'évapotranspiration.

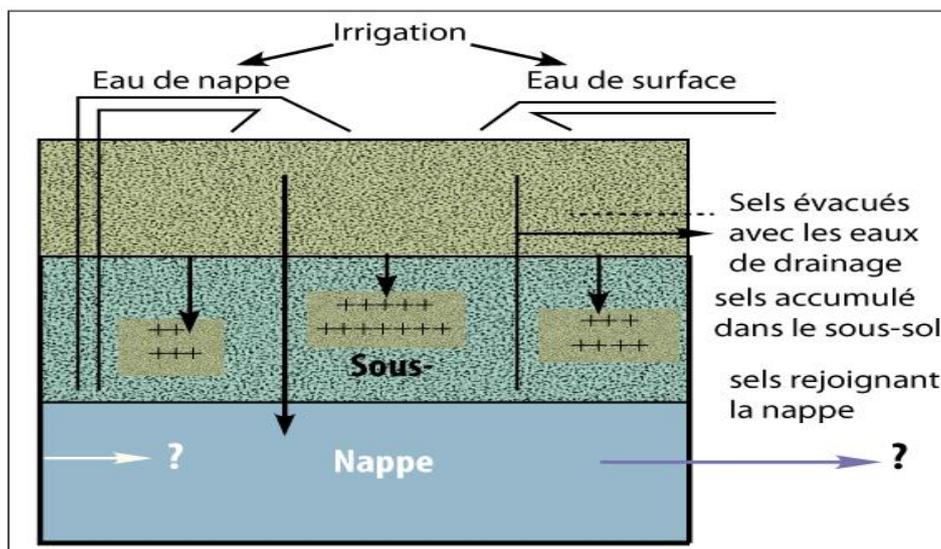


Figure.2.3 : Schéma de salinisation par accumulation des sels non évacués.

2.3.4.2. Cas d'exploitation des nappes phréatiques

La nappe du (CI) traditionnellement exploitée dans les wilayas (d'Adrar, Ghardaïa, El Oued et Ouargla) s'est étendue d'une manière sensible depuis le début des années 80 aux wilayas de (Biskra, Tamanghasset et Illizi). Cette exploitation qui au départ se faisait à partir de Foggaras (Adrar) et Forages jaillissants (Ghardaïa- Ouargla et El Oued). S'est largement étendue grâce à la généralisation du pompage. Ainsi les prélèvements par pompage qui en 1950 étaient de l'ordre de $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ (soit 5% des prélèvements de l'époque, ont atteint en l'an 2000 la valeur de $2.1 \text{ m}^3/\text{s}$ (soit 71% des prélèvements en l'an 2000). La généralisation du pompage est particulièrement spectaculaire dans la wilaya d'Adrar où les volumes pompés sont passés de $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ en 1982 à $6.3 \text{ m}^3/\text{s}$ en l'an 2000. Cette situation est largement commandée par la disposition de la nappe à être captée à faible profondeur et avec une piézométrie proche de la surface du sol.

- Les Foggaras du Gourara du Touat et du Tidikelt constituent le principal exutoire artificiel à fonctionnement hydrodynamique naturel de la nappe du (CI) dans la partie Sud-ouest du bassin.

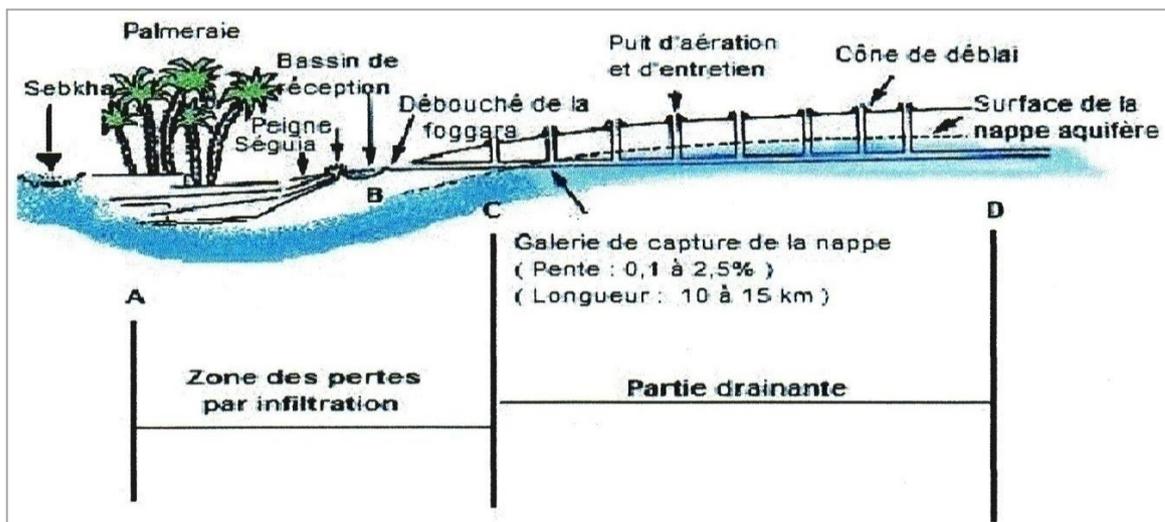


Figure.2.4: Principe d'extraction de l'eau du sol par les Foggaras (Ifli Amokrane)

- Dans les wilayas de Ghardaïa où l'artésianisme était jusqu'au début des années 70 plus important que le pompage, les volumes pompés ont atteint en l'an 2000 près de $5 \text{ m}^3/\text{s}$ soit 1.7 fois le volume par artésianisme soit ($2.967 \text{ m}^3/\text{s}$).
- Dans la wilaya d'Ouargla le pompage s'est manifesté depuis les années 60 mais est devenu au cours des années 80, de loin important que l'artésianisme ($3.35 \text{ m}^3/\text{s}$ contre $1.32 \text{ m}^3/\text{s}$ en l'an 2000).

- Dans la wilaya d'El Oued ou la nappe du (CI) est relativement profonde et sous forte pression son exploitation par artésianisme est de règle, mais le pompage ne cesse de se développer depuis les années 70. Il a atteint en l'an 2000 l'équivalent de $0.76 \text{ m}^3/\text{s}$. L'exploitation par artésianisme est d'avantage développée dans cette zone ($1.51 \text{ m}^3/\text{s}$) [41].
- L'accroissement des volumes pompés et le développement de l'agriculture saharienne se répercutent au niveau de ces nappes sahariennes sous forme du tarissement des sources et de l'affaiblissement de l'artésianisme. Cette exploitation croissante et susceptible d'entraîner à long terme dans les zones vulnérables des changements dans la qualité de l'eau.



Figure.2.5 : Foggara une source pour l'eau d'irrigation

2.4. Historique piézométrique

A l'échelle de l'ensemble du bassin saharien la configuration de la piézométrie des deux principales nappes du (CI) et du (CT) a accusé peu de variation entre 1950 et l'an 2000. Pendant cette période la baisse de la piézométrie de la nappe du (CT) est suivie en Algérie dans plusieurs zones ou groupes d'oasis dont en particulier (Mrhaier, Djemaa, el Oued, Touggourt, Hassi Khalifa, Ouargla et Gassi touil) ,ce suivi est discontinu dans le temps et ne se fait qu'à l'occasion des campagnes de mesure spécifiques.

- Dans la région de Oued Righ nord le forage de Sidi Ahmed Tidjani montre entre 1952 et 1995 une baisse piézométrique globale de 32 m. De même celui de Chemora indique une baisse de 25.7 m entre 1955 et 1991.

- D'une manière générale la basse piézométrique du (CT) est dans cette zone (Mrhaïer et Djemaa) ou l'exploitation est relativement intensive ces dernières années, linéaire et oscille entre 0.6 à 1 m/ an.
- Au niveau de Touggourt – El Oued cette baisse est de l'ordre de 0.9 m /an. Elle semble s'accroître depuis les années 70.
- La baisse devient plus faible au niveau de Ouargla ou elle est de l'ordre de 3.8 à 8.5 m en 27 ans, mais plus atténuée à Gassi Touil et Hassi Messaoud (0.5 à 5.5 m en 25- 30 ans).
- Sur l'ensemble du bas Sahara Algérien la baisse piézométrique du (CT) va de 32 m en 43 ans dans l'Oued Righ nord, à près de 5 m en 30 ans à Ouargla. Elle s'atténue vers les zones limitrophes où la densité des forages exploitant cette nappe est faible. [42].
- Dans la région d'oued Righ où la baisse piézométrique est la plus forte, la plupart des forages accusent depuis le début des années 60 une accélération de la baisse en relation avec l'augmentation des prélèvements dans cette zone.

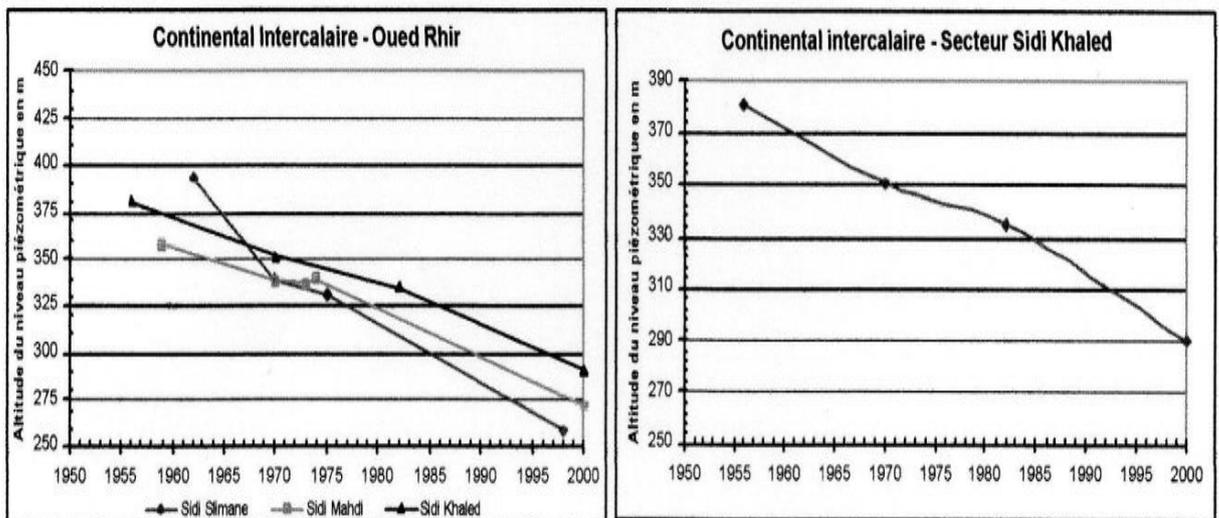


Figure.2.6: Exemple de rabattement piézométrique en Algérie [42].

D'une manière générale, la nappe du (CI) accuse entre 1950 et 2000 une baisse sensible en Algérie dans les zones où elle est à forte pression et où son exploitation a été largement renforcée depuis le début des années 80, par la création de nouveaux forages, c'est le cas de Oued Righ, Ouargla El Oued et Hassi Messaoud. Dans ces zones la baisse observée dépasse souvent 2 m/ an au cours des deux dernières décennies.

2.5. Qualité chimiques des eaux mesure et normes

La qualité de l'eau est un aspect qui conditionne son utilisation dans les régions arides, cet aspect est devenu avec l'intensification de l'exploitation un facteur susceptible de profondes modifications résultants de l'appel d'eau sur salée à partir des sources potentielles de pollution (chott, eau de drainage, rejet domestique...).

Les caractéristiques les plus importantes des eaux d'irrigation de nappe et de drainage qui intéressent la gestion d'une agriculture irriguée sont leur concentration totale en sels dissous, et leur composition chimique, les normes établies pour la qualité de l'eau en agriculture irriguée concernent son influence sur la salinisation du sol, sur ses propriétés physiques (infiltration, drainage) et aussi sur sa toxicité possible pour les plantes.

2.5.1. La concentration totale en sels dissous

Comme pour les extraits aqueux du sol la concentration totale en sels dissous est reliée de façon satisfaisante à la conductivité électrique de la solution. La salinité de l'eau d'irrigation est donc mesurée par sa conductivité électrique celle-ci présente l'avantage d'une détermination facile et précise la conductivité électrique (CE) est exprimée en mmhos/cm équivalent à 1 ms/cm qui est l'équivalent de 1 ds/cm et en moyenne à 640 p.p.m de sel.

Les principaux sels responsables de la salinité de l'eau sont les sels de (Na^+) ; (Ca^{2+}) ; (Mg^{2+}) ; (Cl^-) ; (So_4^{2-}) ; et (Hco_3^-) une valeur élevée de la salinité signifie une grand quantité d'ions en solution, ce qui rend plus difficile l'absorption de l'eau et des éléments minéraux par la plante, une salinité trop élevée peut causer des brûlures racinaires.

2.5.2. La composition chimique de l'eau le S.A.R

Les constituant minéraux solubles des eaux d'irrigation réagissent avec les sols en tant qu'ions plutôt qu'en tant que molécules le risque d'alcalinisation est exprimé par le S.A.R (Sodium Absorption Ratio). En effet le S A R est employé comme indice du risque alcalin de l'eau .Ce taux est donné par la formule suivante: [43]

$$\text{S.A.R} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{(\text{Ca} + \text{Mg})/2}}$$

Ou Na ; Ca et Mg sont les concentrations de ces ions en mg/l, ou meq/l.

Si la proportion de sodium est forte, le risque alcalin est grand, inversement si le calcium et le magnésium dominant le risque est faible.

Après avoir déterminé le S.A.R d'une eau d'irrigation, il est donc possible d'estimer la valeur de l'E.S.P (Exchangeable Sodium Percent) en disant que l'eau d'irrigation s'équilibre avec celui de la solution du sol par la formule suivante : [43]

$$E .S. P = [100*(0.01475*S.A.R - 0.0126)] / [1+ (0.01475* S.A.R - 0.0126)]$$

Cette formule empirique est souvent ramenée à une formule plus simplifiée. [43]

$$E .S. P = [1.5*S.A.R] / [1 + 0.015*S.A.R]$$

2.5.3. Le pH de l'eau d'irrigation

Le pH mesure la concentration en ions hydrogène de la solution. Il est représenté par une expression logarithmique. Plus la concentration en ion hydrogène est élevée plus le pH est bas et plus c'est acide. Le pH influence sur la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Celui-ci devrait de situer entre 5.5 et 6.5 à ces valeurs la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale.

2.5.4. Alcalinité

L'alcalinité est une mesure du pouvoir de l'eau à neutraliser les acides, elle mesure la résistance à tout changement de pH. Le pouvoir neutralisant de l'eau est attribué principalement à la présence de bicarbonate de calcium et de magnésium dissous dans l'eau. Tant que l'acide n'a pas maîtrisé les ions responsables de l'alcalinité, le pH ne bouge pratiquement pas, une fois le processus d'acidification enclenché la réaction produit alors de l'eau (H₂O), du dioxyde de carbone (CO₂) qui est libéré dans l'air ainsi que le cation accompagnateur (soit le Ca ou le Mg).L'alcalinité de l'eau est exprimée en ppm (mg/l) de(CaCO₃). Il est donc très important de casser cette alcalinité en les neutralisants par un acide, du fait qu'elle empêche le (Ca et le Mg) d'être disponible à la plante. Si non, en séchant tous les carbonates se transforment en chaux calcique et dolomitique... ce qui laisse des dépôts calcaires qui peuvent colmater les systèmes d'aspersion ou de goutte à goutte ou encore des traces blanchâtres sur les feuilles si vous arrosez par aspersion [44].

2.5.5. Dureté de l'eau

La dureté fait référence à la quantité de calcium et de magnésium contenue dans l'eau. Ces deux éléments proviennent de l'altération de la roche mère. La teneur en calcium est habituellement plus élevée que le magnésium dans les eaux souterraines. Une eau dure aide le sol à conserver une bonne structure par les ponts calciques mais lorsque l'alcalinité est élevée le calcium et le magnésium sont les deux principaux éléments qui causent des problèmes d'eau incrustante et qui peuvent progressivement conduire à des dépôts de calcaire.

L'unité de mesure de la dureté est le degré français (°f) ou $1^\circ\text{f} = 4\text{mg/l}$ de calcium et $1^\circ\text{f} = 2.4\text{ mg/l}$ de magnésium ou encore $1^\circ\text{f} = 10\text{mg/l}$ de CaCO_3 (carbonate de calcium ou plus communément le tartre).^[45] On considère que de :

- 0 à 5 °f une eau est très douce.
- 5 à 15 °f..... une eau est douce.
- 15 à 25 °f une eau est moyennement dure.
- 25 à 35 °f une eau est dure.
- à plus de 35 °f une eau est très dure.

2.6. Normes pour la qualité des eaux d'irrigation ^[46]

Pour juger les eaux d'irrigation on suppose que celle-ci sont utilisées dans des conditions moyennes concernant la texture du sol, le taux d'infiltrations, de drainage, la dose et la tolérance de la culture. Il faut tenir compte de ces interactions dans les applications pratiques.

2.6.1. Classification en fonction de la salinité totale

Les eaux sont divisées en cinq classes selon leur conductivité. Elles ont été fixées en fonction de la corrélation entre la (C.E) des eaux d'irrigation et celle d'extraits de saturation et par une étude statistique de la fréquence de distribution de la C.E des eaux d'irrigation.

- Classe **C₁** : $\text{CE} < 0.25\text{ ds/m}$ → eaux à faible salinité

Utilisées pour l'irrigation avec la plupart des cultures sur la plupart des sols.

- Classe **C₂** : $0.25 < \text{CE} < 0.75\text{ ds/m}$ → eau à moyenne salinité

Elle peut être utilisée si un lessivage modéré se produit ; les plantes modérément tolérantes au sel peuvent être cultivées sans précaution spéciale.

- Classe **C₃** : $0.75 < CE < 2.25$ ds/m → eaux à forte salinité
Elles ne peuvent pas être utilisées sur les sols à faible drainage. Même avec un drainage convenable, il est nécessaire de surveiller la salinité du sol et il faut choisir des cultures tolérantes au sel.
- Classe **C₄** : $2.25 < CE < 5.00$ ds/m → eaux à très forte salinité
Non utilisables pour l'irrigation dans les conditions normales, mais seulement dans des circonstances exceptionnelles. Il faut donner au sol un excès d'eau pour qu'un lessivage ait lieu et il faut choisir des cultures tolérant les sels.
- Classe **C₅** : $5.00 < CE < 20.00$ ds/m → eaux exceptionnelles
Utilisables uniquement pour l'irrigation des sables bien drainés et pour la culture de plantes d'autant plus tolérantes au sel que la C.E s'approche plus de la limite supérieure de la classe.
- A 20 ds/m seuls les palmiers peuvent végéter normalement.
- Au-delà de 22.5 ds/m. les eaux sont strictement inutilisables.

2.6.2. Classification en fonction du danger d'alcalinisation

C'est alors l'ion sodium qui est en cause ; s'il y en a dans l'eau il peut se fixer sur les complexes absorbants et son action est défloculante. La structure du sol se dégrade et des argiles passent à l'état dispersé.

On admet assez généralement que le seuil de 15% de la capacité d'échange cationique ne doit pas être dépassé pour ce qui est du sodium absorbé. Le S.A.R n'est donc pas indépendant de la salinité globale, et pour juger du danger d'alcalinisation on a été amené à dresser les 4 classes d'eaux suivantes :

- Classe **S₁** : $SAR < 10$ → eaux faiblement sodiques
Utilisable pour l'irrigation de presque tous les sols avec peu de danger de donner un taux de **Na** échangeable dangereux pour le sol.
- Classe **S₂** : $10 < SAR < 18$ → eaux moyennement sodiques
Présentent un danger d'alcalinisation du sol appréciable dans les sols à texture fine. Surtout dans des conditions de faible lessivage, à moins que le sol ne contienne du gypse. Cette eau est utilisable dans les sols à texture grossière ou les sols organiques très perméables.

- Classe **S₃** : $18 < SAR < 26$ → eaux fortement sodiques

Peuvent provoquer l'apparition de teneurs en **Na** échangeable dangereuse dans la plupart des sols et exigent un aménagement spécial du sol : bon drainage, fort lessivage, addition de matière organiques. Des amendements chimiques peuvent être nécessaires.

- Classe **S₄** : $26 < SAR < 100$ → eau très fortement sodiques

Généralement utilisables pour l'irrigation sauf si leur salinité est faible ou moyenne, ou si la solution de calcium du sol, ou l'addition de **Ca** soluble peut les rendre utilisables.

→ Le diagramme de Riverside est construit en croisant le SAR et la (C.E). Les points expérimentaux donnent l'indice croisé **C_n - S_n**.

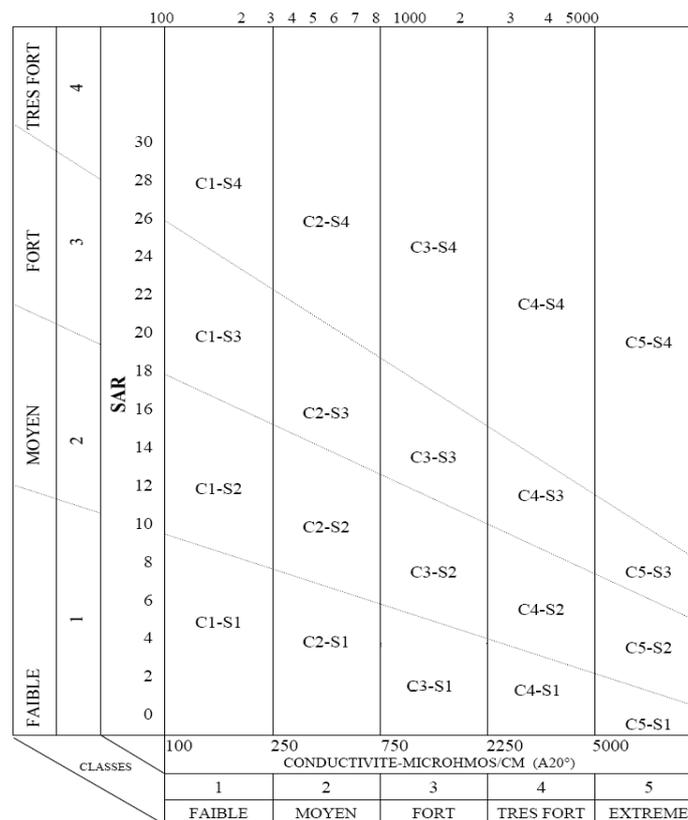


Figure.2.7 : Diagramme de classification des eaux d'irrigation de RIVERSIDE
Le tableau indique l'aptitude des eaux à l'irrigation en fonction de cet indice croisé.
Modifié d'après (US département of agriculture, 1994).

Indice Croisé SAR/Conductivité	INDICATION
C1-S1	- eau utilisable pour la plupart des espèces cultivées et des sols
C1-S2	- eau utilisable pour la plupart des espèces cultivées - le sol doit être bien drainé et lessivé
C1-S3	- le sol doit être bien préparé, bien drainé et lessivé, ajout de matières organiques. - la teneur relative en Na peut être améliorée par l'adjonction de gypse
C1-S4	- eau difficilement utilisable dans les sols peu perméables - le sol doit être bien préparé, très bien drainé et lessivé, ajout de matières organiques - la teneur relative en Na peut être améliorée par l'adjonction de gypse
C2-S1	- eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance au sel
C2-S2	- eau convenant aux plantes qui présentent une légère tolérance au sel - sol grossier ou organique à bonne perméabilité
C2-S3	- eau convenant aux plantes qui présentent une certaine tolérance au sel - sol grossier et bien préparé (bon drainage, bon lessivage, addition de matière organique) - l'adjonction périodique de gypse peut être bénéfique
C2-S4	- eau ne convient généralement pas pour l'irrigation
C3-S1	- eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel - sol bien aménagé (bon drainage) - contrôle périodique de l'évolution de la salinité
C3-S2	- eau convenant aux plantes qui présentent une bonne tolérance au sel - sol grossier ou organique à bonne perméabilité, bon drainage - contrôle périodique de l'évolution de la salinité - l'adjonction périodique de gypse peu être bénéfique
C3-S3	- espèce tolérante au sel - sol très perméable et bien drainé
C3-S4	- eau ne convient pas à l'irrigation
C4-S1	- eau ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales - peut être utilisée si les espèces ont une bonne tolérance à la salinité et le sol et particulièrement bien drainé
C4-S2	- eau ne convient pas à l'irrigation dans des conditions normales - peut être utilisée si les espèces ont une très bonne tolérance à la salinité et le sol et particulièrement bien drainé
C4-S3	- eau ne convient pas à l'irrigation
C4-S4	- eau ne convient pas à l'irrigation

Tableau.2.5 : Indication de l'aptitude des eaux à l'irrigation en fonction de l'indice croisé C_n-S_n .

-Le tableau suivant est issu de la publication FAO sur la qualité des eaux [47] rangeant les eaux selon trois degrés de restriction quant à leur utilisation en irrigation. Ces classes tiennent compte de la salinité (la conductivité électrique C.E) le risque de dégradation du sol (représenté par le SAR de l'eau) et de la toxicité de certains ions pour les plantes (Na, Cl, B).

Problèmes potentiels irrigation		Degré de restriction		
		Aucun	léger à modéré	Sévère
Unités				
<u>Salinité</u>				
CE	ds/m	< 0.7	0.7 - 3.0	>0.30
TDS	mg/l	<450	450 - 2000	>2000
<u>Infiltration</u>				
SAR= 0 - 3 et CE=	ds/m	>0.7	0.7 - 0.2	<0.2
= 3 - 6 =		>1.2	1.2 - 0.3	<0.3
= 6 - 12 =		>1.9	1.9 - 0.5	<0.5
=12 - 20 =		>2.9	2.9 - 1.3	<1.3
=20 - 40 =		>5.0	5.0 - 2.9	<2.9
<u>Toxicité spécifique des ions</u>				
Sodium (Na)	SAR	< 3	3 - 9	>9
Irrigation de surface	méq/l	< 3	>3	
Irrigation par aspersion				
Chlorure (Cl)	méq/l	<4	4 - 10	>10
Irrigation de surface	méq/l	< 3	>3	
Irrigation par aspersion	méq/l	<0.7	0.7 - 3.0	>3.0
Bore (B)				
<u>Effets divers</u>				
Azote (NO ₃ -N)	méq/l	< 5	5 - 30	>30
Bicarbonates (HCO ₃)	méq/l	<1.5	1.5 - 8.5	>8.5
pH		Gamme normal	6.5 - 8.4	
CE : conductivité électrique ; TDS : total dissolved solids ; SAR : Rapport d'absorption du sodium				

Tableau.2.6 : Degrés de restriction des problèmes potentiels d'irrigation.

2.7. L'effet des sels sur les plantes

Plus la solution du sol est salée, plus la pression osmotique est élevée et plus il est difficile pour les racines des plantes d'extraire l'eau de la réserve du sol.

Cela a pour effet de ralentir la croissance des plantes. La concentration en sels dépend de la teneur en eau du sol et augmente avec le dessèchement, c'est

pourquoi l'excès de sels qui affecte les plantes est atteint beaucoup plus vite dans un sol sableux que dans un sol argileux qui contient plus d'eau.

La même quantité de sels est donc plus dangereuse dans un sol sableux que dans un sol argilo-limoneux ou un sol argileux, produisant une solution très salée très rapidement avec l'évaporation.

2.7.1. Effet des sels sur l'alimentation en eau des plantes

Les plantes absorbant l'eau par osmose, cette absorption est conditionnée par la différence de la pression osmotique de leur sève et de la solution du sol.

La première conséquence de la salinisation tient à la modification du potentiel osmotique de la solution du sol lorsque la teneur en sel croit [48] la conductivité électrique (C.E) de cette solution est reliée à la charge solide dissoute, ou sels totaux dissous (S.T.D) ou (T.D.S) par les relations empiriques du type :

$$\text{T.D.S (g/l)} = 0.64 * \text{CE (ds/m)}$$

La relation avec le potentiel osmotique peut s'exprimer par : (C.E en ds/m)

$$\text{P.O (atm)} = 0.00036 * \text{CE (mmhos/cm) ou (ds/m)}$$

La plupart des plantes sont capables d'une certaine régulation de leur potentiel osmotique interne en fonction de celui du milieu extérieur, mais cette régulation, d'ailleurs très variable selon les plantes (les plantes halophytes sont privilégiées de ce point de vue) mais à des limites.

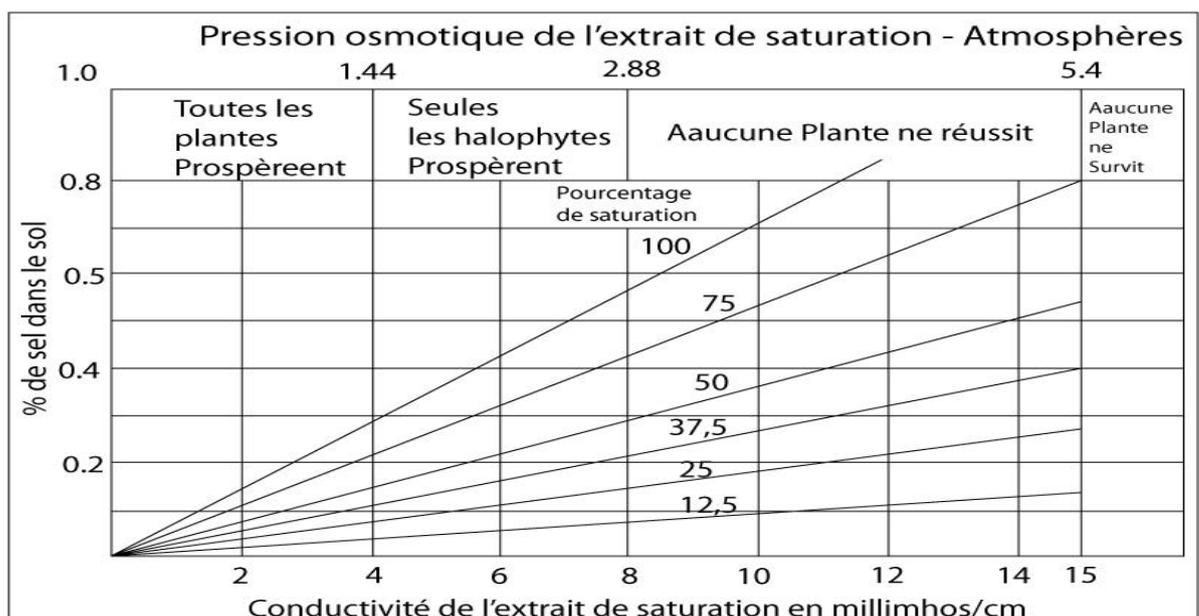


Figure.2.8: Représentation graphique de la croissance des plantes en fonction de la (C.E) ou de la (P.O) de l'extrait de saturation et du pourcentage du sel dans le sol salin [48].

2.7.2. Toxicité de certains sels

Quelques fois, la salinité interfère avec la nutrition normale des plantes. Une concentration en ions calcium (Ca) dans le sol peut empêcher la plante d'absorber assez de potassium (antagonisme). La toxicité peut être directe ou indirecte.

- Certains arbres fruitiers sont sensibles à l'accumulation de chlorures ou de sodium.
- Dans d'autres cas l'accumulation excessive de sodium provoque indirectement des carences en calcium et magnésium.

Les études récentes mettent l'accent sur l'accumulation d'éléments de transition tel que le bore qui peuvent accompagner les ions majeurs (Na ; Ca ; Mg ; Cl ; SO₄; HCO₃) lors de l'accumulation saline. Dans le sol la marge entre les concentrations qui provoquent des phénomènes de carence chez la plante et celles qui entraînent une toxicité est étroite de l'ordre d'une dizaine de p.p.m [49].

La salinité à différents effets sur la qualité des cultures. Elle cause généralement une réduction de la taille des produits agricoles, des brûlures sur les feuilles et une perte des propriétés organoleptiques dans les fruits.

2.7.3. Effet de la salinité totale sur le sol

La salinité de l'eau d'irrigation entraîne une modification de la composition chimique du sol. Ils existent des phénomènes d'échanges cationiques entre la solution du sol et son complexe absorbant. Les sols renfermant des teneurs notables en sels solubles présentant 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 abondantes de sodium sur le complexe absorbant présentent des structures massives ou en colonnettes. L'utilisation de ces sols implique l'application de techniques culturales couteuses (sous-solage, mobilisation du sodium par traitement avec du sulfate de calcium ou du chlorure de calcium...etc.) [50].

2.7.4. Notions 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), ascendant (remonté capillaire) ou avec un autre mécanisme de migration appelé thermo-dialyse. Les processus de formation et d'évolution des sols salés, sont la précipitation (dissolution des sels) ; la fixation des cations Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; 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.

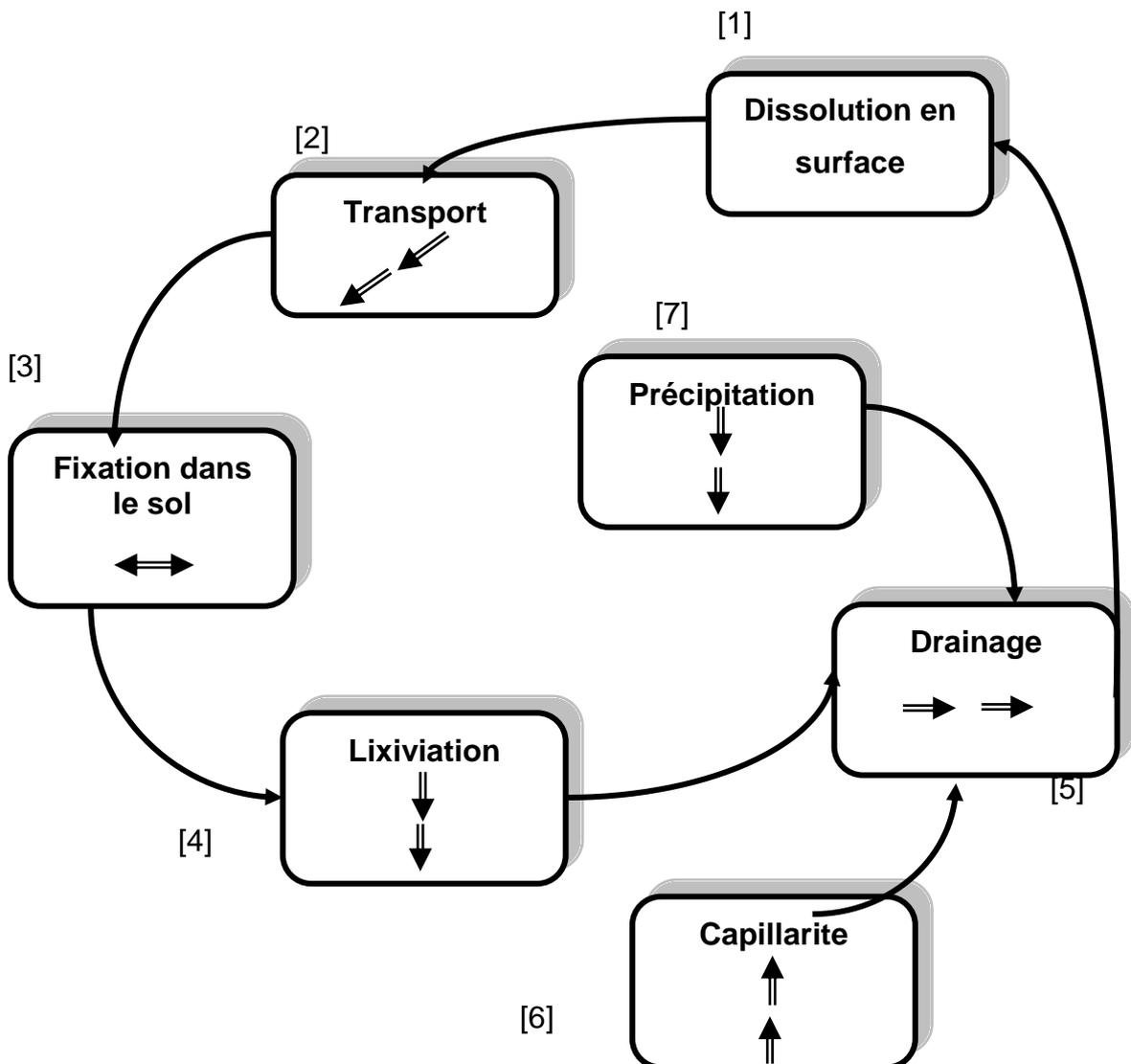


Figure.2.9 : Cycle des sels simplifié dans les paysages des zones arides [50].

2.7.5. Bilan de salinité du sol

Le bilan de salinité du sol est représenté par la relation suivante [51] :

$$\Delta m_s = \text{Apports} - \text{pertes}$$

Δm_s : variation de la masse de sel dans le sol

Apports :

- Apports par précipitation : $P_e C_p$.
- Apports par irrigation : $I_r C_i$.
- Apports par remontées capillaires : GC_g .
- Apports par dissolution : M_d .
- Apports par l'agriculture : M_a

Pertes :

- Pertes par percolation : DC_d .
- Prélèvements par les végétaux : M_v .
- Absorption ou précipitation : M_p .

$$\Delta m_s = P_e C_p + I_r C_i + GC_g + M_d + M_a - DC_d - M_v - M_p$$

Hypothèses fréquentes :

$$C_p \simeq 0 ; M_d \simeq 0 ; M_a \simeq 0 ; M_v \simeq 0 ; M_p \simeq 0$$

$$\Delta m_s = I_r C_i + GC_g - DC_d$$

Equation rapproché du bilan de salinité

- Pour prévenir une accumulation de sel on doit avoir :

$$\Delta m_s = 0. \quad \Longrightarrow \quad I_r C_i = DC_d - GC_g$$

- Cas d'une nappe profonde

$$G = 0. \quad \Longrightarrow \quad I_r C_i = DC_d$$

→ Pour éviter une accumulation de sels il faut que :

Quantité de sels apportés par l'irrigation = Quantité de sels emportés par drainage.

2.7.6. Besoin en eau de lessivage (leaching requirement L.R)

Pour subvenir aux besoins en eaux de lessivage on adopte la relation :

$$LR = \frac{\text{Drainage sous la zone racinaire}}{\text{Apport par irrig. (bes. veg + lessivage)}} = \frac{D}{I_r} = \frac{C_i}{C_s} = \frac{CE_i}{CE_s}$$

- ♦ C_i et CE_i concentration et conductivité électrique (CE) de l'eau d'irrigation
- ♦ C_s et CE_s valeur maximale de la concentration et de la conductivité électrique des eaux de drainage, telle que l'effet sur les cultures reste limité.

2.8. Mesure préventives contre le risque de salinisation

Afin de prévenir le risque de salinisation il faut suivre le programme suivant :

- Vérification de la qualité de l'eau d'irrigation.
- Gestion optimale de l'irrigation de façon à éviter la percolation hors période de lessivage.
- Contrôle du niveau de salinité du sol (CE ; ESP ; ...etc).
- Maîtrise du niveau de la nappe (drainage efficace des eaux de surface et souterraines).
- Réduction de la demande évaporative et des remontées capillaires.
- Prise en compte des besoins en eau de lessivage lors de l'établissement du projet.
- La tendance actuelle serait de maintenir les sels à une certaine profondeur, donc d'utiliser moins d'eau et ainsi de limiter la quantité à drainer, la FAO préconise 300 mm pour lessiver 30 cm de sol et enlever 80% des sels [52].
- L'efficacité d'un lessivage global par un important apport d'eau en continu n'est pas la meilleure solution, par contre les apports fractionnés à quantités égales ont une meilleure efficacité [53].
- Enfin le contrôle du niveau des nappes phréatiques et son maintien au delà d'une profondeur critique s'avèrent toujours indispensables, c'est en effet la cause principale de la dégradation saline ou alcaline.

CHAPITRE 3

PATRIMOINE PHOENICICOLTE DANS LE SUD ALGERIEN

3.1. Introduction

Le palmier dattier est la composante principale de l'écosystème oasien au Sahara et constitue le pivot des populations oasiennes. Cependant le patrimoine phoenicolte Algérien reste sujet à diverses contraintes qui entravent son développement et sa valorisation. Parmi lesquelles la dégradation de l'environnement hydro-édaphique par la salinisation et la remontée des nappes phréatiques en condition de mauvaise gestion et de l'irrigation et de drainage.

Les oasis ont toujours été perçues comme symboles de gestion d'une eau rare, les techniques hydrauliques adoptées ont été un paradoxe au Sahara : les oasis malade de trop d'eau [54] l'accroissement des débits fournis et la forte minéralisation des eaux ont eu des conséquences directes et à plusieurs niveaux une baisse du niveau piézométrique de la nappe du (CT) et la disparition de l'artésianisme, la remontée des nappes phréatique, le drainage déficient et la salinisation des sols, limitation des espèces cultivées sous palmiers et réduction des rendements en dattes. Le taux de renouvellement de ces nappes ne dépasse pas 5% en Algérie [55]. Le caractère peu renouvelable de ces aquifères posent le problème de longévité des formes actuelles de développement et les contraintes que subit le milieu inquiètent la pérennité du système oasis.

3.2. Caractéristiques morphologique du palmier dattier

- Le palmier dattier est une monocotylédone pérenne de l'ordre des palmales, famille des palmacées. C'est un arbre de forme cylindrique de 45 à 55 cm qui peut atteindre les 30 m de hauteur et peut contenir environ 70 palmes disposées en spirale d'une longueur qui atteint 350 à 450 cm. Le fruit est une baie de forme fuselée à ovoïde allongé, à maturité il se ramollit et se ride légèrement. La partie comestible est une pulpe translucide, l'épicarpe prend une couleur ambrée et le mésocarpe présente une texture fine légèrement fibreuse, l'autre partie non comestible est la graine ou noyau. Le palmier dattier est une espèce thermophile, sa végétation s'arrête à partir

de 10°C (zéro de végétation). L'intensité maximale de végétation est atteinte à des températures de 30 - 40°C. La période de maturation des fruits correspond aux mois les plus chauds de l'année.

- Le palmier peut produire entre 5 et 15 bouquets de dattes par arbre. Chaque bouquet peut contenir jusqu'à 1000 dattes correspondant à un poids approximatif entre 6 à 8 kg. Un arbre de palmier commence à produire des dattes à partir de 3 ans, il peut rester vivant et productif pendant 150 ans environ. La forme, la taille et la couleur des fruits varient selon la variété. C'est un arbre dioïque, le pied male ou DHOKKAR porte le pollen, le pied femelle ou NAKHLA porte le fruit.

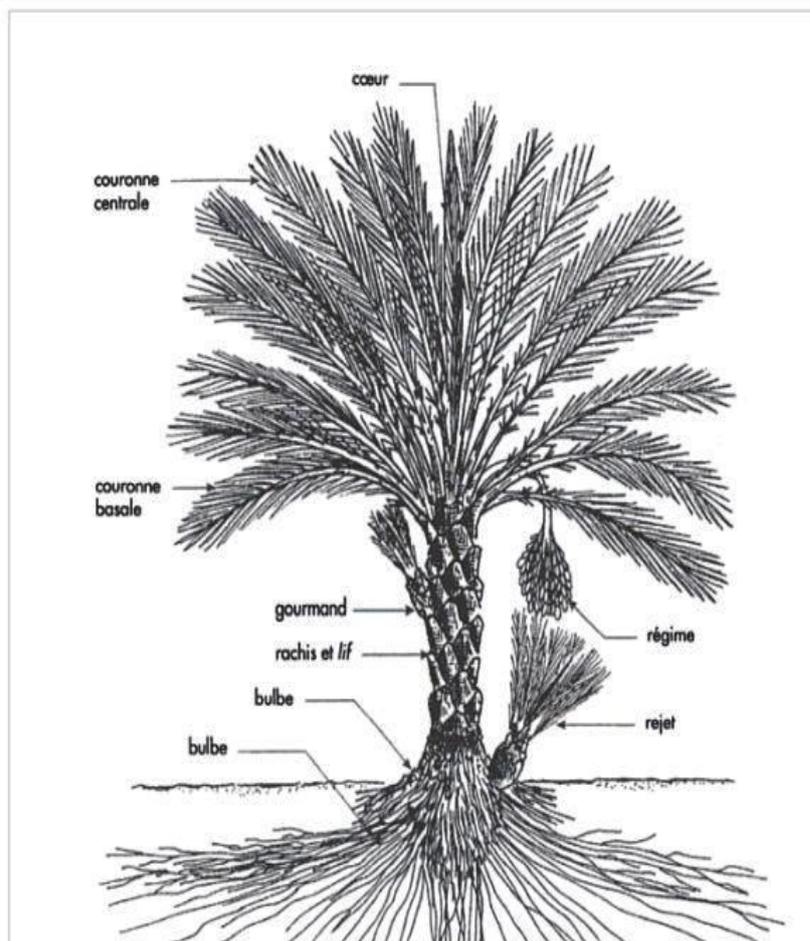


Figure.3.1. Caractéristiques morphologiques du palmier dattier.

- Le nombre de palmiers dattiers dans la rive méditerranéenne sud est variable d'un pays à l'autre, il est plus élevé en Algérie où la composition variétale est restreinte (45 % du cultivateur «deglet- nour») [56]. (figure.3.2)

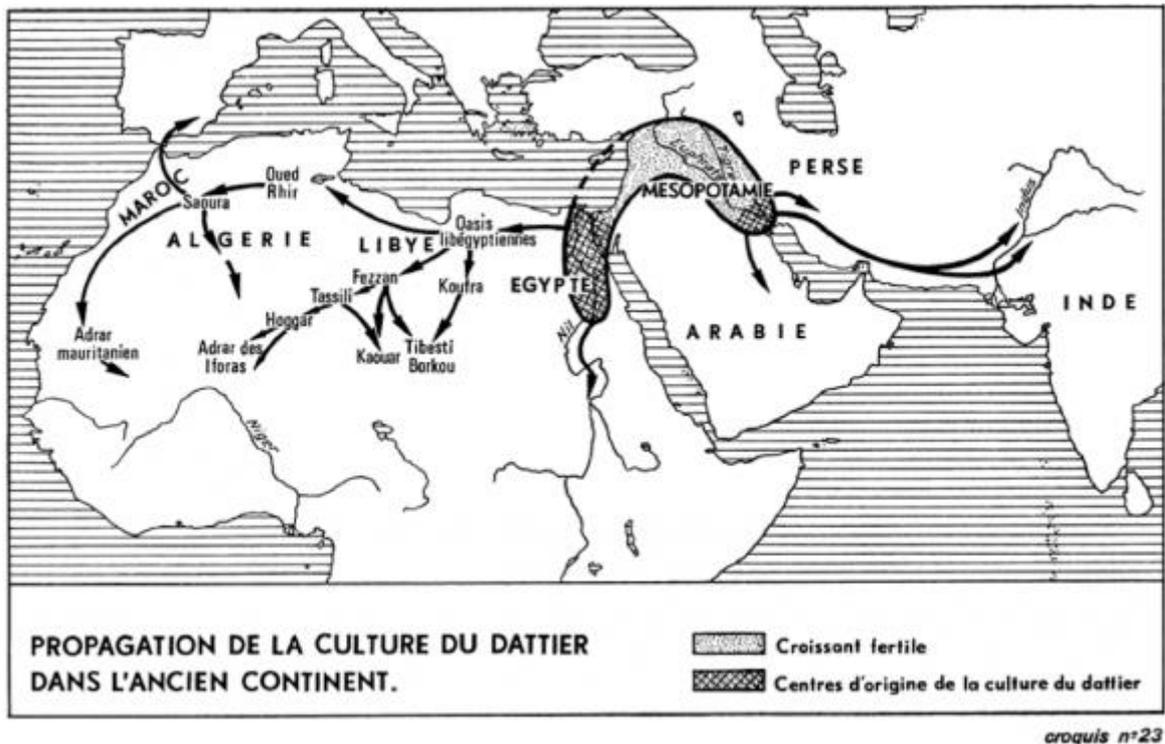


Figure.3.2: Propagation de la culture du dattier dans l'ancien continent selon Munier

Pays	Nombre (millions)	Composition variétale
Algérie	9.0	" Deglet- nour"
Tunisie	3.0	" Deglet- nour"
Mauritanie	1.0	-
Libye	7.0	-
Egypte	7.0	diversifiée
Maroc	5.0	diversifiée

Tableau.3.1: Aperçu sur le nombre de palmiers dattiers et la composition variétale des Palmeraies de quelques pays de la rive sud de la méditerranée [56].

- La période de floraison chez le palmier dattier est de 30 à 50 jours et elle est d'autant plus longue que la température journalière moyenne est faible. [56].
- Cette période de floraison chez le palmier femelle en Afrique du nord se situe pendant les mois de Février, Mars et Avril. Le mois de Mai est considéré comme période de fin floraison. L'étude menée au centre de l'INRAT à Degache, sur les pollinisateurs d'une collection de 203 pieds montre que la plupart des pollinisateurs produisent en Février et Mars. Peu de pollinisateurs produisent au mois de Mai. La pollinisation se fait au moyen d'une simple poudreuse suffisamment puissante pour projeter le pollen sur le régime à féconder.

- Le palmier dattier passe par une phase de ralentissement de la croissance surtout dès le mois de Décembre-Janvier jusqu'à la fin de Février. La meilleure époque de plantation varie donc en fonction des régions, (figure.3.3) toutefois il est conseillé de planter les rejets au printemps (Mars-Avril), en été (Juillet).

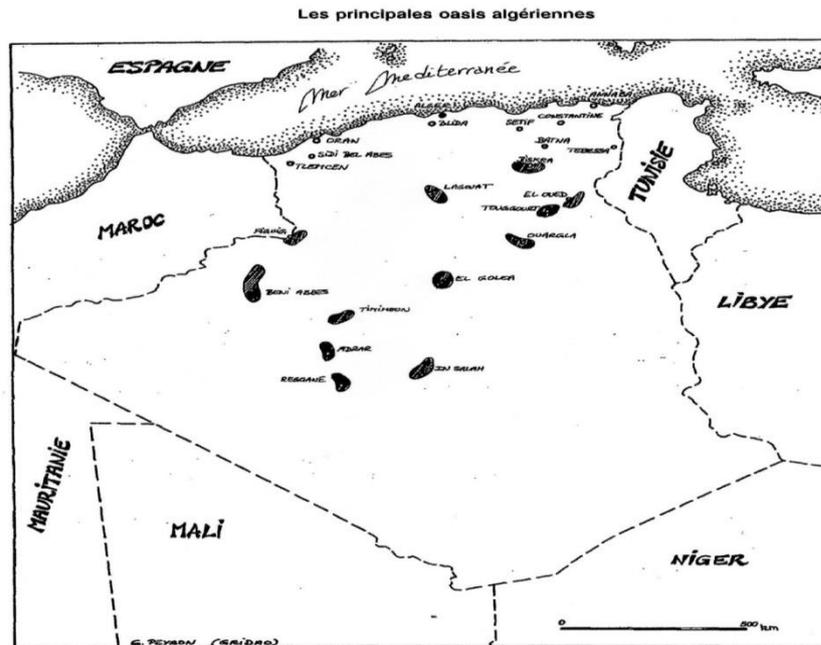


Figure.3.3. Les principales oasis Algériennes [56]

3.3. L'irrigation du palmier dattier

- L'irrigation rationnelle des palmeraies a pour but d'assurer pendant toute l'année et surtout pendant l'été, saison durant laquelle les exigences sont les plus grandes, les quantités d'eau nécessaires à une évolution normale des arbres et à l'élaboration d'une bonne récolte.
- Le palmier dattier possède des formations pneumatiques au sein de ses racines. Ces formations ont un rôle respiratoire, et permettent au palmier de tolérer des excès d'eau. Les racines du palmier peuvent se trouver à 25 m de l'arbre en surface et à 6 m en profondeur, cependant 85% des racines sont concentrées latéralement à 2 m loin de l'arbre et à 2 m en profondeur. Pour maintenir une croissance maximale le sol doit être bien humecté à une profondeur de 2 à 2,6 m, une fois pendant l'hiver et le printemps. Cependant le palmier doit être irrigué à des intervalles de 20 à 25 jours pendant l'été.
- Beaucoup de controverses existent et les spécialistes sont assez imprécis sur le volume et la fréquence des arrosages. Quoiqu'il en soit, la culture du palmier dattier exige d'importantes quantités d'eau.

- En effet dans son aire de culture la demande climatique est forte et les sols le plus souvent sableux, sont filtrants. Ainsi, l'influence défavorable des facteurs climatiques et édaphiques font qu'au Sahara la prospérité du palmier dattier est principalement fonction des volumes d'eau disponibles pour l'arroser [57].
- D'autre part l'eau sert à dessaler le terrain sur de grandes surfaces avant et après la plantation. Les eaux excédentaires qui ne parviennent pas à s'infiltrer seront collectées dans des canaux de drainage ou Khandegs et dirigées vers les zones chotteuses basses.

3.3.1. Besoin en eau et fréquence d'irrigation du palmier dattier

- Pour une végétation normale et une production convenable de dattes de qualité, les besoins en eau, la fréquence des irrigations nécessaires sont maintenant connus avec une précision suffisante dans des conditions de salinité de l'eau et des sols et de texture des sols déterminées [57], pour un arrosage donné par submersion des planches et pour une plantation de 121 pieds/ha (espacés de 9 mètres en tous sens) avance un débit de 0,66 l/s, soit 21.000 m³/ha/an.
- Ce volume est supérieur à celui mesuré dans la station de phoeniculture d'Indio (Californie) ou les palmeraies irriguées par submersion des planches, consomment 15.000 m³/ha/an. Dans la région d'Adrar avec des eaux saumâtres (3 à 4g/l) le volume utilisé s'est élevée à 35.000 m³/ha/an et un cycle de 8 jours à été adopté. D'après [58] le taux moyen de 0,8 l/s/ha avec une eau dosant 7g de sel par litre est considéré comme convenable et il apparait souhaitable d'utiliser 1 l/s/ha en été et 0,6 l/s/ha en hiver. Selon le même auteur les besoins, en Egypte, sont estimés à 0,7 l/s/ha soit environ 22.300 m³/ha/an.
- Par ailleurs, les travaux réalisés à Malba (Tozeur) en Tunisie de 1964 jusqu'en 1970 par le (Cruesi) montrent que les besoins en eau du palmier sont faibles en Décembre – Janvier et augmentent pour atteindre leur maximum au cours des mois de l'été (Juillet-Aout-Septembre), le taux moyen a été de 23.647 m³/ha soit 0,9 l/h/ha pour la variété deglet- nour, le besoin net n'est que de 15.714 m³/ha. Le rythme d'irrigation doit être d'après ces travaux pour deglet- nour adulte de 6 à 7 jours en Juillet- Aout- Septembre ; de 10 jours en Avril- Mai- Juin- Octobre ; de 12 jours en Février et Novembre et de 15 à 21 jours en Décembre- Janvier. Cependant, pour les variétés dites communes, ils avancent le chiffre de 0,5 l/s/ha.

- De plus au point de vue production de dattes, certains chercheurs ont calculé qu'il fallait 1m^3 d'eau pour obtenir 1kg de dattes. Cependant le chiffre $25.000\text{ m}^3/\text{ha}/\text{an}$ admis le plus fréquemment, donne une consommation d'eau de près de 4 m^3 par kg de dattes. Pour l'ensemble des palmeraies de l'Oued Righ, cette quantité nécessaire à l'élaboration de 1kg de dattes s'élève à 6 ou 7 m^3 . Il est évident que dans les différents cas, une proportion importante de l'eau est destinée à la lutte contre le salant.
- La qualité de l'eau d'irrigation semble avoir un effet direct sur la croissance des fruits et sur leur poids. D'après (Girard, 1961) à El Arfiane avec une eau contenant de 9 à 16 g de sel par litre, il y'a réussite sur le plan physiologique, puisque les palmiers poussent, notamment les variétés communes, tout en ayant une vigueur presque normale. Cependant les fruits sont très petit, 4 gramme en moyenne, et leur croissance très longue. Ainsi, selon le même auteur, la dose de 8 à 9 g de sel par litre semble bien être une limite à ne pas dépasser pour avoir un résultat économique valable.

3.4. La problématique de la salinité et du drainage dans les écosystèmes palmeraies de la vallée de l'oued Righ

3.4.1. Introduction

La gestion des eaux dans les régions sahariennes demeure une référence historique et culturelle des populations des oasis. Une eau rare associée à un climat aride et un environnement hostile sont les facteurs principaux ayant participé à forger un comportement, une gestion et des techniques d'irrigations spécifiques. A la large panoplie de techniques hydrauliques correspond une grande variété de territoires oasiens et de paysages agraires. Les puits à balanciers (Touat ; Ouargla) ; la Noryia ou Saniya (M'Zab ; Oued Righ) ;(figure.3.4) les Foggaras ou Quanate (Adrar) ; et les Ghouts (Oued Souf) sont autant d'exemples symboliques d'ingéniosité, d'organisation, et d'utilisation rationnelles d'une ressource rare et précieuse [59].



Figure.3.4 : PHOTOS représentant une Noryia (Saniya)

3.4.2. Techniques d'irrigation des oasis dans le Sud Algérien

3.4.2.1. Oasis d'Ouargla

L'eau d'irrigation est extraite des nappes phréatiques par des puits traditionnels, utilisant les balanciers, constituent une spécificité locale. Leur nombre (250 à 300 puits) décline en raison du tarissement de la nappe, accéléré par l'introduction des premières motopompes. Le partage de l'eau entre les membres de la communauté se fait en unité de temps, selon la technique subtile des tours d'eau, en cours dans de nombreuses oasis. [60]

3.4.2.2. L'oasis du M'Zab

Le système hydraulique repose sur une nappe d'infléoflux, alimentée artificiellement par des petits ouvrages composés de barrages, de trémie de peignes et de plaine d'épandage en amont de Ghardaïa, un barrage de dérivation ainsi qu'un ensemble de diguettes stockent et canalisent les eaux de l'oued vers des canaux souterrains. ces canaux s'étendent sur des centaines de mètres et sont percés par des puisards nécessaires à l'aération et à l'entretien. Les débits sont estimés en fonction de nombre de palmiers (figure.3.5).



Figure.3.5. Petits ouvrages composés de barrages dans l'oasis du M'zab

3.4.2.3. L'oasis des Ghouts

Les oasis basées sur l'utilisation des Ghouts sont fréquentes sur l'érg oriental dans la région du souf. Le principe repose sur la réalisation d'un cratère d'une dizaine de mètres de profondeur, par rapport au niveau initial du sol. L'excavation du sable hors de la cuvette se fait manuellement par les hommes (les Rammals), le creusement s'arrête à l'approche du toit de la nappe. Au fond de la dépression on y installe la palmeraie les racines du palmier baignent alors dans les horizons humides du sol, alimentés par capillarité depuis la couche saturée (figure.3.6).

Ainsi sans avoir recours à une mobilisation d'eau classique, et à un quelconque système conventionnel d'arrosage, des milliers de palmiers s'y développent et créent une base de vie oasienne autonome. L'avantage de cette technique originale, permet de créer un microclimat à l'abri des siroccos, néanmoins, ce procédé exige un entretien permanent d'évacuation des dépôts de sables, sinon la palmeraie serait engloutie sous des tonnes de sables déposées par les tempêtes. On peut même avoir des Ghouts noyés jusqu'au « cou » dans le sable, laissant émerger à peine quelques palmiers au dessus de la surface du sol. Un autre danger se propage par le bas, c'est celui de la remontée de la nappe phréatique. L'agriculteur doit contrôler en permanence le niveau de celle-ci et procéder à un pompage de l'eau hors du ghout en cas de surélévation. Plusieurs oasis sont déjà mortes par asphyxies. [61].



Figure.3.6 : Plusieurs palmiers plantés dans des Ghouts au fond d'une cuvette en forme d'entonnoir dans le désert Algérien typique au monde

3.4.2.4. L'oasis des foggaras

La foggara est un système de captage horizontal des eaux souterraines. Connue sous le nom de (quanat) ou (Kariz) en Iran, elle s'appelle Foggara en Algérie et Kettara au Maroc. Elle est d'origine perse [62]. En Algérie, la foggara s'est développée dans les régions sud-ouest du pays notamment à Adrar à Touat et à Gourara où les conditions hydrogéologiques et topographiques sont idoines à ce type de captage. Cette région est constituée d'un chapelet de Sebkhia, alimentée par des exutoires naturels de la nappe affleurant à la surface du sol.

Les foggaras sont représentées par un ensemble de galeries souterraines réalisées à même l'aquifère qui ont pour rôle de drainer les eaux par gravité vers un endroit bas où l'eau émerge à la surface du sol, c'est à ce niveau que l'oasis est installée. L'ouvrage drainant a une légère pente régulière de 0.3% sur une longueur de 2 à 15 m, et une largeur de 1 m seulement, permettant à un individu de s'y glisser pour travaux périodiques de curage et d'entretien sur l'axe horizontal, la galerie est ponctuée par des puits verticaux (figure.3.7), espacés de 10 à 15 m. Ils ont servi à la réalisation de la galerie et qui permettent son aération. La profondeur des puits est de (5 à 10 m) et la longueur de la foggara dépendant du rapport du niveau piézométrique de la nappe à la topographie du sol. Pour augmenter le débit à l'exutoire, où quand la foggara est morte, il est nécessaire d'allonger la galerie à l'amont ou de multiplier le nombre de bras des galeries drainantes. Le nombre de foggaras actives en Algérie, s'élève à 572 totalisant 1377 Km de linéaire et un débit global de 2942 l/s susceptible d'irriguer 3000 ha [63].



Figure.3.7 : Photos représentant des galeries de Foggara

À la sortie de la foggara, l'eau est canalisée par rigole, vers un partiteur en forme de peigne réalisé en argile. L'eau sort partagée puis conduite par un faisceau de rigoles vers les parcelles à irriguer dans l'oasis. L'excédent d'eau s'achemine vers un bassin de collecte appelé « Madjen » (figure.38) pour irriguer d'autres parcelles à l'aval. À la différence des autres oasis où l'eau est répartie au tour d'eau ou « Nouba », dans ce type d'oasis la distribution s'effectue au volume, la mesure du débit est réalisée par un aiguadier ou « Kyal el ma », responsable du jaugeage des débits, assisté d'assesseurs sous le contrôle de la « Djemaa ».

Le débit est évalué par un instrument appelé le « Luh » ou « Chekfa » selon les oasis. Il est constitué par une plaque en bois recouverte de cuivre et percée de trois rangées de trous de dimensions différentes. La première rangée de trous égaux, situé en hauts du « Luh » correspond à l'unité de « Thmane » les deux rangées suivantes représentent les multiples et sous multiples de cette unité. Le débit de la foggara est divisé en 24 parts ou « Guesma » divisée elle-même en 24 sous parts (figure.3.9). La foggara offre l'avantage de fournir une eau en permanence par gravité. Cependant le débit continu pouvant atteindre 400 l/s, est un inconvénient majeur, de pertes d'eau en période de non utilisation.



Figure.3.8: Bassin de collecte des eaux issue de la Foggara (Madjen)



Figure.3.9: Canalisation de l'eau par rigoles (Kesria) à la sortie d'une Foggara

3.4.3. Techniques d'irrigation des oasis dans la vallée d'Oued Righ

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 puits jaillissants permet l'extension des cultures irriguées.

3.4.3.1. 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) qui est un canal d'irrigation à ciel ouvert, généralement construite en terre et dont les ramifications

secondaires, peuvent être de simples rigoles en métal (figure.6.10), permettant la distribution de l'eau vers une ou plusieurs planches, selon les disponibilités.



Figure.3.10 : Canal d'irrigation à ciel ouvert (Seguia)

La déviation des eaux se fait à l'aide de vannettes en tôle ou par de simples mottes de terre (figure.3.11).



Figure.3.11 : Déviation des eaux d'une Seguia par de simple 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 il existe des débits beaucoup plus forts. La largeur des planches est d'environ 1 à 2 mètres. Pour que la répartition 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. Ces systèmes rudimentaires impliquent d'importante perte d'eau par évaporation (figure.3.12).



Figure.3.12 : Représentation d'une palmeraie irriguée par Segua

3.4.3.2. L'irrigation localisée

Cette technique d'irrigation, également connue sous le nom de micro-irrigation ou bien « goutte à goutte », est une méthode utilisée en zone aride car elle réduit au minimum l'utilisation de l'eau et de l'engrais. Cette technique consiste à délivrer l'eau en goutte à la surface du sol avec une faible dose (2-20 litres par heure). L'eau est canalisée dans des tuyaux en plastique muni d'orifices appelés goutteurs (figure.313). L'eau est délivrée au voisinage immédiat de la plante de sorte que l'humidification soit limitée à la zone racinaire du sol. Ceci correspond à une utilisation plus efficace de l'eau qu'avec l'irrigation de surface ou par aspersion, où l'humidification concerne la totalité du sous-sol des plantations. En irrigation au goutte à goutte, la fréquence des arrosages est supérieure à celle des autres méthodes (d'habitude tous les 1 à 3 jours) ce qui maintient une forte humidité du sol, favorable à la croissance des cultures [64].



Figure.3.13 : Représentation d'une irrigation au goutte à goutte [64].

C'est en tous cas une méthode de choix pour le palmier dattier qu'on plante à de grands écartements espacés de 9 mètres en tous sens. Soit environ une plantation de (121 pieds/ ha) et qu'on doit irriguer pendant toute l'année. [64]

3.4.3.3. 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. Ces procédures de puisage demandent des efforts physiques considérables (hommes ou animal) contre un rendement obtenu qui reste dérisoire, le travail de (8 à 10 heures) ne dépasse guère un débit continu de 20 à 30 l/minute. Ce qui suffit à peine à arroser une parcelle d'environ un are. Trois moyens principaux de puisage sont utilisés :

- Les puits à poulie avec traction animal.
- Les puits à balanciers dont la technique plus perfectionnée et à plus grand rendement utilisent la force d'un levier.
- Les puits arabes (Deggaga) (figure.3.14) 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.3.14 : Puits arabe (Deggaga)

L'eau puisée selon ces trois procédures est accumulée dans un bassin de réception, ou directement amenée par un (Mesréf) vers les terrains à arroser cependant le transport des eaux vers les longs Mesréfs pourrait se perdre rapidement par infiltration et ou évaporation. Donc les puits doivent être installés à proximité immédiate des parcelles à irriguer, gardant ainsi une portée spatiale limitée et localisée.

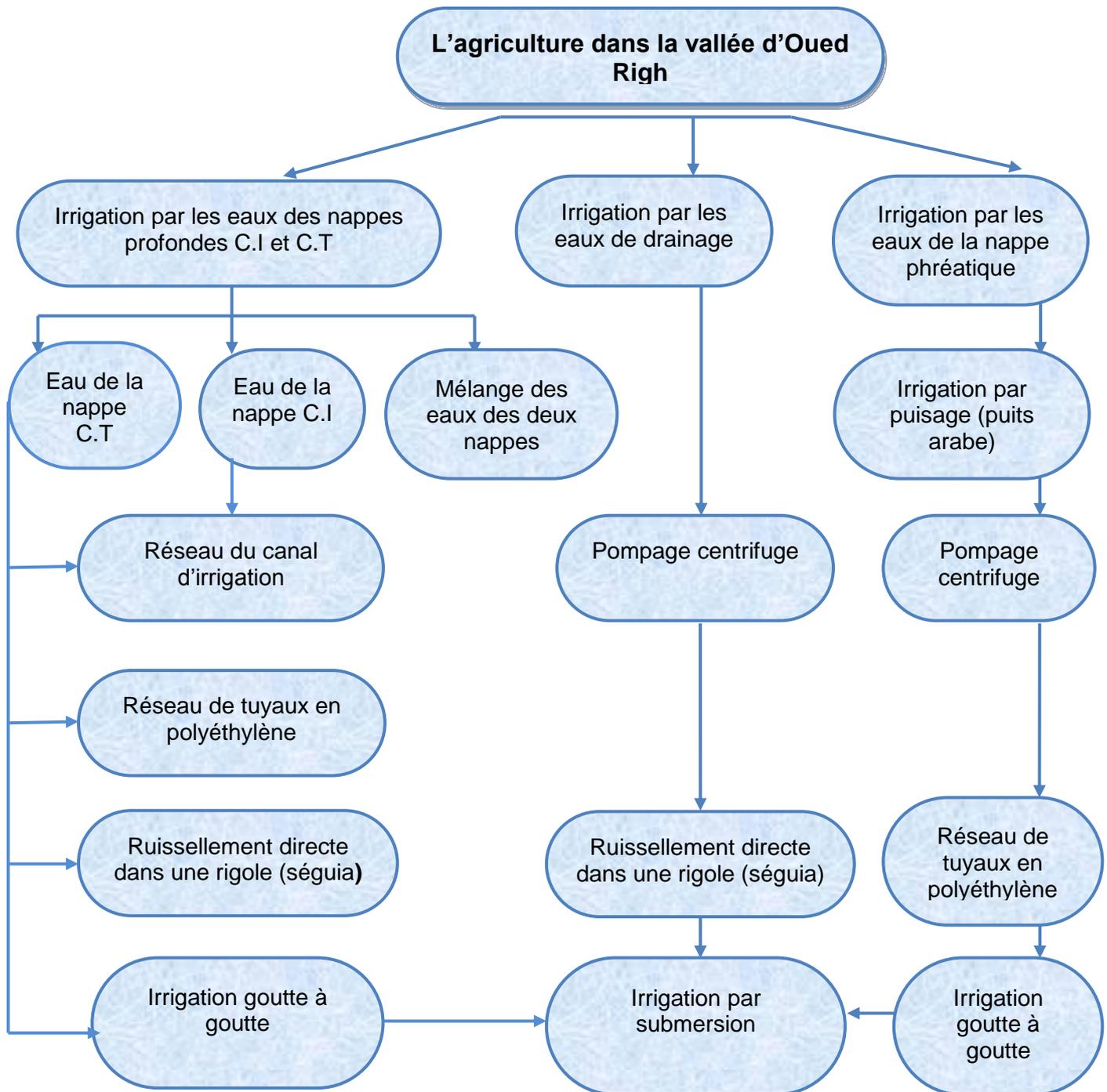


Figure.3.15 : L'irrigation dans la vallée d'Oued Righ

3.4.4. Les eaux d'irrigation dans la vallée d'Oued Righ et problématique

La vallée d'Oued Righ, région saharienne agricole par excellence et entité économique importante à l'échelle nationale englobant une cinquantaine d'oasis occupant une superficie de 15300 ha, est caractérisée par un état hydro-agricole des terres très complexe. Actuellement dans cette région, la pratique d'une irrigation

(figure.3.15) à caractère lessivant (submersion ruissellement par planche) dans un sol très perméable et en présence d'une couche argileuse peut profonde entraînent.

- ▶▶ Une utilisation abusive des eaux d'irrigation de mauvaise qualité.
- ▶▶ Réseau d'irrigation vétuste engendrant des pertes importantes alimentant directement la nappe.
- ▶▶ Une nappe phréatique omniprésente à de faibles profondeurs (0.5- 1 m) dont les eaux à l'origine salées sont devenues excessivement salées.
- ▶▶ Les sols non salins à l'origine ont évolué vers le salin à extrêmement salin, engendrant une salinisation excessive de la couche arable.
- ▶▶ Réseau de drainage mal conçu, profond, mal entretenu et pratiquement inefficace.
- ▶▶ Une remontée anormale de la nappe phréatique.

La production agricole a subi une baisse permanente au fil des années d'exploitations la situation engendrée et les perspectives de développement de l'irrigation dans le cadre du projet de réhabilitation et de l'extension des palmeraies de l'Oued Righ exigent une connaissance approfondie de la formation du régime hydrosalin des sols pour servir de base à une régulation optimale des paramètres :

- ◆ Des régimes d'irrigation des cultures à caractère lessivant prenant en considération les principaux paramètres régissant le régime hydrosalin des sols.
- ◆ Des techniques d'arrosage.
- ◆ Du type de drainages.
- ◆ Des doses et de la technologie de lessivage.
- ◆ De prévision et d'obtention de rendement agricole justifié économiquement.

3.5. Objectifs de résolution de la problématique des eaux d'irrigations de la vallée d'Oued Righ

3.5.1. Objectifs scientifiques

- Evaluer la dépendance entre le régime hydrosalin des sols, le régime des eaux de la nappe phréatique, le régime d'irrigation à caractère lessivant, le drainage artificiel et autres facteurs.
- Evaluer la dépendance entre les rendements des cultures agricoles et les régimes salin et hydriques des sols.
- Déterminer le régime optimal des eaux de la nappe phréatique avec lequel sera assuré un régime hydrosalin de la zone d'aération des sols dans des

conditions de dépenses minimales de l'eau d'irrigation et de stock de drainage minimal.

- Détermination des paramètres de transfert des sels solubles dans les sols et prévision du régime salin des sols.
- Ressortir avec une étude scientifique qui reflète l'importance de l'application des techniques d'irrigation réduisant les pertes en eau, et l'exploitation de cette étude dans la création des nouveaux périmètres de mise en valeur dans la région de l'Oued Righ.

3.5.2. Objectifs technique et économique :

- ⇨ Proposer des solutions techniques permettant de maîtriser le régime hydrosalin des sols pendant l'exploitation des réseaux d'irrigation-drainage, de rationaliser la ressource en eau et de diminuer les frais d'exploitation.
- ⇨ Evaluation de la production dattiers (quantité et qualité) par hectare et mètre cube d'eau donnée en appliquant les diversifications des techniques d'irrigation.
- ⇨ Amélioration de la production et réduction du coût du kilogramme de datte.
- ⇨ Gestion rationnelle et économie de l'eau.

3.6. Le drainage dans les périmètres irrigués

- ☞ Les terres irriguées sont confrontées, de façon particulière, au phénomène de salinisation et d'hydro-morfie qui diffèrent selon les régions agro-pédo-climatiques.
- ☞ L'excès d'eau est en général aussi préjudiciable que son absence au développement des plantes cultivées. C'est pourquoi qu'au niveau des régions saharienne ou l'aridité du climat est intense et ou la pluviométrie est de l'ordre de 50 à 100 mm au maximum, et ou l'agriculture dépend essentiellement de l'irrigation. Par conséquent l'utilisation facile d'eau justifie le choix porté autrefois lorsqu'elle venait de manquer (absence de forage), sur les sites de dépression qui posent actuellement inexorablement le problème d'assainissement et de drainage.
- ☞ Sous ce climat, le drainage a pour but d'éliminer l'eau appliquée en excès au cours d'irrigation afin d'assurer un bilan adéquat des sels dans le sols (lessivage) et de maintenir la nappe phréatique à la profondeur qui convient le mieux au développement des cultures envisagées (tableau.3.2).

Régions	Périmètres	Date de création	Superficies drainées (ha)	méthode
Sahara	Abadla	1972	2141	Ciel ouvert
	Oued Righ		5000	Ciel ouvert
	Timimoune		750	Ciel ouvert

Tableau.3.2 : Surfaces drainées et besoins en drainage dans les grands périmètres irrigués. (Le drainage en Algérie, M.A.D.R).

Le problème de drainage est rencontré pratiquement au niveau de la quasi-totalité des plantations, la grande partie des réseaux qui sont à ciel ouvert est défectueuse, ce qui fait courir un grand risque au développement de l'agriculture saharienne.

3.6.1. Définition et méthodes de drainage :

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, seuls un drainage artificiel par des techniques appropriées soit par gravité, soit par pompage peut alors évacuer l'eau excédentaire afin d'améliorer l'aération du sol et la croissance des cultures. Les techniques de drainage sont généralement classées de la manière suivante.

3.6.1.1. Drainage de surface :

Le drainage de surface vise plutôt à éliminer toutes accumulations d'eau à la surface ainsi que l'écoulement hypodermique (figure.3.16) dans un délai raisonnable pour les plantes (moins de 24 heures). [65] Le drainage de surface a ainsi comme objectifs :

- De répartir uniformément les précipitations et favoriser leur infiltration, pour apporter l'eau utile aux plantes.
- D'évacuer l'eau de ruissellement et hypodermique, par des pentes adéquates vers les structures hydro-agricoles (réseau hydraulique), sans toutes fois causer l'érosion.

- D'éliminer les petites dépressions et irrégularités de la surface du sol qui créent des zones humides néfastes aux cultures, récupérer des surfaces non productives.
- Causer le moins d'inconvénient aux opérations culturels et à la machinerie agricole.
- Permettre l'entrée plus rapide et améliorer les conditions de récolte au champ.
- Augmenter les rendements de culture .

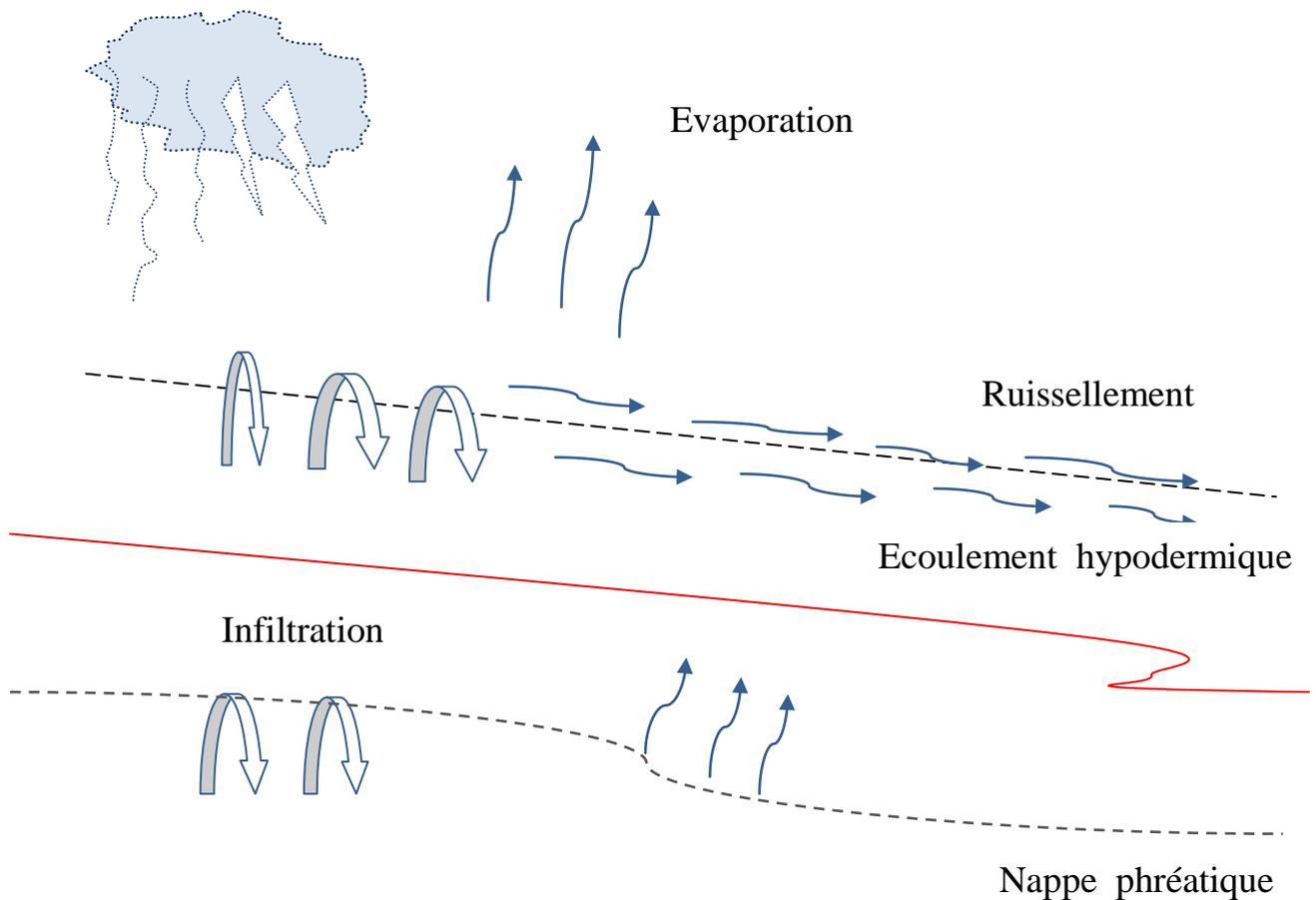


Figure.3.16 : Circulation de l'eau à la surface et dans le sol [23].

Lorsqu'il n'est pas possible ou trop dispendieux de combler une dépression, il faut alors concentrer l'eau en un point et évacuer celle-ci par une rigole d'interception ou à l'aide d'un système de captage et /ou tranchée filtrante qui conduira l'eau par une conduite à un émissaire d'une profondeur suffisante.

3.6.1.2. Drainage Souterrain :

Le drainage souterrain est une technique d'assainissement qui a pour but d'évacuer l'eau gravitaire du sol et d'abaisser la nappe phréatique à un niveau optimal pour la croissance des plantes il permet :

- ↳ De travailler et d'améliorer la structure du sol dans de meilleures conditions.
- ↳ De développer un meilleur système racinaire des plantes.
- ↳ Une meilleure assimilation des engrais par les plantes.
- ↳ D'ensemencer plutôt au printemps .
- ↳ De récolter dans de bonne condition et d'améliorer l'efficacité des machineries.

Il faut noter que contrairement au drainage souterrain, la plupart des champs requièrent de l'aménagement de surface. En pratique on devrait réaliser un drainage souterrain lorsque la nappe phréatique se situe dans l'année à moins de 0.7 mètres de la surface du sol. Des tests de perméabilité sont aussi recommandés pour calculer l'écartement des drains. Il existe pour cela le :

- Drainage souterrain horizontal : Technique de drainage par fossés ou par tuyaux enterrées.
- Drainage souterrain vertical : Technique de drainage par puits (figure.3.17).

De manière générale, deux processus complémentaires dans le drainage sont distingués, à savoir le captage des eaux excédentaires et leur transports généralement vers une émissaire du réseau hydrographique [65].



Figure.3.17 : Photo d'une galerie drainante souterraine (Edd.IRD)

3.6.1.3. Réseau hydraulique

Ce réseau est l'ensemble des structures hydro-agricoles que l'on doit réaliser dans un champ pour évacuer de façon sécuritaire le surplus d'eau. Souvent oublié dans l'aménagement des terres agricoles, il comprend les cours et voies d'eau, fossés, raies de curage, avaloires, rigoles, tranchée et/ou puits filtrants, il permet :

- ⇒ D'évacuer le surplus des eaux de surface, hypodermiques et souterraines.
- ⇒ De minimiser l'érosion, en coupant les longueurs de champs et les endroits stratégiques.

En tout temps, le réseau est planifié judicieusement en complémentarité avec le drainage de surface et souterrain.

3.6.2. Objectifs et règles générales du drainage

→ La gestion de l'eau est le facteur de production le plus important en agriculture un excès d'eau aura pour conséquence l'anoxie des plantes (manque d'oxygène), des maladies et la pourriture des racines.

→ Un manque d'eau amènera un retard dans la croissance des plantes et même la mort de certaines d'entre eux. Puisque les précipitations sont très variables durant l'année. Le drainage devra éliminer les surplus d'eau sans causer des problématiques d'érosion et permettre d'emmagasiner le peu d'eau reçue dans les périodes sèches pour alimenter les plantes.

→ Voici quelques règles permettant de réaliser des projets de drainage efficaces:

▶ Les sols peu profonds reposants sur un horizon imperméable (changement textural, roc.....etc) ou les sols peu perméables (< 0.1 m/jour) ne peuvent être drainés efficacement par des drains agricoles. De plus en raison du nombre de lignes de drains à installer, il est difficile de justifier économiquement ces investissements dans ces cas, ces sols ont l'avantage à être nivelés de manière très précise afin de ne laisser aucune dépression et/ou accumulation d'eau en surface. Un réseau hydraulique efficace est alors de mise et devrait comprendre des fossés entre 40 et 90 mètres d'espacement.

▶ Plus un sol est imperméable et plus le taux de ruissellement sera élevé. Il faudra porter une attention particulière à ces sols, car les risques d'érosion sont élevés.

▶ Pour conserver le potentiel des sols et diminuer les coûts, le drainage de surface devrait être réalisé en déplaçant le minimum de sol arable.

► Il est toujours recommandé d'investiguer et de réaliser les aménagements suivant la chronologie suivante : Le réseau hydraulique, le drainage de surface et si nécessaire le drainage souterrain.

► Les sols qui profiteront le plus du drainage de surface sont ceux ayant des perméabilités faibles. [65].

3.6.3. Diagnostic des problématiques de drainage

Un bon diagnostic commence par la consultation, des documents suivants :

→ Les photographies aériennes, pour localiser les zones de mauvais rendement. Connaître la problématique et localiser les superficies affectées.

→ Les relevés topographiques et/ou plans de drainage souterrain et /ou profil des cours d'eau municipaux : pour localiser les zones potentielles de mauvais drainage (dépression, écoulement hypodermique, etc.....).

→ Carte de sol et perméabilité afin d'évaluer le potentiel et la limites des sols.

→ Il est intéressant de savoir si le problème est agronomique ou dû au drainage.

→ Connaître l'historique du champ soit : les rotations de cultures, les pratiques agricoles.....etc. Et évaluer les rendements, y'a-t-il des zones de jaunissement ?

→ Vérifier si le champ est drainé souterrainement si oui :

- Vérifier le type de sol, la granulométrie et son uniformité dans le champ.
- Vérifier s'il y'a lieu, de type de filtre dans les sols sableux, ayant moins de 20% d'argile, il faut utiliser un filtre selon la grosseur des particules. De même dans ces sols il y'a risque de colmatage, dans les fossés et à la sortie des conduites souterraines (figure.3.18).



Figure.3.18 : Photo d'un drain colmaté

→ Evaluer le réseau hydraulique.

- Localiser les cours d'eau, fossés, rigoles, des raies de curage, avaloire, sortie de conduite et drainage souterrain. Vérifier la présence de fossé de zone boisée.

- Estimer la profondeur des émissaires pour évacuer l'eau de surface et souterrain.

→ Réaliser une évaluation agronomique.

- Vérifier les analyses des sols, le PH, le taux de M.O, la fertilisation....ect.

- Vérifier s'il y'a lieu la présence et la variété des mauvaises herbes (plantes colonisatrices en zone plus humide vs mauvaise herbes en cultures).

- Connaitre les rotations de cultures que l'entreprise veut faire.

→ Connaitre les argents que le producteur veut ou peut investir.

- Il faut faire investir le producteur dans des travaux rentables. Souvent l'aménagement d'un meilleur réseau hydraulique, en situant des rigoles et des avaloires au bon endroit permettent un meilleur retour sur l'investissement.

3.6.3.1. Problématique du drainage sur le profil du sol

Parfois il est nécessaire de réaliser des profils de sol à des endroits stratégiques pour connaître les causes des problématiques de drainage rencontrées soit :

- Dans les zones de bon et mauvais rendements.
- A coté des dépressions.
- Au bas des pentes longitudinales fortes.

La méthode de (Brunelle-savoie) in (Victor savoie). Montre comment identifier et corriger les cinq principaux problèmes associés à un régime hydrique déficient :

- ① Une nappe phréatique élevée.
- ② Une nappe perchée (compaction).
- ③ De l'écoulement hypodermique non évacué adéquatement.
- ④ Des dépressions ou l'eau stagne, créant des zones humides (mauvais drainage de surface).
- ⑤ Des sols à structures instables, non structurés, composés de plus de 60% de Limon et ou sable fin (< 0.25 mm de diamètre) et moins de 12% d'argile.

→ Ces profils de sol nous donnent beaucoup d'informations.

- La distribution des racines dans le sol.
- La présence d'une couche compactée.

- La couleur des horizons de sol, indique en général son degré d'aération qui est proportionnel à la rapidité avec laquelle l'eau peut être évacuée du profil. La présence dans les sols de sels de fer, en s'oxydant en présence de l'air donne des teintes jaune, orange et rouge, par contre lorsqu'il n'y a pas d'oxygène les sels de fer sont réduits et la teinte du sol est plus terne pour atteindre des couleurs plus grisâtres, même parfois verdâtres, ou bleutées. La séquence normale des couleurs d'un sol devrait nous indiquer un sol plus aéré en surface, donc plus brun rosé vers un gris bleu, montrant que le sol est plus humide en profondeur.
- L'odeur : la décomposition de la matière organique fraîche se fait dans un milieu très peu oxygéné, générant des gaz sulfureux qui sentent des œufs pourris (aération déficiente en surface due à une compaction).
- La localisation de la provenance de l'eau qui se trouve éventuellement dans le fond du trou. Est-ce qu'elle provient du sous-sol donc de la nappe phréatique, ou est-ce l'écoulement superficiel ou hypodermique.

Une fois les problématiques rencontrées sur le terrain identifiées, le conseiller et le producteur doivent explorer les solutions qu'ils pourraient mettre en application.

3.6.4. Le réseau de drainage dans la vallée d'Oued Righ

→ La vallée d'Oued Righ qui couvre une superficie de plus de 15000 ha est irriguée à partir des deux grandes nappes en l'occurrence le (C.T) dont l'eau est très chargée et le (C.I), légèrement salée.

→ La palmeraie est drainée par le canal principal sur une longueur de 145 km qui se déverse dans le chott Merouane. Les régions de Djamaa et M'Ghair sont les zones où le problème de drainage se pose avec acuité, vu l'état de dégradation du canal principal et des canaux secondaires (figure.3.19).



Figure.3.19 : Fossés de drainage dégradés suite au manque d'entretien [23]

→ Dans la région d'Oued Righ les réseaux de drainages sont constitués de fossés d'environ 1.20 m de profondeur pour 50 cm ou plus de 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 entre autre être curés chaque année pour supprimer les mauvaises herbes et relever les éboulements fréquents en terrain meuble, sans cet entretien, il va y avoir un délaissement total des réseaux à leur sort (envasement, envahissement par les roseaux), comme c'est le cas au niveau de Tinedla où la dégradation du canal principal a carrément bloqué l'écoulement des eaux des canaux secondaires provoquant ainsi la remontée de la nappe dans certaines zones et l'envahissement de la palmeraie par des roseaux dont la hauteur dépasse les deux mètres (figure.3.20).



Figure.3.20 : Envahissement des fossés et des palmeraies par les roseaux [23]

Malgré cela l'efficacité des drains 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 utilise dans les pays développés, que les drains en poteries pour les collecteurs, et des tubes annelés perforés en PVC pour le drainage proprement dit « enterrés » 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) [66].

- ⇒ 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 Sebkhia à nappe d'eau libre en hiver avec des étendus considérables de chotts. Au plan technique, il faut surtout soulever l'archaïsme des systèmes en place (à ciel ouvert sans gabionnage) et l'exiguïté voir l'inexistence d'exutoires dans les alentours immédiats des terres à assainir.
- ⇒ Les seules améliorations découlent des interventions engagées dans le cadre des grands travaux sur les collecteurs et quelques drains secondaires dans (l'Oued Righ, Ouargla, In Salah et Timimoune).
- ⇒ Les autres palmeraies toutes aussi potentielle telles que les Ziban et Guerrara et le souf ne disposent pas encore de réseaux de drainage. La dimension de ce problème constitue donc un risque pesant et une contrainte majeure à l'évolution du secteur de l'agriculture.
- ⇒ Cette dimension tend par ailleurs, à prendre plus d'importance avec les diverses extensions réalisées en amont des anciennes palmeraies et également par les rejets des eaux usées libérées par les centres urbains en pleine expansion.

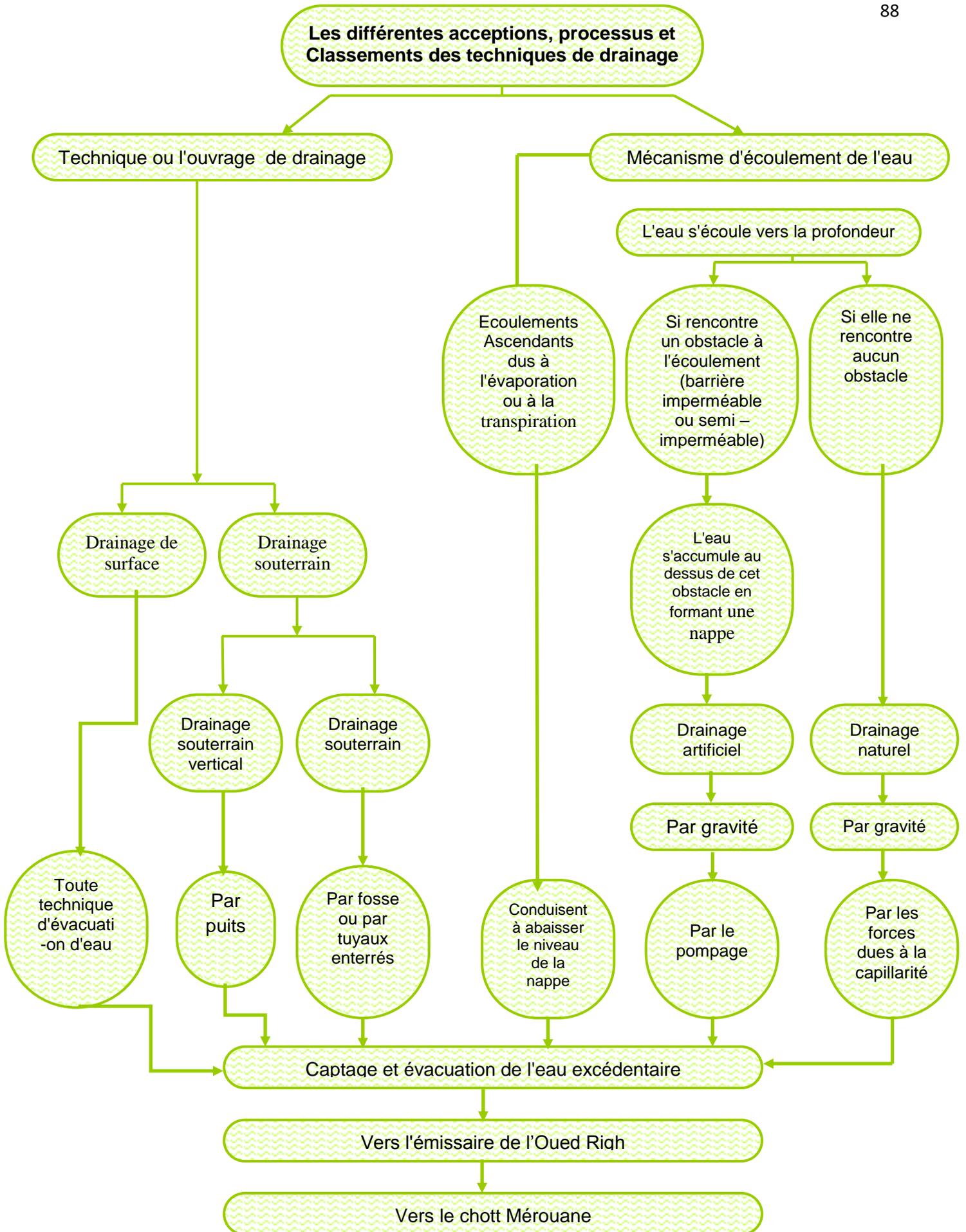


Figure.3.21 : Les différentes processus et classements des techniques de drainage dans la vallée d'oued Righ

3.6.5. Contrainte rencontrées en matière de drainage dans la vallée d'oued Righ

Parmi les contraintes que rencontre le système de drainage on peu citer :

- L'obstruction des fossés (dégradation du CP et des CS).
- L'absence d'écoulement due à une faible pente.
- Un réseau mal entretenu, les lits sont souvent recouverts de roseaux et de mauvaises herbes.
- La profondeur des drains ne convient pas généralement aux besoins de drainage des palmeraies.
- L'utilisation d'un volume d'eau considérable en irrigation. (non maitrise de l'irrigation moderne) ce qui mène à la suralimentation de la nappe superficielle [67].

3.7. La salinité des sols et le drainage

- ↪ Dans les pays arides, les eaux dont on peut disposer sont fréquemment minéralisées, elles contiennent en dissolution des sels (chlorures, sulfates, carbonates et bicarbonates de sodium, calcium et magnésium) dont la présence rend cette eau, suivant les quantités, difficilement utilisable, et même dangereuse.
- ↪ Ce sont souvent les nappes profondes qui sont minéralisées mais, en beaucoup d'endroits, les nappes phréatiques elles- même le sont de même que les eaux superficielles, ce qui impose des précautions spéciales en cas d'utilisation. Et c'est pour cette raison qu'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 croissance racinaire (anoxie) qui conduit à l'asphyxie des cultures. Des taches verdâtres apparaissent par réduction des oxydes ferriques. Ce qui donne une végétation envahissante nuisibles difficile à détruire ensuite (phragmites communis = roseau commun, et Impérata cylindria = Diss).
- ↪ Les excès d'eau résultant soit des précipitations excessives vis-à-vis du drainage naturel du sol, soit d'une faible efficience de l'irrigation, et lorsque les nappes sont suffisamment proches de la surface du sol pour que leur eau puisse y remonter sous l'influence des forces de capillarité, il s'établit un courant d'eau continu entre la nappe phréatique et la surface du sol ou cette eau s'évapore en déposant des sels

qu'elle contient. Ceux-ci forment des efflorescences blanchâtres bien visible en surface, mais se concentrent également dans les couches superficielles ou leur présence entraine des modifications profondes de la flore, parfois sa disparition totale, ainsi que la détérioration de la structure du sol, ce sont alors des « sols salins » fréquent dans les pays arides (figure.3.22).



Figure.3.22 : Photos des sols salins dans la vallée d'oued Righ [23].

↪ Le problème est alors de lessiver les sels des couches superficielles et d'empêcher que les eaux résiduelles du lessivage ou des irrigations ainsi que l'eau de la nappe phréatique, ne remonte jusqu'à la surface du sol et s'y évaporent [68].

↪ Cette dose de lessivage est souvent exprimée en pourcentage, on parle alors de fraction de lessivage. Si on oublie ce phénomène fondamental, et l'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 (figure.3.23).



Figure.3.23 : Des palmiers envahie par (Diss) et des palmiers grisâtres aux palmes courtes et peu nombreuses [23].

Des palmiers grisâtres aux palmes courtes et peu nombreuses et puis partout des efflorescences salines recouvrant les endroits où l'humidité apparaît [69].

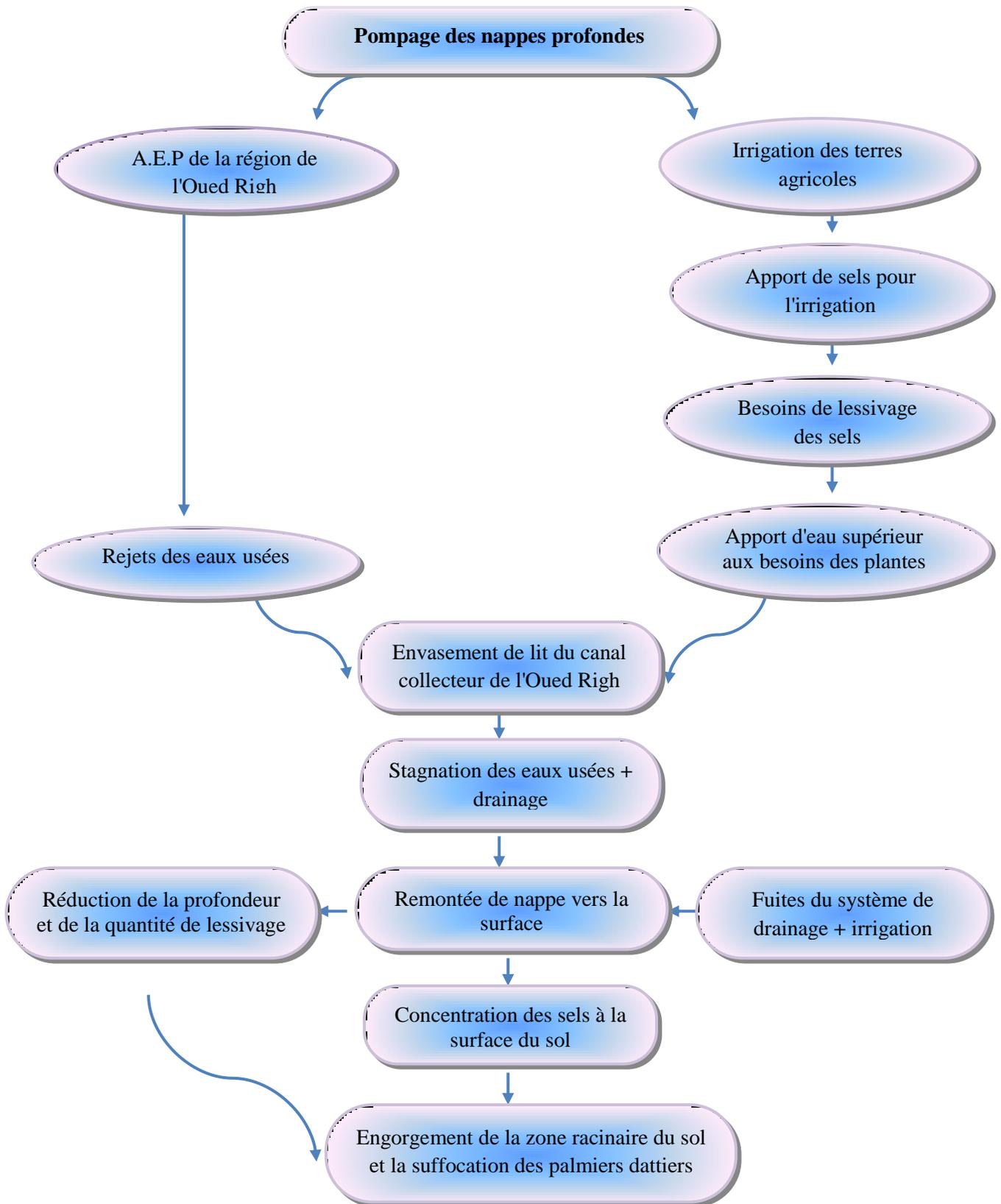


Figure.3.24 : Séquence des phénomènes pouvant conduire à la salinisation en cas de déficience du drainage dans la vallée de l'Oued Righ. [70]

3.7.1. Rapport entre salure-dose de lessivage et remontée des eaux

L'irrigation n'est pas uniquement un apport d'eau sur une terre cultivée en vue de compenser l'insuffisance des précipitations et de permettre le plein développement des cultures. Tenir compte des besoins réels des cultures devient à ce moment impératif. Il s'agit donc de faire en sorte pour pouvoir estimer sur quelle culture l'eau serait la plus efficace et à quelle dose l'employer l'utilisation irrationnelle de ce patrimoine hydrique dans le sud, ainsi que sa mauvaise répartition spatiale, ont provoqué dans certains cas une suralimentation de la nappe superficielle (figure.3.25) d'où le phénomène d'hydromorphie (cas de la vallée de l'Oued Righ).

- Les nappes phréatiques des périmètres irrigués sont souvent riches en sels. L'eau est progressivement évapotranspirée, ce qui concentre la solution du sol, c'est le processus d'évapoconcentration. Ce phénomène non seulement annule le lessivage, mais ré-entraîne les sels dans la partie supérieure du sol, la plus sensible pour la croissance des plantes. Le suivi rigoureux des évolutions de l'état hydrique des sols est indispensable, du coup il faudra s'équiper d'un ensemble de piézomètres pour surveiller la remontée des eaux et leur salinité. Il importe donc d'éviter la présence d'une nappe à proximité de la surface du sol. Pour cela l'eau non strictement utile à la croissance des plantes doit être rationalisée, et dans le besoin, elle doit être évacuée du système.

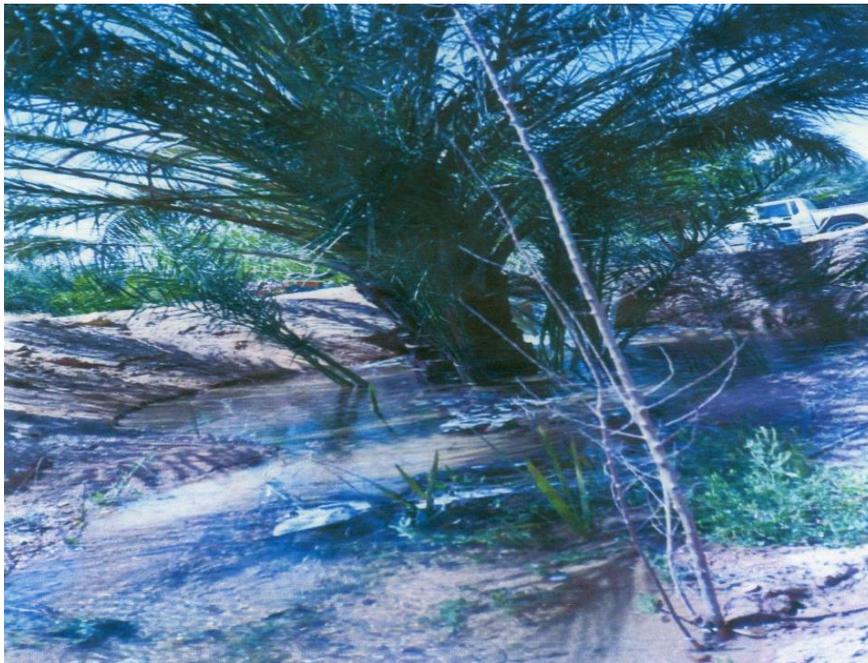


Figure.3.25 : Irrigation non contrôlée contribuant à l'engorgement des palmeraies par la remontée de la nappe superficielle dans la région de Oued Righ

3.8. Remontée de la nappe phréatique de la vallée d'Oued Righ

3.8.1. Introduction

L'accroissement des besoins en eau dans les oasis du Sahara Algérien a conduit à un recours de plus en plus important à l'exploitation des nappes d'eau souterraines. Ces nappes phréatiques sont partout présentes au Sahara et se situent généralement dans les zones de dépressions ou dans les vallées tel que la vallée d'Oued Righ.

L'oasis de la vallée d'Oued Righ, comme de nombreuses agglomérations du Sahara Algérien, est actuellement affectée par une remontée des eaux de la nappe superficielle. Qui se trouve actuellement présente dans presque toutes les palmeraies de la vallée (figure.3.26).



Figure.3.26 : Remontée des eaux de la nappe superficielle dans la vallée [16]

Cette remontée est due aux rejets des eaux de drainage, les eaux d'irrigations, les pluies, des eaux résiduaires urbains et dans certains cas par des fuites provenant des forages dont le tubage a été détérioré.

Ces nappes 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. [70]. Pour répondre aux besoins croissants de l'eau, l'exploitation et l'utilisation des nappes profondes (C.T et C.I) ont été nécessaires disant même obligations. Mais la surexploitation des eaux de ces nappes profondes a provoqué un énorme problème inattendu, c'est la remontée des eaux profondes. Ce problème a causé un déséquilibre écologique dans la vallée (détérioration du tissu urbain, inondation d'un grand nombre des

palmeraies, salinité des sols, dégradation des palmeraies par asphyxies) en hiver de nombreuses palmeraies sont inondées tel que les palmeraies de (Tinedla, Djamaa, Ferdjaoune Eh Goug etc.....), ce qui entrainerait la baisse du rendement de productions, ces oasis sont entrains de connaitre à présent l'une des situations écologiques les plus catastrophiques de leur existence la vallée d'Oued Righ pourrait être qualifiée à juste titre, d'oasis malade de trop d'eau (figure.3.27).



Figure.3.27 : Oasis malade de trop d'eau [5].

3.8.2. Inondation des palmiers par pluies intenses

Assises sur une sorte de « banquise » de sable, le palmier dattier arbre miracle du désert, qui peut vivre de 150 à 200 ans, n'est rentable que s'il vit longtemps dans son milieu naturel. Ces oasis se révèlent particulièrement vulnérables aux variations des intempéries (pluies abondantes) et à la saturation de la nappe phréatique, comme à la baisse de celle-ci. En revanche qu'elle que soit la saison, des dégâts importants peuvent survenir après des pluies abondantes.

L'augmentation du taux d'humidité des fruits qui est normalement de 25%. (Pour la deglet- Nour) provoquent 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 biens connues, dans l'Oued Righ des zones complètes ont été submergées par les inondations provoquées par la chute de 500 mm de pluies et par manque d'exutoire, ces zones sont demeurées remplies d'eau jusqu'au début de l'été 1970.Provoquant la mort de milliers de palmeraies par suffocations. [71].

3.8.3. Dégradation des palmiers par asphyxie :

La localisation des majorités des palmeraies à proximité de SEBKHAS ou existe une nappe superficielle salée, exige un réseau de drainage efficace, les réseaux existants, non entretenus, se dégradent régulièrement (figure.3.28).

Aujourd'hui, la vallée d'Oued Righ, qui compte plus de deux millions de palmiers dattiers sur environ 15000 ha connaît encore des problèmes d'excès d'eau et subit depuis plusieurs années les conséquences néfastes de la remontée des nappes phréatiques, l'asphyxie menace plus de 12000 ha de palmiers dattiers on péri, et 10.000 ha risquent d'être stérilisés. Selon la direction agricole d'Ouargla.



Figure.3.28 : Dépérissement des palmiers dattiers dans la vallée d'oued Righ [23]

3.8.4. Salinisation des terres arables

→ 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.

→ Dans le domaine agricoles, 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. Une structure poudreuse est observable dans les premiers centimètres, les argiles restent flocculées, l'irrigation gravitaire par planche (figure.3.29) est la technique la plus répandue dans la palmeraie traditionnelle et moderne d'Oued Righ. La dimension des planches est généralement de 90 m sur 7 m pour les plantations de palmiers dattiers de 9x9 m le suivi de la salinité le long des planches a montré l'existence d'un gradient de salinité variable de l'amont à l'aval.



Figure.3.29 : Irrigation par planche dans l'oued Righ

→ Il est lié essentiellement à la répartition de la main d'eau et du nivellement des parcelles. Sur le plan latéral, entre deux palmiers espacés de 9m, la salinité des couches du sol est peu variable. En revanche la partie non irriguée comprise entre le palmier et le drain montre une salinité plus élevée [71]. En effet le mouvement descendant des sels entraînés par les eaux d'irrigation fréquentes donnent un profil de salinité croissant de la surface aux couches profondes.

→ En absence d'irrigation et d'une pluviométrie insuffisante, le mouvement ascendant des sels est dominant, il est stimulé par la forte demande climatique et les remontés capillaires d'une nappe phréatique permanente proche de la surface du sol. On assiste alors à un accroissement de la salinité des territoires. A cause de l'invasion du sel, les meilleures territoires ont disparu et faute d'eau, lorsqu'on se mit au début du siècle à forer et à pomper dans les nappes sans retenues ni réglementation. Une étude 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 20000 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 SEBKHA qu'on peut considérer de ce point de vue comme des nappes d'eau libre pendant une bonne partie de l'année. Bien entendu suite à l'évaporation, le dépôt des sels est d'autant plus vigoureux que la nappe phréatique est proche de la surface du sol.

3.8.5. Détérioration de l'environnement

► Plusieurs habitations se sont détériorées suite à la remontée des eaux à la surface du sol. Des fissures préjudiciables se sont apparues dans plusieurs maisons, et quartiers, notamment dans les zones d'El Goug, Tebesbest, Moggar, Sidi Amrane,

Djamaa, Tinedla et Dendouga (figure.3.30). Plusieurs familles ont dû être transférées vers d'autres lieux par peur d'effondrement de leurs maison. En 2007, plus de 623 habitations ont été détruites par la remontée des eaux sur un total que détient la zone de Ksour (Tebesbest), selon le service de l'urbanisme de la daïra de Touggourt.



Figure.3.30 : Détérioration de l'habitation due à la remontée des eaux

- ▶ Les drains secondaires ont été envahis par les phragmites et « diss ».
- ▶ Des zones urbaines sont devenues de véritable accumulation des eaux de drainages et des eaux usées (colmatages).
- ▶ 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 (figure.3.31).



Figure.3.31:Evacuation d'eau impossible dans les zones basses de la vallée [23]

3.8.6. Impact de la remontée des eaux sur la santé

Cette situation critique constitue une véritable menace pour la santé des populations tel que :

- ▶ Augmentation des maladies à transmission hydriques.
- ▶ 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 [19]. 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 maladies 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 (7 cas).

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.

3.9. Gestion des eaux de drainage et lutte contre la remontée de la nappe phréatique

La problématique de la remontée s'est manifestée par la rupture de l'équilibre hydraulique causé par la surexploitation des nappes profondes (C.T et C.I) à des fins agricoles. Etant donné que les énormes quantités d'eaux excédentaires agricoles trouvent essentiellement leur origine dans la mauvaise gestion des eaux d'irrigation. La maîtrise du problème de ces excédents doit donc commencer par une réorganisation générale des conditions d'arrosage. Il faudrait en effet raisonner l'utilisation de l'eau à usage agricoles en l'adaptant aux besoins réels des plantes cultivées. Ainsi d'une part, le calcul des besoins mensuels globaux, qui pourra être obtenu notamment grâce à la détermination des valeurs de l'E.T.P, et d'autre par

l'évaluation des propriétés pédo-agronomiques des sols (densité apparente, humidité...Etc.) devront permettre dans un premier temps, de préciser les modalités pratiques de l'arrosage (les doses à appliquer, les durées, et les fréquences d'arrosages). Lorsque ces facteurs seront clairement définis, il sera ensuite possible d'établir un calendrier annuel des campagnes d'irrigation. Notons que pour la détermination des valeurs de l'E.T.P ou pourra utilement se référer aux travaux de [72], qui propose une méthodologie de calcul simple et suffisamment précise adaptée au contexte des régions Saharienne. La rationalisation des pratiques d'arrosage va permettre de diminuer le volume d'eau de drainage à la source et d'économiser les eaux pour combler notamment les déficits d'irrigations observés pendant la période estivale. Malgré tout il reste des quantités d'eaux excédentaires qu'il va falloir évacuer (eaux de lessivage, pertes pendant la distribution, drainage de la nappe phréatique, forages illicites...etc.). L'évacuation de ces excédents se heurte cependant au problème de l'absence d'exutoire à proximité, seul le canal d'Oued Righ semble constituer un site plus approprié apte à recevoir et à évaporer d'importantes quantités d'effluents.

CHAPITRE 4

LES PROBLEMES BIOLOGIQUES RELATIFS AUX PLANTES TOLERANT L'EAU SALEE OU SAUMATRE, ET A L'UTILISATION D'UNE TELLE EAU POUR L'IRRIGATION

4.1. Introduction

L'eau saumâtre contient en proportions variables et en dissolution plus ou moins concentrée, divers sels : chlorures, sulfates, carbonates, bicarbonates de sodium, calcium, et magnésium, s'y ajoute parfois d'une part les nitrates, et les borates, d'autres part le potassium. Le terme « salé » semble indiquer la prédominance du chlorure de sodium. [73]. Le problème de la salinité en agriculture est étroitement lié à l'irrigation et à la qualité de l'eau. « L'utilisation d'eau d'irrigation salée implique le danger que les sels solubles s'accumulent dans le sol irrigué à son détriment », des sols légèrement salés peuvent devenir fortement salés en raison d'un bilan du sel défavorable, provoqué par l'utilisation d'eau d'irrigation à forte salinité, une irrigation impropre au lessivage et un drainage médiocre.

4.2. Classification des sols sales et alcalins

Il est nécessaire d'en faire une brève classification qui servira de base de référence au cours de l'exposé relatif à la croissance des végétaux en milieu salin ou alcalin.

4.2.1. Sol alcalin

Sol contenant assez de sodium libérable pour provoquer l'inhibition de la croissance de la plupart des plantes cultivées, et qui peut contenir en outre des quantités appréciables de sels solubles. On distingue deux catégories de sols alcalins.

4.2.1.1. Sols alcalins non salins

Contenant assez de sodium libérable pour inhiber la croissance de la plupart des plantes cultivées, mais ne contenant pas de concentrations appréciables de sels solubles. Le pourcentage de sodium échangeable est supérieur à $\text{Na}\% > 15$, la conductivité de l'extrait de saturation est inférieure à 4 millimhos/cm à 25°C , et le pH du sol saturé dépasse généralement 8.5.

4.2.1.2. Sols alcalins salins

Contenant à la fois assez de sodium libérable pour inhiber la croissance de la plupart des plantes cultivées et des sels solubles en quantités appréciables. Le pourcentage de sodium échangeable est supérieur à 15, la conductivité de l'extrait de saturation est supérieure à 4 millimhos/cm à 25⁰ C, le pH du sol saturé est généralement inférieur à 8.5.

4.2.2. Sol salin

Sol non alcalin qui contient des sels solubles en telles quantités qu'ils inhibent la croissance de la plupart des plantes cultivées. La conductivité de l'extrait de saturation est supérieur à 4 millimhos/cm à 25⁰ C, le % de sodium échangeable est inférieur à Na%<15, et le pH du sol saturé est en général inférieur à 8.5.

Le terme pourcentage de sodium échangeable indique le degré de saturation en sodium du complexe d'échange du sol et sa définition est la suivante :

$$\frac{\text{(sodium échangeable en milliéquivalents par 100 g.de sol)}}{\text{(capacité d'échange de cations en milliéquivalents par 100 g. de sol)}} \times 100$$

Il est toutefois admis que la pression osmotique de la solution du sol est probablement le meilleur indice qui rend compte de la réaction de la plante à la salinité du sol.

4.3. Qualité de l'eau d'irrigation

Toutes les eaux naturelles utilisées pour l'irrigation contiennent des sels minéraux en solution qui proviennent des roches ou des matières solides à travers lesquelles elles ont filtré. Les matières dissoutes les plus communes sont les chlorures, les sulfates les bicarbonates de calcium, de magnésium, de sodium, et c'est la concentration et la proportion de ces sels qui déterminent la possibilité d'utiliser une eau pour l'irrigation. D'autre constituant comme le bore, qui a un effet toxique sur les végétaux, peuvent se trouver en moindre quantités dans l'eau d'irrigation.

❖ La conductivité électrique constitue un indice commode et communément employé de la teneur totale en sels de l'eau d'irrigation, et en général lorsque la conductivité dépasse les 3.000 micromhos/cm l'accumulation des sels sera probablement dangereuse. La richesse en sel s'exprime en milliéquivalents par litre ou en (p.p.m).

❖ Le second critère de la qualité de l'eau est important, car une forte proportion de sodium dans l'eau d'irrigation entraîne une forte proportion de sodium dans la solution du sol et dans son complexe d'échange. Il en résulte des modifications défavorables des propriétés physiques du sol.

Les sols à forte teneur en sodium ont tendance à être amorphe ou dispersés, et leur perméabilité est généralement diminuée. On ne peut fixer de limite précise pour le pourcentage de sodium, car des sols de différents types réagissent différemment à une eau qui a un taux de sodium déterminé. Il semblerait préférable d'indiquer une série de pourcentage selon. [74]. Le maximum acceptable de sodium serait de 40 à 60%, [75]. Donnent 60 à 75% comme limite pour les eaux de la (classe2) et [76], déclare que les eaux dont la teneur en sodium dépasse 60% de la teneur totale en bases sont de qualité douteuse.

❖ Eaton étudie les carbonates et les bicarbonates dans les eaux d'irrigation de deux points de vue.

⇨ La relation entre ces ions et la formation d'alcali noir.

⇨ La relation entre la quantité de ces ions dans une eau et l'ampleur des modifications du pourcentage de sodium qui peuvent se produire à mesure que l'eau d'irrigation devient solution du sol et se concentre sous l'action de l'évaporation et des prélèvements d'eau des plantes. Il souligne que « si l'eau fournie contient plus de carbonate et de bicarbonates que de calcium et de magnésium, lorsque l'évaporation et les prélèvements des plantes ont provoqué la précipitation du calcium et du magnésium sous forme de carbonates. Le résidu de carbonate est lié au sodium ». C'est ce qu'il appelle le « carbonate de sodium résiduel ». Et il propose de tenir compte dans les analyses d'eaux d'irrigation, du pourcentage de sodium « trouvé », et du pourcentage de sodium « possible », aussi bien que du carbonate de sodium résiduel. Ou les concentrations sont exprimées en équivalents gramme.

• Le pourcentage de sodium trouvé est calculé suivant la formule

$$\frac{Na \times 100}{Na + Ca + Mg}$$

• Et le pourcentage de sodium possible suivant la formule

$$\frac{Na \times 100}{Na + Ca + Mg - CO_3H}$$

4.4. Effets toxique d'ions déterminés

Comme l'a montré [77], l'action nocive des sels n'est pas toujours proportionnelle à la pression osmotique du sous-sol salin. Selon l'espèce chacun des divers éléments existants dans les solutions salines peut avoir un effet toxique spécifique sur la plante en plus de celui qu'on peut attribuer à la pression de la solution du sol. [78], ainsi que [79], ont fait l'inventaire des travaux consacrés aux effets toxiques des ions sur la croissance. Les ions qui peuvent s'accumuler dans les sols salins : (Na^+ ; Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; K^+ ; Cl^- ; SO_4^- ; $\text{CO}_3 \text{H}^-$ et NO_3^-).

4.4.1. Sodium

La **Na** et presque toujours associé à **Cl**. A forte concentration le sel, ou chlorure de Sodium (**NaCl**), est un redoutable ennemi de la cellule vivante. Quand il est en excès à l'extérieur de celle-ci, il provoque un stress hydrique et sa déshydratation. Trop fortement présents et concentrés dans la cellule, ces ions **Na⁺** cassent la structure des molécules d'eau présentes à la surface des protéines, et perturbent ainsi le fonctionnement des enzymes cellulaires. Le sel absorbe une grande partie d'eau du sol qui serait normalement disponibles aux racines. Ainsi même si l'humidité du sol est abondante, une quantité élevée de sel peut entraîner une sécheresse de la plante. Lorsque le sel se dissout dans l'eau, des ions **Na⁺** et **Cl⁻** se séparent. Les ions **Cl⁻** sont facilement absorbés par les racines, transportés dans les feuilles, et s'y accumulent à des niveaux toxiques, qui causent les brûlures caractéristiques sur les bords des feuilles, les lésions attribuées à **Na** étaient des taches nécrosées ou écorchées sur la partie centrale de la feuille. Il est possible que l'accumulation de **Na** dans la plante soit associée à un abaissement de l'accumulation des autres cations allant jusqu'à créer un déséquilibre cationique. [80]

4.4.2. Calcium

L'ion **Ca** peut être toxique quand il s'accumule dans les solutions salines du sol et y atteint une forte concentration, mais sa toxicité varie avec les espèces végétales. La plante traitée au calcium est caractérisée par une couleur bleu vert et une croissance rabougrie trouble qui peuvent être supprimés par l'absorption de **Na**. L'action différentielle des ions **Na⁺** et **Ca²⁺** sur l'hydratation des colloïdes peut entrer en ligne de compte, et que l'antagonisme des effets de **Na** et de **Ca** sur la perméabilité des cellules aux sels peut être un facteur de première importance.

4.4.3. Magnésium

Il a été reconnu que de fortes accumulations de **Mg** dans le sous-sol sont toxiques pour les plantes, indépendamment de toute inhibition liée à la pression osmotique. Des chercheurs indiquent que des quantités de **Mg** remplaçable supérieure à la normale créent un équilibre **Ca-Mg** défavorable, et il cite les résultats obtenus par les chercheurs russes, selon lequel il n'y a pas de diminution de rendement lorsque **Mg** constitue 50 à 60% de la capacité d'échange en cations, alors qu'au-dessus de ce taux il peut y avoir une diminution nette de la croissance.

4.4.4. Potassium

Des accumulations de **K** dans la solution du sol sont peut fréquente, il est peu probable qu'on observe des effets inhibiteurs spécifiques de la réaction de la plantes dus à un excès de **K** si cette accumulation est partiellement compensée par **Ca**. On a noté des cas où des quantités relativement fortes de **K** ont produit des symptômes de chlorose par carence de fer.

4.4.5. Chlorures

L'effet toxique de l'ion **Cl** a tendance à être assimilé à l'effet défavorable d'une forte salinité du sol. L'augmentation de pression osmotique du sous-sol peut avoir pour effet de réduire la croissance et la production d'une plante cultivée. Dans ce cas il peut y avoir une réduction de la taille des feuilles ainsi que la longueur et du diamètre des tiges, résultants d'une inhibition de l'activité des méristèmes primaires et secondaires (H.E.Hayward). Les perturbations les plus commune au **Cl** est une brûlure de l'extrémité, roussissement ou nécrose du tissu de la pointe de la feuille, et qui peut parfois atteindre la surface entière de la feuille. Ceci peut être précédé par un début de chlorose et de jaunissement de la feuille, parfois la feuille fini par tomber. La croissance des racines peut être ralentie, et il peut y avoir une réduction de la production et de la taille des fruits.

4.4.6. Sulfates

Les observations faites sur un grand nombre de plante cultivées, indiquent que de forte concentration de l'ion **SO₄** sont toxiques. On note quelques brûlures et une chute accentuée des feuilles quand il y'avait une concentration importante de **SO₄** dans la solution du sol, on peut penser que les effets spécifiques défavorables de **SO₄** peuvent être dus à la rupture de l'équilibre cationique de la plante.

4.4.7. Bicarbonates

On pense que l'ion CO_3H est très toxique pour les plantes, mais il est fort difficile de le vérifier en raison des relations entre l'ion CO_3 et le pH. Des études ont montré que l'effet défavorable de CO_3H sur la réaction de la plante est dû à l'absorption et au métabolisme des ions, et qu'il peut y avoir des différences marquées dans la toxicité de CO_3H suivant les espèces végétales.

4.4.8. Nitrates

L'ion NO_3 peut s'accumuler à des taux assez élevés dans certains sols naturellement salins, et cet état est caractérisé par le développement de dépôt de nitre. Il est difficile d'établir une distinction nette entre un effet spécifique de l'ion NO_3 et les effets concomitants produits par la pression osmotique du sous-sol ou par les cations supplémentaires, mais on connaît plusieurs exemples d'inhibition de croissance produite par des taux élevés de NO_3 .

4.5. Effet de la salinité sur le palmier dattier

Le palmier dattier est parmi les végétaux cultivés, un des plus tolérants aux sels. [81]. Ont signalent une croissance des dattiers dans la vallée de coachella en Californie, où la solution du sol, pour une teneur en humidité voisine du pourcentage de flétrissement, contenait 15.000 p.p.m de sels, soit une concentration osmotique de 7 atmosphères. D'après (M. Girard), à EL ARFIANE en Algérie avec une eau contenant de 9 à 16 g/l de sel il y'a réussite sur le plan physiologique puisque les palmiers poussent, cependant les fruits sont très petits, 4 grammes en moyenne et leur croissance très longue. Les eaux d'irrigation en excès alimentent la nappe phréatique, omniprésente dans toutes les oasis de la vallée d'oued Righ, la profondeur de la nappe variable et généralement faible l'eau est très salée, la conductivité électrique est \gt à 9 mmhos/cm dans 80% des cas.

Il faut noter que la température est aussi un facteur dominant dans la germination des plantes et leur croissance en milieu salin et alcalin.

➤ Chez les halophytes, les cellules contiennent beaucoup de sels et de ce fait, leur pression osmotique peut atteindre des valeurs très élevées, dépassant parfois 40 atmosphères dans les racines et 80 atm dans les feuilles. [82].

Il n'y a d'ailleurs pas de rapport fixe entre la pression osmotique des racines et celle des feuilles, toujours plus élevée.

La pression osmotique est avant tout fonction de la spécificité et de l'individualité de la plante, mais elle subit des variations suivant les lieux, les saisons et les heures, parce que la teneur du sol en chlorures ainsi que la sécheresse jouent à ce sujet un rôle positif important. [83].

La pression osmotique cellulaire élevée due à la présence des sels réduit la transpiration. [84]. D'autre part les sels accroissent la force de succion du sol pour l'eau, et la pression osmotique de la solution qui baigne les racines, de sorte que, plus il y'a de sels dans le sol, moins il peut pénétrer d'eau dans la plante. [85]. Les variétés halophytes sont des plantes dont le protoplasme résiste à des accumulations de sodium relativement importantes dans leurs sucres cellulaires. Ce sont des plantes aux tissus gorgés d'eau à forte pression osmotique et transpiration réduite, dont la succulence est due à la présence des ions Cl^- elles sont capables d'une forte assimilation chlorophyllienne en dépit de la présence des sels dans leurs tissus.

4.6. Moyens de lutte contre la salinité

Dans les pays arides, les eaux dont on dispose sont fréquemment minéralisées ; et contiennent en dissolution des sels, pour lutter contre ce fléau il faut :

- ◆ Lessiver avec abondance les sels en excès, notamment avant les semis.
- ◆ Utiliser au mieux les eaux de pluies, ou les eaux douces dont on peut disposer pour dessaler les couches superficielles du sol.
- ◆ Maintenir ou ramener la nappe phréatique à une profondeur suffisante pour éviter la remontée de l'eau salée surtout si la nappe est elle-même saumâtre.
- ◆ Éviter les dénivellations du sol qui provoquent des concentrations et dépôts de sels dans les horizons supérieurs.
- ◆ Maintenir l'ion Na^+ à basse proportion, par ajout d'amendements convenables.
- ◆ Maintenir ou créer dans le sol par l'apport de fumures convenables, une solution nutritive satisfaisante et bien équilibrée.
- ◆ On réduit l'évaporation par binage, paillage, couverture du sol par des roseaux, ou une pellicule de bitume, afin d'éviter le dépôt des sels dans la zone racinaire.
- ◆ On peut aussi apporter du soufre qui s'oxyde en SO_2H_2 , abaisse le pH du sol, souvent trop en régions arides, mais son action est lente.

- ◆ On préconise que l'ammonium est le plus redoutable adversaire du sodium.
- ◆ Assurer la percolation, le drainage rapide pour éviter l'asphyxie, l'évacuation des eaux excédentaires, et s'il y'a lieu par un système de drainage profond, l'abaissement vertical ainsi que l'écoulement latéral de la nappe.
- ◆ Il ne faut pas irriguer à l'eau saumâtre si le niveau supérieur de la nappe phréatique ne se trouve pas au moins à **1.50 m** de la surface du sol en terre légère, et **2 m** en terre argileuse.
- ◆ L'irrigation par rigole provoque une forte accumulation de sels en surface et affecte sévèrement la végétation et les récoltes.
- ◆ Par submersion et déversement (flooding) la concentration des sels reste beaucoup plus faible et les plantes sont normales.
- ◆ L'irrigation par aspersion est déconseillée parce que généralement pratiqué avec trop peu d'eau, elle ne permet pas le lessivage des sels.
- ◆ Enfin tenir compte des facteurs écologiques pour une rationalisation des quantités d'eaux à utiliser, et se dire que « l'oasis c'est la vie », la vie grâce à la présence de l'eau, pour une nouvelle traversée du désert.

CHAPITRE 5

CARACTERISTIQUES DE LA ZONE D'ETUDE

5.1. Historique du canal collecteur de l'Oued Righ

La vallée de l'Oued Righ est une entité géographique située sur axe Nord-sud (Biskra –Ouargla) d'environ 150km. Elle se distingue en tant que zone dépressionnaire à écoulement d'eau permanent vers le collecteur principal de drainage, (canal) qui fait transiter un débit moyen d'environ $5\text{m}^3/\text{s}$, soit plus de 150 millions de m^3/an [4]. L'activité économique de la vallée est axée principalement sur la phoeniciculture. On estime le nombre totale de palmiers à 9263 dans la région de Touggourt ; à 187965 à Temacine , un nombre de 108996 à Zaouia Elabidia et aussi on compte près de 156593 à Sidi Slimane (source :D.S.A. 2008).



Figure.5.1 : Photo représentant le canal d'Oued Righ [23]

La vallée d'Oued Righ première région dattiers du Sahara, est une vaste dépression allongée dont la topographie est une espèce de gouttière qui s'abaisse progressivement de la cote +100 m à El Goug à la cote -36 m atteinte à chott Melghir. La vallée a été composée de série de chotts et des lacs donc une successions en chapelet de dépression humide et salées et de palmeraies mettant à profit de légère surélévation (1 m ou 2 m) parfois améliorées par des apports massifs de sable tandis que les bas fond sont occupées par des Sebkhass reliées par un

canal collecteur de drainage, le tiers du sud de la longueur totale de l'Oued Righ est d'origine naturelle.

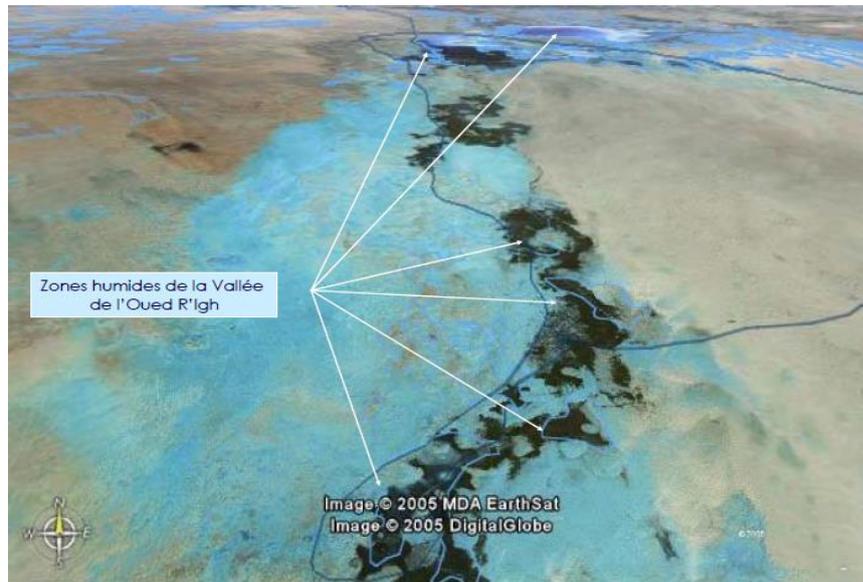


Figure.5.2 : Zones humides de la vallée d'Oued Righ

Les deux tiers de sa longueur totale d'environ 136 km au Nord ont été creusés par des mains humaines de la région dans le dernier siècle.

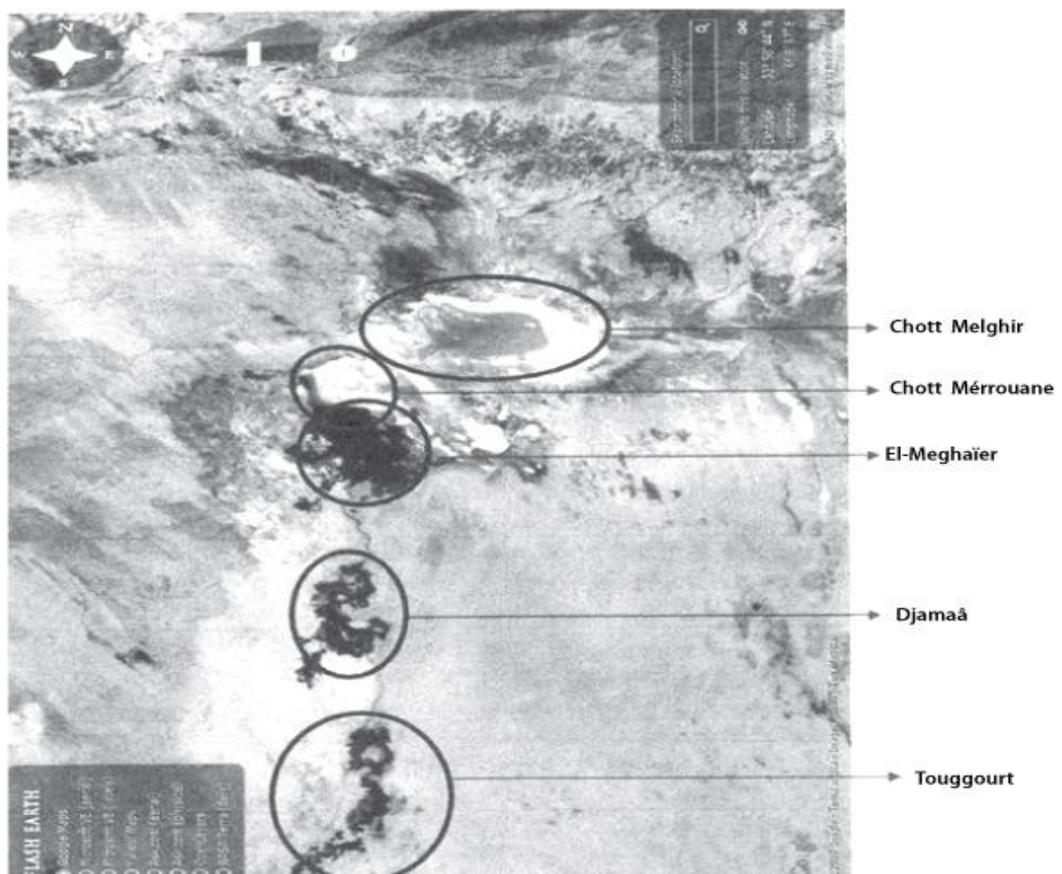


Figure.5.3 : Trajectoire du canal d'Oued Righ (Google earth ; 2007)

www.rove.to/Algérie

L'irrigation dans la vallée est pratiquée depuis des millénaires. A l'origine les sources naturelles représentaient les seuls ressources en eau, puis l'exploitation des nappes souterraines par des puits jaillissant permet l'extension des cultures irriguées, le 17 Mai 1856 « sous la direction de l'ingénieur JUS ». On commença la réalisation du premier forage tubé à la 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 [86], non content de multiplier les forages et concurrent un nouveau type de palmeraie géométrique, aux arbres alignés et espacés environs (120 arbres par hectare) 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 Sebkhass installés en bordure de l'erg.

→ En 1954 la continuité dans la cuvette du bas Sahara était mise en évidence par un sondage de 3684 m à Tamellahat (Temacine) près de Touggourt, qui rencontrait le toit du (C.I) à 1300 m et les couches aquifères entre 1400 m et 1750 m. Ce forage donnait une pression au sol de 27 kg/cm^2 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 inférieur 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-visiterv, 1974 et compagnie du bas Rhone 1984), le secrétariat d'état à l'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 irriguées supplémentaires.

→ En 1974 les autorités ont conseillé à Tesco-visiterv 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 avants 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'état à l'hydraulique de l'Algérie et de la Hongrie. Le canal fut profondément modifié, élargi et approfondie, les tronçons menacés par 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, deux années plus tard le lit du canal était largement encombré de vides sableux et d'abondant peuplement de roseaux.



Figure.5.4 : Tronçon du canal d'oued Righ envahi par les roseaux (phragmites)
[23]

→ De 1977 à 1980 les travaux réalisés autour de Touggourt ont été de moindre importance à cause du manque de pelles mécanique 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-visiterv.

5.2. Etat actuel du canal collecteur de l'Oued Righ et son impact sur l'écosystème

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. La végétation aquatique pousse rapidement dans l'eau à vitesse lente en provoquant l'envasement du lit.



Figure.5.5 : Drain colmaté avec risque de stagnation des eaux dans la vallée [23]

La grosse difficulté qui s'oppose dans l'Oued Righ à l'extension illimitée des palmeraies ce n'est pas le manque d'eau, c'est l'excès de sel, résultant parfois des eaux stagnantes. 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 de 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 (Tesco-visiterv, 1992-1993) permettant d'évacuer les eaux de drainage des palmeraies vers le chott Mérouane.

5.3. Les causes des dégâts provoqués par l'érosion sur le long du canal

5.3.1. Manque d'entretiens

- Le manque d'entretien peut provoquer la croissance rapide de la végétation aquatique, qui engendre un ralentissement de la vitesse de l'eau, voir même du débit, qui empêche l'écoulement libre dans le canal, provoquant le remous sur le niveau d'eau et par la suite stagnation des eaux de drainage dans le réseau secondaire.

5.3.2. Dégâts typique provoqués par l'érosion

- Vue la position géographique de la vallée d'Oued Righ, et la pente du canal qui est très faible, on se trouve en présence d'exécution des excavations sur le long du canal, et formation du réseau des canaux secondaire, ce qui favorise l'ensablement au tronçon médiane, et l'envasement rapide dans le lit du canal.
- Les embouchures irrégulières et incorrectes des canaux secondaires de drainage du canal de l'Oued Righ qui traverse presque toutes la longueur des chotts, par les différences qui existent entre les niveaux d'eaux dans les chotts et dans le lit du canal. La forme de la couronne des pistes d'entretien et les terres déposées, favorise l'accumulation de temps en temps des eaux dans les chotts et par la suite empêche de ces eaux de s'écouler dans le canal, qui engendre par la suite, la rupture hydraulique du sol, et risque la stabilité des berges avec écroulement et éboulement ainsi que affouillement des Talus.

5.4. Les causes de l'érosion et des déformations des Talus et du lit

Presque partout le long du Tronçon du canal des envasements (dépôts limoneux), des écroulements de Talus, des affouillements provoqués par érosion se sont présentés. Une partie de l'envasement ressort de la formation des excavations, sur le Tronçon en aval, ou à cause de la position de la vallée d'Oued Righ, dont la pente du canal est 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.

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 perche 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.



Figure.5.6 : Eboulement et affouillement des talus le long du canal [23]

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.

Les éboulements et les affouillements de 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 pourrait s'aggraver par manque d'entretien.

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.

CHAPITRE 6

ETUDE EXPERIMENTALE DU SITE DE LA VALLEE D'OUED RIGH

6.1. INTRODUCTION

Il est évident que le chimisme des eaux dépend, principalement de la composition lithologique des couches traversées et du temps de séjours des eaux , ainsi la composition des eaux résiduares est plus ou moins variables selon les journées, les mois et les saisons, compte tenu de cette variabilité, ainsi que celle des systèmes de transfert et de dilution les concentrations des éléments Majeurs naturels (Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; Na^+ ; K^+ ; Cl^- ; SO_4^{2-} ; HCO_3^{2-}) sont conditionnées par divers facteurs tels que les paramètres climatiques, l'activité anthropique, les échanges entre aquifères et les eaux de surface.

Les activités anthropiques ont une influence non négligeable sur la qualité physico-chimique des eaux souterraines, on observe principalement deux types d'influence :

- En agriculture : apport de K^+ ; Ca^{2+} ; NO_3^- ; SO_4^{2-} ; NH_4^+ et PO_4^{3-} .
- Rejets des eaux usées : apport de Na^+ ; K^+ ; NO_3^- ; CL^- et quelques métaux lourds.

Le présent chapitre traite du chimisme des eaux, et nous permet d'essayer d'expliquer l'origine, l'évolution des éléments chimiques décrit et leurs comportement sur le fonctionnement hydraulique du système aquifère et sont influence sur la culture du palmier dattier dans la région de l'oued Righ.

Il est à noter que la répartition du système racinaire du palmier dattier et des cultures associées dans le sol donne un large aperçu sur la dégradation du patrimoine phoenicicole sous l'effet de la contamination de la nappe phréatique par les eaux usées du canal, on peut distinguer 3 niveaux d'horizon du sol.

- ▶ (0-30m) : correspond à l'horizon rhizosphère de l'étage herbacé (culture sous palmiers) et à la couche du sol habituellement labourée.
- ▶ (30-70m) : correspond à la couche dans laquelle se trouve la Majorité des racines nutritives du palmier.

► Il est généralement admis que pour assurer un bon développement du palmier, la nappe phréatique doit être rabattue à plus de **1m**.

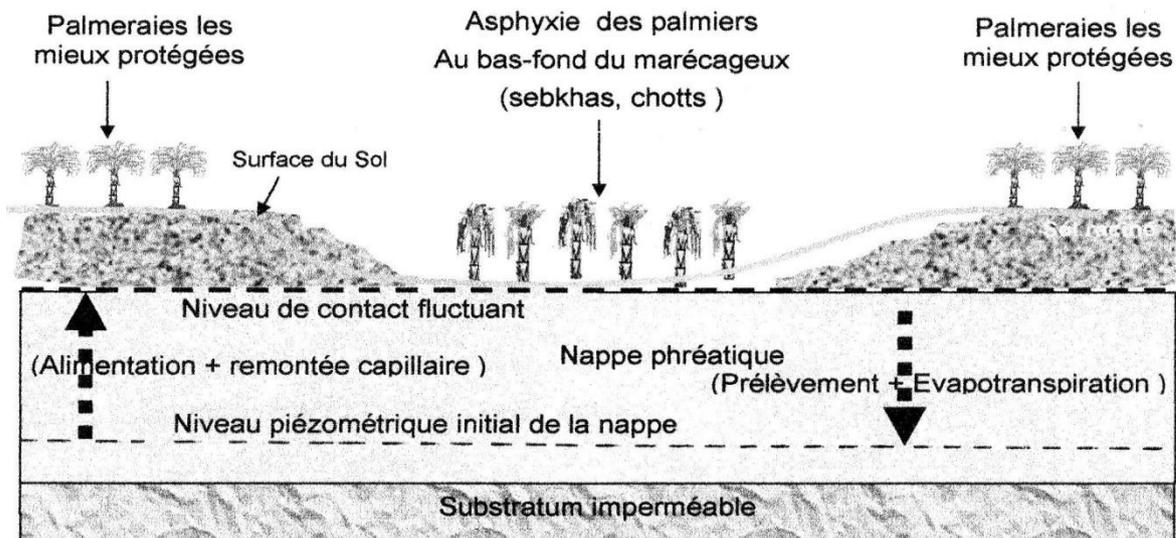


Figure.6.1 : Relation entre le sol, les palmiers et l'eau.

6-2- Hydro-climatologie de la région d'oued Righ (Touggourt).

Les eaux du canal sont sujettes à des variations saisonnières, les résultats montrent une évolution au cours du temps des propriétés physico-chimiques et de pollution des eaux du canal, la notion de température revêt un rôle très important et doit être prise en compte lorsqu'on cherche à effectuer des analyses.

6.2.1. La température

La température est un élément fondamental du climat. Elle est liée à la radiation solaire. Sa variation influence sur la transformation des eaux en vapeur, que ce soit à la surface ou dans le sous-sol. De ce fait, elle influence sur le degré d'évapotranspiration et par conséquent elle agit sur le taux de salinité des eaux. Toutefois, la température a un rôle important dans la variation des composantes du bilan hydrologique.

En vue de donner une idée plus précise sur la variation des températures et des précipitations. Il a été jugé nécessaire de présenter ces variations durant les mois de Février 2009 ; Octobre et Mai 2010, voir même donner avec précision ces variations au moment des prélèvements à savoir, jour du prélèvement Février 2009, Octobre et Mai 2010 et terminer avec le bilan des variations annuelles de ces paramètres, afin de mieux cerner l'influence des facteurs climatiques sur la qualité des eaux du canal.

Facteur climatique par mois		Février -2009	Octobre -2010	Mai -2010
Température Maximum	Max	23°C	39°C	37°C
	avg	18 °C	28 °C	31°C
	Min	9 °C	17 °C	23 °C
Température Moyenne	Max	17 °C	30 °C	29 °C
	avg	12 °C	22 °C	24 °C
	Min	8 °C	16 °C	18 °C
Température Minimum	Max	14 °C	25 °C	23 °C
	avg	7 °C	16 °C	17 °C
	Min	2 °C	8 °C	11°C
précipitations		2 mm	3,6 mm	10,3 mm
vents		27 km/h	25 km/h	30 km/h

Tableau.6.1 : Facteurs climatiques durant les trois périodes de prélèvement

► Les facteurs climatiques annuels : durant la période 2009-2010 sont :

Les Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	juill	Aout	Sept	oct	Nov	Déc
Tempe. Maxi en (°C)	17	19	23	28	33	38	42	41	36	29	22	17
Tempé. Mini (°C)	3	6	9	13	17	23	25	24	21	15	9	4
Précipitations (mm)	15	3	7	4	12	1	1	0	4	4	8	18

Tableau.6.2 : Variations climatiques durant la période (2009-2010) Source : [86]

► Les facteurs climatiques moyennes annuelles sont :

–Température moyenne Maximale : **28,7 °C.**

–Température moyenne Minimale : **14,1 °C.**

–Température moyenne : **21,4 °C.**

–Quantité de précipitations annuelles : **77mm** (1 mm = 1l/m² = 10 m³/ha).

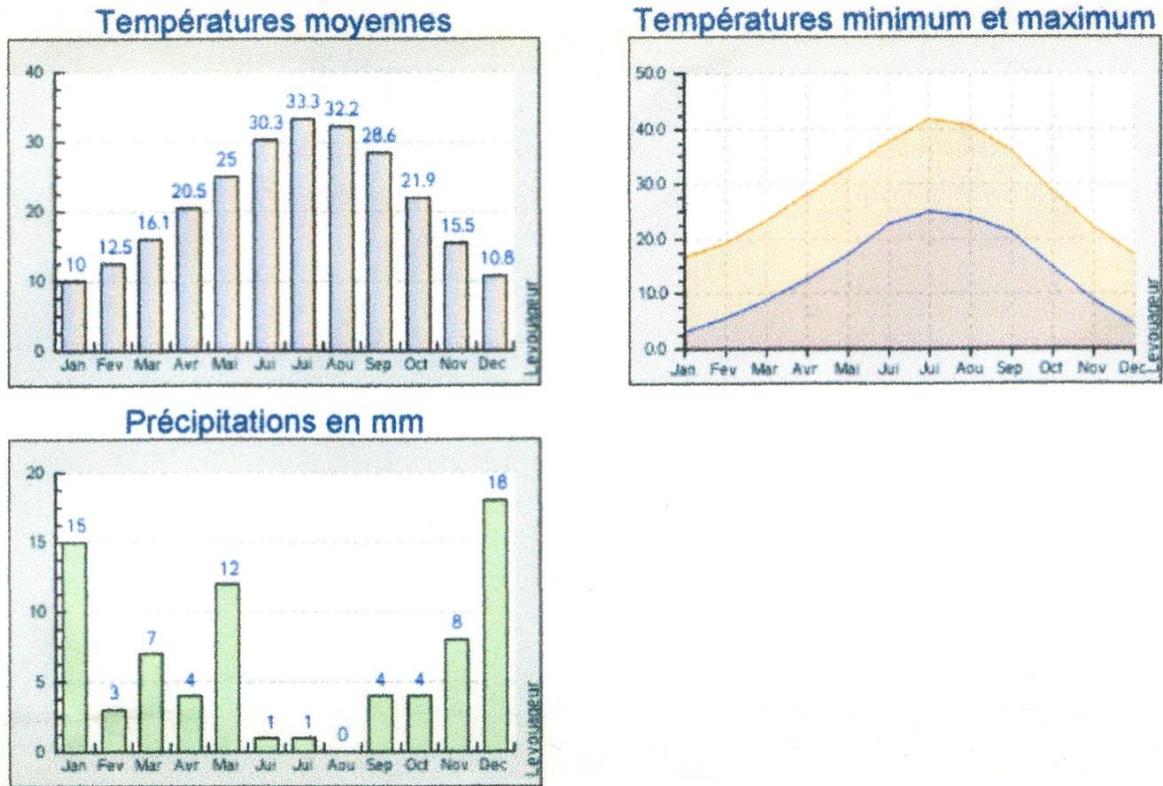


Figure .6.2 : Variations climatiques moyennes maximales et précipitations dans la région de Touggourt durant la période (2009-2010).

→ L'analyse de la courbe de variation de la température moyenne mensuelle, durant la période (2009-2010), montre que les valeurs les plus élevées sont observées pendant l'été (Mai, Juin, Juillet et Aout, Septembre) avec des températures maximales allant de 33°C à 42°C.

→ Les valeurs les plus basses qui varient de 16°C jusqu'à 21°C sont observées durant la période hivernale (Janvier, Février, Décembre). L'influence de la température sur la qualité chimique de l'eau se fait sentir pendant la période d'été, où on a une concentration des éléments par évaporation.

Mois	Janv	Fev	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
T(°C)	10	12.5	16	20.5	25	30.5	33.5	32.5	28.5	22	15.5	10.5
P(mm)	15	3	7	4	12	1	1	0	4	4	8	18

Tableau.6.3 : Représentation des valeurs de Températures en °C et des précipitations en mm de la région de Touggourt durant la période(2009-2010)

Avec : $T(^{\circ}C) = (T^{\circ} Max - T^{\circ} min) / 2$

► Diagramme Ombrothermique de Gausсен.

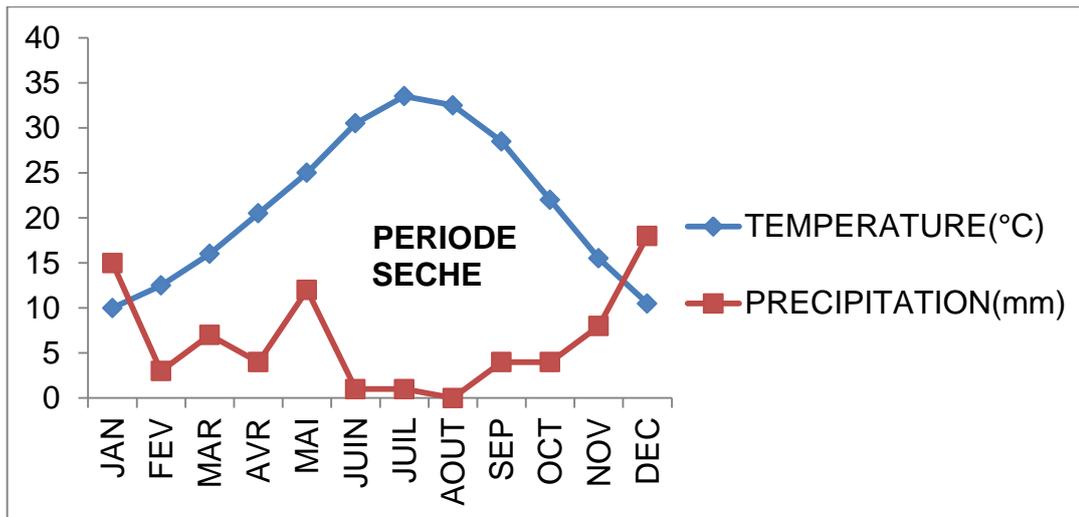


Figure.6.3 : Diagramme Ombrothermique de Gausсен de la région de Touggourt durant la période (2009-2010).

6.2.2. Les précipitations

→ La combinaison des deux principaux facteurs climatiques, la température et les précipitations est intéressante dans la mesure où elle permet de déterminer les mois véritablement secs. Cette relation permet d'établir un graphe dit : Ombrothermique sur lequel les températures sont portées à l'échelle double des précipitations (figure.6.3). Nous constatons que la région de oued Righ à Touggourt est caractérisée par une période sèche importante qui s'étale du mois de (Juin, Juillet et Aout) et relativement sèche du mois de (Sept, Oct, Nov) ainsi que les mois de (Fev, Avr). La détermination de cette période sèche est d'une grande importance pour l'hydrologie à fin pouvoir estimer les besoins en eau.

→ La courbe des variations moyennes mensuelles des précipitations durant la période (2009-2010) montre que le mois de décembre est le plus pluvieux avec **18 mm** suivi du mois de janvier avec **15 mm** alors que le mois d'aout est le plus sec, avec **0 mm** suivi des mois de Juin et Juillet avec **1 mm** (figure.6.2).

► Indice d'aridité.

En 1925 Emmanuel de Martonne a proposé une formule climatologique permettant le calcul d'un indice dit indice d'aridité (**Ia**). Cet indice est fonction de la température (T en °C) et des précipitations (P en mm) et permet de déterminer le type de climat

qui caractérise la zone d'étude, ce paramètre se calcule selon la formule suivante :

$$Ia = \frac{P}{T + 10}$$

Avec :

Ia : Indice d'aridité.

P : précipitations moyennes annuelles (mm).

T : températures moyennes annuelles (°C).

Les valeurs de l'indice permettent de déterminer le climat selon le classement :

- $I < 5$ \Longrightarrow le climat est hyperaride
- $5 < I < 7,5$ \Longrightarrow le climat est désertique (hivers très froid et été Très secs (subaride)
- $7,5 < I < 10$ \Longrightarrow le climat est steppique (subaride)
- $10 < I < 20$ \Longrightarrow le climat est semi-aride.
- $20 < I < 30$ \Longrightarrow le climat est tempéré.
- $I > 30$ \Longrightarrow le climat est humide.

Pour la région de Touggourt ou se situe la vallée de oued Righ, cet indice est égale à : $Ia = 2,45$, ce qui permet de dire que le climat est de type hyperaride, à désertique avec un écoulement temporaire.

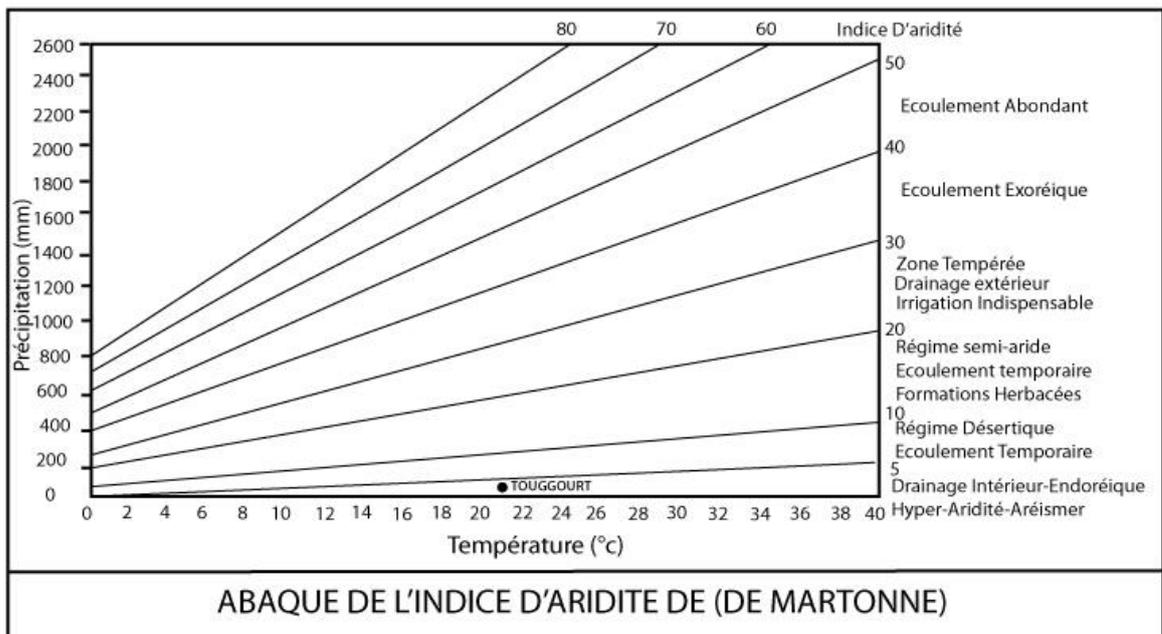


Figure.6.4 : Représentation de l'indice d'aridité de (DE MARTONE) pour la région de Touggourt (Oued Righ)

► Climagramme de Louis Emberger

Pour préciser le climat de la région, nous employons un quotient pluviométrique Q_2 qui dépend des précipitations moyennes annuelles et des moyennes de températures minima et maxima, respectivement des mois le plus froid et le plus chaud. Louis Emberger a proposé donc la formule suivante :

$$Q_2 = \frac{P \times 1000}{(M+m)(M-m)/2} \quad (1) \quad \text{Ou bien}$$

$$Q_2 = \frac{2000 \times P}{(M+m)(M-m)} \quad (2)$$

P : précipitation moyenne annuelle (mm).

M : moyenne des maxima du mois le plus chaud (degré Kelvin).

m : moyenne des minima du mois le plus froid (degré Kelvin).

L'application numérique donne le quotient suivant :

$$\left. \begin{array}{l} P = 77\text{mm.} \\ M = 315,15 \text{ }^\circ\text{K.} \\ m = 276,15 \text{ }^\circ\text{K.} \end{array} \right\} Q_2 = 6,68$$

Le quotient de notre région sur la (figure.6.5) permet de dire que le climat de la vallée d'Oued Righ est de type Saharien. Caractérisé par un hiver doux à tempéré.

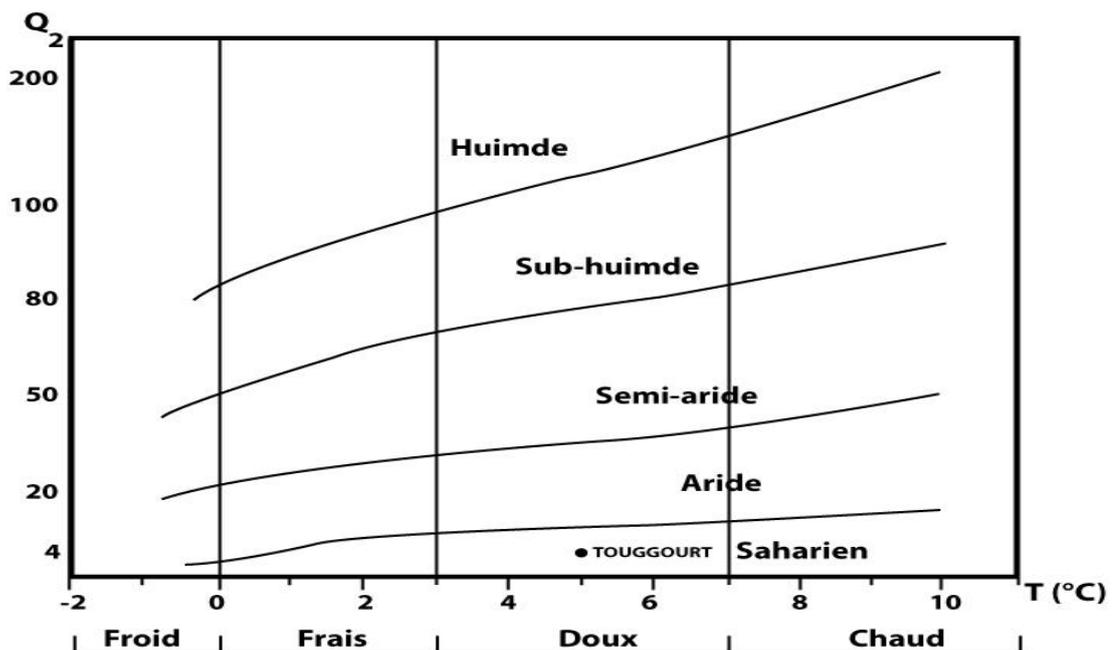


Figure.6.5 : Climagramme d'Emberger de la région de Touggourt (Oued Righ)

► Indice de Paul Moral :

Les résultats précédents sont confirmés par l'indice pluviométrique de Moral (**I.M**), qui utilise aussi la hauteur annuelle des précipitations en (mm) et les températures moyennes annuelles en (°C) cet indice permet de dire :

Si \rightarrow **I.M** < 1 on à un climat sec.

Si \rightarrow **I.M** > 1 on à un climat humide.

$$IM = \frac{P}{T^2 - 10T + 200}$$

$$\text{Pour : } \left. \begin{array}{l} P = 77 \text{ mm.} \\ T = 21,4^\circ \text{C} \end{array} \right\} \mathbf{IM = 0,173}$$

On peut dire que le climat de la région de oued Righ est sec, c'est à dire qu'il peut être qualifié de hyperaride à saharien.

6.2.3. L'évapotranspiration

C'est la restitution de l'eau par l'atmosphère sous formes de vapeur à partir de la surface du sol, quelle que soit sa nature (sol, végétaux, eau libre).elle est donc un élément très important pour l'établissement du bilan hydrologique, et dépend de plusieurs paramètres : la température, les précipitations, l'humidité de l'air, le couvert végétal. On distingue :

► L'évaporation potentielle (**E.T.P**) : représente la consommation d'eau, sous l'action conjuguée de l'évaporation de l'eau du sol et de la transpiration de la plante. Il s'agit de la perte d'eau d'un couvert végétal en plein développement sous les conditions optimum d'alimentation en eau sans l'influence d'aucun facteur limitant.

L'évapotranspiration potentiel (**E.T.P**) également nommée (**E.T₀**) évapotranspiration de référence se calcul par la formule de **Turc** :

$$\mathbf{E. T. P(mm/mois)} = \frac{K(Iga + 50)T}{(T + 15)}$$

$K = 0,37$ pour février.

$K = 40$ pour les autres mois.

T = température moyenne mensuelle.

I_{ga} = radiation globale solaire mesurée ou calculée par.

$$I_{ga} = I_0 \left(0,18 + \frac{0,62h}{H} \right)$$

H : durée d'insolation effective.

I_0 : radiation maximale théorique.

I_0 et H sont donnés par des tables en fonction de la latitude [87]

Mois	Jan	Fev	Mar	Avr	Mai	Juin	Juill	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Moyen ne annuel
Paramètres													
Température Maximale (°C)	16.8	19.43	24.8	29.07	34.2	39.22	41.56	40.09	35.96	30.87	22.48	17.65	29.34
Température Minimale (°C)	4.19	5.90	10.59	14.63	20.56	24.34	26.05	26.46	22.60	17.68	9.72	5.64	15.69
Températures Moyenne (°C)	10.46	12.64	17.90	21.83	27.49	31.86	34.13	30.49	29.61	24.50	15.95	11.41	22.35
Précipitation (mm)	17.47	1.80	4.41	5.91	2.57	0.77	0.23	4.77	3.45	9.56	8.02	6.91	5.49
Humidité Relative de L'air (%)	66.90	49.10	45.70	39.80	36.10	31.90	33.00	32.90	42.90	50.10	59.20	68.10	46.30
Vitesse du Vent (m/s)	2.47	2.41	3.56	4.11	4.10	3.55	3.32	3.15	3.04	2.86	2.62	2.71	3.15
Insolation (heure)	207	232.7	277.6	284.6	297.4	333.3	343.4	328.2	277.9	255.5	248.1	237.3	278.9
Evaporation (mm)	69.90	99.80	158.1	195.6	252.8	298.4	310.2	265.5	205.6	160.4	116.6	74.60	183.95

* : **cumule** : Evaporation (mm) = **2207.5** et Précipitation (mm) = **65.8**

Tableau.6.4 : Données météorologiques de la région d'Oued Righ
(station de Touggourt, 1999-2009) Source : (O N M, 2009) [88].

L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par les vents chauds, elle est de l'ordre de **2207.5 mm/an** avec un maximum mensuel de **310,20 mm** au mois de Juillet et un minimum de **69.90 mm** en Janvier.

► L'évapotranspiration réelle (**E. T. R**) est la quantité d'eau retirée d'une surface (par le sol et par les plantes) en raison du processus d'évaporation et de transpiration quand l'eau vient à manquer. Les cultures étant à un stade de développement physiologique et sanitaire spécifique.

Calcul de l'E.T. R par la formule de Turc :

$$\text{E.T.R (mm / an)} = \frac{P}{\left(0,9 + \frac{P^2}{L^2}\right)^{1/2}}$$

$$L = 0,05 T^3 + 25 T + 300.$$

P = précipitations moyenne annuelle en (mm).

T = température moyenne annuelle en (°C).

L = pouvoir évaporant de l'atmosphère.

E.T R = Evapotranspiration réelle annuelle en (mm).

Cette formule peut être utilisée lorsque les valeurs décadaires ou mensuelles de la température et des précipitations ne sont pas disponibles. Cette méthode est applicable à tous les climats et elle est fonction des précipitations et des températures moyennes annuelles.

Région d'Oued Righ à Touggourt :

$$\left. \begin{array}{l} P = 77\text{mm} \\ T = 21,4^\circ\text{C} \\ L = 1325 \end{array} \right\} \text{E.T. R} = \mathbf{81,013 \text{ mm}} \text{ soit environ } \mathbf{105,28\%} \text{ des précipitations.}$$

L'évapotranspiration réelle (E.T.R) n'est égale à l'(E.T.P) que lorsque l'alimentation en eau n'est pas limitante, la différence entre (E.T.R) et (E.T.P) constitue une mesure du déficit hydrique auquel est soumis le peuplement végétal.

6.3. Echantillonnage et analyse hydro-chimique

Un réseau d'échantillonnage a été choisi pour permettre d'acquérir des données représentatives sur la variabilité spatiale et temporelle de la qualité des eaux du canal de l'oued Righ et leur influence sur la qualité de la nappe phréatique avoisinant les palmiers de la région. Ce réseau se compose de trois séries de prélèvements à savoir, Janvier (2009) et Mai, Octobre (2010) et cela pour l'étude de **9** stations déversant dans le canal, couvrant un tronçon d'environ **40 km**, parcourant le canal de l'amont (Ouest) Station-1- jusqu'à l'aval (Est) Station-9- les 9 stations sont réparties comme suite :

- ⇒ La station **-1-** c'est la station KARDECHE située en amont du canal.
- ⇒ La station **-2-** c'est la station KARDECHE concernant les rejets des eaux de drainage en aval du canal.
- ⇒ La station **-3-** c'est la station TEMACINE.
- ⇒ La station **-4-** c'est le lac TEMACINE communiquant avec le canal.
- ⇒ La station **-5-** c'est la station RANNOU.
- ⇒ La station **-6-** c'est la station AISSOU, et c'est un point des rejets du milieu urbains de Touggourt.
- ⇒ La station **-7-** c'est le coté de la STEP, concernant l'amont de la station des rejets de Touggourt.
- ⇒ La station **-8-** c'est le coté de la STEP, concernant l'aval de la station des rejets de Touggourt.
- ⇒ La station **-9-** c'est la station ZAOUIA EL ABIDIA et c'est la sortie de Touggourt après le rejet.

► La distance entre la station KARDECHE et la station RANNOU est de **19Km**, entre la station KARDECHE et TEMACINE la distance est d'environ **7Km**. De la station KARDECHE à la station ZAOUIA EL ABIDIA environ **30Km**.

Afin d'apprécier l'impacte des eaux usées du canal sur les eaux de la nappe phréatique, on a orienter nôtre recherche sur celle-ci moyennant des piézomètres pour effectuer nos prélèvements.

► Une analyse physico-chimique des eaux de la nappe phréatique a été effectuée dans chaque secteur de terre cultivée durant le mois d'octobre (2010) prenant en compte **5** stations de mesure couvrant un tronçon d'environ **46 Km** partant de la station KARDECHE jusqu'à la station SIDI SLIMANE. 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.). Les 5 stations piézométriques sont :

- ⇒ Station **-10-** c'est la station concernant les eaux de la nappe qui se trouve près de la station de refroidissement.
- ⇒ Station **-11-** c'est la station concernant les eaux du forage du (C.T) AÏSSOU.
- ⇒ Station **-12-** c'est la station SIDI SLIMANE, zone cultivée près du canal.
- ⇒ Station **-13-** c'est la station concernant les eaux de la nappe avant la station de refroidissement et c'est aussi une zone cultivée.
- ⇒ Station **-14-** c'est la station concernant les eaux du (C.T) des eaux d'irrigation de SIDI SLIMANE.

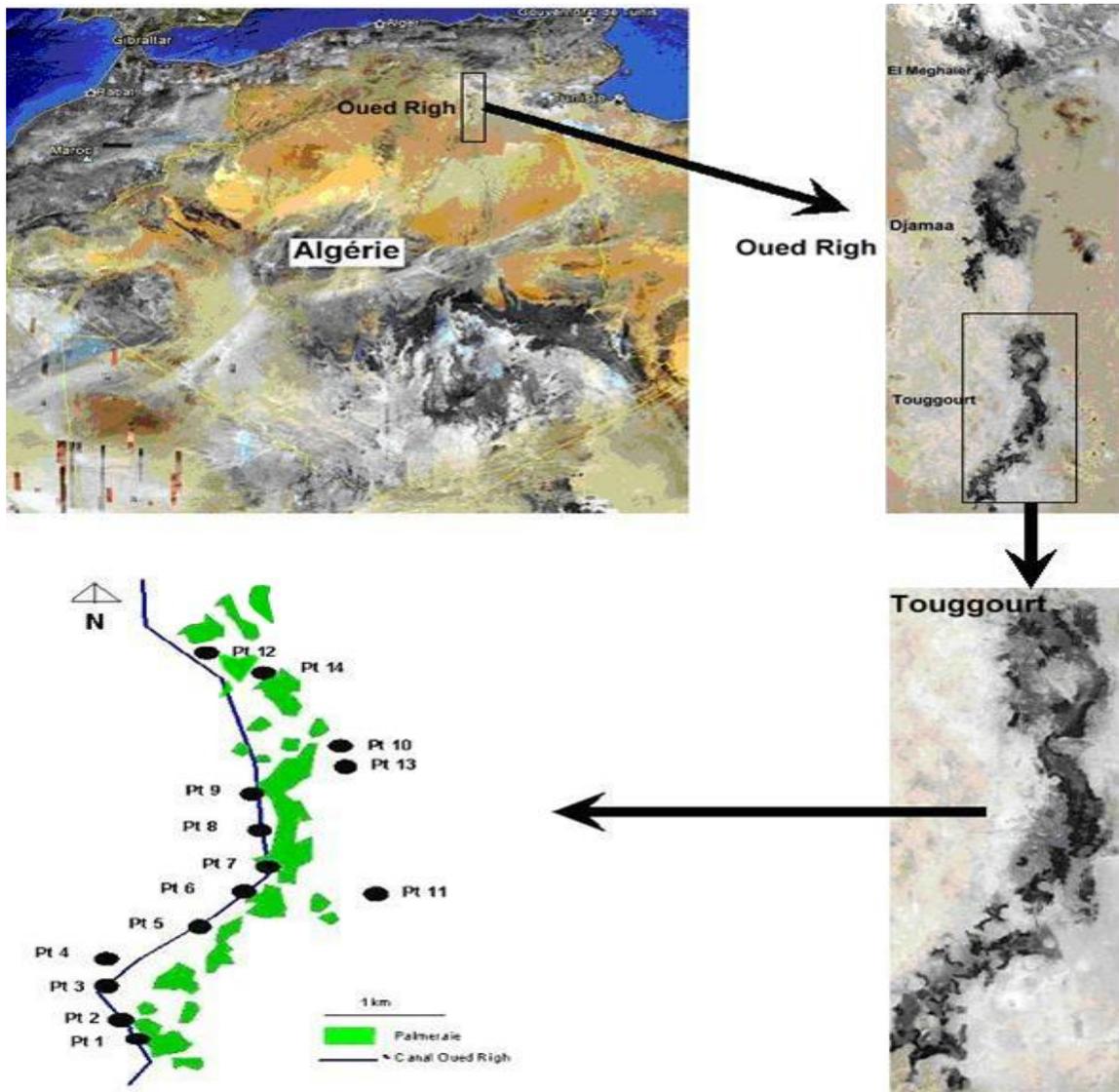


Figure.6.6: Situation du canal d'oued Righ et les différents points de prélèvements [23]

6.4. Moyens et méthodes d'analyses

Les prélèvements ont été effectués par l'aide d'une équipe de l'A.N.R.H de Touggourt étalées sur trois (03) campagnes, qui sont (Février 2009, Octobre et Mai 2010). Les prélèvements ont été effectués manuellement dans des flacons en matière plastiques, portant identification de chaque point, et conservés à 4°C dans une glacière.

6.4.1. Mesure in situ

Deux (02) paramètres physique ont été mesurés sur le terrain, la température de l'eau et le pH ; ce dernier a été effectué à l'aide d'un pH mètre (W.T.W) inolab **(W.T.W) 720**.

6.4.2. Analyses aux laboratoires

→ La conductivité électrique est déterminée à l'aide d'un conductimètre électrique (DELTA OHM) de marque **H D 3406.2**. Qui donne directement la conductivité de l'échantillon en mmhos/cm ; ou en ds/m à la température adoptée.

→ On a procédé à une analyse complète de Tous les éléments chimiques majeurs

Cations: Ca^{2+} ; Mg^{2+} ; Na^+ ; K^+ .

Anions: Cl^- ; SO_4^{2-} ; HCO_3^- .

→ Les métaux lourds en traces tel que : Fe ; Mn ; Pb ; Cu ; Zn ; Cd et Cr total ont fait l'objet d'analyse pour la campagne (d'octobre 2010) ; afin de déduire si il y a une éventuelle contamination des eaux du canal par les métaux.

→ Notre étude a fait l'objet d'analyse de quelques éléments indicateurs de pollution (DCO ; DBO_5 ; NO_3 ; NO_2 ; OH ; PO_4 ; NH_4 ; NTK ; P (totaux) ; Résidu sec et Matière Organique).

→ Des paramètres de dureté ont été pris en considération dans notre étude tel que : TH ; TAC ; et TA.

6.4.3. Méthodes d'analyses

— Le dosage du Ca ; Na ; K et Mg se fait par photométrie de flamme à l'aide d'un appareil de marque SKALAR couplé à un spectromètre à flamme de marque SCHERWOOD : **Model 420** On pulvérise donc au moyen d'un gicleur, la solution à doser dans une flamme de température déterminée par l'élément que l'on recherche. On sélectionne la radiation attendue au moyen d'un filtre. L'intensité de la radiation est proportionnelle à la concentration de l'élément présent dans la solution.

- Le dosage des chlorures se fait en présence du thiocyanate mercurique et de l'alun ferrique, les chlorures donne en milieu nitrique acide un complexe coloré orange susceptible d'un dosage colorimétrique à la longueur d'onde de 470 nm. L'appareil est de marque **HACH.DR / 2000**, direct reading spectrophotomètre.
- Les sulfates sont précipités sous forme de sulfate de baryum par le chlorure de baryum. Le précipité ainsi obtenu, très fin est stabilisé par la gélatine on effectue sur le trouble une mesure turbidimétrique à la longueur d'onde de 495 nm. Appareil (**HACH DR/2000** spectrophotometer).
- L'utilisation de la méthode potentiométrique pour le dosage des carbonates, bicarbonates et les OH offre de nombreux avantages. Elle évite toute erreur d'estimation particulière aux méthodes utilisant des indicateurs colorés. En outre elle est particulièrement intéressante dans le cas d'eaux troubles ou colorées. Les carbonates n'existent qu'à $\text{pH} > 8,3$ et les bicarbonates si $4,4 < \text{pH} < 8,3$. Au cours d'un dosage acidimétrique doublé d'une mesure de pH ; on en déduit à quel moment ces ions sont encore présents ou non dans l'échantillon.
- Les nitrates sont réduits en nitrites par une solution d'hydrazine en milieu alcalin et en présence de sulfate de cuivre comme catalyseur.
- Les nitrites obtenus sont alors dosés par colorimétrie : diazotation avec l'acide sulfanilique à $\text{pH} = 2,5$ puis par copulation du composé formé avec l'&- Naphthylamine (réactif de Griess on obtient un colorant azoïque rouge stable au moins 12 heures dont on mesure l'intensité à 520 nm. Sur un appareil de marque SKALAR couplé à un scan système **SAMPLER 1000**.
- L'ammonium, en milieu alcalin et en présence d'hypochlorite de sodium donne avec le phénol une coloration bleue (réaction de Berthelot). On utilise du nitroprussiate de sodium comme catalyseur. On évite les précipitations à ce pH par addition de tartrate et de citrate de sodium. La quantité d'hypochlorite doit être ajoutée avec soin. Si il est en défaut, la coloration se développe mal et irrégulièrement. S'il est en excès il peut attaquer des composés azotés organique qui peuvent perdre leur groupement **NH** pour donner des aldéhydes et de l'ammoniac. La coloration bleue se développe à partir du moment où l'on ajoute de l'hypochlorite. On laisse les flacons à l'obscurité pendant une heure et demie. On effectue la mesure colorimétrique à 625 nm sur l'appareil **HACH DR/ 2000** spectrophotometer.

- Le dosage des phosphates se fait selon le principe du molybdate d'ammonium $M_o7 (NH_4) 4H_2O$ qui réagit en milieu acide en présence de phosphate en donnant un complexe phosphomolybdique, qui réduit par l'acide ascorbique développe une coloration bleue (bleue de molybdène) susceptible d'un dosage colorimétrique l'absorption se fait à 825 nm .
- Le dosage des matières organiques (M.O) se fait par l'oxydabilité au permanganate qui consiste en l'oxydation modérée par le permanganate des matières réductrices dans l'eau. Le permanganate oxyde de préférence les matières organiques d'origine végétale en milieu acide et celles d'origine animale en milieu basique. Or celles-ci sont les plus susceptibles d'indiquer une pollution humaine ou animale, donc une eau dangereuse pour la consommation. Une eau est suspecte à partir de 2 à 3 mg d'oxygène consommé par litre d'eau en milieu alcalin, ou 3 à 5 mg en milieu acide.
- Les mesures du résidu sec (R.S) par dessiccation à 105°C ou bien à 110°C consiste à mettre 10 ml de la solution à analyser dans une capsule tarée, pendant 14 heures, la différence du poids constitue le résidu sec.
- La mesure de l'azote total KJELDAHL est une méthode qui permet de doser l'azote organique contenu dans une eau. Il représente l'azote ammoniacal et l'azote organique.

$$NTK (\text{azote total Kjeldahl}) = N (\text{organique}) + N (\text{ammoniacal})$$

- ➔ L'azote ammoniacal pouvant être dosé directement. On en déduit la teneur en azote organique par différence avec l'azote Kjeldahl.
- ➔ La minéralisation de Kjeldahl transforme la matière organique en azote ammoniacal par digestion à 300°C à l'acide sulfurique concentré, porté à ébullition et en présence d'un catalyseur de minéralisation (sulfate de potassium et mercure). Après minéralisation, l'échantillon contient des ions NH_4^+ issus de la dégradation des matières organiques ainsi que les ions NH_4^+ initialement présents. Distillation : les ions NH_4^+ ainsi obtenus sont libérés sous forme d'ammoniaque par l'action d'une base forte telle que la soude par exemple.
- Pour les phosphores totaux l'échantillon doit passer dans l'analyseur avant d'arriver au spectrophotomètre de marque SKALAR couplé à un scan système modèle **SAMPLER 1000**.

— La Demande Biochimique en Oxygène (D.B.O₅) est un paramètre qui indique la quantité de substances organiques polluantes d'une eau. Cette mesure a été faite par la méthode respirométrique à l'aide d'un (DBO mètre) **W T W** (oxitop system IS 12). Elle est analysée à l'aide d'un flacon surmonté d'un bouchon spécial qui mesure le processus respiratoire des micro-organismes vivants dans l'eau. Pendant 5 jours à 20 °C dans une enceinte thermostatée **WTW TS 606 / 2-i**.

Ces micro-organismes dégradent la masse organique tout en consommant l'oxygène présent dans l'échantillon et qui est nécessaire à leur existence. Plus la masse organique est importante et plus les micro-organismes consomment l'oxygène dont la concentration diminue entraînant ainsi une diminution de la pression et donc une augmentation de la DBO. Le flacon contenant l'échantillon est hermétiquement fermé à l'aide d'un bouchon spécial qui mesure la diminution de pression. L'afficheur analogique intégré au bouchon indique après calcul, la valeur de DBO en mg O₂/l. Cette méthode est reconnue en Allemagne sous la norme DIN 38409 H55. La normalisation de l'analyse DBO par la méthode respirométrique est en projet aux USA.

— La demande chimique en oxygène (DCO) est la quantité d'oxygène nécessaire pour obtenir une oxydation énergétique des (MO) et minérales présentes dans l'eau. Elle complète la mesure de la DBO₅ en tenant compte des matières organiques difficilement dégradables en 5 jours mais qui constituent une source de pollution potentielle. L'analyse se fait à l'aide d'un DCO mètre de marque **P. SELECTA.R -Bloc Digest 12** couplé à un afficheur **P. SELECTA.R « RAT 2 »** selon (norme A Espagne **NOR : ER-109/1/96) (ISO 9001)**.

Cette analyse fait appel au dichromate de potassium (K₂Cr₂O₇) qui est un oxydant puissant ; il réagira en excès et à chaud avec les composés réducteurs polluants de l'échantillon en milieu acide sulfurique et en présence d'un catalyseur de sulfate d'argent (Ag₂SO₄). L'effet négatif des ions chlorures sera masqué par l'ajout de sulfate mercurieux (HgSO₄) au début de la digestion. L'excédant du dichromate de potassium sera dosé par une solution de sel de Mohr (NH₄)₂ Fe (SO₄)₂ ; 6H₂O permettant ainsi le calcul de la DCO.

$$\text{La DCO en mg d'O}_2\text{/l} = \frac{800 \times T \times (V2 - V1)}{P.E}$$

T : titre du sel de Mohr.

V1 : volume de burette de l'échantillon.

V2 : volume de burette de l'essai à Blanc.

P.E : prise d'essai de l'échantillon (10ml si l'échantillon n'a pas été dilué).

Si aucune information n'est disponible au sujet de l'ordre de grandeur de sa DBO (barrage, oued....) ou peut utiliser les formules approximatives suivantes si on connaît sa DCO.

→ Pour des eaux claires des eaux de rejets domestique : **$DBO_5 = 0,5 \times DCO$**

→ Pour les eaux de rejets industriels : **$DBO_5 = DCO$**

— Pour la détection des métaux lourds ou à utiliser un détecteur de métaux de marque Perkin Elmer précisément optical émission spectrometer, Modèle **optima 7000 DV**.

Tous l'appareillage utilisés est représenté à la fin du document en **ANEXES**

6.5. Caractéristiques physico-chimiques des eaux du canal d'oued Righ

L'état actuel de l'émissaire naturel de l'oued Righ, qui constitue un exutoire de tous les rejets naturels, et permet d'évacuer les eaux de drainage des palmeraies avoisinantes vers le chott Mérouane, connaît à ce jour une dégradation continue qui risque de remettre en cause le rôle important de ce cours d'eau principal de la vallée.



Figure.6.7 : Dégradation du canal principal de la vallée de l'Oued Righ [23]

Qui est devenue actuellement un exutoire dans lequel sont déversés d'une manière anarchique et sans aucun traitement au préalable, tous les effluents domestiques des quartiers avoisinants. On note des volumes de rejet approximatif de **$3421m^3/j$**

pour la région de Touggourt ; un volume de **1764 m³ / j** pour la station Zaouia Elabidia ; et un volume de **1507 m³ / j** concernant la station Temacine ; et pour la station Sidi Slimane on note un volume de rejet d'environ **6908 m³ / j** (Source :O.N.A.Touggourt,2010).



Figure.6.8 : Points de déversement des eaux usées dans le canal de l'Oued Righ[23]

Dans cette perspective nous, nous sommes fixés comme objective l'analyse des eaux en différents points de rejet dans le canal collecteur qui communique avec la nappe phréatique.

6.5.1. Etude de l'évolution des paramètres physico-chimiques en fonction du temps des eaux du canal

Les résultats d'analyse physico-chimiques et spatio-temporelle du canal d'oued Righ durant la période (2009-2010) ont été consignés dans les tableaux (6.5 - 6.6, et 6.7).

6.5.1.1. Paramètres physiques

Stations	Périodes	pH	C.E (ms/Cm)
Station -1-	Février -2009-	7.6	15.00
	Mai -2010-	8.1	26.30
	Octobre -2010-	8.1	18.60
Station -2-	Février -2009-	7.6	14.00
	Mai -2010-	7.9	17.20
	Octobre 2010-	8.3	12.45
Station -3-	Février -2009-	7.7	9.50
	Mai -2010-	7.8	24.40
	Octobre -2010-	8.3	21.70
Station -4-	Février -2009-	7.3	11.00
	Mai -2010-	7.5	16.50
	Octobre -2010-	8.2	18.69
Station -5-	Février -2009-	7.9	4.00
	Mai -2010-	7.5	22.30
	Octobre -2010-	8.2	18.97
Station -6-	Février -2009-	8.0	5.50
	Mai -2010-	7.6	3.50
	Octobre -2010-	8.1	16.91
Station -7-	Février -2009-	7.6	4.00
	Mai -2010-	7.4	18.20
	Octobre -2010-	8.0	15.74
Station -8-	Février -2009-	8.3	4.00
	Mai -2010-	8.0	17.4
	Octobre -2010-	8.0	15.14
Station -9-	Février -2009-	8.1	7.20
	Mai -2010-	8.0	25.00
	Octobre -2010-	8.0	15.85

Tableau .6.5 : Evolution des paramètres physiques des eaux du canal Oued Righ

6.5.1.1.1. Potentiel d'hydrogène (PH)

C'est un paramètre physique qui détermine l'acidité ou l'alcalinité. Les valeurs du pH mesurées au niveau des différentes stations et lors des différentes campagnes varient entre 7,3 et 7,9 pendant la période des hautes eaux, alors qu'en période des basses eaux il varie entre 7,4 et 8,3. La plupart des eaux du canal présentent un caractère alcalin bicarbonaté surtout en (été). La particularité des sols du Sahara tel que la région de Touggourt est leur régime hydrique qui est du type aridique, sont généralement pauvres en éléments nutritifs, leur pH alcalin ($\text{pH} > 7,5$) limite la solubilité des éléments minéraux, le taux de calcaire élevé insolubilise le phosphore et diminue son assimilation, la perméabilité est élevée et provoque des pertes par lessivage d'éléments minéraux notamment les nitrates, leur faible teneur en argile leur confèrent une faible capacité d'échange cationique [89]. la végétation naturelle dépend en grande partie des conditions hydrologiques et des sols. Notons par ailleurs que la culture du palmier dattier constitue la richesse principale de vallée d'oued Righ. Notons aussi que le pH influence la forme et la disponibilité des éléments nutritifs dans l'eau d'irrigation. Le pH de l'eau d'irrigation devrait se situer entre 5,5 et 6,5. A ces valeurs, la solubilité de la plupart des micro-éléments est optimale.

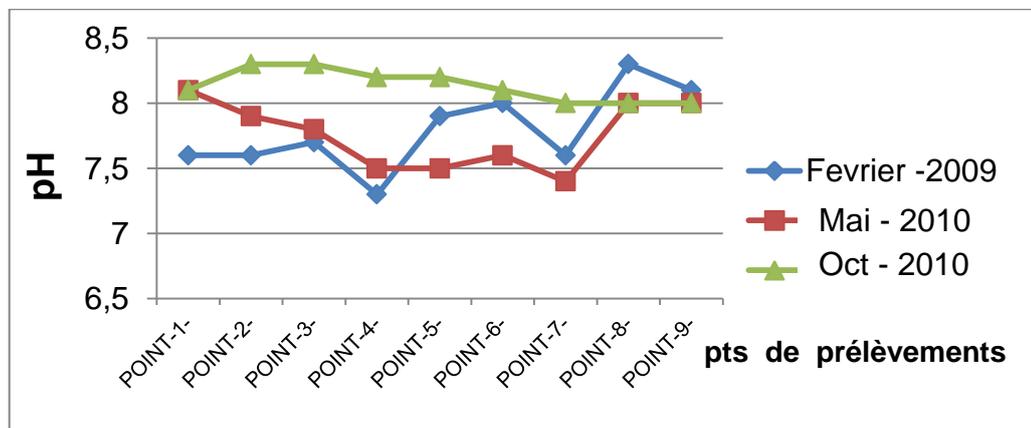


Figure.6.9 : Evolution spatio-temporelle du pH des eaux du canal d'Oued Righ

6.5.1.1.2. La conductivité électrique (CE)

À partir de la conductivité électrique on peut évaluer le degré de salinité de l'eau, elle est aussi fonction de la température, elle augmente avec la concentration des ions en solution et de la température, elle dépend donc de la présence des espèces ioniques contenues dans l'eau. Les résultats obtenus permettent de dire que toutes

les valeurs mesurées indiquent une minéralisation très élevée, on constate que cette conductivité varie de 15.00 à 26.30 ms/cm, elle est cependant très élevée au mois de (Mai et Octobre) au niveau des ST.1 et St.9, les plus faibles valeurs ont été enregistrées en période de crue (Février), ceci est dû à la grande dilution que connaît le canal en cette période. Il est à noter qu'à une conductivité supérieure à 20 ds/m ou bien $20 \cdot 10^{-3}$ ms/cm seule les palmiers peuvent végéter normalement, au-delà de 22,5 ds/m les eaux sont strictement inutilisables, cela nous permet de classer notre eau en classe **C5** ; eau exceptionnelle [90].

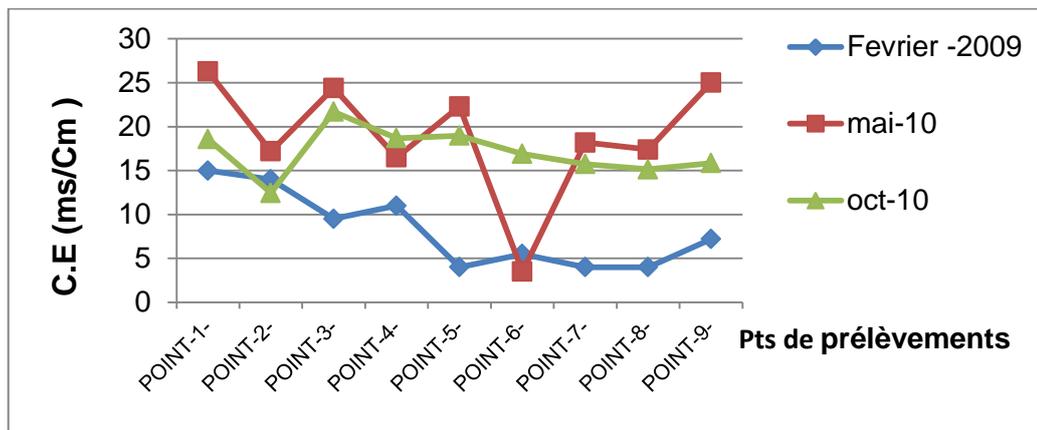


Figure .6.10 : Evolution spatio-temporelle de la conductivité électrique (CE) des eaux du canal d'oued Righ.

6.5.1.2. Les éléments chimiques

6.5.1.2.1. Les cations

Les résultats de nos prélèvements durant la période 2009 et 2010 sont classés dans le tableau suivant :

station	période	Na ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (méq/l)	Ca ⁺² (mg/l)	Ca ⁺² (méq/l)	Mg ⁺² (mg/l)	Mg ⁺² (méq/l)	K ⁺² (mg/l)	K ⁺² (méq/l)	somme des cations (méq/l)	somme des cations totaux (méq/l)
1	Février	1180	51,3	890	44,4	320	26,3	100	2,56	124,56	508,262
	Mai	3390	147	575	28,7	323	26,6	29	0,742	203,042	
	Octob	2010	87,4	589	29,4	746	61,4	96	2,46	180,66	
2	Février	1020	44,3	870	43,4	260	21,4	80	2,05	111,15	366,85
	Mai	1710	74,34	520	25,93	416	34,24	11	0,281	134,80	
	Octob	980	42,6	689	34,4	520	42,8	43	1,10	120,90	
3	Février	970	42,2	150	7,48	320	26,3	80	2,05	78,04	504,77
	Mai	3190	139	575	28,7	292	24,00	28	0,716	192,4	
	Octob	2660	116	1266	63,1	643	52,9	91	2,33	234,33	
4	Février	1280	55,7	146	7,28	360	29,6	100	2,56	95,14	404,37
	Mai	2110	91,7	486	24,2	203	16,7	10	0,256	132,85	
	Octob	2060	89,6	560	27,9	685	56,4	97	2,48	176,38	
5	Février	350	15,2	164	8,18	95	7,82	27	0,691	31,90	371,86
	Mai	2890	126	575	28,7	290	23,9	23	0,588	179,18	
	Octob	1780	77,4	725	36,7	537	44,2	97	2,48	160,78	
6	Février	600	26,1	160	7,98	108	8,89	32	0,818	43,78	237,64
	Mai	250	10,9	221	11,00	95	7,82	5	0,128	29,84	
	Octob	2050	89,1	582	29,00	532	43,8	83	2,12	164,02	
7	Février	400	17,4	160	7,98	97	7,98	27	0,691	34,05	334,72
	Mai	2550	111	519	25,9	124	10,2	19	0,486	147,58	
	Octob	1950	84,8	618	30,8	432	35,6	74	1,89	153,09	
8	Février	450	19,6	160	7,98	80	6,58	16	0,409	34,57	387,35
	Mai	2100	91,3	524	26,1	313	25,8	18	0,460	143,66	
	Octob	3190	139	647	32,3	436	35,9	75	1,92	209,12	
9	Février	880	38,3	160	7,98	170	14,00	40	1,02	61,30	419,95
	Mai	3440	150	595	29,7	324	26,7	28	0,716	207,11	
	Octob	1850	80,4	604	30,1	476	39,2	72	1,84	151,54	

Tableau.6.6 : Evolution spatio-temporelle des cations des eaux du canal d'oued Righ

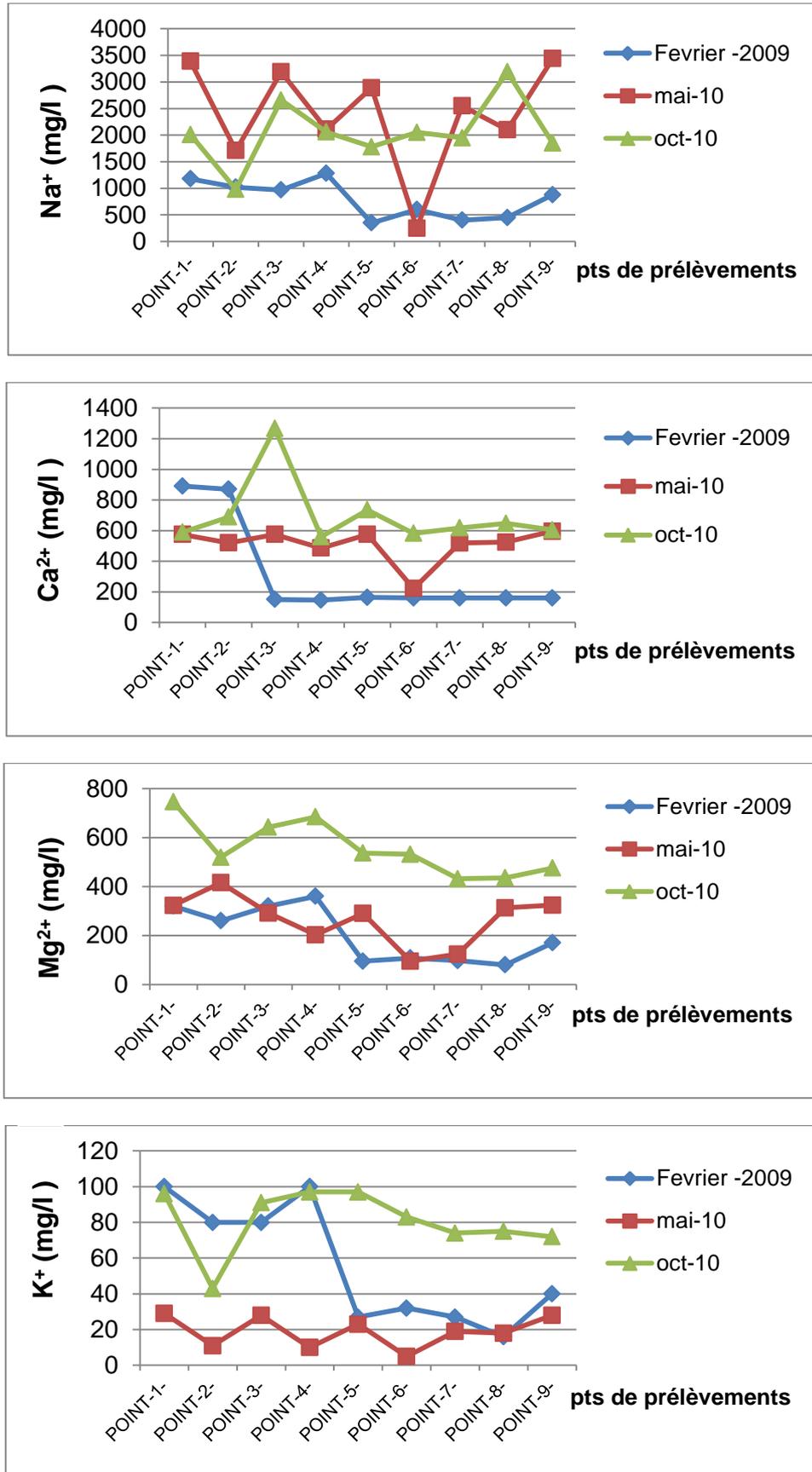


Figure.6.11 : Evolution spatio-temporelle des cations des eaux du canal d'Oued Righ

► Le sodium (Na)

La salinité des eaux du canal est très élevée variant de 250mg/l à 3440 mg/l d'où la teneur en sodium (Na) qui est importante et contribue directement à la salinité total des eaux du canal voir (figure.6.11), cet élément origine de l'altération de la roche et du sol, il y'a donc éclatement des agrégats, ce qui provoque un sol dur et compact, imperméable à l'eau. Le sel du fait de sa grande solubilité accompagne l'eau dans ces déplacements, dans la plupart des cas la ou elle se trouve en excès le sel s'accumule. Le régime climatique à sécheresse estivale favorise sa concentration chaque fois que les eaux se rapprochent de la surface, cependant on remarque que la salinité au sud se maintient à un niveau élevée toute l'année. Le taux critique de (Na) à ne pas dépasser dans le total des cations de l'eau est de 50% si le sol n'est pas gypseux, ou bien ne pas dépasser les 67% sans apporter de correctifs nécessaires [91], il a été reconnu que sa forte concentration dans les eaux a des effets néfastes sur la structure des sols.

L'augmentation du taux de (Na) dans l'eau rend plus difficile l'absorption des éléments minéraux par la plante , ce qui donne des palmiers avec des brulures racinaires et de feuilles, il est donc possible que l'accumulation de (Na) soit associé à un abaissement de l'accumulation des autres cations au point de créer une balance cationique défavorable (effet antagoniste) [92]. La salinisation des sols peut être due également à l'action de l'homme par irrigation à l'eau salée sans drainage adéquat.

► Le calcium (Ca)

Le calcium est un élément alcalinoterreux, il se trouve dans les eaux thermo-minérales circulant en milieu calcaire et aussi en particulier dans les roches calcaires sous forme de carbonate. Le calcium peut provenir également des formations gypsifères ($\text{CaSO}_4, 2\text{H}_2\text{O}$), qui sont facilement solubles. La teneur en calcium est très élevée à la St :1 avec 890 mg/l .De 146 mg/l en février 2009 à la St-4-, jusqu'à 1266 mg/l en octobre 2010 à la St-3- .Des valeurs élevées surtout en(Octobre-2010) (figure.6.11), le calcium (Ca) est reconnu toxique quand il s'accumule à fortes concentrations dans les solutions salines du sol, cependant cette toxicité varie selon la présence d'autres cations ou anions (effet antagoniste) sur l'hydratation des colloïdes qui peut entrer en ligne de compte sur la perméabilité des cellules aux sels qui peut être un facteur de première importance.

► Le magnésium (Mg)

C'est un élément qui accompagne souvent le calcium, et provient de la dissolution des dolomites, des calcaires dolomitiques et des minéraux ferromagnésiens, on remarque que la variation des concentrations du magnésium varie de 80mg/l en Février 2009 à la St-8- Jusqu'à 746 mg/l en octobre 2010 à la St-1-. Ainsi que toutes les autres stations (figure.6.11) il a été reconnu que de fortes accumulations de Mg sont toxiques pour les plantes, et qu'au-delà d'un certain équilibre Ca-Mg on peut observer une diminution nette de la croissance végétale [92].

► Le potassium (K)

C'est un élément alcalin, très réactif avec l'eau, on trouve dans la végétation sous forme de carbonate. Le potassium résulte de l'altération des argiles potassiques et de la dissolution des engrais chimiques (NPK) qui sont utilisés massivement par les agriculteurs. La présence de (K) peut être également liée au déversement des eaux usées domestiques dans le canal les valeurs enregistrées varient de 5mg/l en Mai 2010 à la ST- 6- jusqu'à 100mg/l en Février 2009 à la ST-1- en (octobre 2010) les ST-4- et ST-5- présentent aussi des valeurs élevées de 97mg/l (figure.6.11). Il est peu probable qu'on observe des effets inhibiteurs spécifiques de la réaction de la plante dus à un excès de (K) si cette accumulation est partiellement compensée par (Ca). On a noté des cas où des quantités relativement fortes de (K) ont produit des symptômes de chlorose entraînant un jaunissement des feuilles des végétations. Selon les résultats du (tableau.6.6) on peut constater que la somme des cations totale dans les eaux du canal est plus importante à la ST-1- et la ST-3-, devient moins importante à la ST-9- jusqu'à diminuer à la ST-6-. Il est évident que les cations diffèrent de façon marquée dans leur effet sur les propriétés physiques des constituants colloïdaux du protoplasme. Des effets antagonistes se révèlent dans diverses paires de cations, par exemple en Ca^{+2} et Mg^{+2} , et entre des cations monovalents et divalents. De nombreux chercheurs ont noté que la croissance de la plante est réduite par une proportion défavorable des ions. (L'antagonisme sort du cadre de ce travail).

6.5.1.2.2. Les Anions

Nos résultats pour les anions durant la période (2009-2010) des eaux du canal d'oued Righ sont consignés dans le Tableau.6.7.

Station	Période	Cl ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (méq/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (méq/l)	Hco ₃ ²⁻ (mg/l)	Hco ₃ ²⁻ (méq/l)	No ₃ ⁻ (mg/l)	No ₃ ⁻ (méq/l)	Somme des anions (méq/l)	Somme des anions totaux (méq/l)
1	Février	3060	86,2	1420	29,6	371	6,08	1,00	0,0161	121,85	532,35
	Mai	3720	105	4640	96,6	385	6,31	0,2	0,00323	207,90	
	Octobre	5300	149	2240	46,6	421	6,90	4,1	0,0661	202,60	
2	Février	3090	87,00	1140	23,7	298	4,89	1,0	0,0161	115,61	398,67
	Mai	3440	96,9	1940	40,4	361	5,92	0,6	0,00968	143,22	
	Octobre	2900	81,7	2490	51,8	384	6,30	1,9	0,0306	139,84	
3	Février	1220	34,4	2140	44,50	285	4,67	1,0	0,0161	83,59	596,17
	Mai	4000	113	4000	83,2	395	6,48	0,4	0,00645	202,68	
	Octobre	8300	234	3450	71,8	250	4,10	0,3	0,00484	309,90	
4	Février	1520	42,8	1800	37,5	305	5,00	1,00	0,0161	85,30	416,35
	Mai	3260	91,8	1820	37,9	259	4,25	0,00	0,00	133,95	
	Octobre	4500	127	3110	64,7	329	5,39	0,2	0,00323	197,10	
5	Février	745	21,0	668	13,9	341	5,59	1,0	0,0161	40,50	405,85
	Mai	4820	136	2200	45,8	409	6,70	0,3	0,00484	188,50	
	Octobre	4100	115	2680	55,8	369	6,05	0,3	0,00484	176,85	
6	Février	915	25,8	888	18,5	365	5,98	1,0	0,0161	50,29	261,31
	Mai	555	15,6	500	10,4	210	3,44	5,0	0,0806	29,52	
	Octobre	4100	115	2890	60,14	384	6,30	0,4	0,00645	181,50	
7	Février	728	20,5	643	13,4	322	5,28	1,0	0,0161	39,20	314,51
	Mai	3800	107	1730	36,0	350	5,74	0,2	0,00323	148,75	
	Octobre	2700	76,1	2110	43,9	399	6,54	1,3	0,0210	126,56	
8	Février	523	14,7	905	18,8	296	4,85	3,0	0,0484	38,40	387,28
	Mai	3180	89,6	2240	46,6	289	4,74	0,4	0,00645	140,95	
	Octobre	4860	137	3120	64,9	366	6,00	1,9	0,0306	207,93	
9	Février	1250	35,2	1310	27,3	315	5,16	2,0	0,0323	67,69	461,43
	Mai	4760	134	3200	66,6	373	6,11	0,5	0,00806	206,72	
	Octobre	4240	119	3000	62,4	342	5,61	0,4	0,00645	187,02	

Tableau.6.7 : Evolution spatio-temporelle du bilan chimique des anions des eaux du canal d'oued Righ

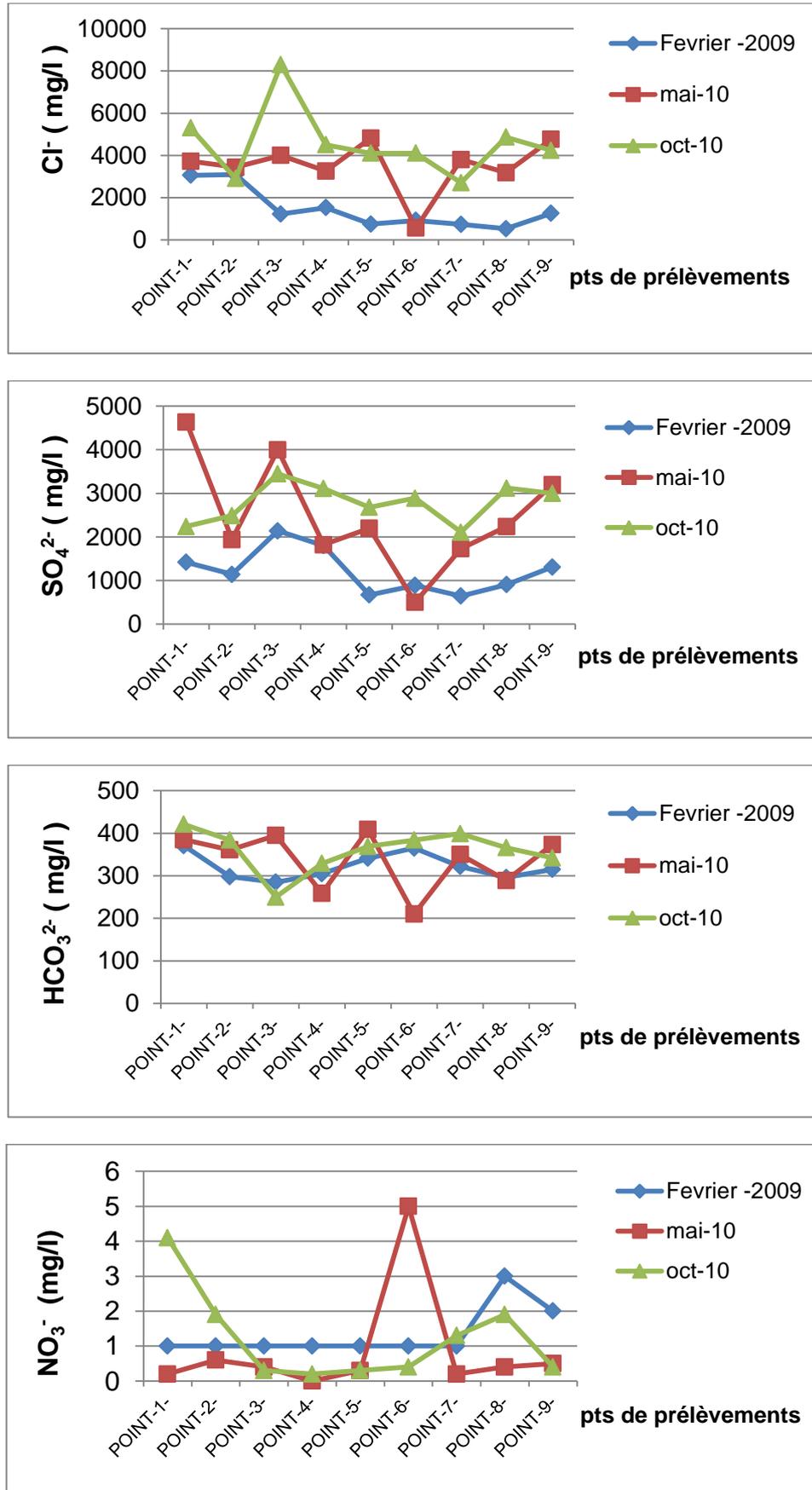


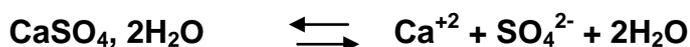
Figure.6.12 : Evolution spatio-temporelle des anions du canal d'Oued Righ

► Les chlorures (Cl)

Les chlorures peuvent avoir plusieurs origines, et sont liés principalement à la dissolution des terrains salifères. La dissolution de ces sels étant très facile d'où leurs présences en fortes concentration dans les eaux ayant traversées les formations argilo-sableuses ou argileuses. Ainsi, ils peuvent provenir également de l'action humaine par contamination par les eaux usées. Les chlorures donnent un goût désagréable et posent le problème de la corrosion dans les canalisations et les réservoirs à partir de 50 mg/l (norme de L'OMS) l'ion chlorure possède des caractéristiques différentes de celles des autres éléments il n'est pas absorbé par les formations géologiques, ne se combine pas facilement avec les éléments chimiques et reste très mobile. Il constitue un bon indicateur de la pollution, les teneurs enregistrées pendant les périodes d'observation montrent des valeurs très élevée dans les eaux du canal variant de 523 mg/l en Février 2009 à la ST- 8- jusqu'à 8300 mg/l en octobre 2010 à la ST-3- (figure.6.12) ces valeurs dépassent largement la norme de potabilité de l'O.M.S fixée à 250 mg/l. Les chlorures donnent un effet toxique et entraîne une forte réduction de la croissance des végétaux traduite par une brûlure de feuilles, avec roussissement ou nécrose du tissu de la pointe des feuilles, voir même de la feuille complète conduisant jusqu'à la chute de celle-ci. La croissance des racines peut être ralenties il peu même y avoir réduction de la production et de la taille des fruits [93].

► Les sulfates (SO₄)

Ils sont présents dans les eaux naturelles à des teneurs très variables et ils peuvent provenir de la dissolution du gypse. Ce dernier peut être triasique comme il peut être associé à des formations plus récentes comme les argiles du Mio-plio-Quaternaire. Il dépend aussi des rejets industriels, pour notre région d'étude les origines de cet élément sont liées aux formations géologiques comme les argiles, les marnes et le gypse. Sa présence dans l'eau est liée à la dissolution de celui-ci et au lessivage des dépôts évaporitique issu de la vallée d'oued Righ selon la réaction :



Les plus fortes valeurs sont enregistrées pendant la période des basses eaux avec des teneurs variant de 3000 mg/l à la ST- 9- en octobre 2010. Jusqu'à 4640 mg/l au moi de mai 2010 à la ST-1-. Les plus faibles valeurs sont enregistrée à la ST-5- ; ST-6- et ST-7- et cela en période des haute eaux. (figure.6.12).

Les sulfates peuvent être l'objet de l'effet inhibiteur sur la croissance par perturbation de l'équilibre cationique dans la plante, cependant l'ion sulfate reste très toxique pour la végétation quand il se trouve dans la solution du sol.

► Les bicarbonates (HCO_3)

Les bicarbonates se trouvent dans les eaux naturelles, leur présence dans l'eau est due à la dissolution des formations carbonatées tel que les calcaires et les dolomites qui bordent la nappe selon la réaction suivante :



Les concentrations enregistrées au cours des prélèvements sont présenté sur la (figure.6.12) où on peu constater que la concentration maximale est enregistrée au moi d'octobre 2009 à la ST-1- avec une teneur de 421 mg/l. les fortes valeurs sont enregistrées à la ST-1- ; ST-5- ; ST-6- ; ST-7- et ST-9- donc on constate qu'il dépend essentiellement des rejets urbains. On pense que l'ion CO_3H est très toxiques pour les plantes son effet défavorable sur la réaction de celle-ci est dû à l'absorption et au métabolisme des ions, et qu'il peut y avoir des différences marquées dans la toxicité de CO_3H suivant les espèces végétales. Cependant le dépôt des bicarbonates peu produire des symptômes de chloroses en agissant sur la nutrition minérale de l'arbre.

► Les Nitrates (NO_3)

C'est une forme très soluble, et sa présence dans l'eau est liée à des engrais. Nos analyses montrent des valeurs pratiquement faibles, les valeurs maximales sont enregistrée à la ST-1- avec 4,1 mg/l au moi d'octobre 2010 une autre valeur importante de 5 mg/l à la ST-6- au moi de Mai 2010 (figure.6.12) donc les valeurs maximale des nitrates sont importantes en amont du canal à la station Kardèche et la station Aïssou milieu urbain de Touggourt.

La teneur des nitrates est nulle à la ST-4- qui est le lac Témachine communiquant avec le canal. Il faut noter que l'ion NO_3 peut s'accumuler à des taux assez élevées dans certains sols naturellement salins, et cet état de choses est caractérisé par le développement de « dépôt de Nitre » [94] qui inhibe et réduit la croissance végétative.

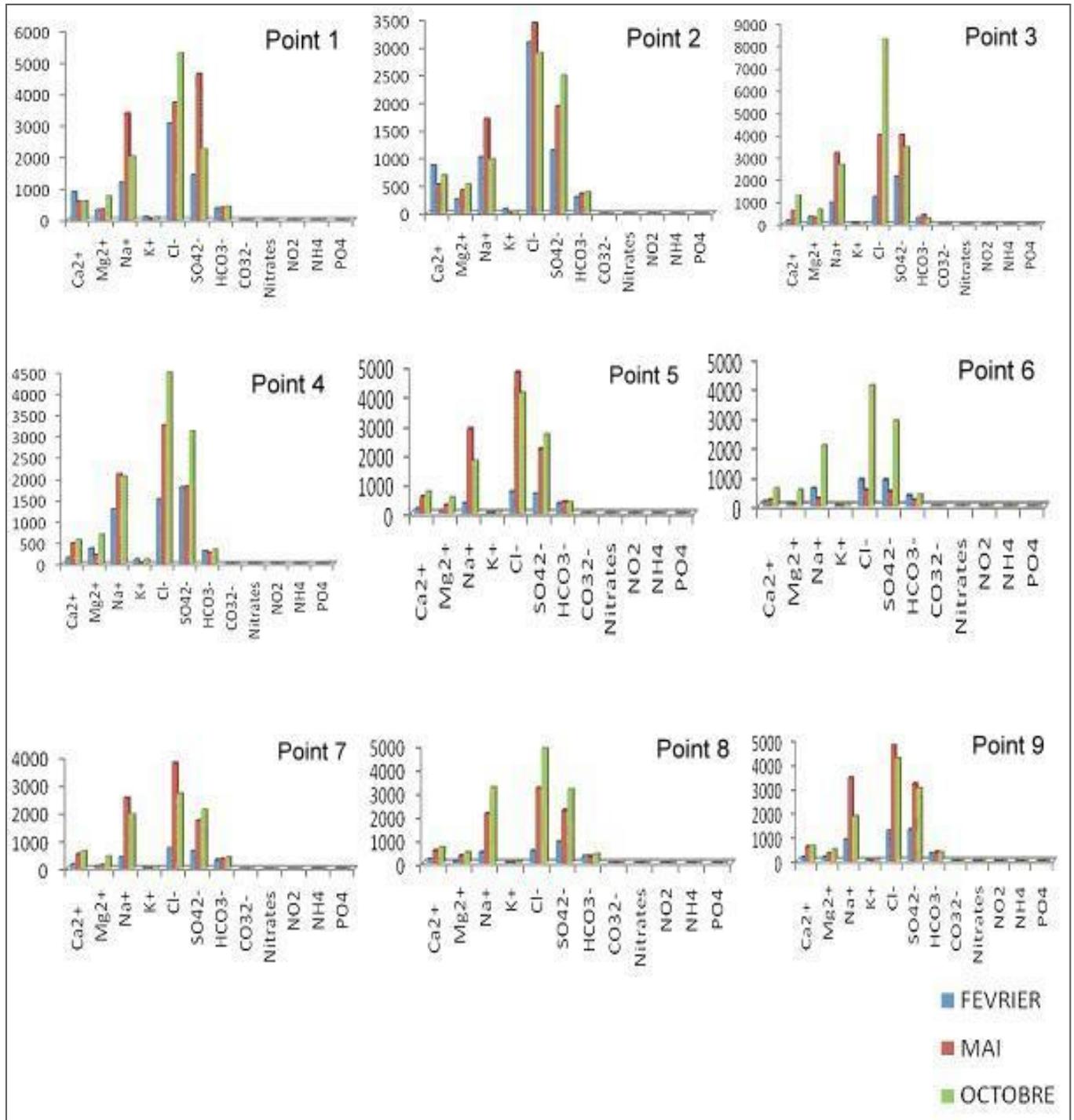


Figure.6.13 : Evolution des différents paramètres chimiques des eaux du canal d'Oued Righ

6.6. Détermination des principaux faciès hydro-chimiques

Les Faciès des eaux dépendant de leur origine et des transformations subies, par concentration, par précipitations, échanges avec les constituants du sol, éventuellement par dissolution. On distingue deux grandes catégories d'eaux : Les eaux de surface et les eaux de nappes.

En région chaudes à longue saison sèche telle que la région de Touggourt où se trouve le canal d'oued Righ de fortes concentration salines s'expriment à la surface des sols sous des formes divers (poudres ; croûtes ; efflorescences. ect). Elles subissent du fait de la mobilité des sels, de fortes variations spatiales et temporelles dans leurs manifestations, soit saisonnières, soit même journalières.

Les pratiques agricoles, et notamment la mise en place de systèmes d'irrigation, ne sont pas sans effet sur la qualité des eaux. Les sels minéraux contenus dans les eaux d'irrigation ont en outre un impact sur le sol et les plantes, car ils peuvent causer des changements dans la structure du sol (modifiant ainsi sa perméabilité et son aération) et perturber le développement des végétations [95]. Il existe aussi d'autres facteurs tels que le milieu biogéochimique, tel que le climat, l'aridité, la texture du sol, la profondeur de la nappe et aussi trois grandes voies géochimiques (acide, neutre ou alcaline). Pour évaluer la qualité des eaux du canal d'oued Righ, et des eaux de la nappe phréatique, nous avons utilisé le diagramme de **PIPER**, pour la détermination des faciès chimiques et les diagrammes de **L.V.Wilcox** (1948) et **L.A Richards** (1954-diagramme de "Riverside") à partir du logiciel "Diagrammes " (Roland simler) [96] et cela pour pouvoir appréhender le risque de salinisation et de sodisation des sols.

6.6.1. Détermination des faciès hydro chimiques des eaux du canal (2009-2010).

6.6.1.1. Diagramme de PIPER

Le diagramme de piper est particulièrement adapté à l'étude de l'évolution des faciès des eaux lorsque la minéralisation augmente, ou bien pour comparer des groupes d'échantillons entre eux et indiquer les types de cations et anions dominants. Il permet de représenter plusieurs échantillons d'eau simultanément, par des nuages de points concentrés dans un pôle. Il est composé de deux triangles, permettant de représenter le faciès cationique et le faciès anionique, et d'un losange synthétisant le faciès global.

L'interprétation des résultats d'analyses hydro chimiques pour toutes les périodes d'observation a permis d'avoir une idée sur les faciès chimiques des eaux du canal d'oued Righ avoisinant les palmeraies, et leur évolution dans le temps, ainsi que sur les conditions naturelles à l'origine de ces faciès.

Canal d'oued Righ (Février-2009-)

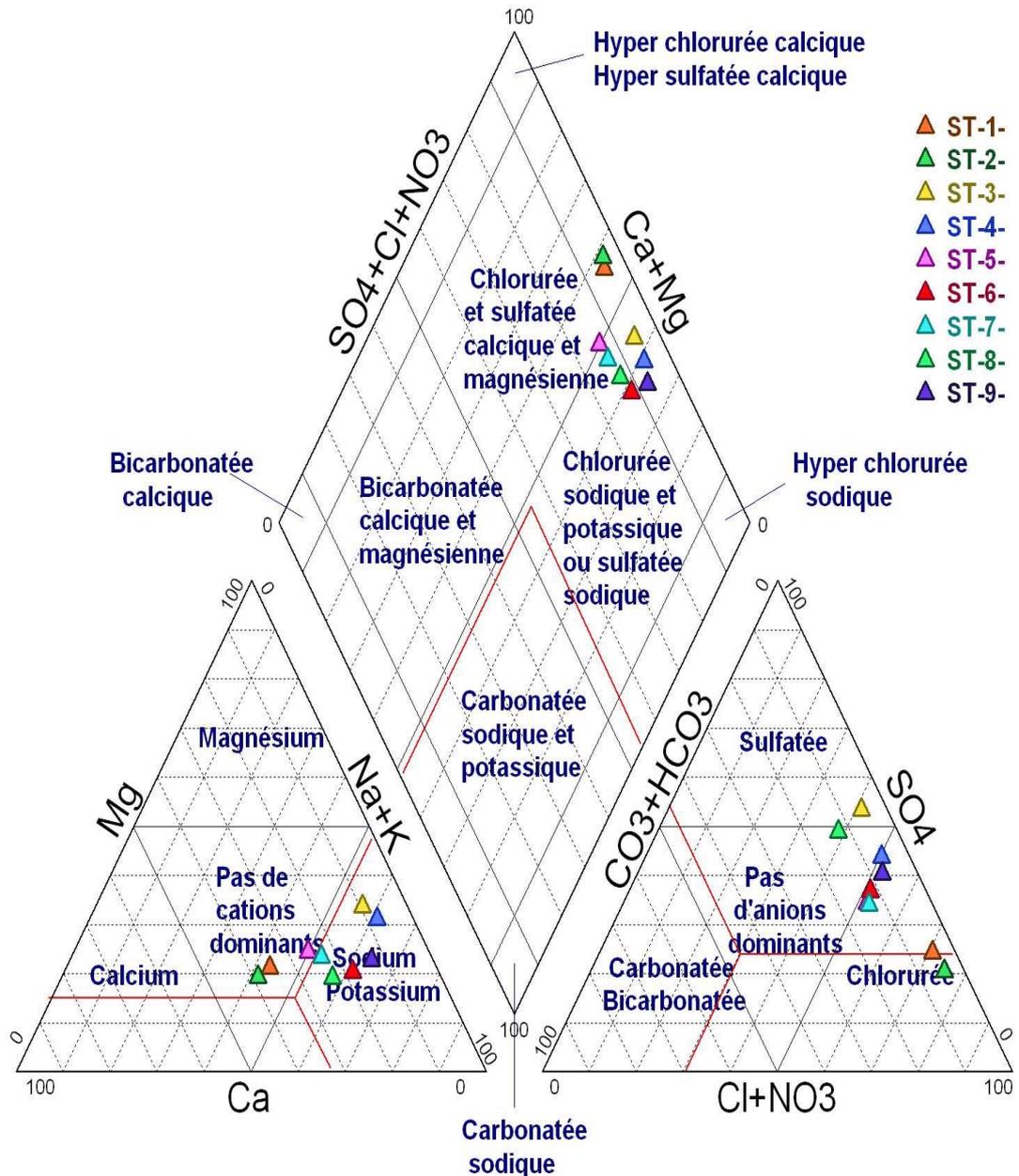


Figure.6.14 :Représentation sur le diagramme de PIPER de la qualité des Eaux du canal d'oued Righ durant la période (février -2009).

station	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	OH ⁻ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Ca %	Mg %	Na %	Cl %	SO ₄ %	HCO ₃ %	Faciès chimiques
1	890	320	1180	100	3060	1420	371	0	0	1,0	35,6	21,3	43,1	70,7	24,3	5,0	Chloruré- sodique
2	870	260	1020	80	3090	1140	298	0	0	1,0	39,0	19,4	41,5	75,2	20,5	4,2	Chloruré- sodique
3	150	320	970	80	1220	2140	285	0	0	1,0	9,6	34,0	56,4	41,1	53,3	5,6	sulfaté- sodique
4	146	360	1280	100	1520	1800	305	0	0	1,0	7,6	31,4	60,9	50,2	44,0	5,9	Chloruré- sodique
5	164	95	350	27	745	668	341	0	0	1,0	25,6	24,7	49,7	51,8	34,4	13,8	Chloruré- sodique
6	160	108	600	32	915	888	365	0	0	1,0	18,2	20,5	61,3	51,3	36,8	11,9	Chloruré- sodique
7	160	97	400	27	728	643	322	0	0	1,0	23,4	23,7	52,9	52,3	34,2	13,5	Chloruré- sodique
8	160	80	450	16	523	905	296	0	0	3,0	23,1	19,2	57,7	38,3,	49,0	12,6	sulfaté- sodique
9	160	170	880	40	1250	1310	315	0	0	2,0	13,0	23,1	63,9	52,0	40,3	7,6	Chloruré- sodique

Tableau .6.8 : Types de Faciès chimiques pour les différentes stations de prélèvement des eaux du canal (Février 2009)

➔ Les différents types de Faciès sont représentés sur le (tableau .6.8) avec leurs pourcentages d'existence en (Ca ; Mg ; Na ; Cl ; SO₄ ; HCO₃) ainsi que le pourcentage du type de Faciès pour la période de (Février 2009) dans les eaux du canal.

On signale cependant la présence d'un Faciès chloruré-sodique, relativement dominant avec **77,8%** des cas et un faible pourcentage avec **22,2%** des cas de Faciès sulfaté-sodique et cela à la ST-3- et la ST-8-(figure.6.15).

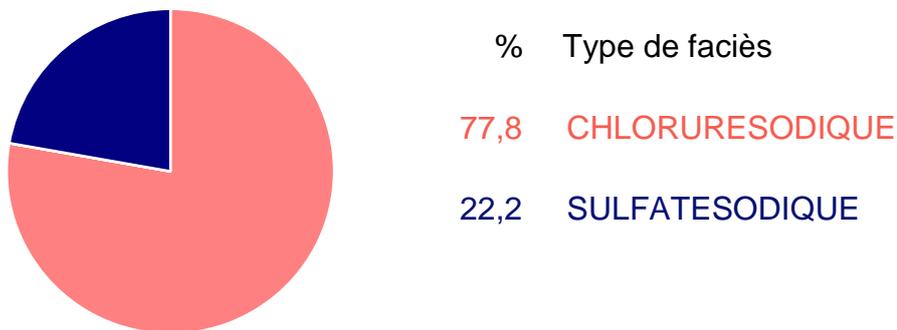


Figure.6.15 : Types de Faciès du mois de (Février-2009-)

On peut noter que les ions connaissent une certaine stabilité dans pratiquement toutes les stations parcourant le canal.

Avec des anions chlorurés et sulfatés dominants ; alors que les cations sodiques marquent la totalité des échantillons et sont secondés par les cations calciques.

La distribution des éléments chimique dans les eaux du canal suit l'ordre suivant **(Na⁺ > Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺)** et **(Cl⁻ > SO₄²⁻ > HCO₃²⁻)**.

Cependant cette distribution change pour les ST-3-;ST-4-;ST-8- et ST-9- et devient :

(Na⁺ > Mg²⁺ > Ca²⁺ > K⁺) et **(SO₄²⁻ > Cl⁻ > HCO₃²⁻)**.

➔ Les différents types de Faciès des eaux du canal durant la période de prélèvement de (Mai 2010) sont représentés sur le (tableau.6.9) avec leur pourcentage d'existence en cations et en anions, ainsi que le pourcentage du type de Faciès chimique caractérisant les eaux du canal de l'amont à l'aval.

Station	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	OH ⁻ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Ca %	Mg %	Na %	Cl %	SO ₄ %	HCO ₃ %	Faciès chimiques
1	575	323	3390	29	3720	4640	385	0	0	0,2	14,1	13,2	72,7	50,4	46,5	3,0	Chloruré- sodique
2	520	416	1710	11	3440	1940	361	0	0	0,6	19,2	25,6	55,2	67,7	28,2	4,1	Chloruré- sodique
3	575	292	3190	28	4000	4000	395	0	0	0,4	14,9	12,6	72,4	55,6	41,2	3,2	Chloruré- sodique
4	486	203	2110	10	3260	1820	259	0	0	0,0	18,2	12,7	69,1	68,5	28,3	3,2	Chloruré- sodique
5	375	290	2890	23	4820	2200	409	0	0	0,3	11,1	14,3	74,6	72,1	24,3	3,6	Chloruré- sodique
6	221	95	250	5	555	500	210	0	0	5,0	36,9	26,4	36,7	53,0	35,3	11,7	Chloruré- calcique
7	519	124	2550	19	3800	1730	350	0	0	0,2	17,6	7,0	75,4	71,9	24,2	3,9	Chloruré- sodique
8	524	313	2100	18	3180	2240	289	0	0	0,4	18,2	18,1	63,7	63,5	33,1	3,4	Chloruré- sodique
9	595	324	3440	28	4760	3200	373	0	0	0,5	14,4	13,0	72,6	64,8	32,2	3,0	Chloruré- sodique

Tableau.6.9 : Types de Faciès chimiques pour les différentes stations de prélèvement des eaux du canal (Mai 2010).

Canal d'oued Righ (Mai -2010-)

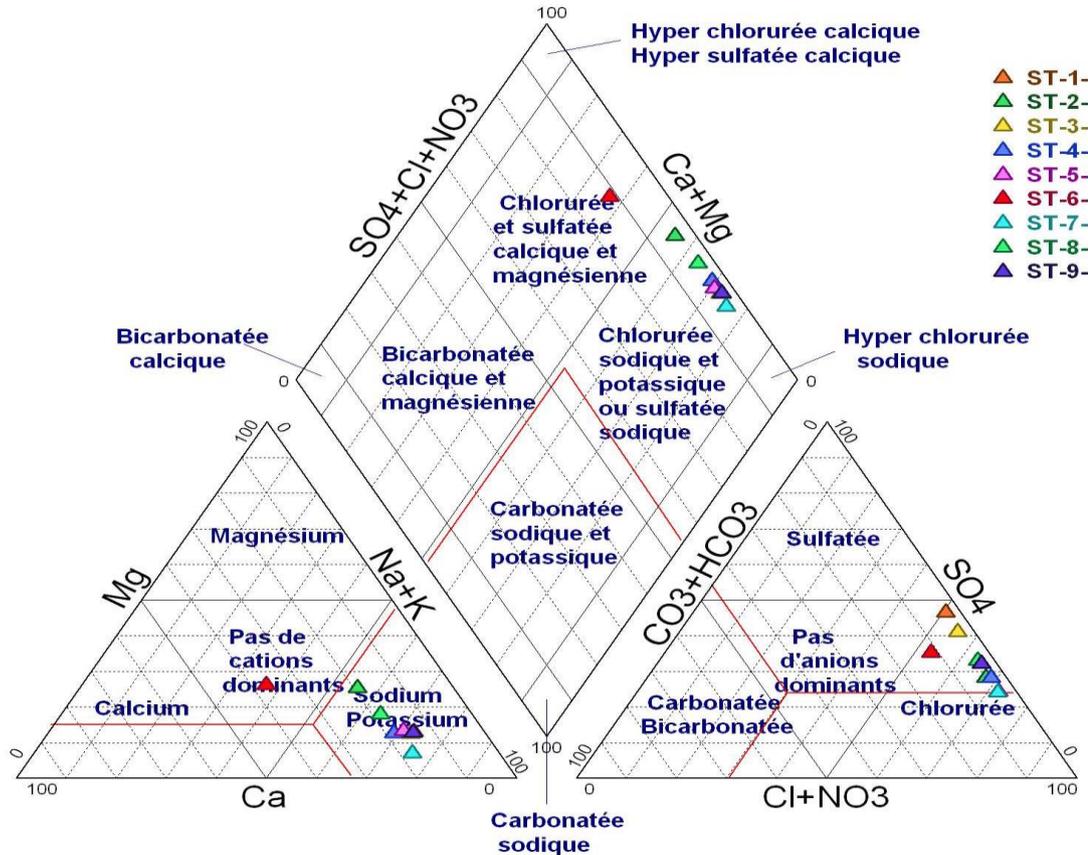


Figure.6.16 : Digramme de PIPER de la qualité des eaux du canal (Mai-2010-)

On signale alors la présence d'un Faciès chloruré-sodique en majorité dominant avec **88,9%** des cas et une présence d'un faible pourcentage de faciès chloruré-calcique dans **11,1%** des cas, signalé à la ST-6-(figure.6.16).

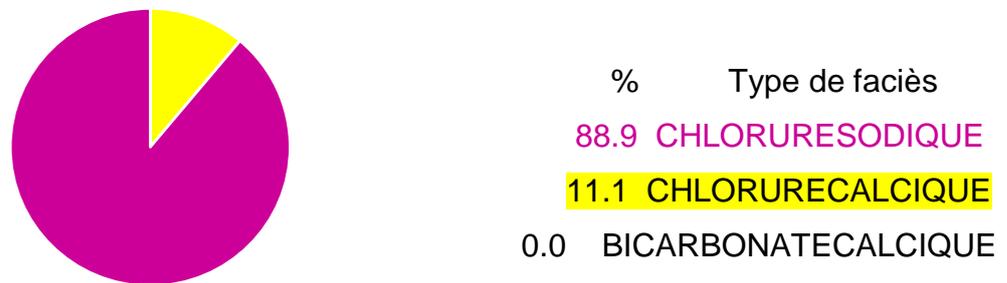
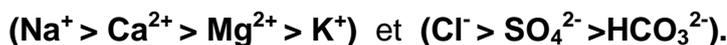


Figure.6.17 : Types de Faciès du moi de (Mai-2010-)

La distribution des éléments chimiques des eaux du canal durant la période de (Mai 2010) suit d'ordre suivant pour l'ensemble des stations de prélèvement.



Canal d'oued Righ (Octobre- 2010-)

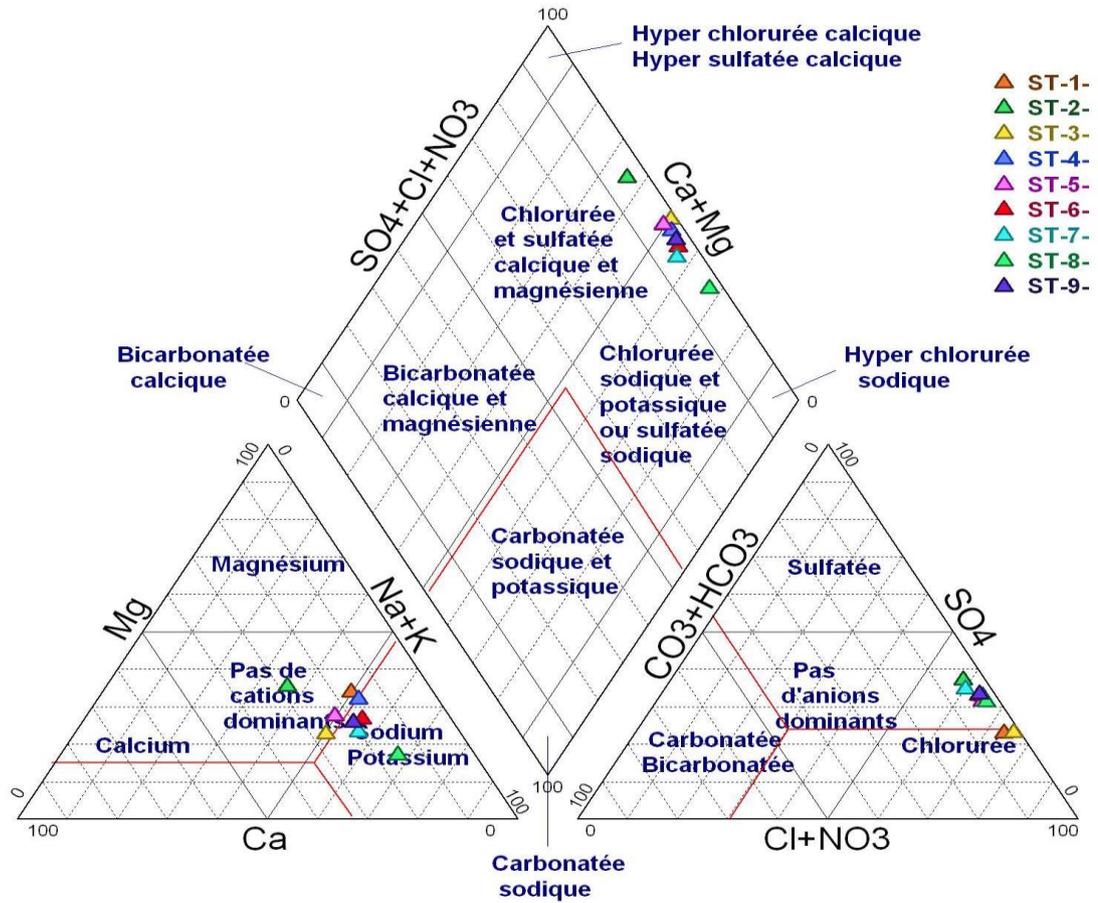


Figure.6.18 : Digramme de PIPER de la qualité des eaux du canal (Octobre-2010)

⇒Durant la campagne de prélèvement (d’octobre 2010), on a pu constater que toute les eaux du canal de l’amont à l’aval présentent un Faciès chimique de type chloruré-sodique à **100%** des cas (figure.6.19), tous les résultats sont regroupés dans le (tableau.6.10).

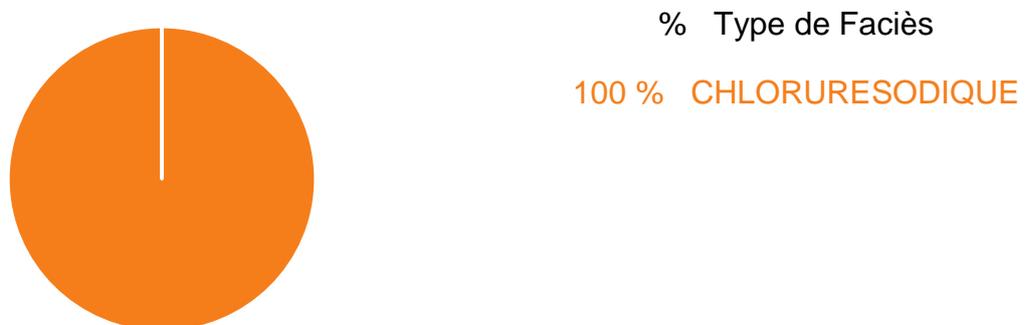


Figure.6.19 : Types de faciès du moi (d’Octobre-2010)

station	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	OH ⁻ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Ca %	Mg %	Na %	Cl %	SO ₄ %	HCO ₃ %	Faciès chimiques
1	589	746	2010	96	5300	2240	421	0	0	4,1	16,2	34,3	49,5	73,6	23,0	3,4	Chloruré- sodique
2	689	520	980	43	2900	2490	384	0	0	1,9	28,4	35,7	36,0	58,4	37,1	4,5	Chloruré- sodique
3	1266	643	2660	91	8300	3450	250	0	0	0,3	27,0	22,8	50,2	75,5	23,2	1,3	Chloruré- sodique
4	560	685	2060	97	4500	3110	329	0	0	0,2	15,8	32,2	52,0	64,4	32,9	2,7	Chloruré- sodique
5	735	537	1780	97	4100	2680	369	0	0	0,3	22,8	27,7	49,5	65,1	31,5	3,4	Chloruré- sodique
6	582	532	2050	83	4100	2890	384	0	0	0,4	17,7	26,9	55,4	63,5	33,1	3,5	Chloruré- sodique
7	618	432	1950	74	2700	2110	399	0	0	1,3	20,1	23,4	56,4	60,1	34,7	5,2	Chloruré- sodique
8	647	436	3190	75	4860	3120	366	0	0	1,9	15,5	17,4	67,2	65,8	31,3	2,9	Chloruré- sodique
9	604	476	1850	72	4240	3000	342	0	0	0,4	19,8	26,1	54,1	63,7	33,3	3,0	Chloruré- sodique

Tableau.6.10 : Types de Faciès chimiques pour les différentes stations de prélèvement des eaux du canal (octobre 2010)

Les éléments chimiques sont distribués suivant l'ordre ($\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$) et ($\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^{2-}$) sauf pour les ST-1- et S-4-, l'ordre est de ($\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$) et ($\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^{2-}$)

➔ En conclusion la majorité des eaux du canal sont concentrées en Na^+ et Cl^- ; les ions SO_4^{2-} supérieurs aux ions Ca^{2+} , presque la totalité des eaux sont relativement beaucoup plus concentrées en Cl^- qu'en SO_4^{2-} . Le faciès chloruré-sodique apparaît dans la majorité des eaux parcourant le canal avec des conductivités très élevées qui coïncide ici avec la présence de terrains très conducteurs, vraisemblablement des argiles gypsifères triasiques. On signale la présence d'un faciès de type chloruré-calcique à 11,1% des cas à la ST-6- en (Mai 2010).

Il résulte partiellement de la présence des formations alluvionnaires salées mio-plio-quadernaires, argilo-sableuse et des marnes gypsifères santoniennes.

Le faciès sulfaté sodique qui apparaît avec 22,2% des cas à la ST-3- et ST-8- en (Février 2009) résulte de l'altération provenant de l'oxydation des sulfures dans la frange supérieure de l'écorce terrestre, surtout dans les régions à climat aride qui permet la concentration du sel, et sa précipitation qui est produite au cours des temps géologiques.

En l'absence du faciès bicarbonaté toutes les eaux apparaissent extrêmement minéralisées et riches en ions chlorures ; sulfates ; calcium et surtout sodium, les eaux les plus concentrées correspondent donc au faciès chloruré sodique ; sulfaté sodique et chloruré calcique, donc à la dissolution d'halite (sel gemme NaCl) ou de gypse.

On peut donc dire que le matériau parental des sols de l'oued Righ est d'origine mixte alu-colluviale et éolienne. Les allu-colluvions proviennent de l'érosion du niveau encroûté datant du quadernaire ancien ou du Mio--pliocène.

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. Les horizons supérieurs sont cependant en grande partie d'origine éolienne.

Du fait des fortes teneurs en gypse (40% en moyenne). Le gypse est une fraction constitutive du sol et qu'à ce titre il contribue à celui-ci ses propriétés physiques et chimiques [97].

On peut donc dire que les propriétés chimiques des eaux du canal puissent leur caractère des propriétés du sol. Et que toutes ces accumulations gypseuses représentent une contrainte majeure aussi bien sur le plan physique que chimique pour une meilleure gestion des sols et pour une agriculture durable et productive [98]. La présence du gypse dans tous les sols est la résultante de la composition du matériau parental et sa répartition dans le profil du sol, est due au mouvement liée à l'action de la nappe superficielle active dont le toit ne dépasse pas les **1 m** en moyenne dans toutes les palmeraies. L'action conjuguée d'un climat caractérisé par une évapotranspiration intense et la présence d'une nappe peu profonde fait que la plupart des sols subissent le phénomène de salinisation secondaire. Le type de salure est sulfaté-sodique et sulfaté-calcique et magnésique en moyenne, et chloruré sodique en générale.

6.6.2. Diagramme de H. Schöeller Berkloff

Le diagramme de Schöeller Berkloff permet de représenter le Faciès chimique de plusieurs échantillons d'eaux. Chaque échantillon est représenté par une ligne brisée. La concentration de chaque élément chimique est figurée par une ligne verticale est en échelle logarithmique.

La ligne brisée est formée en reliant tous les points qui représentent les différents éléments chimiques. Un groupe d'eau de minéralisation variable mais dont les proportions sont les mêmes pour les éléments dissous, donnera une famille de lignes brisée parallèles entre elles. Lorsque les lignes se croissent, un changement de Faciès chimique est mis en évidence.

⇒ Période de février (2009)

Le diagramme tracé pour la période de février 2009 pour les 9 stations des eaux du canal, confirme la dominance du Faciès chloruré sodique permettant de dire que la minéralisation des eaux est liées aux ions **Cl⁻** et **Na⁺** secondairement, on observe deux Faciès, le premier sulfaté-sodique et le second chloruré-calcique. Les concentrations des ions **HCO₃²⁻** diminue partiellement par rapport aux autres ions, ce qui explique l'absence d'un faciès bicarbonaté (figure.6.20). L'acquisition de ces faciès a été signalée précédemment. Un certain parallélisme entre les lignes représentant la majorité des éléments majeurs a été observée, on remarque le croisement de ces lignes, ceci est dû aux activités anthropiques qui touchent le parcours du canal d'une manière sélective.

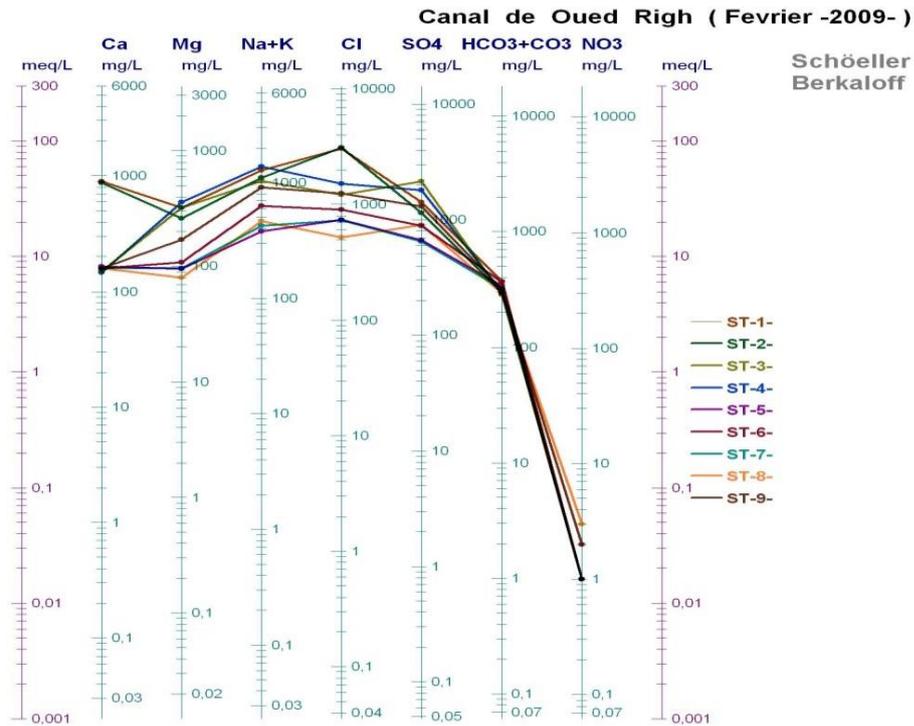


Figure.6.20 : Diagramme de Schöeller Berkaloff des eaux du canal (février-2009)

⇒ Période de Mai (2010)

L'examen de la (figure.6.21) montre que Les eaux du canal ont acquis trois types de Faciès, le chloruré-sodique en dominance, suivie du Faciès sulfaté-sodique, voir même le chloruré- calcique, on distingue relativement une faible minéralisation en ions bicarbonates ce qui exclu le Faciès bicarbonaté.

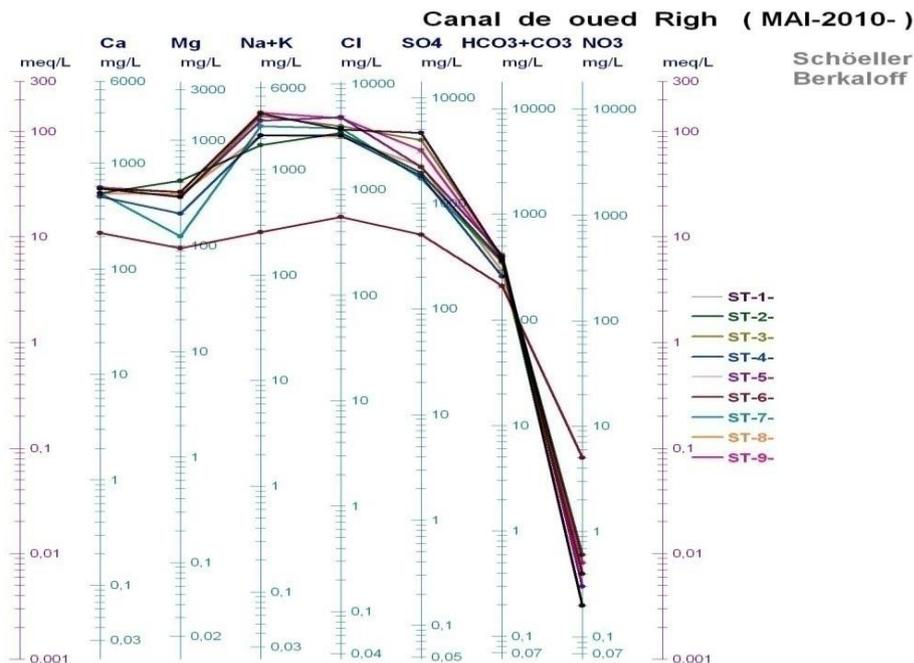


Figure.6.21 : Diagramme de schöeller Berkaloff des eaux du canal Mai (2010).

⇒ Période d'octobre (2010)

Les ions chlorures sont dominants au niveau de la ST-3- on remarque que la minéralisation en ions Cl^- et Na^+ est dominante pratiquement au niveau des 9 stations parcourant le canal, suivie de la minéralisation en ions SO_4^{2-} et Ca^{2+} ; voir même une concentration importante en ions Mg^{2+} . on signale alors le Faciès chloruré sodique en majorité. (figure.6.22).

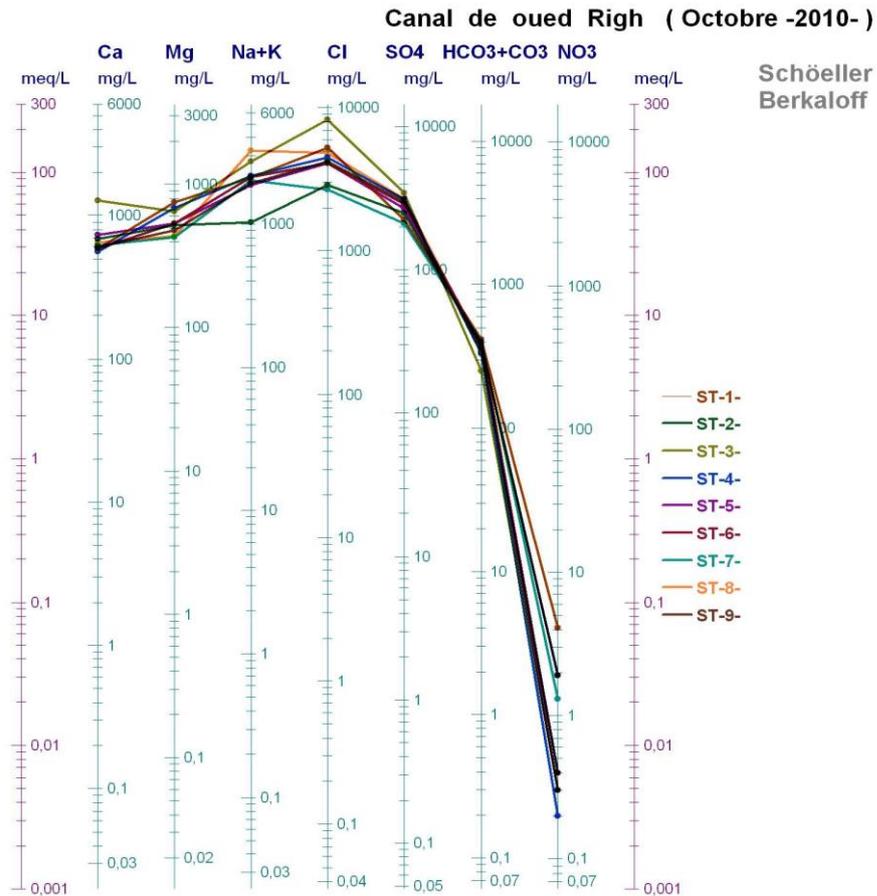


Figure.6.22 :Diagramme de schöeller Berkaloff des eaux du canal (Octobre-2010).

➔ En conclusion on peut dire que les fortes concentrations en ions Cl^- et Na^+ ont donné un Faciès dominant qui est le chloruré-sodique, suivi du Faciès sulfaté-sodique et chloruré-calcique. On signale que la teneur en bicarbonates est faible par rapport à celle des autres anions, ce qui explique l'absence du Faciès bicarbonaté. Le faciès chloruré sodique se développe sur la totalité des eaux du canal, il provient des argiles gypsifères triasiques, le faciès chloruré-sodique, provient des formations évaporitiques et le faciès chloruré-calcique tire son origine des marnes gypsifères emschériennes qui constituent le substratum.

6.7. Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ

Afin d'apprécier une éventuelle contamination des eaux de la nappe phréatique par les eaux du canal, et par la suite son impact sur la culture du palmier d'attirer, vu que les racines de celui-ci présentent une répartition de 60 à 100 cm de profondeur, avec un diamètre de 1 à 1,5 cm, et si les conditions restent favorables les racines s'enfoncent jusqu'à 180 cm et au-delà leur densité diminue progressivement, mais leur diamètre peut rester important, ainsi l'arbre s'alimente à partir d'un volume considérable des eaux de la nappe phréatique. Il est à noter que si la production de datte de bonne qualité nécessite une certaine température élevée, ses racines n'aiment pas être toujours dans l'eau. Vu que 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 certains endroits la stérilisation des sols. Dans cette optique on a effectué une campagne de prélèvement durant le moi d'octobre 2010, une analyse physico-chimique et de pollution a été effectuée sur les eaux de la nappe phréatique, dans le but de déterminer les caractéristiques de la qualité de ces eaux, et leur variabilité dans l'espace, et dans le temps et de mettre en évidence le risque de contamination par les eaux du canal, une remontée de la nappe phréatique (figure.6.23) ,suivie du phénomène évaporatoire imposé par un climat aride et ces conséquences sur l'agriculture du palmier de la région d'oued Righ(figure.6.24).



Figure.6.23 : Photos représentant une remontée de la nappe phréatique



Figure.6.24 : Stérilité des sols et dégradation des palmeraies dans la vallée D'oued Righ [23]

- Le réseau piézométrique durant la campagne d'octobre 2010 est constitué de **5** piézomètres (figure.6.25), étalé sur un tronçon de terrain cultivé d'environ **46 Km**, partant de la station Kérdèche jusqu'à la station Sidi Slimane qui rejoint le canal d'oued Righ.
- La profondeur de l'eau de la nappe phréatique est comprise entre **1.7 à 2.5 m** de l'hiver à l'été. Il existe des points où le niveau hydrostatique de la nappe dépasse **2 m** de profondeur à cause de l'utilisation des eaux de la nappe phréatique pour l'irrigation.



Figure.6.25 : Points piézométriques sur les sols cultivés près du canal dans la région d'oued Righ [23]

► Les données enregistrées sur l'ensemble de l'aire d'étude sont consigné sur les tableaux suivants :

6.7.1. Paramètres physiques

Station	ST- 10-	ST- 11-	ST- 12-	ST- 13-	ST- 14-
pH	7,24	7,00	7,71	7,36	7,20
C.E (ms/cm)	4,81	7,12	17,90	7,60	6,04

Tableau.6.11 : Evolution des paramètres physiques des eaux de la nappe phréatique (octobre 2010)

ST -10- Eau de la nappe près de la station de refroidissement.

ST - 11- Eau du Forage (C.T) station Aïssou.

ST - 12- Eau de la nappe de la station Sidi Slimane près du canal.

ST - 13- Eau de la nappe avant la station de refroidissement.

ST - 14- Eau d'irrigation à partir de la nappe du (C.T) station Sidi Slimane.

► Le pH de toutes les eaux des points piézométrique de la nappe phréatique est voisin de la neutralité avec un caractère plus ou moins alcalin.

► La conductivité électrique (C.E) indique une minéralisation élevée car elles sont toutes globalement supérieures à 1000 $\mu\text{s/cm}$. De plus elles correspondent à des valeurs de minéralisation totale dépassant les normes de l'O.M.S (soit 1500 mg/L). On signale une valeur de minéralisation très élevé à la station- 12-(figure.6.26).

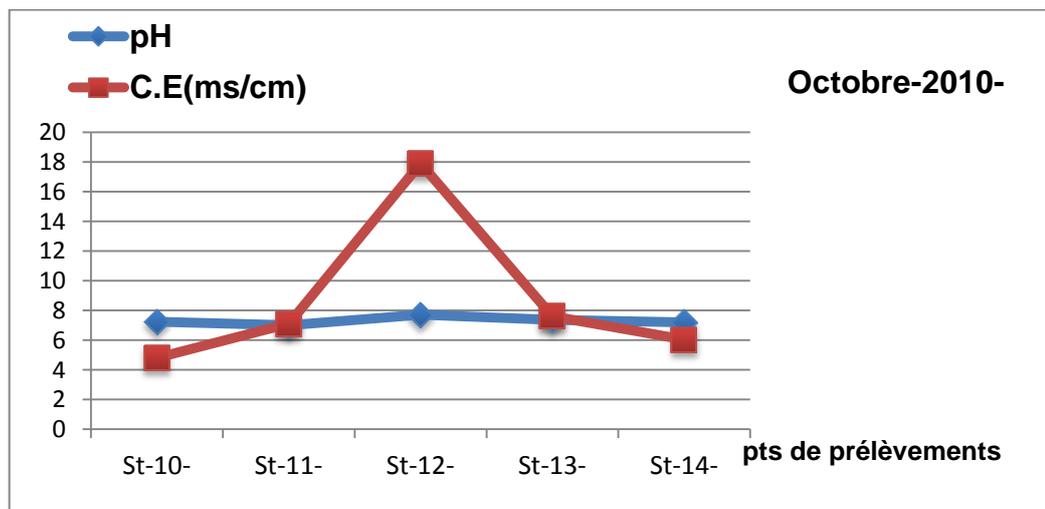


Figure.6.26 : Evolution spatio-temporelle du pH et de la conductivité électrique (C.E) des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ (octobre-2010-)

6.7.2. Les éléments chimiques

6.7.2.1. Les cations

Les valeurs de l'évolution des cations de la nappe phréatique de la région d'oued Righ sont classées dans le (tableau.6.12).

station	Na ⁺ (mg/l)	Na ⁺ (meq/l)	Ca ²⁺ (mg/l)	Ca ²⁺ (meq/l)	Mg ²⁺ (mg/l)	Mg ²⁺ (meq/l)	K ⁺ (mg/l)	K ⁺ (meq/l)	Somme des cations (mg/l)	Somme des cations (meq/l)
10	1080	47	773	38,6	209	17,2	40,0	1,02	2102	103,82
11	980	42,6	537	26,8	204	16,8	36	0,921	1757	87,121
12	4000	174	867	43,2	460	37,9	130	3,32	5457	258,42
13	1100	47,8	580	28,9	200	16,5	35	0,895	1915	94,10
14	945	41,1	547	27,3	156	12,8	30	0,767	1678	81,967

Tableau.6.12 :Evolution spatio-temporelle des cations des eaux de la nappe (oct-2010)

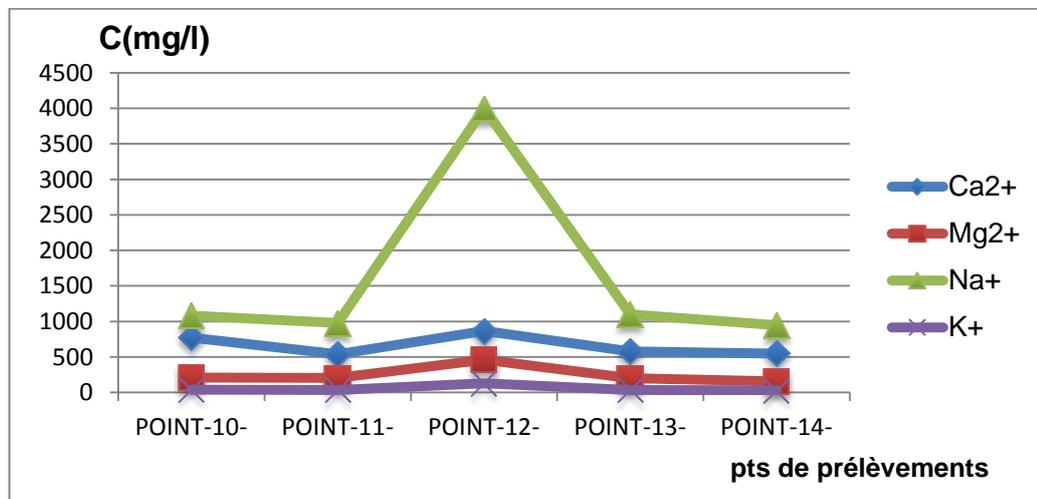


Figure.6.27 : Evolution spatio-temporelle des cations des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ (octobre2010)

Si on compare la qualité des eaux de la nappe phréatique par rapport à celle des eaux du canal. On remarque que dans l'ensemble le bilan cationique, est moins élevé en concentrations de Na⁺ ; Ca²⁺ ; Mg²⁺ et K⁺ sauf pour la **station-12-** ou on signale une légère augmentation du taux cationique, et une nette augmentation du sodium **Na** (figure.6.27).

6.7.2.2. Les anions

Le bilan anionique des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ durant la campagne de prélèvement (d'octobre 2010) sont consignés dans le (tableau.6.13).

station	Cl ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ (meq/l)	SO ₄ ²⁻ (mg/l)	SO ₄ ²⁻ (meq/l)	HCO ₃ ²⁻ (mg/l)	HCO ₃ ²⁻ (meq/l)	NO ₃ ⁻ (mg/l)	NO ₃ ⁻ (meq/l)	Somme des anions (mg/l)	Somme des anions (meq/l)
10	1663	46,84	2450	51,00	183	3,00	41,09	0,663	4337,1	101,5
11	1698	47,83	1667	34,7	137	2,25	33,97	0,548	3535,97	85,33
12	5947	167,5	3838	79,9	387	6,34	20,44	0,33	10192,44	254,07
13	1632	46,00	1890	39,33	311	5,10	32,47	0,524	3865,5	90,95
14	1600	45,1	1808	37,62	125	2,05	47,32	0,763	3580,32	85,53

Tableau.6.13 : Evolution spatio-temporelle des anions des eaux de la nappe(oct- 2010)

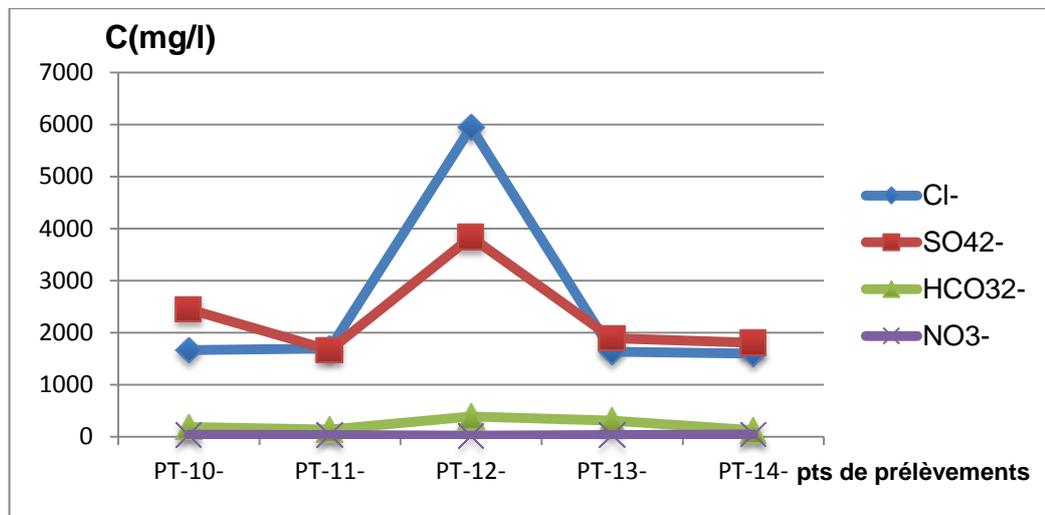


Figure.6.28 : Evolution spatio-temporelle des anions des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ (octobre 2010)

Si on porte notre attention sur l'évolution spatio-temporelle des anions de la nappe phréatique de la région d'oued Righ durant la période d'octobre-2010-(figure.6.28) on remarque une nette augmentation de l'ion **Cl⁻** et de l'ion **SO₄²⁻** au niveau de la **station-12-**, mais on peu dire qu'en majorité le bilan anionique des eaux de la nappe phréatique durant la période d'octobre-2010- est moins important par rapport à ceux des eaux du canal.

6.7.3. Détermination du faciès hydro-chimique des eaux de la nappe phréatique durant la campagne d'octobre 2010

6.7.3.1. Diagramme de PIPER

Les résultats d'analyses hydro-chimiques durant la période d'octobre-2010-, concernant les eaux de la nappe phréatique, nous ont permis de confirmer que le type de faciès dominant est le chloruré-sodique avec 80% des cas, suivie du faciès sulfaté-sodique avec 20% des cas (figure.6.29). Donc en conclusion on peut dire que le type de faciès des eaux de la nappe coïncide avec ceux du canal. On signale que la distribution des éléments chimiques des eaux de la nappe (octobre-2010-) suit l'ordre suivant ($\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{K}^+$) et ($\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^{2-}$) cependant pour les ST-10- ; ST-11- ; ST-13- et ST-14- le bilan anionique change et devient ($\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^- > \text{HCO}_3^{2-}$).

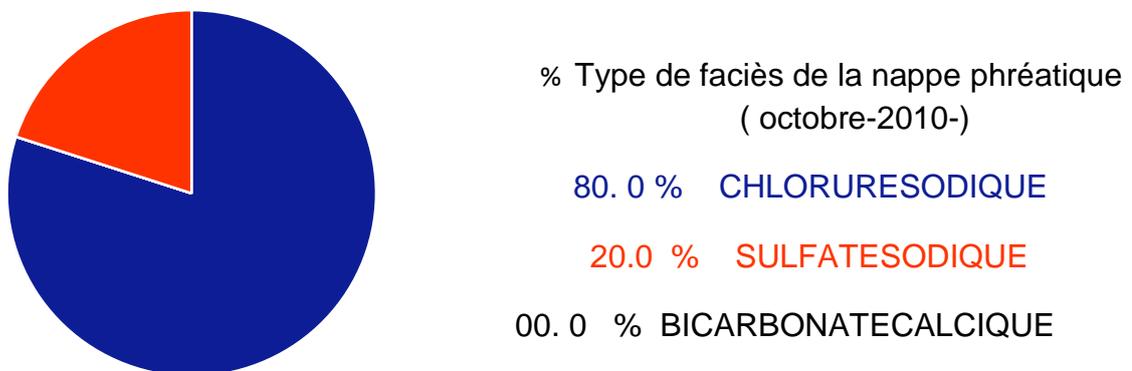


Figure.6.29 : Types de Faciès de la nappe phréatique (Octobre-2010)

station	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	Cl (mg/l)	SO ₄ (mg/l)	HCO ₃ (mg/l)	CO ₃ (mg/l)	OH ⁻ (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Ca %	Mg %	Na %	Cl %	SO ₄ %	HCO ₃ %	Faciès chimiques
10	737	209	1080	40	1663	2450	183	0	0	41,1	36,0	17,0	46,9	46,4	50,6	3,0	Chloruré- sodique
11	537	204	980	36	1698	1667	137	0	0	43,0	30,7	19,5	49,8	56,4	41,0	2,6	Chloruré- sodique
12	867	460	4000	130	5947	3838	387	0	0	20,4	16,7	14,8	68,5	66,0	31,5	2,5	Chloruré- sodique
13	580	200	1100	35	1632	1890	311	0	0	32,5	30,7	17,7	51,6	50,8	43,5	5,6	Chloruré- sodique
14	547	156	945	30	1600	1808	125	0	0	47,3	33,3	15,8	50,9	53,2	44,4	2,4	Chloruré- sodique

Tableau.6.14 : Types de faciès chimiques pour les eaux de la nappe phréatique, période (octobre-2010)

Nappe phréatique de la région d'oued Righ (Octobre-2010-)

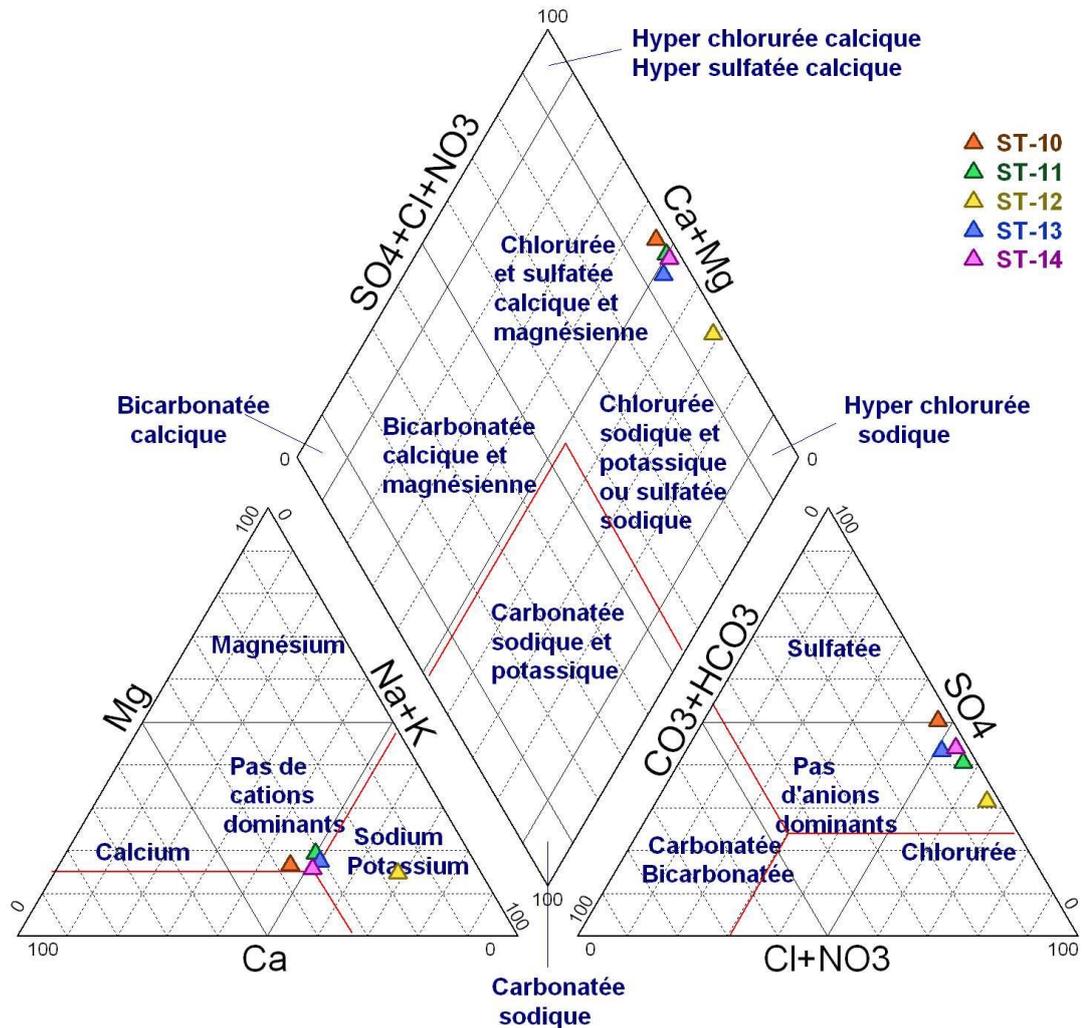


Figure.6.30 : Faciès chimiques des eaux de la nappe phréatique (octobre-2010)

→ En conclusion on peut dire que la totalité des eaux de la nappe phréatique sur un tronçon de prélèvement d'environ **46 Km**, présente un type de faciès chloruré-sodique, les ions chlorures et sodium sont majoritaire surtout à la **ST-12-**, suivit des ions sulfates (figure.6.30). On peut donc affirmer que le matériau parental des sols de la région d'oued Righ est d'origine mixte allu-colluviale et éolienne. Les allu-colluvions proviennent de l'érosion du niveau encrouté datant du quaternaire ancien ou du mio-pliocène.

Les horizons supérieurs sont cependant en grande partie d'origine éolienne, du faite des fortes teneurs en gypse qui contribue aux propriétés physiques et chimiques des sols de la région.

6.7.3.2. Diagramme de H. schoëller Berkaloff

Le diagramme de schoëller Berkaloff permet de nous indiquer les analyses effectuées durant le période d'octobre-2010- sur les 5 stations piézométriques de terres cultivées avoisinant le canal d'oued Righ.

On signale cependant qu'il y a une nette dominance de l'ion sodium, suivit des ions chlorures et sulfates, cette représentation est très claire sur le graphe au niveau de la **ST-12-** et qui est une zone cultivée de tous près du canal. Cela nous permet de confirmer le Faciès hydro-chimique dominant et qui est le chloruré-sodique (figure.6.31). Ce qui nous permet de dire que la minéralisation des eaux de la nappe est liée aux ions Cl^- et Na^+ .

On peut aussi remarquer la ligne de la ST-10- qui présente une concentration plus importante en ions sulfate que sodium ce qui donne le type de faciès sulfaté-sodique. Comme pour les eaux du canal on peut dire que le faciès de type bicarbonaté dans les eaux de la nappe phréatique à tendance à être absent.

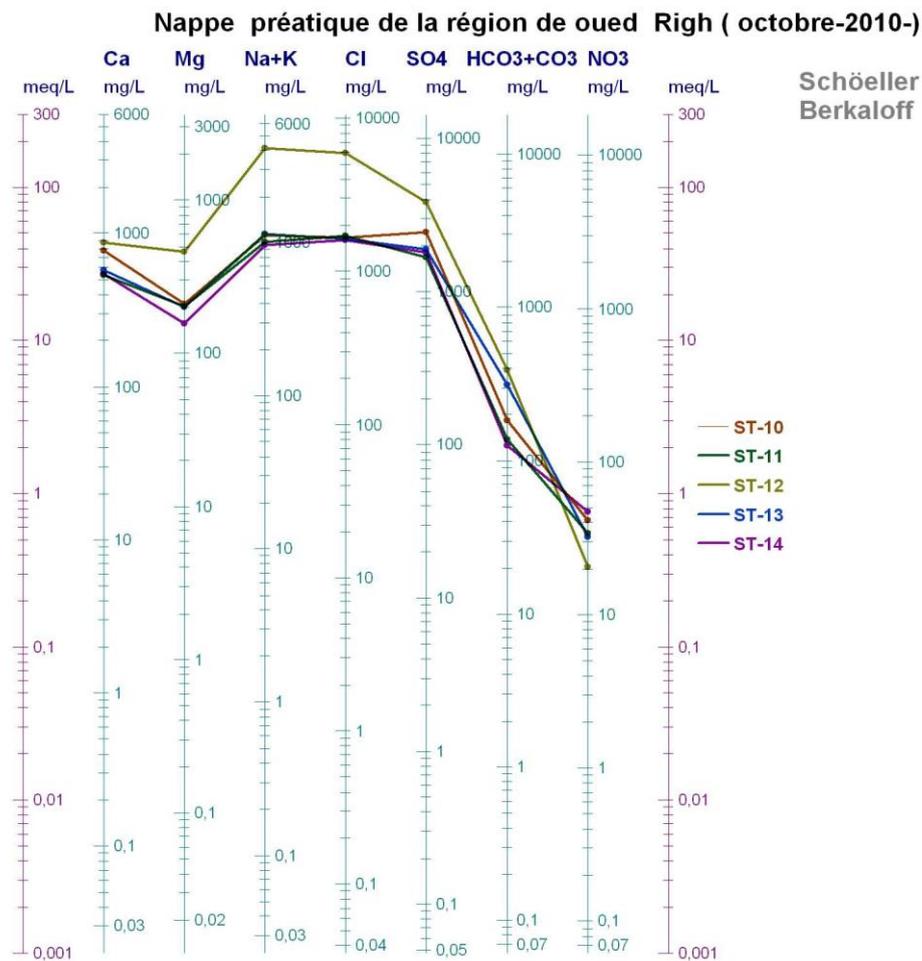


Figure.6.31 : Diagramme de schoëller Berkaloff des eaux de la nappe (oct-2010)

6.8. Qualité des eaux de la vallée d'oued Righ et leur impact sur la culture du palmier dattier

Dans les zones arides comme la vallée d'oued Righ, l'approvisionnement en eau d'irrigation constitue l'un des facteurs déterminants dans la production agricole, les oasis ont toujours été perçues comme symbole de gestion d'une eau rare, les techniques adoptées et qui ont fait appel aux eaux souterraines, ont créé un paradoxe au Sahara. Les oasis malades de trop d'eau, l'accroissement des débits fournis et la forte minéralisation des eaux, ont eu des conséquences directes et à plusieurs niveaux ; une baisse du niveau piézométrique de la nappes du (C.T) et la disparition de l'artésianisme, la remontée des nappes phréatiques, le drainage déficient et la salinisation des sols, limitation des espèces cultivées sous palmiers, et réduction des rendements en dattes qui ne dépassent guère les 50 Kg / palmier dans la région d'oued Righ, suite aux conséquences des sels dissous qui arrivent dans les zones racinaires des palmiers sur lesquelles l'action est directe soit sur l'évolution du palmier soit sur sa production. L'accumulation des sels hydrosolubles dans le sol d'enracinement influe négativement sur la croissance des palmiers, on a recensé deux séries d'effets de la salinité [99] les uns portent sur les végétaux, les autres sur le sol, en effet, ces sels causent des changements de la perméabilité et de l'aération du sol d'une part, et d'autre part ils provoquent des perturbations du métabolisme des plantes et du processus osmotiques de ces derniers. Il est donc important de connaître les concentrations de ces sels qui engendrent principalement des problèmes de salinité et de toxicité. Comme la région d'oued Righ se caractérise par une faible pluviométrie, une forte évaporation et une eau souterraine trop chargée en chlorures, et en sulfates, le risque de salinisation des sols se fait bien sentir. Une étude impose une bonne connaissance des régimes hydriques et salins afin de pouvoir assurer une durabilité d'utilisation des ressources en eau et des sols. Dans la présente approche on fait l'estimation de quelques paramètres de salinité en rapport avec l'usage agricole pour les eaux du canal et les eaux de la nappe phréatique.

6.8.1. Les risques de sodicité et salinité

La salinisation peut entraîner des effets nocifs sur la qualité des eaux pour l'irrigation, et en raison de la fixation du sodium et des chlorures par les colloïdes du sol, la présence du sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation et le sol :

- ➔ Un accroissement de la pression osmotique qui rend l'eau plus difficilement mobilisable par les plantes.
- ➔ Une toxicité de certains ions pour les végétaux (Cl^- , Na^+ etc.).
- ➔ Une dégradation du sol (modification de l'état structural, diminution de la perméabilité, ...etc.). Lorsque la concentration des ions Na^+ à l'état soluble dans le sol est importante, ces ions remplacent le plus fréquemment les cations Ca^{2+} (échange de base) dans le complexe absorbant. Une eau chargée en sels peut provoquer cette action. Ce risque est déterminé à l'aide de la valeur du sodium absorbant (Sodium Absorption Ratio, **SAR**). Pour une même conductivité, le risque est d'autant plus grand que le coefficient est plus élevé. Le SAR est défini par la relation suivante, où les concentrations sont exprimées en mg/l ou en meq/l :

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{\sqrt{\frac{(\text{Ca} + \text{Mg})}{2}}} \quad (\text{mg/l}) \text{ ou } (\text{meq/l})$$

Quatre classes de risque alcalin ont été définies en relation avec le risque salin :

- * Classe **S1** : $\text{SAR} < 10$ \Rightarrow eaux faiblement sodique
- * Classe **S2** : $10 < \text{SAR} < 18$ \Rightarrow eaux moyennement sodique
- * Classe **S3** : $18 < \text{SAR} < 26$ \Rightarrow eaux fortement sodique
- * Classe **S4** : $26 < \text{SAR} < 100$ \Rightarrow eaux très fortement sodique

Les résultats sont reportés dans le (tableau.6.15) et le diagramme de classification des eaux selon la méthode du SAR est représenté sur la (figure.6.32 ; 33 ; 34).

6.8.1.1. Classification de Richards

Cette classification a été proposée par Richards, chercheur à l'USDA de Riverside en Californie, en 1954, elle a été utilisée et l'est encore de nos jours. Elle est très utile et fiable pour caractériser une eau d'irrigation.

Les classes de potabilité des eaux (C1-S1;..... C4-S4) correspondent, dans le diagramme de Richards (figures.6.32 ; 33 ; 34) au SAR (en ordonnées pour la lettre **S**) et à la conductivité (en abscisses pour la lettre **C**).

Ainsi la classe **C1-S1** (coin bas à gauche) est considérée comme excellente car elle correspond à des valeurs minimales du SAR et de la conductivité ; en revanche la classe **C4-S4** (coin haut à droite) est mauvaise, car les valeurs du SAR et de la conductivité sont à leur maximum. Trois classes principales apparaissent-admissible, médiocre et mauvaise-chacune présentant ses propres caractéristiques.

⇒ Les classe (**C₁-S₂** ; **C₂-S₁**) : Elle caractérise une eau moyenne à bonne pour l'irrigation et pouvant être utilisée sans contrôle particulier pour les cultures moyennement tolérants aux sels. Cette classe représente les eaux de faible minéralisation.

⇒ Les classe (**C₃-S₁** ; **C₃-S₂**) : Généralement ces deux classes renferment des eaux admissibles. Il s'agit d'une eau convenant à l'irrigation des cultures tolérant au sel ; sur des sols bien drainés. Cependant l'évolution de la salinité doit être contrôlée.

⇒ Les classes (**C₄-S₁** ; **C₄-S₂**) : Elles représentent les eaux médiocres, fortement minéralisées, susceptible de convenir à l'irrigation de certaines espèces bien tolérantes aux sels et sur des sols bien drainés et lessivés.

⇒ Les classes (**C₄-S₃** ; **C₄-S₄**) : Cette eau est mauvaise et ne convient généralement pas à l'irrigation, mais elle peut être utilisée sous certaines conditions : sols très perméables, bon lessivage, cultures très tolérantes aux sels.

⇒ Les classes (**C₅-S₄** ; **C₄-S₄**) : Déconseillée pour l'irrigation.

⇒ Les classes (**C₅-S₃** ; **C₄-S₃**) : Qualité très mauvaise, à n'utiliser que dans les circonstances exceptionnelles.

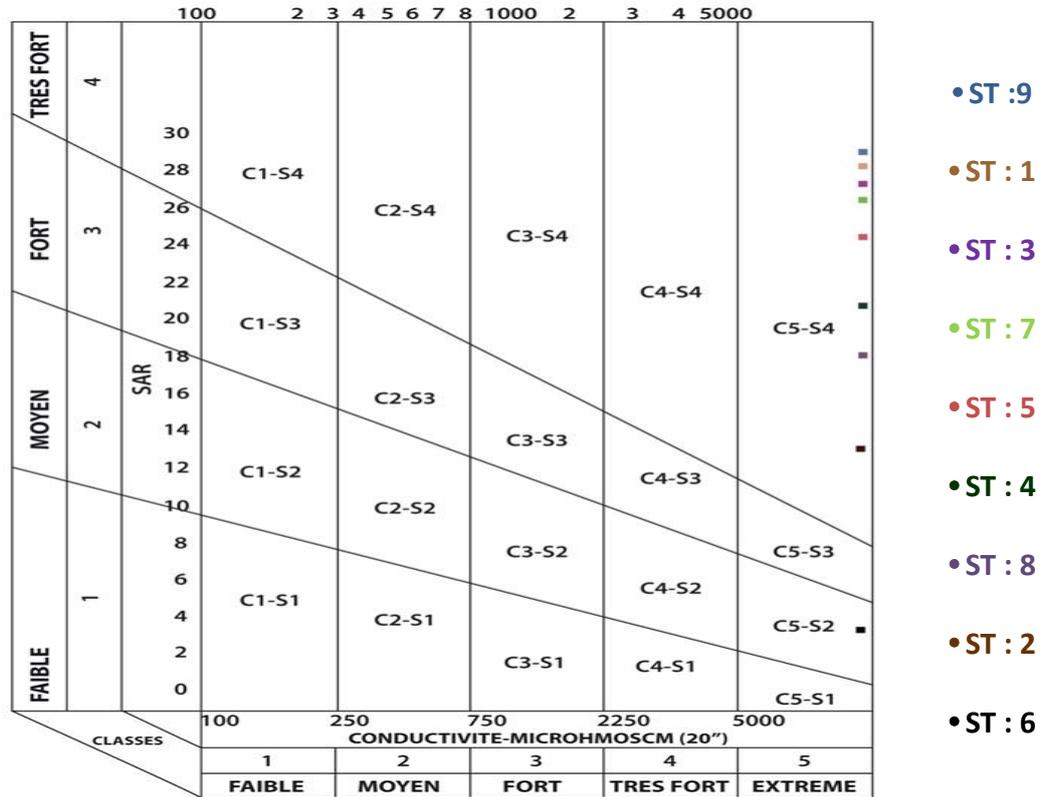


Figure.6.33 : Diagramme de RICHARDS des eaux du canal (MAI- 2010)

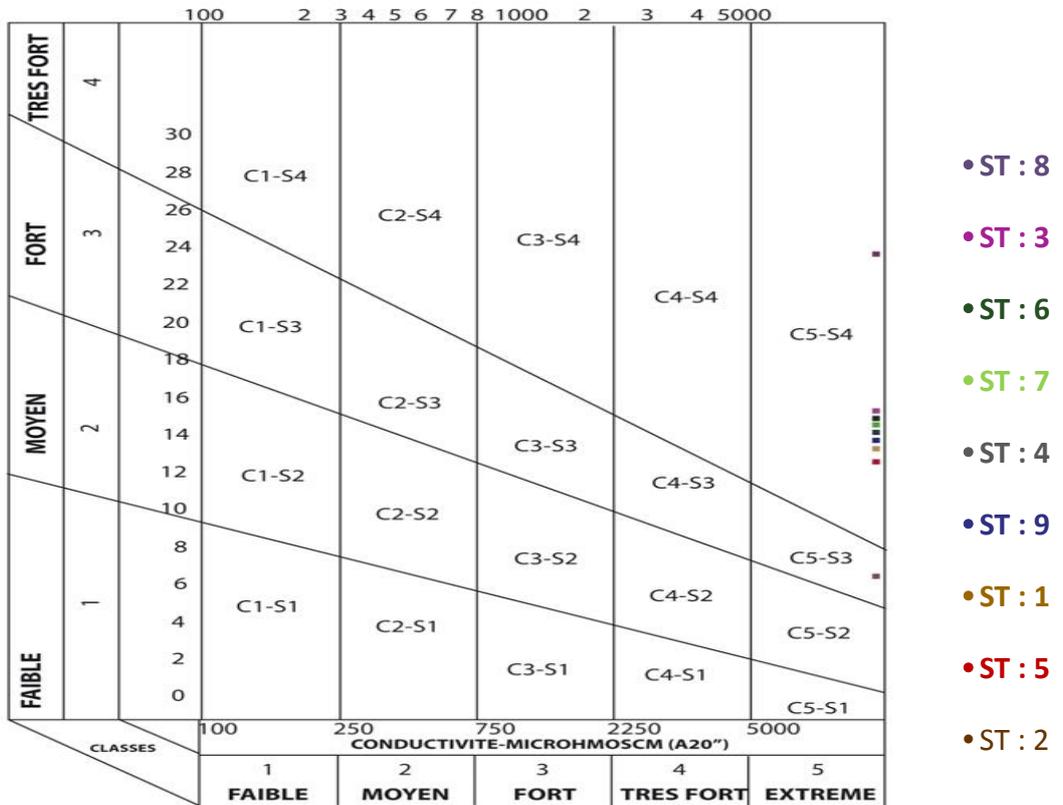


Figure.6.34 : Diagramme de RICHARDS des eaux du canal (OCTOBRE- 2010)

► Conclusion pour la classification de RICHARDS.

Après avoir reporté tous les points d'eau des différentes campagnes et des différentes stations sur le diagramme de Richards (figures.6.32 ; 33 ; 34) selon la conductivité électrique et le SAR, (Tableau.6.15). On a pu dégager la présence des classes suivantes :

— Les classes (C_4S_2 - C_5S_2) représentent des eaux de mauvaise qualité susceptibles d'être utilisées avec beaucoup de précaution dans les sols légers et bien drainés et pour les espèces végétales bien tolérantes aux sels, risques élevés. Lessivage et apports de gypse indispensables. Ces classes sont de sodicité très importante et affectent les stations (ST-5- ; ST-7- et ST-8-) durant la campagne de (Février 2009) et aussi la station-6- durant la période de (Mai-2010).

— La classe C_5S_3 : sont des eaux de très mauvaise qualité fortement minéralisées à n'utiliser que dans des circonstances exceptionnelles, et affectent les stations (ST- 2- ; ST- 3- et ST- 6-) durant la période de (Février 2009) et la station-2- durant la période (d'octobre 2010)

— La classe C_5S_4 : représente des eaux déconseillées pour l'irrigation et très fortement minéralisées. Cette classe affecte pratiquement la majorité des eaux du canal surtout les stations (ST-1-; ST-4- et ST-9-) durant toutes les campagnes de prélèvement et affecte les stations (ST-3-; ST-5-; ST-7- et ST-8-) durant la campagne de (Mai et octobre 2010). On peut confirmer cette classe par les valeurs du SAR enregistrées et qui arrivent jusqu'à 27.10 meq/l à la ST :3, 26.13 meq/l à la ST :7, une valeur de 28 meq/l à la ST :1 avec un maximum enregistré de 28.30 meq/l à la ST : 9, (figure.6.35).

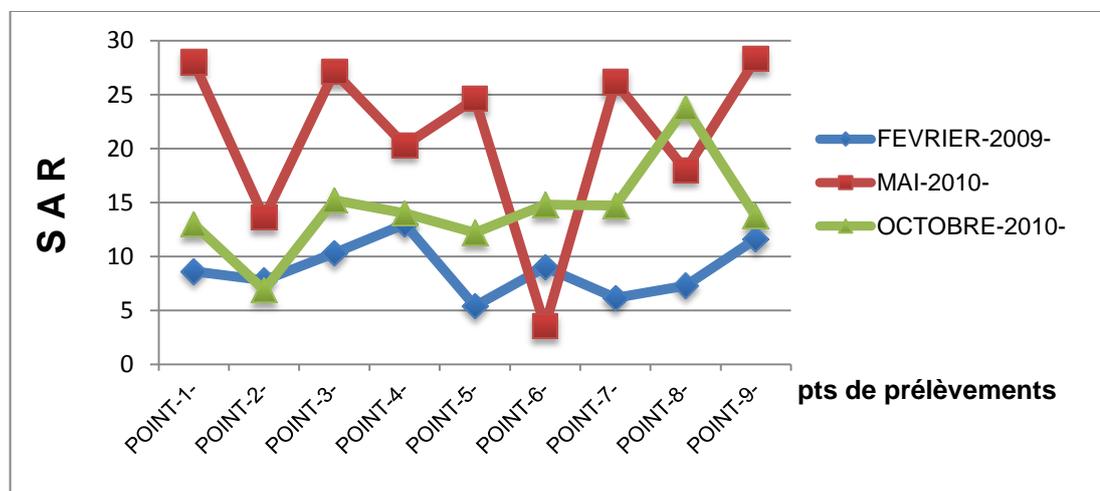


Figure.6.35 : Evolution spatio-temporelle du SAR des eaux du canal

Station	période	C.E (ms/cm)	SAR (mg/l)	SAR (meq/l)	%Na (mg/l)	%Na (meq/l)
1	Février	15.00	48	8,63	51,40	43,24
	Mai	26.30	160	28,00	79,20	72,76
	Octobre	18.60	78	13,00	61,20	49,74
2	Février	14.00	43	7,80	49,32	41,70
	Mai	17.20	79	13,60	64,77	55,36
	Octobre	12.45	39,86	6,90	45,83	36,20
3	Février	9.50	63,3	10,30	69,10	56,71
	Mai	24.40	153,2	27,10	78,77	72,61
	Octobre	21.70	86,1	15,23	59,03	50,50
4	Février	1.10	80,47	13,00	73,20	61,24
	Mai	16.50	113,7	20,30	75,47	69,22
	Octobre	18.69	82,56	14,00	63,40	52,20
5	Février	4.00	30,70	05,40	59,30	49,83
	Mai	22.30	139	24,60	77,10	70,65
	Octobre	18.97	70,60	12,20	59,60	49,70
6	Février	5.50	51,8	9,00	70,22	61,50
	Mai	3.50	20,00	3,55	44,66	36,95
	Octobre	16.91	86,86	14,80	65,70	55,62
7	Février	4.00	35,3	6,16	62,43	53,13
	Mai	18.20	142,2	26,13	79,98	75,54
	Octobre	15.74	85,1	14,72	65,84	56,63
8	Février	4.00	41,08	7,30	66,00	57,88
	Mai	17.40	102,65	18,00	71,67	63,87
	Octobre	15.14	137,10	23,80	75,10	67,40
9	Février	7.20	68,50	11,60	73,60	64,14
	Mai	25.00	160,50	28,30	79,05	72,77
	Octobre	15.85	79,61	13,70	64,02	54,27

Tableau.6.15 : Evolution spatio-temporelle des paramètres de salinité des eaux du canal d'oued Righ

6.8.1.2. Classification de WILCOX

Généralement, les cultures supportent mal les sols saturés en sodium. La classification de WILCOX fondée sur la conductivité électrique et la teneur en sodium dans l'eau, qui est exprimée en pourcentage de **Na%** (figure.6.36), ou on remarque que toutes les valeurs sont élevées surtout au mois de (Mai -2010) ou on note une valeur de 75.54% à la ST :7. Cette relation où tous les ions sont exprimés en (meq/l) ou (mg/l) est définie par :

$$Na\% = \frac{(Na + K)}{(Ca + Mg + Na + K)} \times 100$$

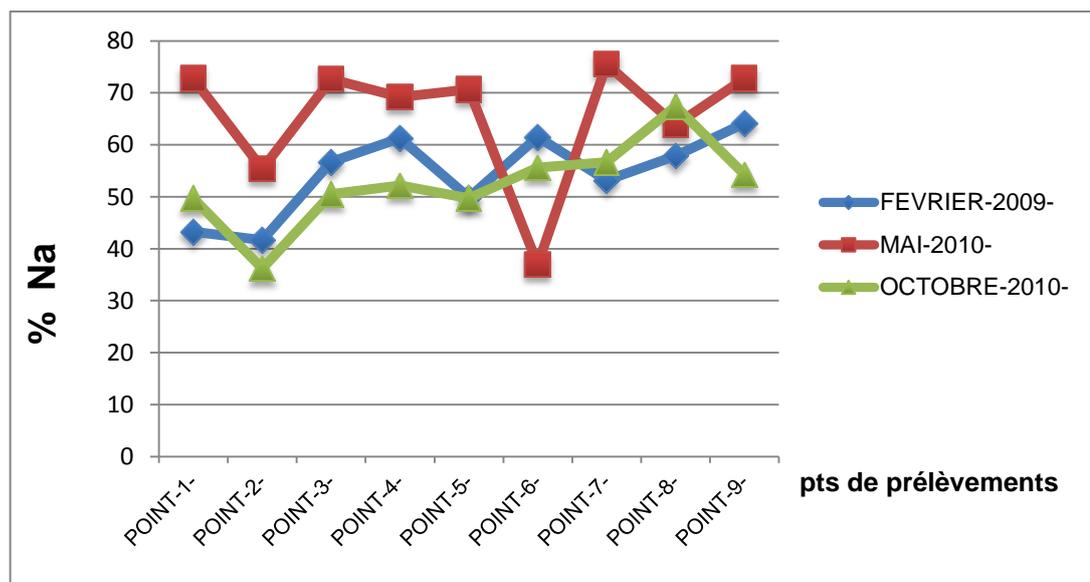
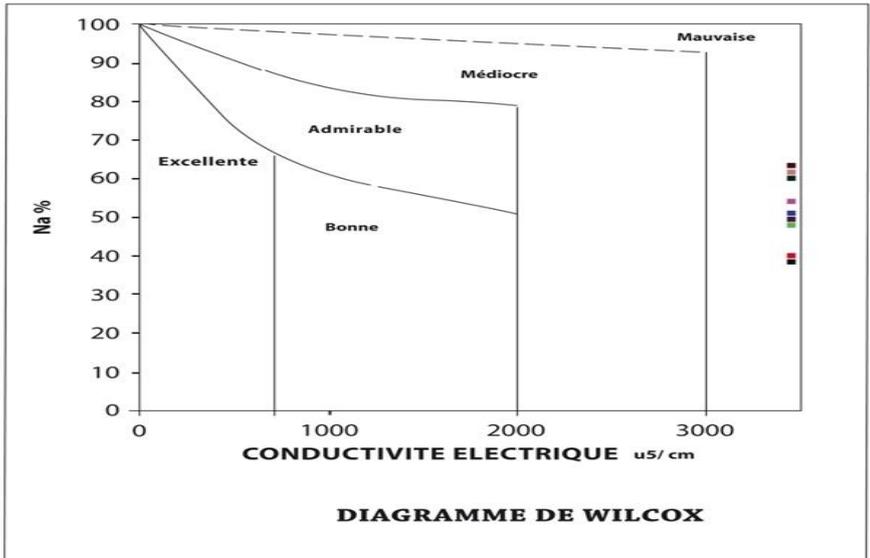


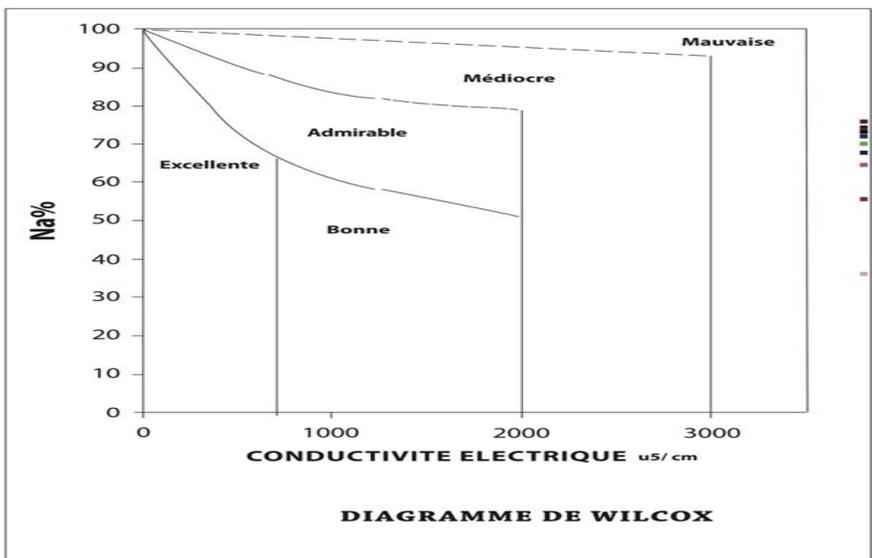
Figure.6.36 : Evolution spatio-temporelle du % Na des eaux du canal

WILCOX définit cinq classes d'eau : excellente ; bonne ; admissible ; médiocre ; mauvaise. Les résultats obtenus sont reportés sur le (tableau.6.15) et la classification des eaux selon la méthode de WILCOX représentée sur les (figures.6.37 ; 38 ; 39), nous a permis de caractériser les eaux du canal couvrant toutes les périodes d'observation, et de ce fait confirmer que les eaux du canal sont de mauvaise qualité.



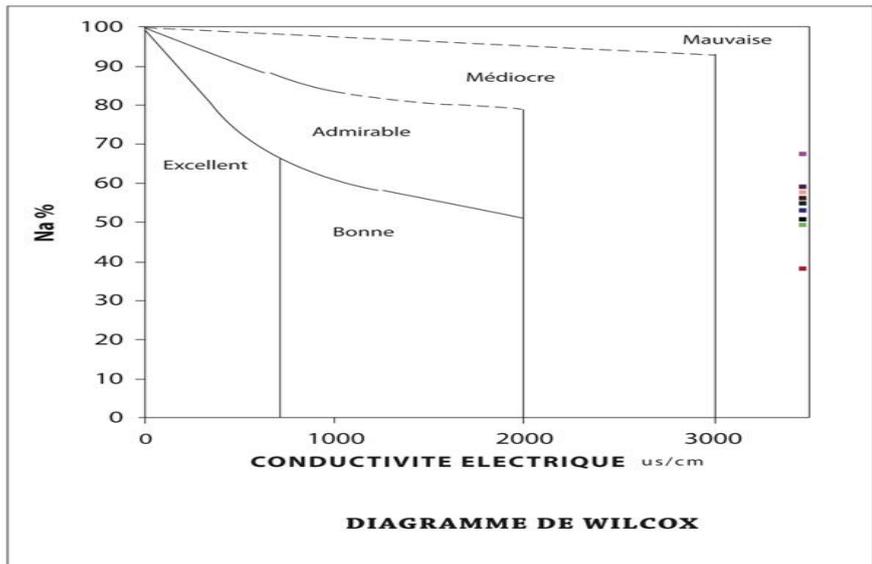
- ST : 9
- ST : 6
- ST : 4
- ST : 8
- ST : 3
- ST : 7
- ST : 5
- ST : 1
- ST : 2

Figure.6.37 : Diagramme de WILCOX des eaux du canal (Février- 2009)



- ST : 7
- ST : 9
- ST : 1
- ST : 3
- ST : 5
- ST : 4
- ST : 8
- ST : 2
- ST : 6

Figure.6.38 : Diagramme de WILCOX des eaux du canal (Mai-2010)



- ST : 8
- ST : 7
- ST : 6
- ST : 9
- ST : 4
- ST : 3
- ST : 1
- ST : 5
- ST : 2

Figure.6.39 : Diagramme de WILCOX des eaux du canal (octobre- 2010)

station	période	bonne	Moyenne à bonne	Moyenne à médiocre	Médiocre	Médiocre à mauvaise	mauvaise	Très mauvaise	Déconseillée pour l'irrigation
1	Février								C ₅ S ₄
	Mai								C ₅ S ₄
	Octobre								C ₅ S ₄
2	Février							C ₅ S ₃	
	Mai								C ₅ S ₄
	Octobre							C ₅ S ₃	
3	Février							C ₅ S ₃	
	Mai								C ₅ S ₄
	Octobre								C ₅ S ₄
4	Février								C ₅ S ₄
	Mai								C ₅ S ₄
	Octobre								C ₅ S ₄
5	Février						C ₄ S ₂		
	Mai								C ₅ S ₄
	Octobre								C ₅ S ₄
6	Février							C ₅ S ₃	
	Mai						C ₅ S ₂		
	Octobre								C ₅ S ₄
7	Février						C ₄ S ₂		
	Mai								C ₅ S ₄
	Octobre								C ₅ S ₄
8	Février						C ₄ S ₂		
	Mai								C ₅ S ₄
	Octobre								C ₅ S ₄
9	Février								C ₅ S ₄
	Mai								C ₅ S ₄
	Octobre								C ₅ S ₄

Tableau.6.16 : Classification de RICHARDS pour les eaux du canal d'oued Righ.

► Classification de RICHARDS pour les eaux de la nappe phréatique (oct-2010-)

L'évolution du SAR et du % Na des différentes stations de prélèvement de la nappe de la région d'oued Righ (octobre- 2010-) sont sur le (tableau.6.17).

station	C.E (ms/cm)	SAR (mg/l)	SAR (meq/l)	%Na (mg/l)	%Na (meq/l)
10	4,81	48,74	8,90	53,28	46,25
11	7,12	50,91	9,12	57,82	49,95
12	17,90	155,3	27,32	75,70	68,62
13	7,60	55,70	10,10	59,30	51,75
14	6,04	50,40	9,18	58,10	51,10

Tableau .6.17 : Evolution du SAR et du %Na des différentes stations de prélèvement de la nappe phréatique de la région d'oued Righ (octobre-2010-).

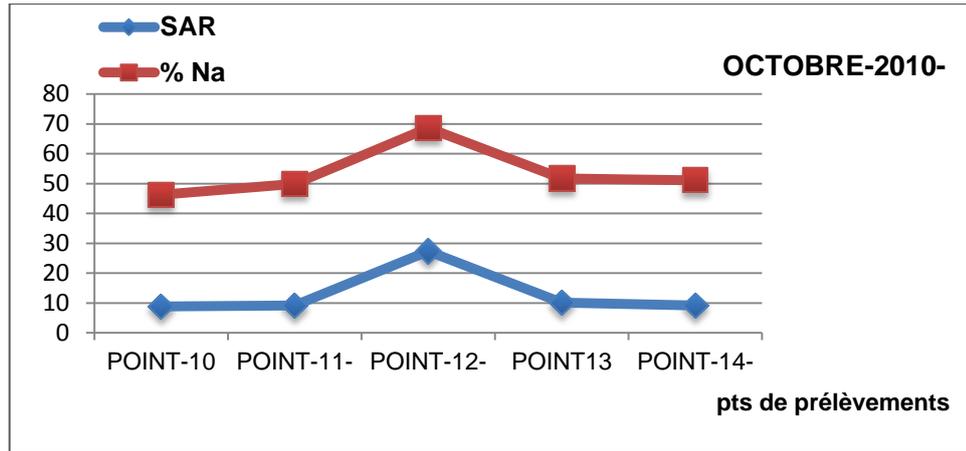


Figure.6.40 :Evolution du S A R et du % Na des eaux de la nappe (oct-2010)

► On remarque que les valeurs du SAR et du %Na présentent un maximum au niveau de la **ST :12**. Avec un SAR arrivant jusqu'à 27.32 meq/l et un %Na valant 68.62 %.

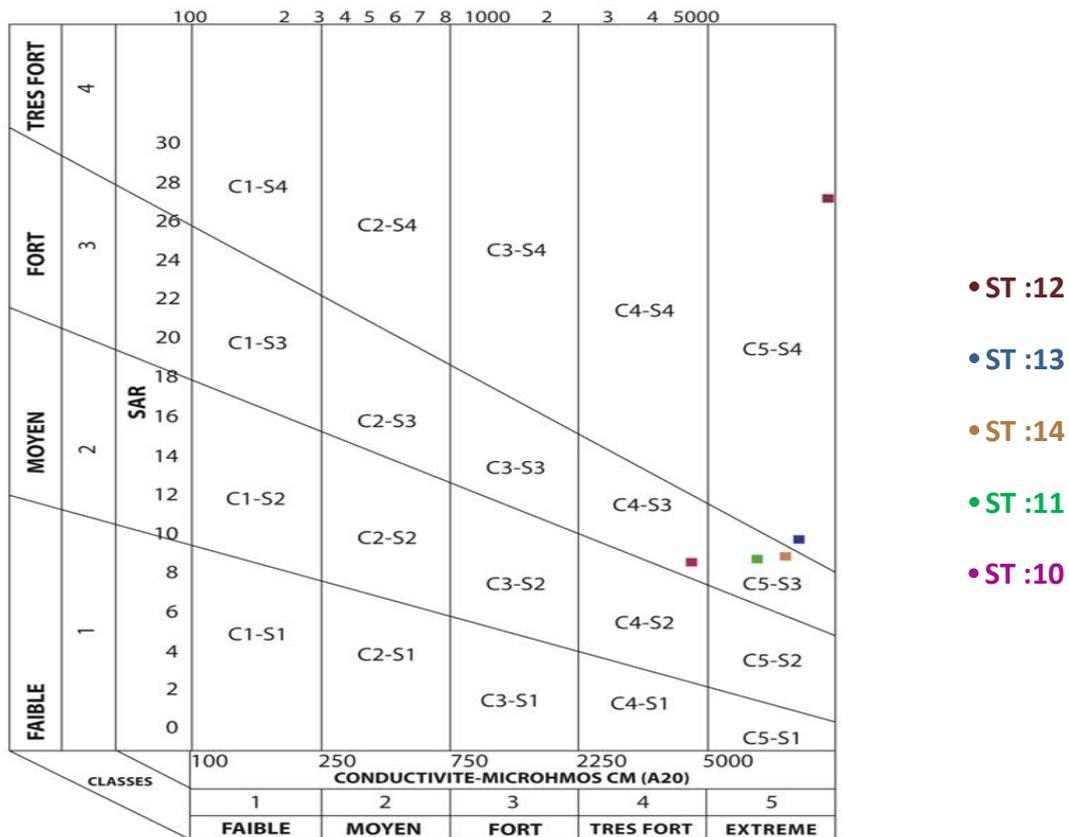


Figure.6.41 : Diagramme de RICHARDS des eaux de la nappe (octobre-2010-)

► Les résultats obtenus d'après l'interprétation du diagramme de richards (figure-6.41) ont permit de faire apparaitre les classes suivantes :

— Les classes (**C₄S₃** - **C₅S₃**) pour les stations (ST-10- ; ST-11- et ST-14-) et qui sont des eaux de très mauvaise qualité et fortement minéralisés, utilisable seulement dans des circonstances exceptionnelles.

— La classe(**C₅S₄**) apparaît au niveau des stations (ST-12- et ST-13-) et qui sont des eaux déconseillées pour l'irrigation car très fortement minéralisée.

Station	bonne	Moyenne à bonne	Moyenne à médiocre	Médiocre	Médiocre à mauvaise	mauvaise	Très mauvaise	Déconseillée pour l'irrigation
10							C ₅ S ₃	
11							C ₅ S ₃	
12								C ₅ S ₄
13								C ₅ S ₄
14							C ₅ S ₃	

Tableau.6.18 : Résultats obtenus d'après l'interprétation du diagramme de RICHARDS des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ (oct-2010)

► Classification de WILCOX des eaux de la nappe phréatique (octobre-2010)

La représentation sur le diagramme de Wilcox a permis de caractériser les eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ, comme une eau de mauvaise qualité et cela pour toutes les stations de prélèvement (figure.6.42).

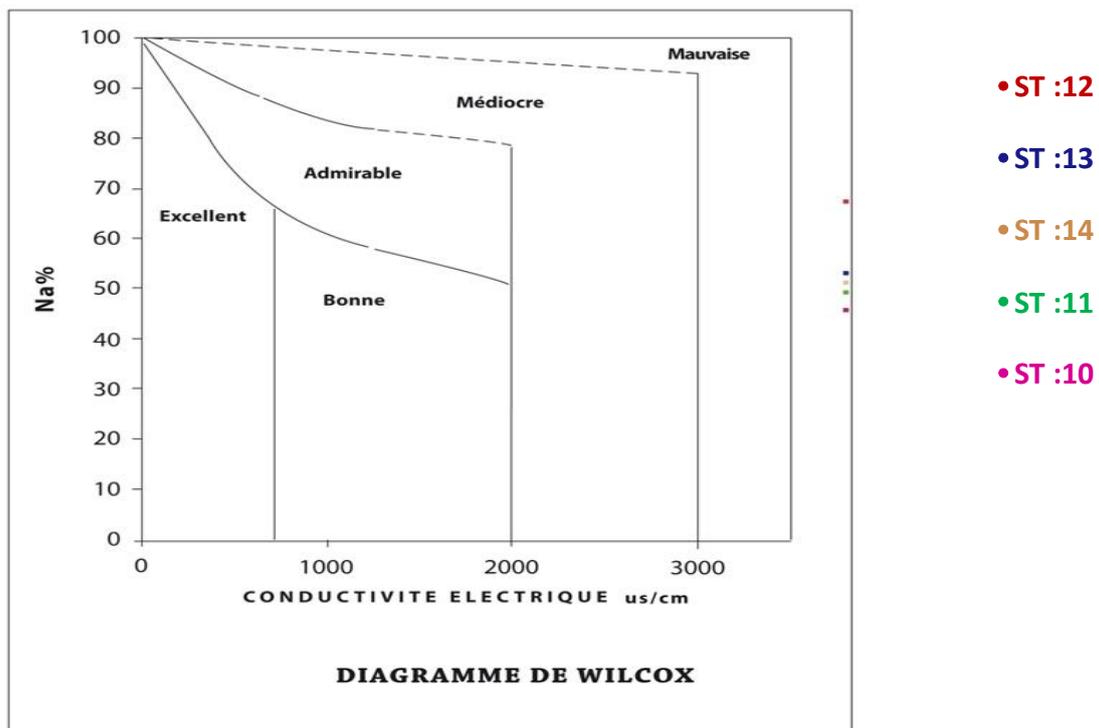


Figure.6.42 : Diagramme de WILCOX pour les eaux de la nappe (octo- 2010)

Conclusion

- ➔ L'étude hydrogéochimique des eaux du canal et des eaux de la nappe phréatique avoisinante permet de dire que les eaux sont caractérisés par une forte salinité et par la présence d'un faciès très dominant et qui est le chloruré sodique, suivit du faciès sulfaté sodique et aussi le faciès chloruré-calcique. Le suivi de la qualité des eaux dans le temps a montré l'effet de l'évaporation sur la minéralisation des eaux du canal et de la nappe.
- ➔ L'évolution des éléments chimiques (Na^+ ; Cl^- ; Ca^{2+} ; SO_4^{2-} ; HCO_3^-) qui caractérisent les formations géologiques principal de la région d'oued Righ, a montré la dominance des ions salifères (Na^+ ; Cl^-) et des gypsifères (Ca^{2+} ; SO_4^{2-}) par rapport à ceux carbonatés (Ca^{2+} ; HCO_3^-) dans l'acquisition de la salinité.
- ➔ La classification de RICHARDS et celle de WILCOX ont prouvé la dégradation de la qualité des eaux du canal et celle de la nappe et qui est de très mauvaise qualité, d'où une éventuelle contamination entre les deux.

6.8.2. Calcul des paramètres des eaux a usage agricole

Les principaux facteurs qui peuvent dégrader la qualité des eaux destinées à l'irrigation se résument donc à la concentration en sels dissous exprimés par les **T.D.S** (Totale des Sels Dissous) et qui est relié à la conductivité électrique (C.E) par la relation :

⇒ 1 mmhos/cm où ds/m x **640** = 1 mg/l où ppm si (C.E) est < **5** ds/m.

⇒ 1 mmhos/cm où ds/m x **800** = 1 mg/l où ppm si (C.E) est > **5** ds/m.

Lorsque les sels sont concentrés dans les solutions du sol, chacun des facteurs dégradant la qualité à un effet sur la croissance de la culture et sur sa production d'une part, et sur les propriétés physiques et chimiques d'autre part.

⊖ L'effet primordial de la salinité totale est de réduire la croissance des cultures et leur production. Car l'excès de sels attirent l'eau loin des racines des arbustes de palmiers, ces derniers peuvent flétrir de stress hydrique, même lorsque le sol à beaucoup d'humidité. La teneur élevé en sel augmente la pression osmotique (**P.O**) dans la solution du sol qui entraîne la diminution concomitante de l'eau disponible pour les palmiers. Cette **P.O** est exprimé par la relation :

$$P.O(atm) = 0,00036 C.E (mmhos/cm) \text{ ou } ds / m$$

⊖ La présence de quantités excessives de sodium échangeable inverse le processus d'agrégation et provoque des agrégats du sol. Ceci est connu comme défloculation et se produit dans les sols sodiques en effet, les sels de sodium ont pour propriété de provoquer la défloculation des substances colloïdales. Or le sol contient une part importante de telles substances dont nombre d'argiles. Les particules ainsi dé-floculées vont généralement boucher les pores libres du sol et provoquer sont imperméabilisation. Ce risque est d'autant plus important que :

⇒ La teneur en argile du sol est élevée, des parcours établis sur des sols sableux peuvent supporter des concentrations de sodium élevées le calcul de l'**E.S.P** s'exprime par la relation suivante :

$$E.S.P = \frac{[1,5 \times SAR]}{1 + [0,015 \times SAR]}$$

Dans cette formule le **SAR** est exprimé en (még/l) et l'**ESP** en pourcentage.

→ Si ESP < 6	⇒	Sol non sodique
→ Si ESP (6 – 10)	⇒	Sol sodique
→ Si ESP (10 – 15)	⇒	Sol modérément sodique
→ Si ESP (15 – 25)	⇒	Sol fortement sodique
→ Si ESP > 25	⇒	Sol très fortement sodique

⊖ De plus des études récentes [100] ont indiqué que la perméabilité du sol dépend de plusieurs autres facteurs tel que la concentration totale de l'eau, la quantité de sodium, la concentration en bicarbonates et la nature du sol lui-même. Les trois premiers termes ont été combinés dans une seule formule donnant ce que l'on appelle l'indice de perméabilité (**I.P**) défini par [101], voir (tableau.6.19).

$$I.P (\%) = \frac{Na^+ + \sqrt{HCO_3^{2-}}}{Ca^{2+} + Mg^{2+} + Na^+}$$

Où tous les termes sont en milliéquivalent par litre (még/l)

Station	période	T.D.S (g/l)	P.O (atm)	E.S.P (%)	I.P (%)
1	Février	12,00	5,40	11,46	44,07
	Mai	21,04	9,47	29,58	73,90
	Octobre	14,88	6,70	16,32	50,52
2	Février	11,20	5,04	10,47	42,63
	Mai	13,76	6,20	16,94	57,08
	Octobre	9,96	4,48	9,38	37,65
3	Février	7,60	3,42	13,38	58,38
	Mai	19,52	8,78	28,90	73,84
	Octobre	17,36	7,81	18,60	50,87
4	Février	8,80	3,96	16,32	62,58
	Mai	13,20	5,94	23,34	70,71
	Octobre	14,95	6,73	17,35	52,86
5	Février	3,20	1,44	7,50	56,30
	Mai	17,84	8,03	26,95	72,00
	Octobre	15,18	6,83	15,47	50,45
6	Février	4,40	1,98	11,90	66,43
	Mai	2,80	1,26	5,06	42,91
	Octobre	13,53	6,08	18,17	56,58
7	Février	3,20	1,44	8,46	59,05
	Mai	14,56	6,55	28,16	77,09
	Octobre	12,60	5,67	18,08	57,77
8	Février	3,20	1,44	9,87	63,82
	Mai	13,92	6,26	21,26	65,27
	Octobre	12,11	5,45	26,31	68,27
9	Février	5,76	2,59	14,82	67,30
	Mai	20,00	9,00	29,80	73,87
	Octobre	12,68	5,70	17,05	55,29

Tableau.6.19 : Les principaux facteurs reliant l'eau au sol des eaux du canal d'oued Righ

Texture	Cultures tolérantes A la salure	Limite supérieur de (C.E) mms/cm de tolérance	Salinité (g/l)
Sable	Palmier	20 (théo) 15 (éxp)	12 (théo) 9,2 (éxp)
	Culture maraichère	8	4,6
	Fourragère	12	7,1
	Grande culture	10	6,8
Limon sableux	Palmier	6 à 10	3,4 à 6,8
	culture maraichère	4,5	2,5
	Fourragère	7	4,0
	Grande culture	6	3,4
Limon	Palmier	8	4,6
	culture maraichère	3,5	2,0
	Fourragère	5	2,8
	Grande culture	4,5	2,5
Limon argileux	Palmier	6	3,4
	culture maraichère	2,4	1,3
	Fourragère	3,5	2,0
	Grande culture	3	4,7
Argile	Palmier	3	1,7
	culture maraichère	1,2	0,6
	Fourragère	1,8	1,0
	Grande culture	1,6	0,9

Tableau.6.20 : Limite supérieure admissible de (C.E) à 25°C de l'eau en fonction de la tolérance de la culture aux sels et à la texture du sol [102]

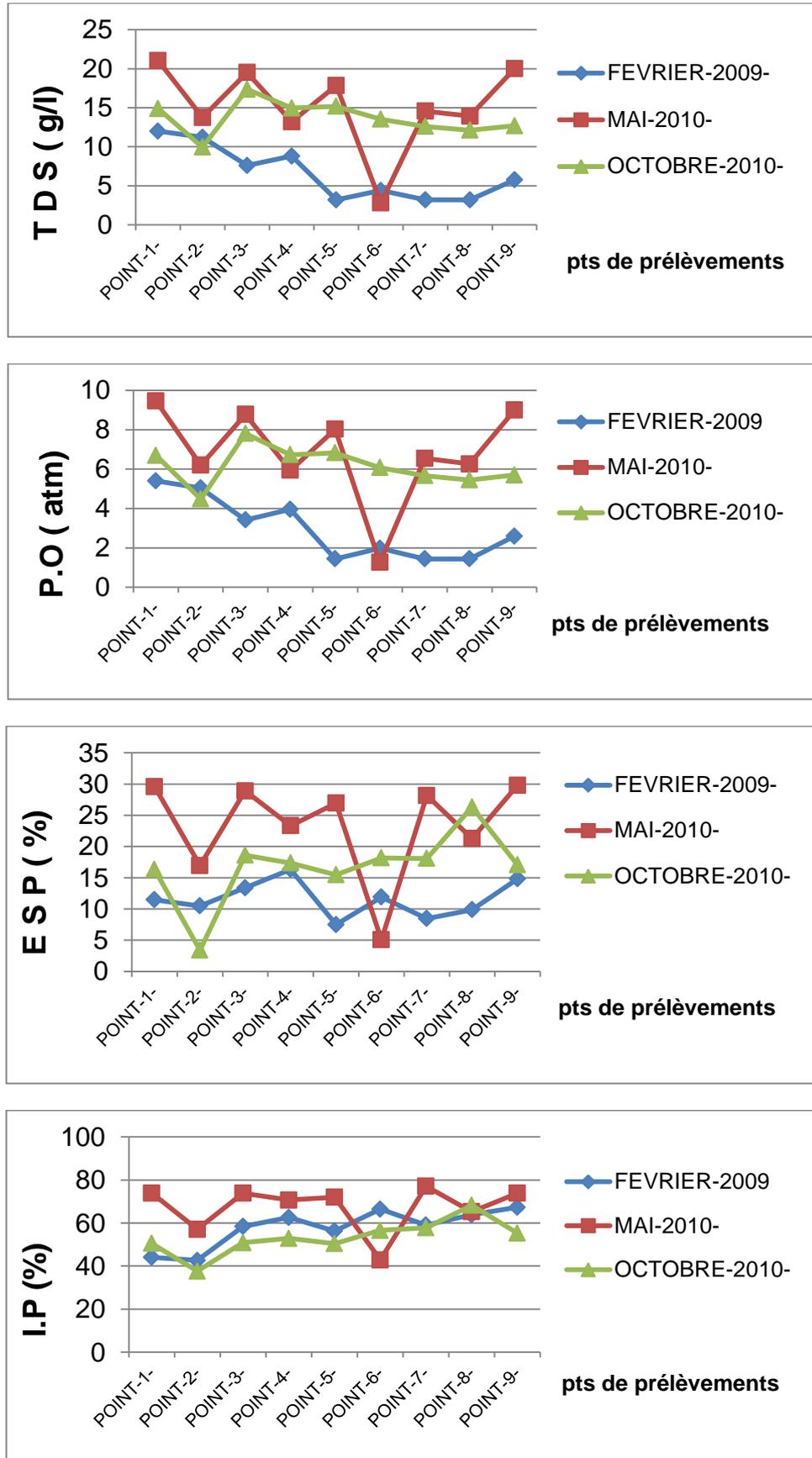


Figure.6.43 : Evolution spatio-temporelle des différents paramètres reliant l'eau au sol (TDS ; PO ; ESP ; IP) des eaux du canal d'oued RIGH

► Interprétation des résultats

⇒ Pour juger du danger affectant les eaux du canal d'oued Righ, et ceux de la nappe phréatique des espaces cultivés, on a pu évaluer les risques qui sont du aux paramètres suivant représentés sur la (figure.6.43):

— Les cultures absorbant l'eau par osmose, cette absorption est conditionnée par la différence de la pression osmotique de leur sève et la solution du sol. La première conséquence de la salinisation tient à la modification du potentiel osmotique de la solution du sol lorsque la teneur en sels croit [103] alors plus il y' a du sel dans l'eau et moins il peut pénétrer d'eau dans la plante, ou l'arbuste au point de retarder où d'empêcher l'absorption de l'eau nécessaire.

— Les valeurs de la (P.O) des eaux du canal (figure.6.43). varient de 1,44 atm la ST-5- et ST-7- en (Février-2009-) période de crue, allant jusqu'à 8,78 et 9 atm à la ST-3- et ST-9- en (Mai-2010-) période de basse pluies et arrivant même jusqu'à 9,47 atm à la ST-1- aussi en (Mai-2010-). Le palmier dattier est parmi les végétaux les plus tolérant aux sels [104]. On signale une croissance des dattiers dans la vallée de Coachella en Californie où la solution du sol pour une teneur en humidité voisine du pourcentage de flétrissement contenait 15000 ppm de sels, soit une concentration osmotique de 7 atm.

— Les valeurs du T.D.S des eaux du canal varient de 3,20 g/l à la ST-5- ; ST-7- et ST-8- en (Février-2009-) et allant jusqu'à 20 g/l à la ST-3- et ST-9- en Mai-2010-) et arrivant jusqu'à 21g/l à la ST-1-en(Mai-2010-), (figure.6.43) ce qui traduit une forte accumulation de sels qui peu nuire à la croissance des palmiers. En effet toutes les cultures irriguées avec de l'eau à 5000 ppm finissent par mourir et seulement un petit nombre survécurent au teneur de 2500 ppm [105] dans la présente étude ces valeurs dépassent parfois ces normes d'où le dépérissement des palmiers, sous Stress hydrique les valeurs de TDS > 10000 ppm devrait subir un excellent drainage suivie d'un programme de lixiviation, et plus attentivement d'irrigation.

► Cependant concernant les eaux de la nappe phréatique, (tableau.6.21) surtout à la **ST-12-** où les valeurs enregistrées sont relativement plus importante par rapport aux autres stations et par rapport à ceux du canal, mais reste sans danger pour la culture. Les plantes halophytes sont parmi celles qui sont les plus tolérantes aux sels, mais à des limites.

Station	T.D.S (g/l)	P.O (atm)	E.S.P (%)	I.P (%)
10	3,85	1,73	11,77	47,40
11	5,70	2,56	12,03	51,16
12	14,32	6,44	29,07	69,20
13	6,08	2,73	13,16	53,71
14	4,83	2,17	12,10	52,38

Tableau.6.21:Evolution des paramètres reliant l'eau au sol de la nappe (oct-2010)

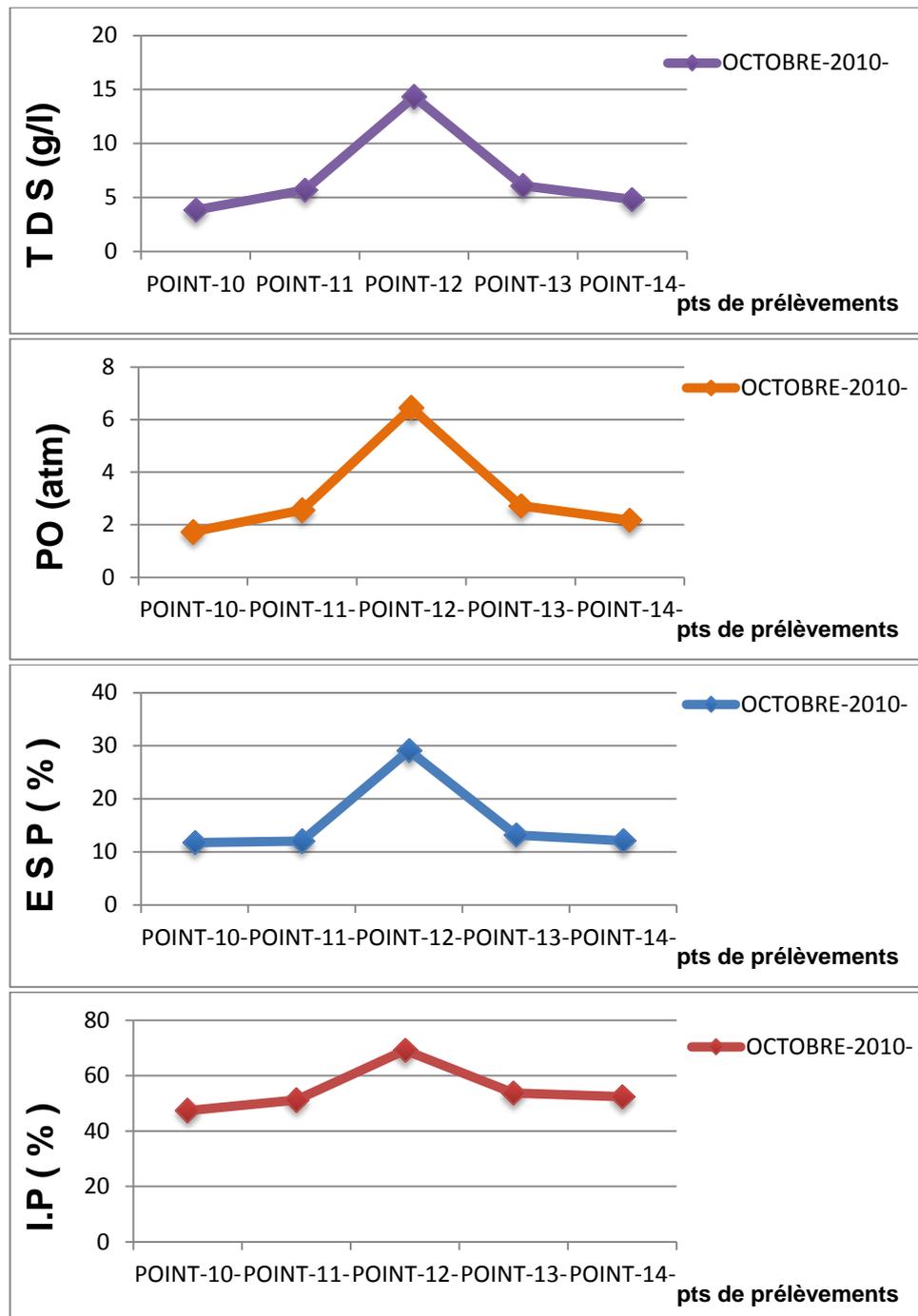


Figure.6.44 :Evolution des paramètres reliant l'eau au sol (TDS ; PO ; ESP ; IP) de la nappe phréatique de la région de oued Righ (octobre-2010)

- Pour les eaux de la nappe phréatique les valeurs des T.D.S sont moins importantes et varient de 3,85 g/l à 14,32 g/l à la ST-12-(figure.6.44).
- La sodicité s'exprime sous forme de sodium échangeable (E.S.P), étant donné que le système racinaire de la plupart des végétaux se développe surtout dans les 30 premiers centimètres du sol, on prêtera donc d'avantage attention au sol superficiel, sauf pour le cas des cultures arboricoles, ou quand une sodicité du sous-sol est un facteur important pour le drainage. En relevant les valeurs de notre étude on parvient à estimer l'E.S.P des eaux du canal qui arrivent jusqu'à 29,80% à la ST-1-;ST-3- ST-7- et ST-9- en (Mai-2010-) (figure.6.43) on note qu'à des valeurs supérieurs à 25% l'eau est considérée comme très fortement sodique, ce qui est le cas de la majorité des eaux du canal, sauf en quelque station où les eaux peuvent être considéré comme modérément à fortement sodique .
- Cependant les valeurs de l'E.S.P des eaux de la nappe phréatique varient entre 11,77% à la ST-10- jusqu'à 29,07% à la ST-12- d'où on peut dire que ces eaux sont modérément sodique à très fortement sodique (figure.6.44).
- La perméabilité du sol du canal d'oued Righ a été évalué grâce à l'indice de perméabilité (I.P) qui très important pour pratiquement l'ensemble du canal, ce qui traduit si une eau produira où non la salinisation du sol qui rendrait celui-ci impropre à la culture. Le (IP) varie entre 50% jusqu'à 74%.(figure.6.43)
- Les eaux de la nappe phréatique présentent aussi un (IP) élevée allant de 47,5% jusqu'à 69,20% à la ST-12-(figure.6.44)
- On peut déduire de notre étude que la salinité à d'autre conséquences et effets sur la qualité des cultures. Elle cause généralement une réduction de la taille des produits agricoles, des brûlures sur les feuilles et une perte des propriétés organoleptiques dans les fruits.

Conclusion

Les problèmes se posent beaucoup dans les pays tempérés tel que le SAHARA. Les pluies y sont rares, l'atmosphère y est très sèche, l'évaporation très intense et la transpiration végétale accentuée, induisant une évapotranspiration intense qui est le facteur principale de la salinité accentuée qui peut expliquer la dégradation de la qualité des eaux tels que les eaux du canal d'oued Righ ainsi que de celles de la nappe phréatique avoisinante où une dégradation du produit agricole et qui est le palmier dattier aux alentours immédiats de ce secteur.

Les eaux du canal et de la nappe sont caractérisés par une forte salinité d'où une (C.E) et un (SAR) supérieur à la norme acceptable, une (PO) et un taux de (T.D.S) ainsi que du (IP) défavorable pour une production riche et durable, du moment où les eaux de la nappe se trouvent contaminées par les eaux du canal, surtout à la station-12- et qui est une zone cultivée pas loin du canal et dont le palmier dattier souffre d'intolérance aux sels, et parfois même de remonté de la nappe suite à la texture du sol qui devient compacte sous l'effet de l'ion sodium et n'arrive pas à absorber l'eau de la surface du sol. Car plus le sol est salée, plus la P.O est élevée et plus il est difficile aux racines des arbustes d'extraire l'eau de la réserve du sol. Cela a pour effet de ralentir la croissance sous l'effet d'un stress hydrique. La concentration en sels dépend de la teneur en eau du sol et augmente avec le dessèchement. C'est pourquoi l'excès de sels qui affecte les cultures est atteint beaucoup plus vite dans un sol sableux que dans un sol argileux qui contient plus d'eau. La même quantité de sels est donc plus dangereuse dans un sol sableux que dans un sol argilo-limoneux ou un sol argileux, produisant une solution très salée très rapidement avec l'évaporation.

CHAPITRE 7

LES ELEMENTS INDICATEURS DE LA POLLUTION URBAINE

7.1. Introduction

Les activités humaines passées ou présentes, et en particulier. Les activités industrielles, mais aussi agricoles et domestiques, libèrent dans l'environnement des produits et des substances potentiellement dangereuse, appelés contaminants ou polluants. Ces derniers sont rejetés vers les milieux naturels (oueds, rivières, lacs...) leurs présence, notamment dans les eaux souterraines, pose un problème transdisciplinaire à l'interface des écosystèmes et des ressources hydriques. La région d'oued Righ a connu durant ces dernières années, une dégradation des eaux du canal qui devient un exutoire dans lequel sont déversés, sans aucun traitement préalable, les effluents domestiques des quartiers avoisinants. Près de 67% d'eaux usées est déversée sans traitement à travers des stations de refoulement dans le canal d'oued Righ .Dans la commune de Touggourt il existe une station de relevage permettant l'acheminement des eaux usées vers AIN SAHRA I, ainsi que deux stations de relevage pour alimenter la station STEP en eaux usées à traiter dans la commune de Tibesbest, trois station de relevage, dont une en réhabilitation, déversent dans le collecteurs de la station d'épuration STEP. IL existe également une station de refoulement pour acheminer l'eau d'égout vers le canal d'oued Righ.

Les eaux usées produites dans la commune de ZAOUIA EL ABIDIA sont acheminées sans traitement vers le canal. Cependant, les eaux usées après avoir été traité et épuré au niveau de la STEP, sont tout simplement rejetées, comme les eaux non traitées, dans l'oued Righ. La présente étude vise donc à délimiter les zones contaminées et à déterminer l'origine de ces contaminants et polluants dans le canal d'oued Righ car le contrôle de cette contamination passe par une bonne connaissance des sources de pollution, et des conditions hydrodynamique et lithologiques de la nappe phréatique qui influe sur leur mobilité, dont le résultat sera la dégradation du patrimoine phoenicole.

7.2. Critères globaux de pollution

Pour évaluer et mesurer globalement la pollution des eaux résiduaires et urbaines, il s'agira de distinguer l'évaluation de pollution par temps sec de celle par temps de pluie. Compte tenu de la diversité de la nature des eaux résiduaires ainsi que des systèmes de transfert et de dilution, il n'existe pas de technique de prélèvement satisfaisante en toutes circonstances. Il est essentiel d'obtenir des prélèvements représentatifs du rejet du milieu récepteur en fonction du but à atteindre. L'objectif des critères globaux de pollution est d'évaluer grâce à un paramètre unique le risque polluant associé aux effluents. Parmi ces paramètres on note, les M.E.S ; les Résidus Sec ; la turbidité ; la DBO₅ ; la DCO ; et les différentes formes d'azote (NK ; N-NH₄⁺ ; N-NO₂⁻ et N-NO₃⁻) ; les phosphates et phosphates total, sans oublier, le TH, le T.A et T.A.C et les M.O. ces analyses ont fait l'objet de notre étude sur 9 stations parcourant le canal et 5 points piézométriques à partir de la nappe phréatique avoisinant le canal et cela durant trois campagnes de prélèvement et qui sont (Février-2009) ; (Octobre et Mai 2010) afin d'apprécier l'impacte des rejets urbains sur la qualité des eaux du canal où ils sont déversés, et de pouvoir conclure sur une éventuelle contamination de la nappe phréatique avoisinant le canal.

7.2.1. Matières organiques

- ➡ La demande biochimique en oxygène (DBO) c'est la quantité d'oxygène nécessaire à la dégradation de la matière organique biodégradable d'une eau par le développement des micro-organismes, pendant 5 jours à 20°C, on parle alors de la DBO₅, elle est utilisée pour le suivi des effluents urbains. Elle est exprimée en mg de O₂/ l.
- ➡ La demande chimique en oxygène (DCO) c'est la quantité d'oxygène nécessaire pour oxyder la matière organique (biodégradable ou non) d'une eau à l'aide d'un oxydant le bichromate de potassium. Ce paramètre offre une représentation plus ou moins complète des matières oxydables présente dans l'échantillon, elle est exprimée en mg de O₂/ l. Généralement la (DCO) est égale à 1,5 à 2 fois la (DBO) pour les eaux usées urbaines et 1 à 10 pour tout l'ensemble des eaux résiduaires industrielles. La relation empirique de la (M.O) en fonction de (DBO₅) et (DCO) est donnée par l'équation suivante :

$$M.O = \frac{(2DBO_5 + DCO)}{3}$$

➔ Les matières en suspension (M.E.S) représentent les matières qui ne sont ni à l'état dissous, ni à l'état colloïdal, donc filtrable. Elles sont organiques et/ou minérales et permettent une bonne évaluation du degré de pollution d'une eau. Les M.E.S donnent à l'eau un aspect sale et trouble, ils sont exprimés en (mg/l).

➔ Les matières organique (M.O) provenant de la nature, de l'agriculture, des industries, des déchets animaux et humains.....ect. Dans une eau polluée par des (M.O), la teneur en oxygène sera plus faible. La (M.O) est exprimée en (mg/l).

7.2.2. Les matières azotés

L'azote rencontré dans les eaux usées peut avoir un caractère organique où minéral, il se présente sous quatre formes.

- ➔ L'azote organique se transforme en azote ammoniacal.
- ➔ L'azote ammoniacal (NH_4) traduit un processus d'ammonification de la matière organique azotée. Les ions ammoniums subissent une nitrification par action des bactéries nitrifiantes.
- ➔ L'azote nitreux (NO_2^-) provient d'une oxydation incomplète de l'azote ammoniacal ou par une réduction des nitrates par dénitrification. Les nitrites sont instables et sont rapidement transformés en nitrates.
- ➔ L'azote nitrique (NO_3^-) est produit par nitrification de l'azote ammoniacal. Il joue un rôle important dans le développement des algues et participe au phénomène d'eutrophisation, tous ces paramètres sont exprimés en (mg/l).
- ➔ L'azote KJELDAHL (NTK) permet de doser l'azote organique contenu dans une eau. Il représente l'azote ammoniacal et l'azote organique.

$$\text{NTK (azote total Kjeldahl)} = \text{N (organique)} + \text{N (ammoniacal)}$$

7.2.3. Les Composés phosphorés

Le phosphore est l'un des composants essentiels de la matière vivante. Les composés phosphorés ont deux origines, le métabolisme humain et les détergents. Dans les eaux usées le phosphore se trouve soit sous forme d'ions

ortho phosphates isolés, soit sous forme d'ions phosphates condensés ou sous forme d'ions phosphates condensés avec des molécules organiques. Les ortho phosphates correspondant au groupement PO_4^{3-} , ces phosphates sont fixés facilement par le sol, leur présence dans les eaux souterraines est souvent liée à la nature des terrains traversés, à la décomposition de la matière organique, aux engrais phosphatés industriels entraînés par lessivage ou par infiltration. Les poly phosphates sont utilisés comme agents de peptisation, d'émulsification, de dispersion, d'inhibition,...etc. et sont utilisés dans des domaines aussi divers que les industries de poudre à laver, les industries agroalimentaires, les industries pharmaceutiques comme inhibiteur de précipitation et corrosion exprimée en(mg/l)

7.2.4. Le résidu sec (R.Sec)

La détermination du résidu sec sur l'eau non filtrée permet d'évaluer la teneur en matières dissoutes et en suspension d'une eau ; c'est le résidu total. Si l'eau est filtrée préalablement à la mesure, le résidu correspond alors aux matières dissoutes. Le résultat obtenu est influencé par la température et la durée de la dessiccation. En effets à 100-105°C, une partie ou la totalité tant de l'eau interstitielle que de l'eau de cristallisation de certains sels peut s'évaporer.

Vers 105-110°C, les hydrogénocarbonates se transforment en carbonates, ce qui entraîne une perte d'anhydride carbonique. Le résidu sec est exprimé en (mg/l), une fois les sels dissous sont récupérés après dessiccation.

7.2.5. La turbidité

La turbidité permet de préciser les informations visuelles de la couleur de l'eau. Elle est causée par les particules en suspension dans l'eau (débris organiques, argiles, limons, organismes microscopiques,.....etc.).

Elle se mesure en NTU (Néphélométric Turbidités Unit). Où les classes de Turbidités usuelles sont les suivantes :

NTU	<	5	—————>	eau incolore	
5	<	NTU	<	30 —————>	eau légèrement colorée
NTU	>	50	—————>	eau colorée	
NTU	>	200	—————>	eau de surface	

7.2.6. Les paramètres de dureté

➔ Le TH (Titre hydrotimétrique) ou dureté de l'eau .Le TH indique la teneur globale en sel de calcium et de magnésium qui sont responsable de la dureté de l'eau. L'unité de mesure du TH est le degré français où :

- 1° f = 4 mg/l de calcium où bien
- 1° f = 2,4 mg/l de magnésium où encore
- 1° f = 10 mg/l de CaCO₃ (carbonate de calcium où "le tartre")

Pour fixer les idées on considère que :

- De 0 à 5 °f → une eau est très douce.
- De 5 à 15 °f → une eau est douce.
- De 15 à 25 °f → une eau est moyennement dure.
- De 25 à 35 °f → une eau est dure.
- A plus de 35 °f → une eau est très dure.

➔ Le TA et le TAC (Titre alcalimétrique et titre alcalimétrique complet): Ces deux valeurs permettent de connaître les concentration en bicarbonates, carbonates et éventuellement en hydroxydes (bases fortes) contenues dans l'eau. Le TA et TAC s'exprimé en °f (degré français).

- 1° f = 3,4 mg/l de OH⁻ (hydroxyde)
- 1° f = 6,0 mg/l de CO₃⁻ (carbonate)
- 1° f = 12,2 mg/l de HCO₃⁻ (bicarbonate)

★ Grille de classification des eaux usées : source, ANRH de Blida 2010.

paramètres	Bonne	Moyenne	Polluée	Très polluée
DBO ₅ (mg/l)	< 5	5 - 10	10 - 15	> 15
DCO (mg/l)	< 20	20 - 40	40 - 50	> 50
M.O (mg/l)	< 5	5 - 10	10 - 15	> 15
O ₂ dissous %	90 - 100	50 - 90	30 - 50	< 30
NH ₄ (mg/l)	0 – 0,01	0,01- 0,1	0,1 - 3	> 3
NO ₂ (mg/l)	0- 0,01	0,01- 0,1	0,1 - 3	> 3
NO ₃ (mg/l)	< 10	10 - 20	20 – 40	> 40
PO ₄ (mg/l)	0- 0,01	0,01- 0,1	0,1- 3	> 3

Tableau.7.1 : Grille de classification des eaux usées selon la norme Algérienne

station	période	M.E.S (mg/l)	R.sec (mg/l)à105°C	M.O (mg/l)	DBO ₅ (mg/l) de O ₂	DCO (mg/l) de O ₂	TH (° f)	TAC (° f)	TA (° f)	NO ₂ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	NTK (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P/total (mg/l)
1	Février	2616,8	9900	51,2	10	115,2	368	28	0	0,181	2,640	5,2	0,89	3,43
	Mai	3424,5	16528	50,50	65	31,8	278	31	0	0,195	2,782	9,1	0,459	1,87
	Octobre	2957,6	14421	48,60	18	57,6	548	34	0	0,209	3,232	6,02	1,193	6,02
2	Février	2439,8	9240	51,8	8	132,8	328	27	0	0,01	0,195	1,81	0,18	0,86
	Mai	2898,6	11346	51,3	20	53,93	303	29	0	0,000	0,279	2,57	0,061	0,32
	Octobre	982,8	9034	46,0	13	25,36	389	31	0	0,01	0,216	0,3	0,337	0,054
3	Février	1061,2	6270	47,6	6	128,1	171	28	0	0,031	2,12	3,09	0,89	0,58
	Mai	3189,9	15728	48,5	18	56,48	265	32	0	0,069	5,032	4,5	1,071	0,39
	Octobre	945,1	16064	57,6	10	172,0	582	20	0	0,01	0,05	0,63	0,49	0,1
4	Février	1678,3	7260	62,8	12	173,12	187	25	0	0,11	2,81	4,18	2,12	1,77
	Mai	2214,6	10338	64,0	22	112,0	206	21	0	0,353	5,972	5,65	4,07	2,04
	Octobre	1378,6	12808	99,0	10	53,76	425	27	0	0,01	3,677	4,32	1,683	0,77
5	Février	210,7	2640	48,7	9	140,46	81	31	0	0,08	4,84	8,61	1,68	0,98
	Mai	2726,2	13975	52,5	18	127,08	264	33	0	0,134	8,438	10,55	2,785	2,35
	Octobre	2929,9	13352	104,0	15	172,50	407	30	0	0,01	3,620	3,12	0,796	0,7
6	Février	498,7	3630	63,1	12	178,8	85	22	0	0,15	1,89	10,71	1,25	0,54
	Mai	363,6	2249	55,8	21	104,25	95	17	0	0,000	0,000	6,60	0,000	1,02
	Octobre	2524,8	13259	110,0	14	38,46	367	31	0	2,243	5,463	17,20	1,561	0,00
7	Février	210,2	2640	52,1	10	130,36	80	27	0	0,26	5,02	5,10	2,91	0,34
	Mai	2918,1	12051	49,0	20	97,11	181	28	0	0,254	7,848	3,91	3,519	0,84
	Octobre	4158,3	12544	102,0	18	35,3	335	32	0	0,319	5,797	4,46	1,744	0,084
8	Février	166,5	2640	50,0	11	133,6	73	25	0	0,28	2,21	6,22	1,75	0,72
	Mai	2476,4	11177	44,5	18	83,87	261	23	0	0,096	0,542	1,54	0,306	0,23
	Octobre	422,9	8367	94,0	22	30,72	344	30	0	0,408	6,350	9,08	2,02	0,033
9	Février	528,7	4750	53,4	7	143,2	111	28	0	0,01	4,20	7,46	1,58	1,20
	Mai	3257,1	16041	52,5	18	67,51	284	30	0	0,000	4,187	4,95	1,132	1,01
	Octobre	1487,9	12192	111,0	16	29,2	349	28	0	0,01	5,703	6,9	1,867	0,04

Tableau.7.2: Représentation de tout les paramètres de pollution des eaux du canal d'oued Righ durant les campagnes (février-2009-)et(Mai; octobre-2010

► Interprétation des résultats

⇒ Les paramètres pH et conductivité électrique ont déjà été mentionnés dans notre étude. Où le pH varie entre 7,3 à 8,3 et la (C.E) est très élevée.

⇒ La couleur des eaux du canal est trouble à légèrement coloré même après filtration, cette eau n'est pas limpide, et c'est les particules les plus fines "colloïdes" qui rendent l'eau trouble et c'est ce que l'on appelle la turbidité.

⇒ Les résultats obtenus pour le résidu sec s'avèrent très importants partant de 3630 mg/l à 16528 mg/l la majorité des eaux du canal présentent un taux de résidu sec élevée surtout au mois de (Mai et Octobre-2010-) suite à l'évaporation des eaux, on note des valeurs un peu moins élevées dans les 9 stations et cela en (Février-2009-) période de crue, ceux-ci impliquent que les eaux du canal sont très chargées en matières dissoutes (figure.7.1). En effet les eaux du canal sont de mauvaise qualité et leur teneur en sels peut dépasser les 12 g/l de résidu sec dans la majorité des solutions de rejets. Il faut noter que la limite supérieure admise étant de 10 g/l pour une agriculture durable [106]. Cette forte teneur en sels conjuguée à la présence d'une nappe phréatique proche de la surface du sol, est l'une des principales causes de la stérilisation de plusieurs zones agricoles.

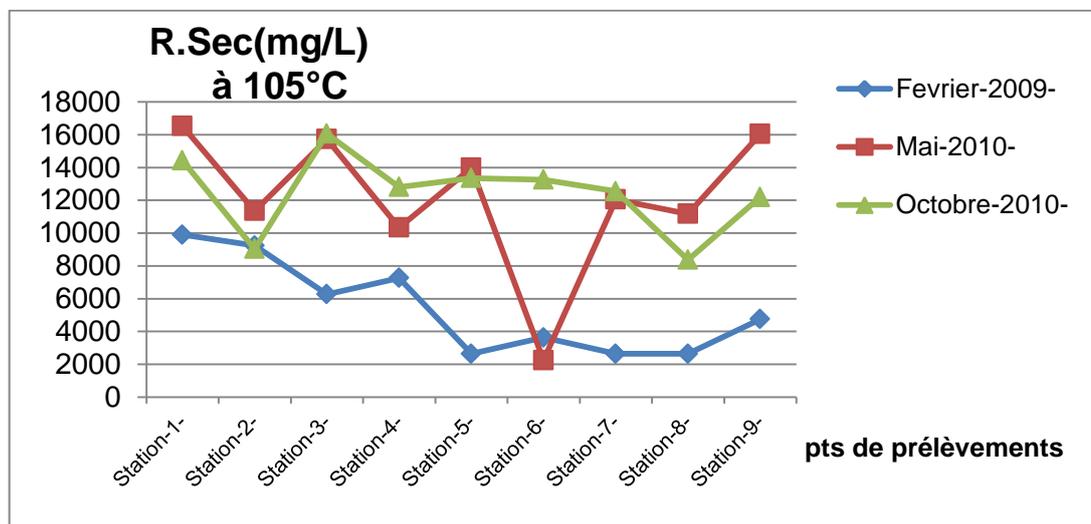


Figure.7.1 : Evolution spatio-temporelle du Résidu Sec des eaux du canal

⇒ Les matières organiques ; selon la classification des eaux usées, où une eau présentant un taux de M.O >15 mg/l est classée comme une eau très polluée. On peut voir sur le (tableau.7.2) que les eaux du canal sont en majorité très polluées et

présent un taux de M.O > 50 mg/l dans la majorité des cas de leur évolution spatiotemporelle où elles varient de 46 mg/l à la ST-2- (octobre 2010) jusqu'à un maximum de 111 mg/l à la ST-9- (octobre 2010) (figure7.2). Cependant si cette eau contamine la nappe phréatique qui est en relation avec la culture du palmier, elle peut jouer deux rôles : le premier est que la présence de la matière organique dans un sol, joue un rôle considérable sur la structure de celui-ci, en améliorant l'aération, la mouillabilité des sols argileux [107], la (M.O) contribue et facilite l'obtention d'un état structural stable [108] par conséquent, il y aurait une meilleure porosité , une bonne perméabilité , une meilleur aération et un meilleur réchauffement du sol [109] comme elle joue un rôle important dans la rétention de l'eau [110], et sous l'action des microorganisme du sol, elle libère des éléments minéraux qui sont indispensables à la nutrition et au développement des cultures [111].

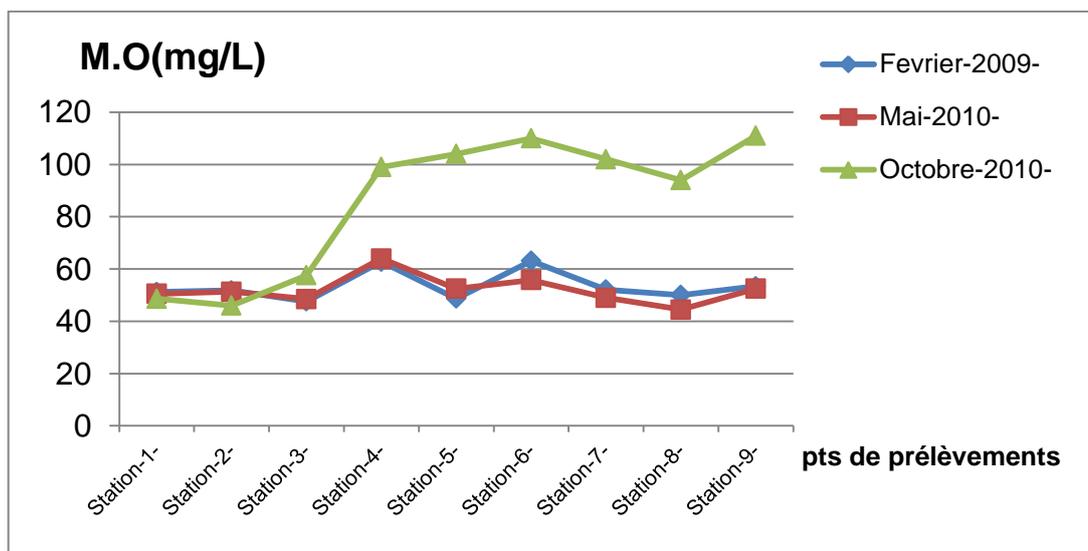


Figure.7.2 : Evolution spatio-temporelle des (M.O) des eaux du canal

Néanmoins la salinité qui règne dans les eaux du canal et voir même dans la nappe phréatique soutenant les palmeraies présente une cause principale de leur dépérissement, car selon [112]. Précisent que l'augmentation de la salinité du sol inhibe son activité microbiologique et donc la décomposition de la matière organique (M.O) ce qui entraîne une diminution du rendement des récoltes. Le problème de ralentissement de la décomposition de la M.O sous l'effet de la salinité peut être remédié par l'ajout et l'épandage de M.O moins labile tels des fumiers pendant les périodes d'intersaisons ou de jachères.

⇒ Les matières en suspension M.E.S : les matières en suspension représentent l'ensemble des particules minérales et organiques contenues dans les eaux. Elles sont fonction de la nature des terrains traversés, de la saison, de la pluviométrie, de régime d'écoulement des eaux, de la nature des rejets ...ect [113]. Naturellement, les matières en suspension dans l'eau proviennent des effets de l'érosion. Les eaux résiduaires des zones industrielles et urbaines sont souvent chargées en MES. Les teneurs élevées en matières en suspension peuvent être considérées comme une forme de pollution. Une telle hausse peut aussi entraîner un réchauffement de l'eau, lequel aura pour effet de réduire la qualité de l'habitat pour les organismes d'eau froide [114] par leur effet obscurcissant. Les MES présentes dans les eaux diminuent l'efficacité de la photosynthèse qui contribue à l'aération de l'eau. Les organismes vivants peuvent alors manquer d'oxygène. Par ailleurs les MES donnent à l'eau un aspect sale et trouble.

Pour les eaux du canal d'oued Righ, les valeurs des (MES) enregistrées dans le (tableau.7.2) oscillent entre 166,5 mg/l à la ST- 8-jusqu'à 4158,3 mg/l à la ST-7-

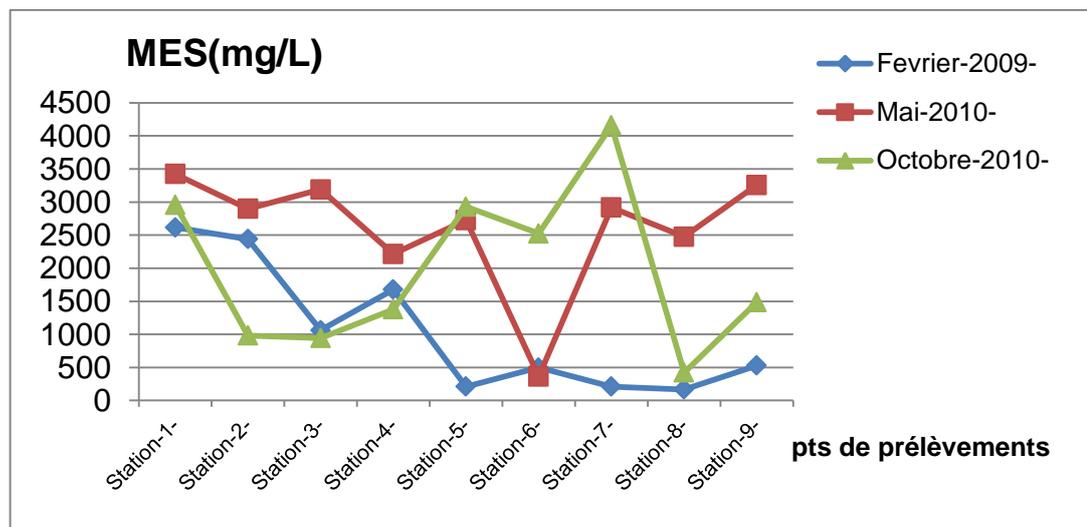


Figure.7.3 : Evolution spatio-temporelle des M.E.S des eaux du canal

L'évolution spatio-temporelle des teneurs en matières en suspension (MES) des eaux du canal montre deux périodes bien distinctes (figure.7.3):

→ Une période hivernale, où les fortes charges exceptionnellement (166,5 mg/l à 3424,5 mg/l) enregistrées dans les stations : ST-1- ; ST-2- ; ST-3- ; ST-4-, en (février 2009) et pour l'ensemble des 9 stations la charge est très élevée au mois

de (Mai 2010). Ces teneurs élevées peuvent être le résultat d'une manifestation hydrologique brutale (crue), dont la charge en MES peut être attribuée à une intense érosion du bassin versant, suite à des pluies orageuses brutales qui occasionnent une augmentation des matières en suspension. Les valeurs enregistrées sont nettement supérieures aux normes des eaux usées destinées à des fins d'arrosage et d'irrigation et qui sont de 150 mg/l [115].

→ Une période estivale, où la variation des concentrations des MES garde la même allure avec des valeurs moins élevées dans toutes les stations durant la campagne (d'octobre 2010) à l'exception des stations: ST-1- ; ST-2- ; ST-5- ; ST-6- ; et ST-7- qui montrent des valeurs élevées, ceci est dû aux rejets générés par les eaux de ces stations. Par ailleurs, la comparaison des teneurs en MES dans le canal d'oued Righ avec ceux des normes d'une eau usée urbaine qui se situe entre 100 et 400 mg/l de MES semblent être des valeurs hors normes. Cependant vu que à un certain niveau il y a contamination des eaux de la nappe par ceux du canal, et que par la suite cette eau est absorbée par les racines du palmier alors il faudrait qu'il y' ai un traitement à la source avant le rejet dans le canal, vu que la présence des MES dans les différents rejets peut compromettre de manière sensible le système agricole, et peut causer des nuisances tels que des dépôts de boue et le colmatage des fonds aquatiques récepteurs. Ces boues décantées sont néfastes au maintien des édifices biologiques naturels [116].

⇒ La DBO₅ (demande biochimique en oxygène): les phénomènes d'autoépuration naturelle dans les eaux superficielles résultent de la dégradation des charges organiques polluantes, sous l'action de microorganismes. Il en résulte une consommation d'oxygène qui s'exprime par la DBO₅. Il a été conventionnellement retenu d'exprimer la DBO₅ en milligrammes d'oxygène consommé pendant 5 jours à 20°C afin de ne prendre en compte que l'oxydation carbonée. Le paramètre DBO₅ est utilisé pour établir un classement qualitatif des eaux et définir l'altération du milieu par les matières organiques.

DBO ₅ < 3	→	Qualité très bonne
3 < DBO ₅ < 5	→	Qualité bonne
5 < DBO ₅ < 8	→	Qualité moyenne
DBO ₅ > 8	→	Qualité mauvaise, voire très mauvaise

Le paramètre DBO_5 est utilisé pour évaluer la charge organique des eaux résiduaires et dimensionner les ouvrages d'épuration. Il est donc important d'effectuer cette détermination avec le plus grand soin. Pour les eaux résiduaires urbaines, la détermination de la DBO_5 ne pose pas de problèmes particuliers, étant donné que le pH de ces eaux est favorable à la croissance des bactéries qui assurent la biodégradation et que des microorganismes adaptés à la biodégradation sont généralement présents dans ces eaux, les échelles de valeur fréquemment rencontrées sont les suivants :[115]

Situation	DBO_5 en mg/l d' O_2
Eau naturelle pure et vive	$C < 1$
Rivière légèrement polluée	$1 < C < 3$
Rejet station d'épuration	$20 < C < 40$
Egout	$100 < C < 400$

Tableau.7.3 : Classification des eaux usées selon la concentration en DBO_5

↳ En Algérie la grille de classification des eaux usées varie dans la gamme.

$DBO_5 < 5$ → Bonne
 $5 < DBO_5 < 10$ → Moyenne
 $10 < DBO_5 < 15$ → Polluée
 $DBO_5 > 15$ → Très Polluée

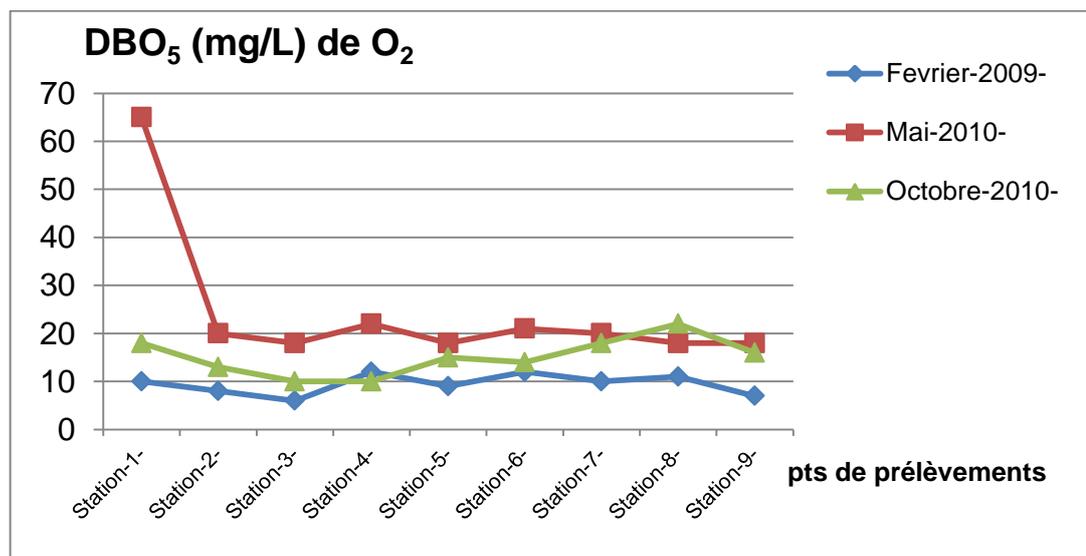


Figure.7.4 : Evolution spatio-temporelle de la (D.B.O₅) des eaux du canal

La (figure.7.4), montre la variation de la DBO_5 , des eaux du canal d'oued Righ. En effet les valeurs moyennes de la DBO_5 varient entre 06 mg/l à la ST-3- et 12 mg/l à la ST-4- et ST-6- en période hivernale et entre 10 mg/l à la ST-3- et ST-4- ; arrivant jusqu'à 65 mg/l à la ST-1- en période sèche. Les eaux du canal reçoivent alors des eaux usées brutes riche en matières organiques et en substances nutritives provenant des agglomérations urbaines (Kerdèche ; lac Témachine ; Rannou ; Aïssou) et surtout des valeurs considérables à la ST-6- station Aïssou et la ST-7- qui est l'amont de la STEP du rejet de Touggourt. Cependant l'augmentation de la DBO_5 en période sèche peut être expliquée par l'instauration des conditions de dégradation de la matière organique par les microorganismes dont l'activité s'intensifie avec le réchauffement des eaux. Cette activité consommatrice d'oxygène, est à l'origine de l'autoépuration des eaux [117].

Cependant en période humide les eaux de pluie contribuent à la dilution de la charge organique émanant des eaux usées des différentes stations de rejet dans le canal. On peut donc conclure que selon les valeurs enregistrées dans le (tableau.7.2), que la plupart des valeurs de la DBO_5 sont supérieur à la norme de potabilité de l'O.M.S et de ce fait la majorité des eaux du canal sont de très mauvaise qualité.

⇒ La DCO (demande chimique en oxygène) la DCO représente la quantité d'oxygène consommée par les matières oxydables chimiquement contenues dans l'eau. Elle est représentative de la majeure partie des composés organiques mais également des sels minéraux oxydables (sulfures ; chlorures ; etc). Il est à noter que la présence d'ions chlorure à forte concentration peut conduire à une surévaluation de la DCO. Les eaux usées à des fins d'arrosage et d'irrigation doivent être à la limite d'une DCO de 125 mg/l (Jean Rodier 9^{ème} éd ; 2009). Il existe une corrélation entre la DBO_5 et la DCO où le rapport $\frac{DCO}{DBO_5}$ des eaux

usées urbaines est proche de **2**, le rapport $\frac{DCO}{DBO_5}$ des effluents domestiques est de **1,9 à 2,5** (Rodier) ce rapport peut donner une indication sur la biodégradabilité d'une eau usée. Les teneurs en DCO enregistrées au niveau des eaux étudiées (figure.7.5) sont comprise entre 25,36 mg/l à la ST-2- en (octobre 2010) et arrivant jusqu'à 178,8 mg/l à la ST-6- en (Février 2009). Les concentrations les plus

élevées sont enregistrées en période humide (Février 2009). Cette augmentation de la DCO peut être expliquée par le lessivage des polluants émanant des différents sites urbains avoisinant le canal, cependant ces valeurs dépassent largement la norme d'une ERU dans le milieu naturel dont les limites sont fixées à 120 mg/l [118]. La grille des normes Algériennes permet alors de classer ces eaux dans la catégorie hors classe ce qui veut dire pollution très importante.

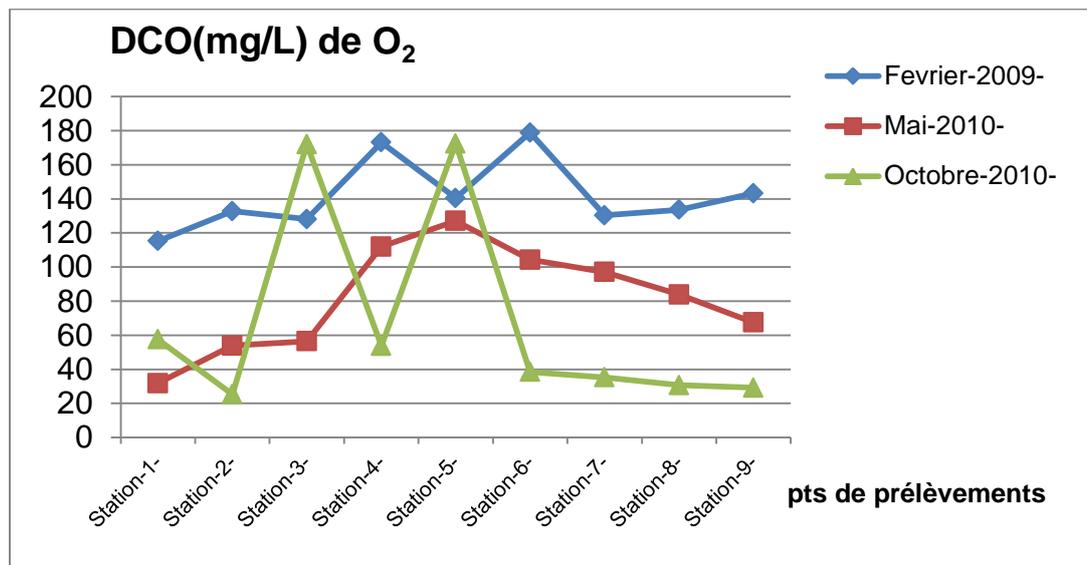


Figure.7.5 : Evolution spatio-temporelle de la (D.C.O) des eaux du canal

Si on suit la norme Algérienne de rejet promulgué en 1993 (décret exécutif n° 93-160 du 10 juillet 1993) où la DCO ne doit pas dépasser les 90 mg/l, normes aussi utilisée par l'OMS. Le classement des eaux sera de médiocre avec pollution nette à la ST-1- en (Mai 2010) et à la ST-2- ; ST-6- ; ST-7- ; ST-8- et ST-9- en (octobre 2010) à mauvaise avec pollution importante à la ST-1- ; ST-4- en (octobre 2010) et à la ST-2- en (Mai 2010) pratiquement l'eau est de très mauvaise qualité pour la quasi totalité des eaux du canal avec un indice de biodégradabilité supérieur > 3 pour la majorité des eaux, sauf pour la ST-1- au moi de (Mai 2010) et à la ST-7- ; St-8- et ST-9- en (octobre 2010) ce qui explique le rejet des eaux usées d'effluents urbains dont la biodégradabilité éminente du rejet pourrait être plus complète si le métabolisme bactérien n'était pas inhibé par la présence excessive de rejet domestique avec tous ceux dont ils comportent.

⇒ La dureté totale : c'est une mesure de la teneur minérale dissout dans l'eau, la dureté a un caractère naturel lié au lessivage des terrains traversés et correspond plus particulièrement à la teneur en calcium et en magnésium. Cependant on peut

considérer qu'une eau ayant une teneur comprise entre 25 et 35°f est une eau dure, au delà de 35°f l'eau est très dure et équivaut à une teneur de 140mg/l de calcium, et de 84 mg/l de magnésium ou encore de 350 mg/l de CaCO₃ (carbonate de calcium, ou plus communément de tarte). Les eaux provenant de terrains calcaires et surtout de terrains gypseux peuvent avoir des duretés très élevée susceptibles d'atteindre les 1 g/l de CaCO₃. Par contre, les eaux en provenance de terrains cristallins, métamorphiques ou schisteux auront des duretés très faibles. Les eaux de surface, généralement moins riches en acide carbonique et en oxygène dissous que les eaux souterraines, ont une dureté moins élevée que ces derniers. L'utilisation de l'eau dure pour l'irrigation peut avoir un effet de chaulage sur le sol, provoquent des dépôts blancs sur le feuillage, et de boucher l'équipement d'irrigation, pour ce qui concerne la vie aquatique, les eaux dure (plus de 150 mg/l de CaCO₃ équivaut à 15 °f) peuvent gêner le développement de la couverture biologique des eaux. Les valeurs relatives à la dureté dans les eaux du canal s'avèrent très importante (figure.7.6) et varient de 73 °f à 582 °f. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées dans les ST-1- ; ST-2- et ST-3- et deviennent relativement un peu plus faible à la ST-6- et ST-7- cependant les valeurs les plus élevées sont enregistrée en période sèche pour pratiquement les majorités des eaux du canal.

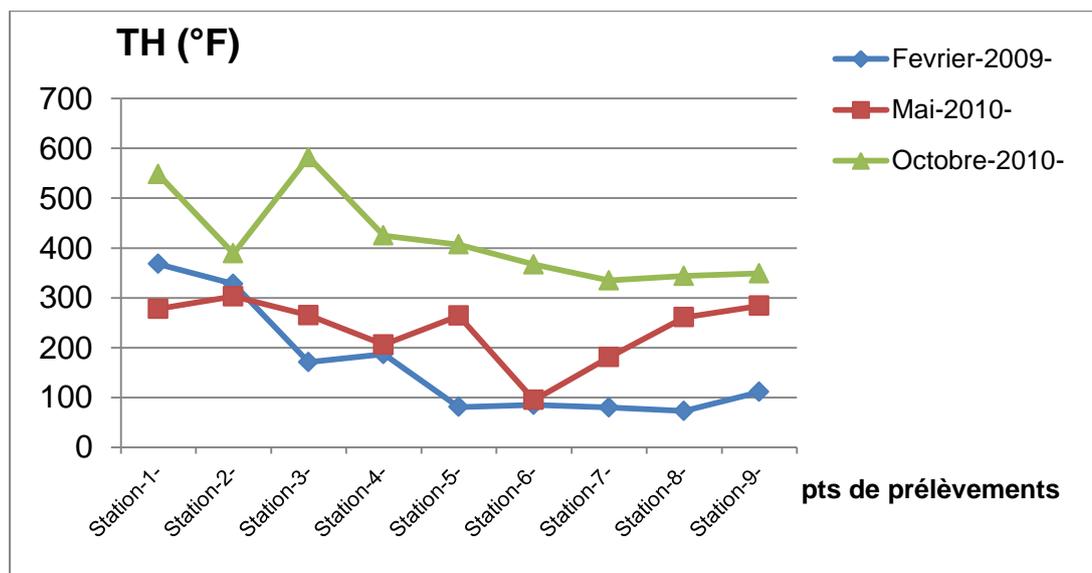


Figure.7.6 : Evolution spatio-temporelle de la dureté total des eaux du canal d'oued Righ

⇒ Les valeurs relatives du titre alcalimétrique (TA) et du titre alcalimétrique complet (TAC) permettent de connaître les quantités d'hydroxydes, de carbonates ou d'hydrogencarbonates alcalins ou alcalineux présent dans l'eau.

Lorsque le pH de l'eau est inférieur à 8,3 le TA est nul, ce qui est le cas des eaux du canal où l'eau ne contient que des bicarbonates (HCO_3^-). Cependant les valeurs du TAC enregistré (figure.7.7) varient de 17 °f à la ST-6- en (Mai 2010) jusqu'à 34 °f à la ST-1- (octobre 2010) pour l'ensemble des eaux du canal les valeurs du TAC sont élevées, d'où les valeurs élevées des ions bicarbonates présents dans l'eau.

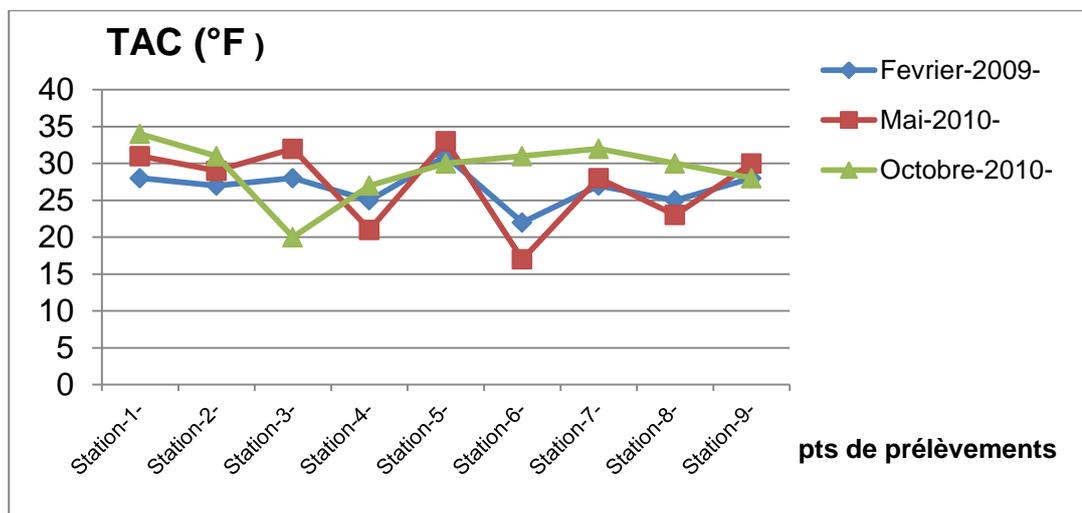


Figure.7.7 : Evolution spatio-temporelle du (T.A.C) des eaux du canal d'oued Righ

Dans le cas où l'eau d'irrigation contient un taux élevé de bicarbonates, on constate une tendance à la précipitation du calcium et du magnésium ce qui fait augmenter le SAR, on considère que l'eau d'irrigation est inadéquate pour l'irrigation lorsque la concentration résiduelle de NaHCO_3 est supérieur à 2,5 meq/l. Par contre si la concentration est en dessous de 1,25 meq/l l'eau est probablement sécuritaire. La rupture de cette alcalinité est quasiment importante car c'est elle qui empêche le calcium et le magnésium d'être disponible à la plante. Si on le fait pas, par ajout d'acide, pour neutraliser l'alcalinité et libérer du fait même le Calcium et le magnésium qui sinon restent emprisonnés par le carbonate. En séchant tout les carbonates se transforment automatiquement en chaux calcique et dolomite Ce qui laisse des dépôts calcaires qui peuvent colmater les systèmes d'aspersion ou de goutte à goutte ou encore, des traces blanchâtres sur les feuilles si vous arroser par aspersion.

⇒ Les composés azotés : les formes de l'azote dans les eaux usées sont l'azote total (NTK), les nitrates (NO_3^-) et les nitrites (NO_2^-). En plus de la toxicité de la forme ammoniacale et nitrique, l'azote intervient dans le phénomène de l'eutrophisation. Donc sa caractérisation et sa quantification sont primordiales pour les rejets liquides dans le milieu naturel.

⇒ Les nitrites : (NO_2^-) les nitrites proviennent soit d'une oxydation incomplète de l'ammoniaque, la nitrification n'étant pas conduite à son terme, soit d'une réduction des nitrates sous l'influence d'une action dénitrifiante. Une eau qui renferme des nitrites est à considérer comme suspecte car lui est souvent associé à une détérioration de la qualité microbiologique. Il est important de signaler que les eaux en contact avec certains terrains et certaines conduites peuvent contenir des nitrites indépendamment de toute souillure. On trouve aussi quelque fois des nitrites non liés à une pollution dans les eaux pauvres en oxygène. Leur présence a été signalée dans les eaux de pluie, du fait de la pollution atmosphérique par les oxydes d'azotes. Il est à noter que les valeurs enregistrées dans le (tableau.7.2) représentent des chiffres qui vont de 0,000 à la ST-2- et ST-9- jusqu'à la valeur de 2,24 mg/l à la ST-6- la majorité des eaux du canal présentent un taux de nitrite variant entre 0,1 et 0,4 mg/l, qui nous indiquent que l'eau est de qualité moyennement polluée à polluée.

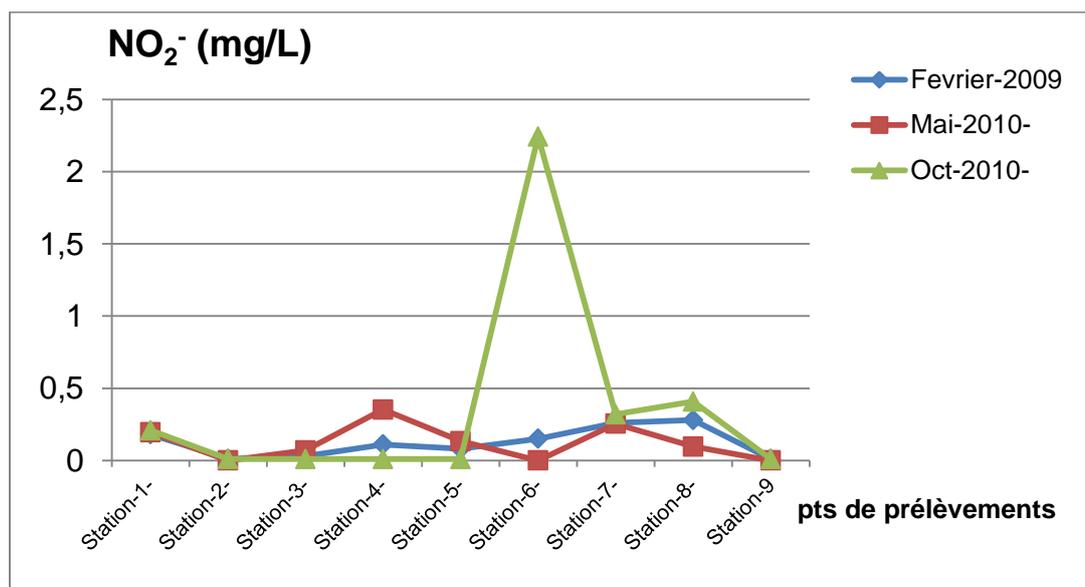


Figure.7.8 : Evolution spatio-temporelle des nitrites dans les eaux du canal

⇒ Nitrates (NO_3^-) : les ions nitrates évoluent d'une manière inverse par rapport au nitrite, car ces deux ions présentent deux formes opposées de l'azote : l'une oxydée (nitrates) et l'autre réduite (nitrite), les nitrates constituent le stade final de l'oxydation de l'azote, et représentent la forme d'azote au degré d'oxydation le plus élevé présent dans l'eau. Leurs concentrations dans les eaux naturelles sont comprises entre 1 et 10 mg/l. Cependant les teneurs dans les eaux usées non traitées sont faibles [119]. Le graphe des teneurs en nitrates dans les eaux du canal d'oued Righ montre une valeur de 1 mg/l pour toutes les stations à l'exception de la ST-9- ou la teneur est de 2 mg/l et la ST-8- ou la teneur atteint les 3 mg/l en période humide (Février 2009) les valeurs les plus élevées sont enregistrées en (octobre 2010) ou elle arrivent à 4,1 mg/l à la ST-1- et à 1,9 mg/l à la ST-2- et ST-8- les autres stations présentent des valeurs moins importantes allant de 0,2 à 0,4 mg/l. Cependant on remarque que les valeurs les plus faibles sont enregistrées au mois de (Mai 2010) pour pratiquement toutes les stations à l'exception de la ST-6- ou la valeur atteint les 5 mg/l (figure.7.9).

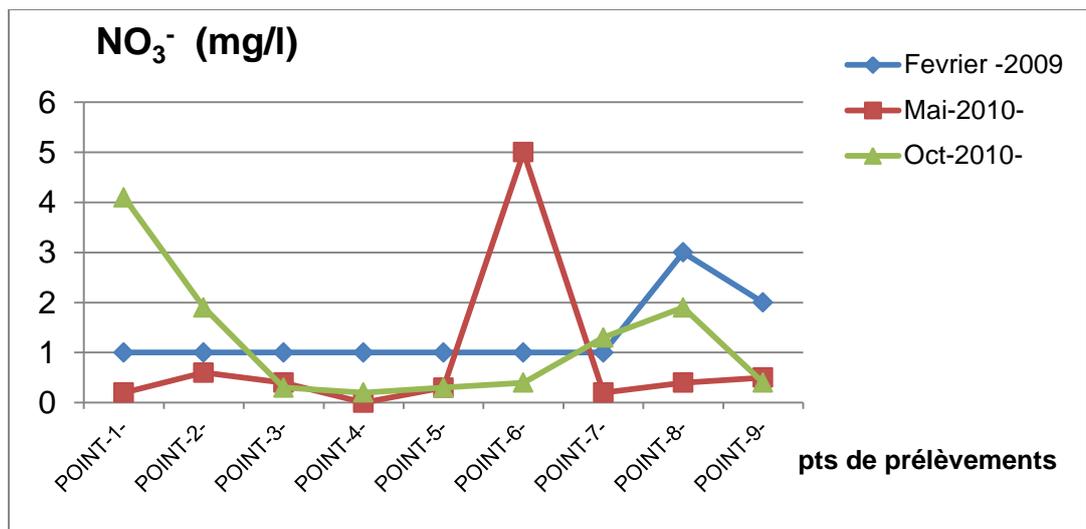


Figure.7.9 : Evolution spatio-temporelle des nitrates dans les eaux du canal

L'augmentation des teneurs en nitrates dans les eaux du canal pendant la période pluvieuse en (février 2009) peut être due au lessivage des fertilisants utilisés dans les sols agricoles situés sur les bords de l'oued. Cependant les valeurs faibles relevées pendant la saison sèche pourraient être attribuées au rejets d'eaux usées qui n'ont fait l'objet d'aucun traitement préalable particulièrement en (Mai 2010) pour la majorité des eaux du canal, qui sont devenus un réceptacle des rejets provenant des localités limitrophes et qui sont aux faibles taux d'oxygène dissous

et, puisque les nitrates représentent la forme la plus oxygénée de l'azote, ils peuvent jouer en période de faible oxygénation le rôle de donneur d'oxygène évitant ainsi l'anaérobiose. Les nitrates participent donc aux phénomènes d'eutrophisation. On peut conclure que les teneurs en nitrates des eaux d'oued Righ sont inférieures aux normes Algériennes suggérées dans la classification des eaux usées et qui donne une valeur > 40 mg/l pour une eau très polluée. Donc les eaux étudiées ne sont pas assujetties à un risque de pollution par les nitrates.

⇒ L'azote ammoniacal (ou ammonium) : (NH_4^+) constitue un des millions du cycle complexe de l'azote dans son état primitif. C'est un gaz soluble dans l'eau. Il existe en faible proportion, inférieur à 0,1 mg/l d'azote ammoniacal dans les eaux naturelles. Il constitue un bon indicateur de la pollution des cours d'eau par les effluents urbains. Dans les eaux superficielles, il provient de la (M.O) azotée et des échanges gazeux entre l'eau et l'atmosphère [120] l'ammonium évolue d'une manière inverse par rapport aux nitrates pour les mêmes raisons qu'on a évoquées pour la relation nitrate-nitrite car les deux premiers constituent la forme réduite de l'azote alors que les nitrates présentent celle oxydée. Il est à signaler qu'il est difficile de connaître l'origine de l'ammonium quand les rejets des eaux usées domestiques ammoniacaux se déversent dans des zones agricoles, car ces derniers s'oxydent en donnant des nitrates qui se réduisent en ammonium et nitrite. L'analyse du profil de l'ammonium dans les eaux du canal d'oued Righ montre que les teneurs varient entre 0,00 mg/l à la ST-6- (Mai 2010) à 8,43 mg/l à la ST-5-. Les valeurs les plus élevées sont enregistrées au ST-7- et ST-5- suivie de la ST-4- et ST-1-(figure.7.10).

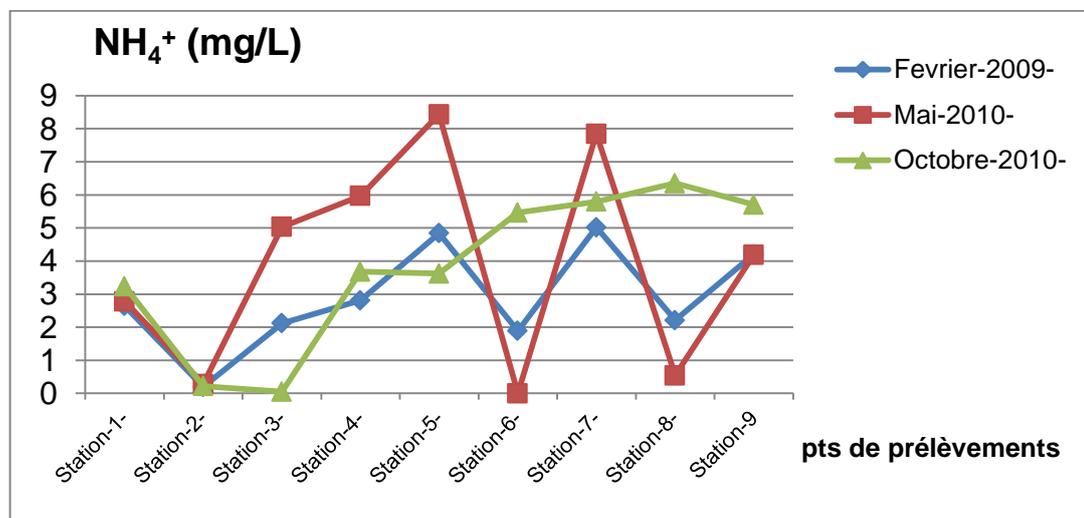


Figure.7.10 : Evolution spatio-temporelle de l'ammonium dans les eaux du canal

Le taux d'ammonium est pratiquement élevé en période humide et en période sèche, le processus de dilution dans les périodes hivernales n'a donné aucun effet sur l'oxygénation des eaux du canal. Les valeurs élevées enregistrées le long des eaux du canal traduisent le processus de dégradation incomplète de la matière organique. Les valeurs relevées en ammonium dans les eaux du canal permettent de classer ces eaux dans la classe polluée à très polluée, selon la grille de qualité des eaux usées Algériennes (source ANRH).

Afin de diminuer le risque d'une toxicité due à l'ammoniac non ionisé, d'une consommation d'oxygène due à la nitrification et d'une eutrophisation, les concentrations d'ammonium total ne devraient pas dépasser les valeurs suivantes :

⇒ Pour les eaux salmonicoles : la valeur guide est $< 0,04$ (mg/l NH_4) et la valeur impérative < 1 (mg/l NH_4).

⇒ Pour les eaux cyprinicoles : la valeur guide est $< 0,2$ (mg/l NH_4) et la valeur impérative < 1 (mg/l NH_4).

⇒ Le brassage éventuel des vases des cours d'eau peut entraîner la libération des eaux interstitielles très riches en ammoniac.

⇒ Azote Kjeldahl (NTK) : l'azote Kjeldahl ne représente pas la totalité de l'azote, mais seulement l'ensemble de ses formes réduites organiques et ammoniacales. Dans la pratique, l'azote Kjeldahl est un indicateur de pollution du milieu et son contrôle permet de suivre l'évolution des contaminations. L'origine de l'azote dans les eaux superficielles serait liée au lessivage des sols enrichis en engrais azotés, aux rejets urbains ou industriels. Les consommations d'azote pour les usages agricoles sont considérables. La forme ammoniacale est assez fortement absorbée sur le complexe échangeur de cations du sol, sauf en sols calcaires, par contre les nitrates sont très mobiles et sont donc facilement lessivés. Dans les lacs la fixation de l'azote atmosphérique grâce à certaines algues et bactéries peut avoir un caractère significatif les teneurs enregistrées sur les eaux du canal varient de 0,3mg/l à la ST-2- en (octobre 2010) jusqu'à 17,20 mg/l à la ST-6- les valeurs les plus élevées sont enregistrées à la ST-1- suivie de la ST-4- ;ST-5-et ST-6-et aussi ST-9-(figure.7.11) , à titre indicatif la réglementation française pour les eaux douces superficielles destinées à la production d'eau destinée à la

consommation, suit une valeur guide variant de 1 à 3 mg/l. Cependant les normes de rejets d'une E.R.U dans le milieu naturel est fixé à 50 mg/l de NTK et selon la (loi n°83-17 du 16 juillet 1983) portant code des eaux. Les valeurs limite maximale de NTK d'une installation de rejet est fixée à 40 mg/l.

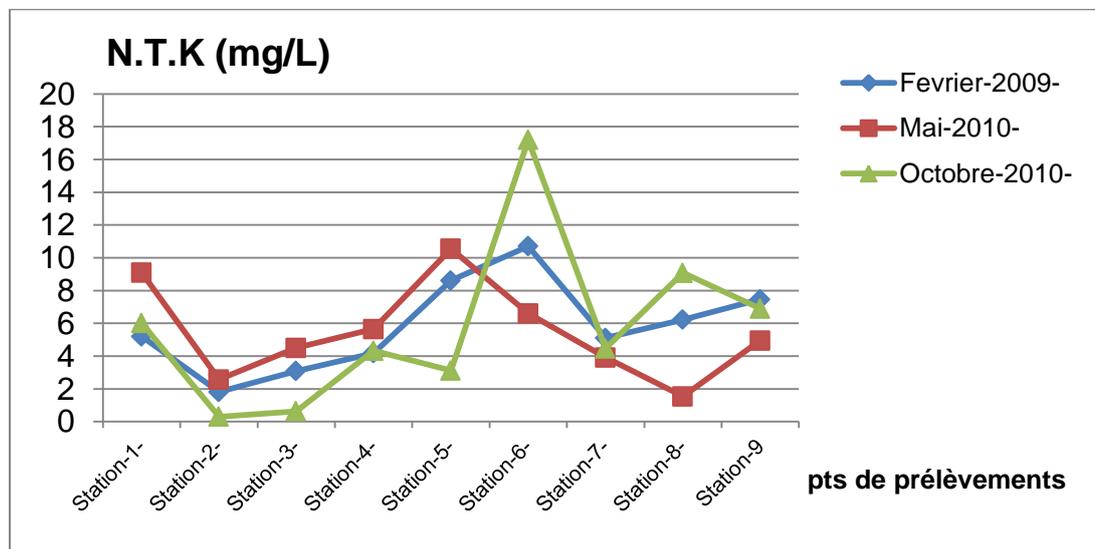


Figure.7.11 : Evolution spatio-temporelle de l'azote Kjeldahl des eaux du canal

⇒ Composés phosphorés : les phosphates font partie des anions facilement fixés par le sol, leur présence naturelle dans les eaux est liée aux caractéristiques des terrains traversés et à la décomposition de la matière organique, des teneurs supérieures à 0,5 mg/l doivent constituer un indice de pollution. Le phosphore joue un rôle important dans le développement des algues, il est susceptible de favoriser leur multiplication dans les eaux des lacs, ou il contribue à l'eutrophisation, phénomène évolutif au cours duquel le milieu s'enrichit en matières nutritives d'une manière excessive, et par voie de conséquence en algues et phytoplancton. Il résulte une véritable dégradation qui peut devenir irréversible. Les éléments responsables de cet enrichissement sont essentiellement le phosphore et l'azote. Le phosphore est nécessaire à la croissance des plantes. Il est présent dans le sol sous la forme phosphate, soit dissous dans l'eau, soit fixé sur les particules du sol, soit dans les minéraux, ou encore sous forme organique. Au fur et à mesure que les racines prélèvent les phosphates dissous dans l'eau, les molécules fixées sont progressivement libérées. Il est considéré que 1 mg/l de phosphore peut contribuer à l'élaboration de 70 à 80 mg de matière organique [115].

L'analyse des résultats montrent que la concentration en phosphate (PO_4) varie de 0,00 mg/l à la ST-6- en (Mai 2010) jusqu'à 4,07 mg/l à la ST-4- dans le canal. Cependant les valeurs les plus élevées sont enregistrées au ST-4-;ST-5-;ST-7-et ST-9-pour pratiquement toutes les campagnes de prélèvement (figure.7.12).

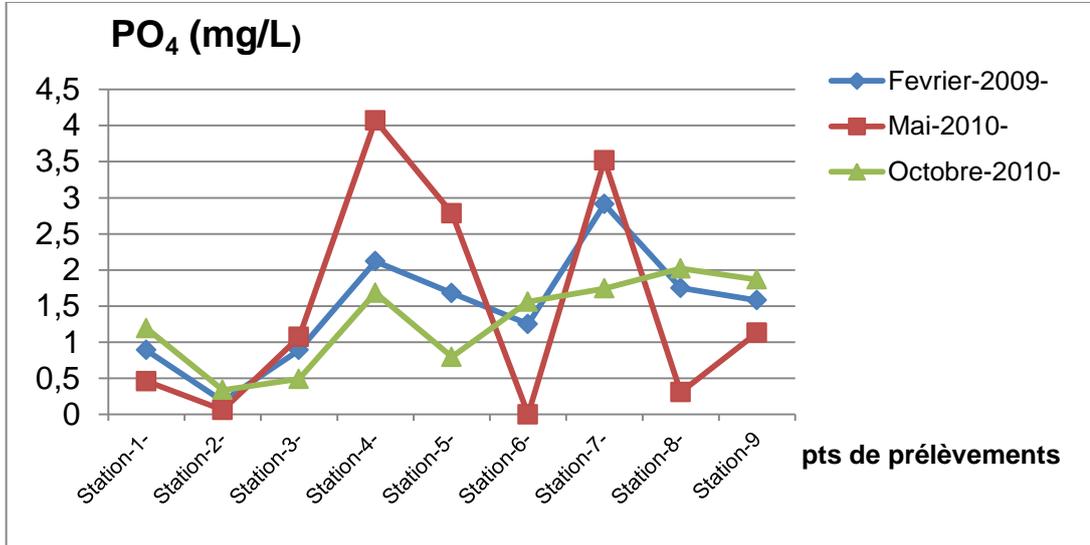


Figure.7.12 : Evolution spatio-temporelle des phosphates dans les eaux du canal

⇒ Les valeurs des analyses du phosphore total varient de 0,00 mg/l à la ST-6- en (octobre 2010) jusqu'à 6,02 mg/l à la ST1-. Il est à noter que les valeurs les plus élevées sont mentionnées aux niveaux des ST-1-;ST-4-;ST-5-et ST-9- (figure.7.13).

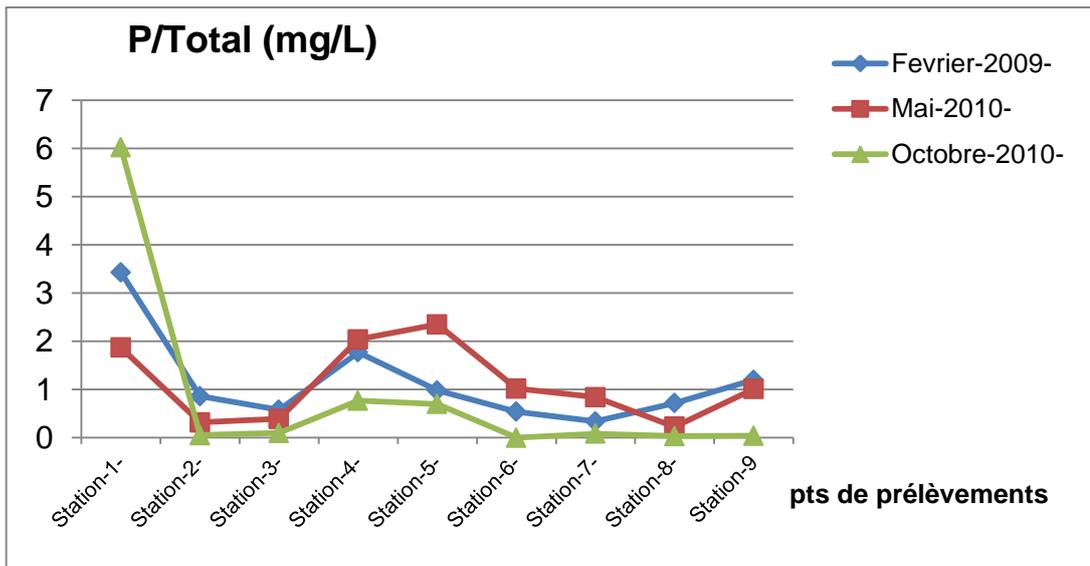


Figure.7.13: Evolution spatio-temporelle du phosphore total dans les eaux du canal

La tendance à l'augmentation pour les composés phosphorés est remarquée en période humide, cette disponibilité à ce composé peut être expliquée par le lessivage des sols par les pluies hivernales et par les rejets urbains des agglomérations avoisinantes et relargage du phosphore piégé en grande quantité dans les sédiments [121]. Les agents atmosphériques, vent et pluie, représentent aussi des sources de phosphates surtout quand le débit fluviale est faible. On note que les valeurs enregistrées sont supérieures à la norme Algérienne d'eaux usées et qui est de 2 mg/l. les concentrations des eaux du canal permettent donc de conclure que les eaux seront classé en eaux très polluées surtout à la ST-1- ; ST-4-et ST-9- ou peut éventuellement apparaître un phénomène d'eutrophisation. L'apport exagéré des phosphates dans les eaux de surface augmente la production des algues et plantes aquatiques. Donc il y a moins d'oxygène dans l'eau le passage de la lumière est réduit et les conditions de vie deviennent difficiles pour la flore et la faune des milieux aquatiques. Ce phénomène provoque l'asphyxie dans les eaux de surface et c'est l'eutrophisation.

7.3. Etude d'approche de la vulnérabilité de la nappe phréatique de la région d'oued Righ

Après avoir achevée la partie sur les eaux du canal d'oued Righ qui a montré l'état de dégradation de celui-ci par le déversement anarchique des eaux usées des agglomérations avoisinante, il s'est avéré intéressant de faire apparaître des possibilités de pénétration et de circulation des polluants dans la nappe.

7.3.1. Vulnérabilité à la pollution chimique des eaux souterraines

La vulnérabilité d'une nappe d'eau souterraine à la pollution chimique matérialise la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution chronique ou accidentelle, diffuse ou ponctuelle. L'estimation de cette vulnérabilité tient compte de certains facteurs qui sont :

- ✓ Les conditions de pénétration des polluants dans la nappe, c'est-à-dire le transit, selon un trajet vertical de corps polluants, entraînés par les eaux d'infiltration depuis la surface du sol jusqu'à une nappe souterraine, à travers la zone non saturée (couche vadose).
- ✓ La propagation dans la nappe, qui est matérialisée par l'écoulement de l'eau polluée. Elle dépend des conditions hydrodynamiques de la nappe.

- ✓ Le séjour du polluant dans la nappe, c'est-à-dire sa persistance plus ou moins prolongée, après l'élimination de la source de contamination. La durée de ce séjour est régie par le renouvellement naturel de l'eau dans la nappe aquifère.
- ✓ La profondeur de la nappe, ce paramètre constitue un facteur déterminant de la vulnérabilité. Plus la profondeur est élevée, plus le contaminant met de temps à atteindre la surface piézométrique et vice versa. Le niveau piézométrique de la nappe phréatique dans une parcelle cultivée subit des fluctuations saisonnières. L'étude établie dans notre recherche est constituée de 5 piézomètres qui sont situés sur le long du drain secondaire dans les terrains cultivés de Sidi Slimane et qui rejoint le canal de l'oued Righ. La profondeur de l'eau de la nappe phréatique comprise entre **1,7 m à 2,5 m** de l'hiver à l'été. Le mode d'irrigation et l'efficacité du système de drainage ont eux aussi un effet direct sur les fluctuations du niveau de la nappe qui oscillent entre **0,7 et 2 m**. dans les deux tiers de la superficie des secteurs irrigués, le niveau d'eau est compris entre **1,2 m et 1,7 m**. ceci s'explique par le fait de l'utilisation des eaux des nappes profondes pour l'irrigation. Il existe aussi un équilibre entre les prélèvements et les rejets (retour d'irrigation). Dans le tiers de la superficie de ces périmètres, le niveau d'eau ne dépasse pas **1m** de profondeur (figure.7.14).
- ✓ La nature du sol influe sur la pénétration des polluants vers l'aquifère plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des polluants est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande.
- ✓ Plus la pente des terrains est grande, plus le ruissèlement des eaux est important et par conséquent la contamination des eaux de la nappe est faible (figure.7.15).

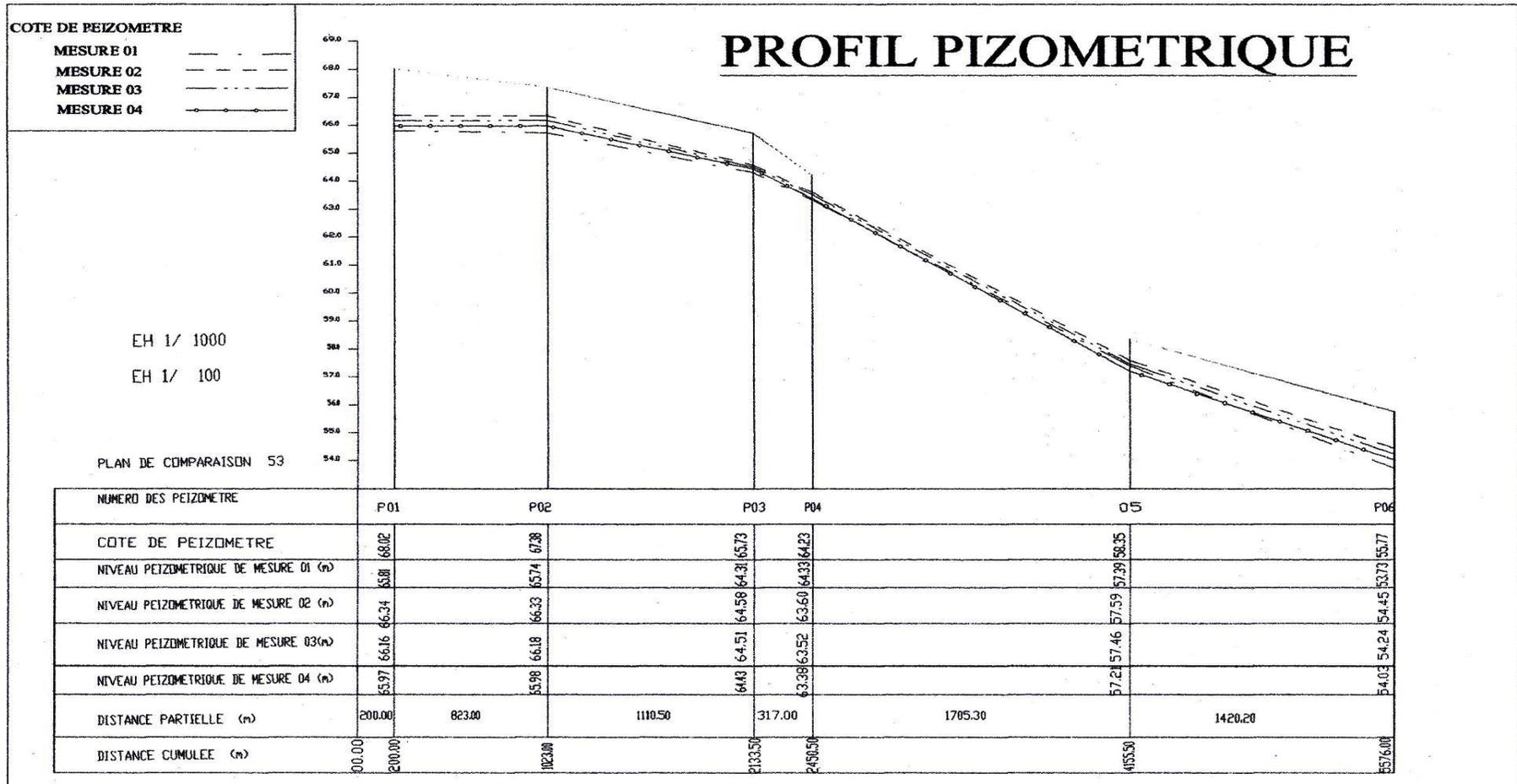


Figure.7.14 : Fluctuation de la nappe phréatique dans la zone de Sidi Slimane durant la période (2007-2008)

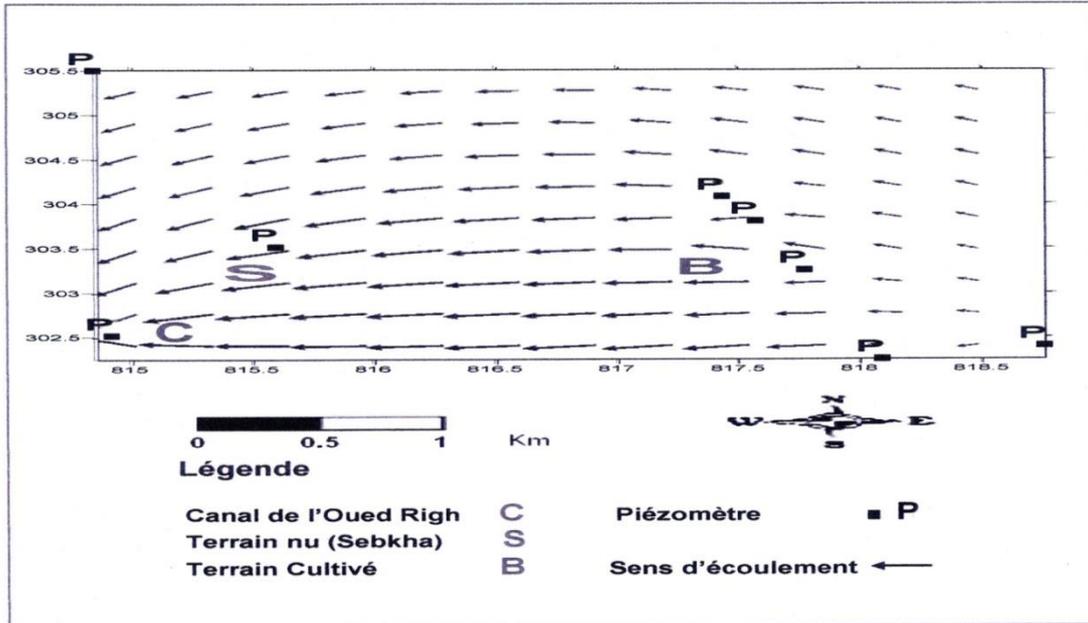


Figure.7.15 : Carte schématique du sens d'écoulement des eaux de la nappe phréatique dans la zone Sidi Slimane durant la période (2007-2008)

- ✓ Cette carte 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. Selon une étude [122] la plupart des sols des régions prospectées présentent des niveaux hydrostatiques autour de **1 m** .Donc il serait nécessaire de maintenir le niveau d'eau de la nappe par un flux descendant.

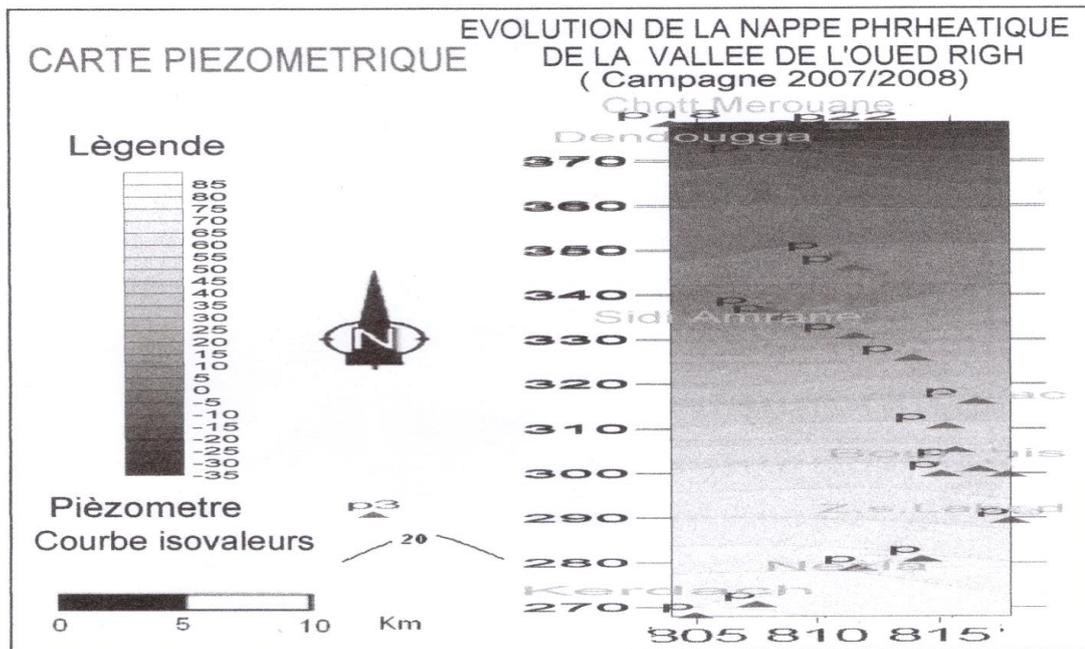


Figure.7.16 : Carte piézométrique de la nappe phréatique de la vallée (2007-2008)

7.4. Qualité des eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ

Pour la plupart des analyses effectuées sur les eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ on enregistre des valeurs beaucoup plus faibles pour tous les paramètres analysés par rapport à ceux des eaux du canal, sauf en un certain point qui est la **ST-12-**, c'est une zone cultivée pas loin du canal. Les valeurs des paramètres de pollution sont consignées sur le (tableau.7.4).

Station	Turbidité (NTU)	R.SEC (mg/l) à 110°C	M.O (mg/l)	DBO (mg/l)	DCO (mg/l)	TH (°f)	TAC (°f)	TA (°f)	NO ₂ (mg/l)	NH ₄ (mg/l)	NTK (mg/l)	PO ₄ (mg/l)	P/Tot aux (mg/l)
10	173	6220	7.93	2	19.2	281	15	0	0.03	1.11	0.12	0.66	0.016
11	5.73	5141	34.4	2	96	219	11	0	0.01	0.10	0.19	0.59	0.010
12	1000	14920	52.86	4	144	408	32	0	0.07	1.58	3.05	0.18	0.014
13	101	5810	14.91	3	38.4	228	26	0	0.00	1.24	0.17	0.48	0.012
14	6.97	5500	7.7	2	19	202	10	0	0.01	0.07	0.20	0.52	0.010

Tableau.7.4 : Evolution des paramètres de pollution dans les eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ

➔ On peut remarquer (figure.7.17) que les valeurs du R.Sec à 110 °C varient de 5141 mg/l à la ST-11-jusqu'à 14920 mg/l à la ST-12-Ou l'eau devient désagréable.

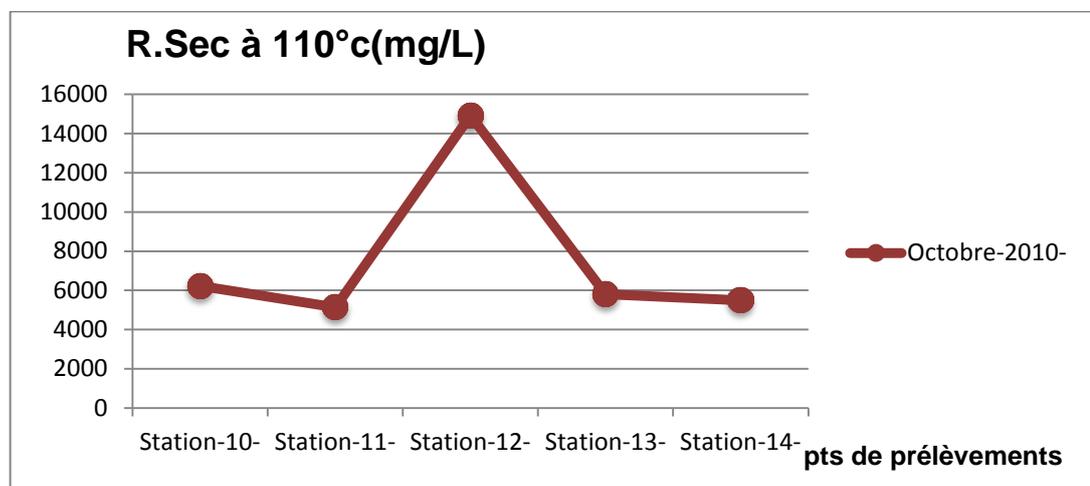


Figure.7.17 : Evolution du Résidu Sec dans les eaux de la nappe phréatique

➔ Pour ce qui est de la turbidité qui est liée à la présence de particules organiques diverses, d'argile, de colloïde, de plancton... etc. Elle peut être aussi favorisée par la pluviométrie. Dans les eaux profondes, la turbidité empêche la propagation de la lumière dont la diminution d'intensité a pour conséquence de limiter et même d'éliminer la végétation. Les valeurs de la turbidité des eaux de la nappe de la région d'oued Righ (figure.7.18) varient de 5,73 NTU à la ST-11-, elle est de 6,97 NTU à la ST-14- et arrive jusqu'à 1000 NTU à la ST-12- ce qui explique que l'eau à ce niveau est très trouble. Si on suit la norme française, une turbidité d'une valeur de $5 < \text{NTU} < 30$ représente une eau légèrement trouble et une valeur de $\text{NTU} > 50$ représente une eau trouble, ainsi plus une eau est chargée en biomasse phytoplanctonique où en particule sédimentaire, plus elle est turbide. Par ailleurs la couleur de l'eau affecte aussi sa température et donc sa teneur en oxygène, son évaporation et sa salinité, sans oublier que la turbidité révèle une évolution préoccupante de l'état des sols, une eau utilisée à des fins agronomique doit avoir après recyclage une turbidité $< 30 \text{ NTU}$ [115].

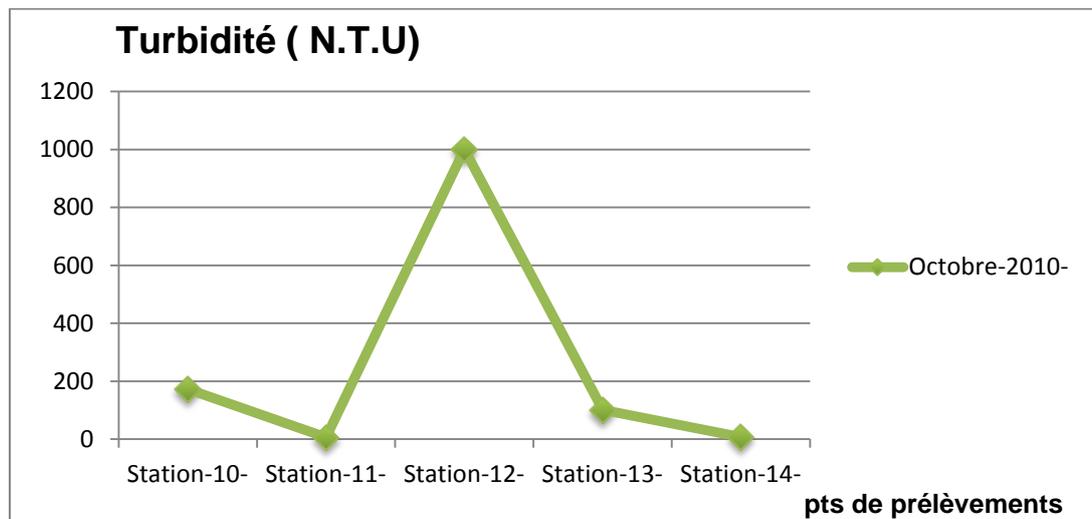


Figure.7.18 : Evolution de la turbidité dans les eaux de la nappe phréatique

➔ Les teneurs en DBO_5 (figure.7.19) s'avèrent très bonne pour la ST-10- ; ST-11- ; ST-13- et ST-14- à l'exception de la ST-12- où la DBO_5 est égale à 4 mg/l de O_2 . L'eau est donc de qualité assez bonne avec pollution modérée.

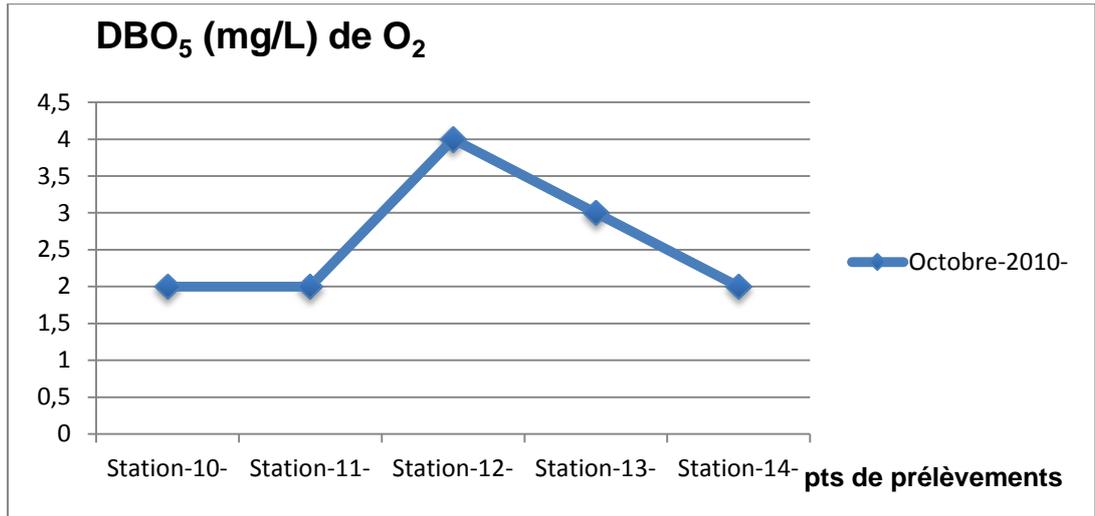


Figure.7.19 : Evolution de la DBO₅ dans les eaux de la nappe phréatique

➔ Les valeurs de la DCO varient de 19 mg/l de O₂ à la ST-14- suivie de la ST-10- et pour la ST-12- la valeur atteint les 144 mg/l de O₂.La norme de rejet selon l'OMS préconise une valeur de la DCO de 90 mg/l de O₂.La norme Algérienne étant la même, ce qui nous amène à classer notre eau de la nappe phréatique de bonne pour les ST-10- et ST-14- et de médiocre avec pollution nette dans la ST-13- et de mauvaise avec pollution importante dans la ST-11- jusqu'à hors classe avec pollution très importante à la ST-12-(figure.7.20).

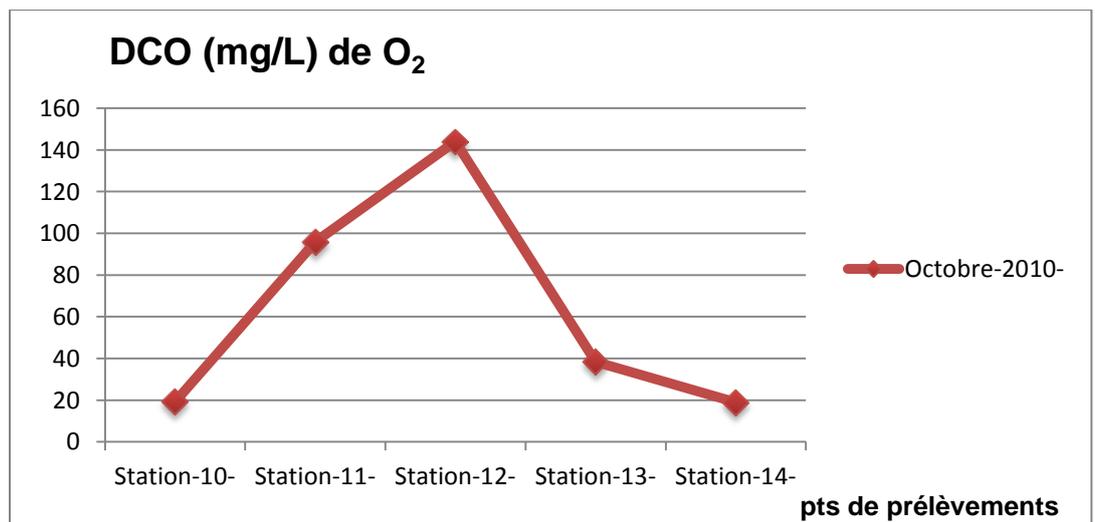


Figure.7.20 : Evolution de la DCO dans les eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ

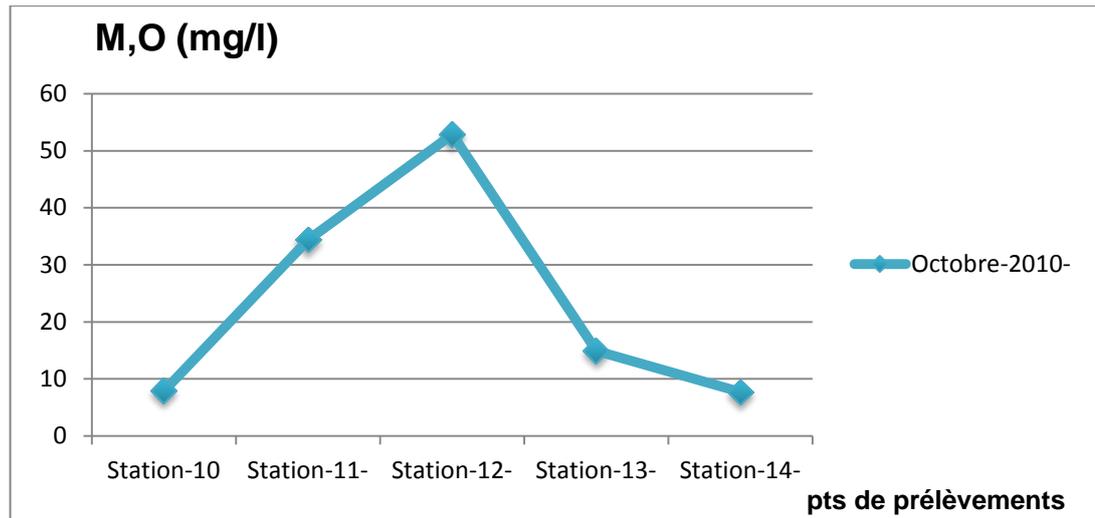


Figure.7.21 : Evolution de la M,O dans les eaux de la nappe phréatique

→ Une eau dont le taux de MO > 15 mg/l est classée comme une eau très polluée . La valeur la plus élevée atteint les 52.86 mg/l et cela à la ST :12 , pour ce qui est de la ST :11 elle est de 34.4 mg/l et on signale une autre valeur de 14.91 mg/l à la ST :13 (figure :7.21), ce qui permet de conclure que les eaux de la nappe sont aussi riche en matière organique.

→ La dureté de l'eau reste importante même au niveau de la nappe, elle varie de 202°f à la ST-14- jusqu'à 408°f à la St-12-(figure.7.22).

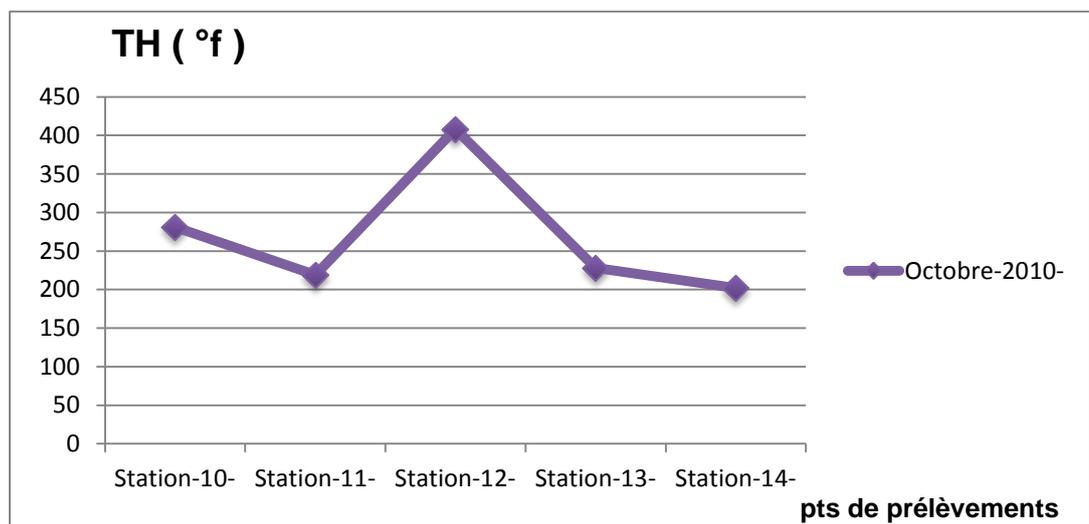


Figure.7.22 : Evolution de la dureté dans les eaux de la nappe phréatique

→ Le TAC (figure.7.23) ou les valeurs varient de 10°f à la ST-14- jusqu'à 32°f à la ST-12-. Comme on peut le voir la dureté des eaux de la nappe oscillent entre une eau dure à très dure à la ST-12-.

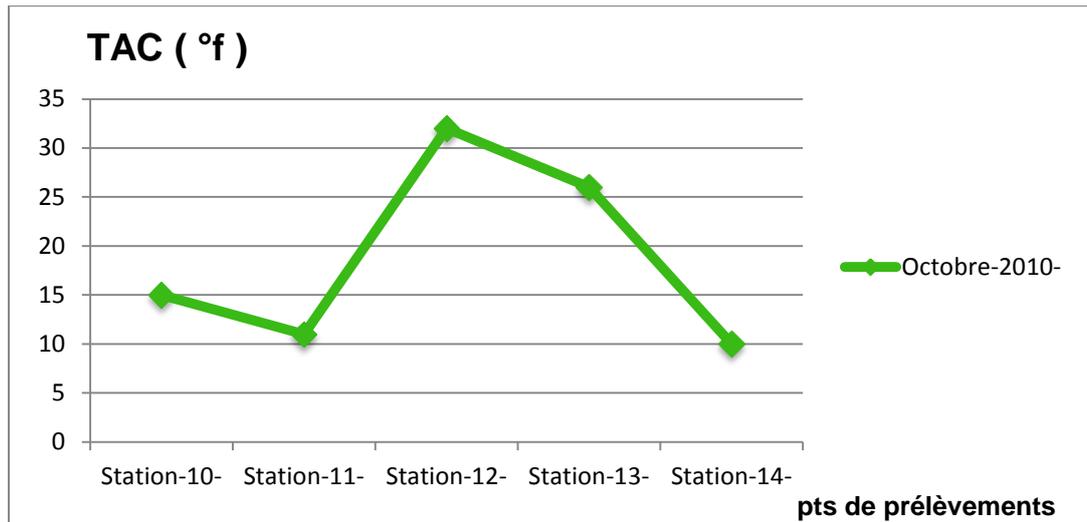


Figure.7.23 : Evolution du TAC dans les eaux de la nappe phréatique

➔ Les composés azotés : l'analyse du profil des composés azotés soulevé à partir de la nappe phréatique de la région d'oued Righ (figure.7.24) montre que pour tous les paramètres azotés les valeurs sont faibles par rapport aux eaux du canal à l'exception de la ST-12- où la valeur en nitrate est de 20,44 mg/l et c'est la valeur la plus faible enregistrée par rapport aux autres stations, (tableau.7.4) cela peut s'expliquer par le fait que les ions nitrates s'infiltrent rapidement par contre à la ST-12- où la valeur est de 20,44 mg/l représente une zone de faible perméabilité, car le toit argileux fixe les ions nitrates et ainsi protège la nappe. Pour les autres stations les valeurs sont plus importantes ou on note une valeur de 47.3 mg/l à la ST :14 ; 43 mg/l à la ST :11 ; 41.1 mg/l à la ST :10 et enfin 32.5 mg/l à la ST :13.

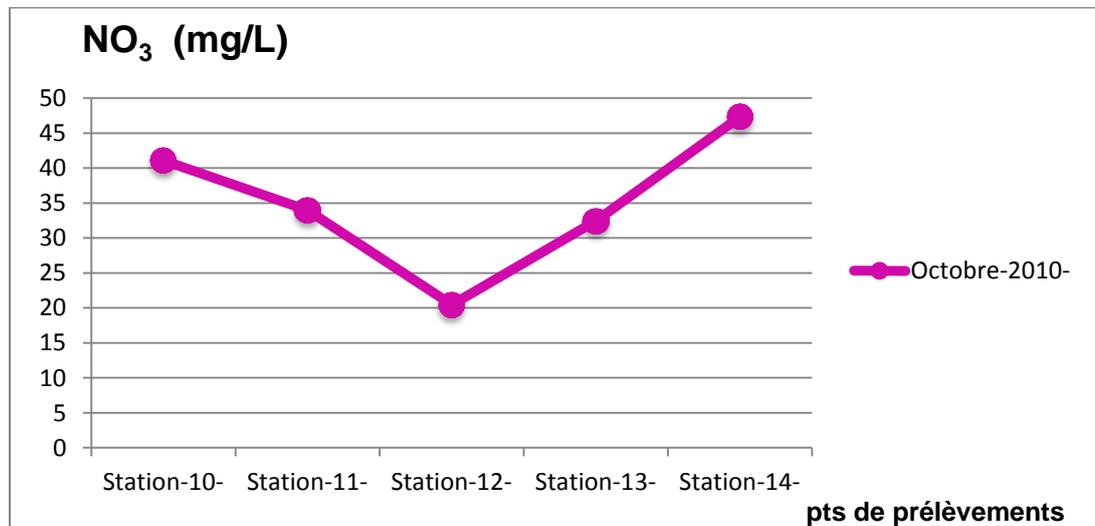


Figure.7.24 : Evolution des nitrates dans les eaux de la nappe phréatique

→ Les faibles teneurs en nitrate dans cette zone peuvent s'expliquer par le mélange des eaux récentes issues des formations carbonatées avec celles de la nappe d'âge Mio-Plio-Quaternaire. Il est à noter que les teneurs en nitrates évoluent dans le même sens que celle de l'oxygène dissous. Pour les faibles profondeurs où l'oxygène est abondant, on enregistre des teneurs importantes pour les deux ions, parce que l'azote garde sa forme oxydée. Au contraire pour les profondeurs importantes, on enregistre des concentrations faibles pour les nitrates et l'oxygène, par manque de ce dernier, l'azote prend une forme réduite. La forme réduite représente les nitrites (NO_2^-) qui évoluent d'une manière inverse par rapport au nitrate. On enregistre des faibles valeurs pour les St-10- ; ST-11- ; ST-13- et ST-14- allant de 0,00 mg/l à la ST-13- et 0,03 mg/l à la ST-10- ; 0,01 mg/l à la ST -11- et ST -14-. La ST-12- présente la valeur la plus élevée de 0,07 mg/l (figure.7.25). Cette valeur classe les eaux de la nappe dans cette zone en eau de qualité moyenne selon la norme Algérienne des rejets des eaux usées.

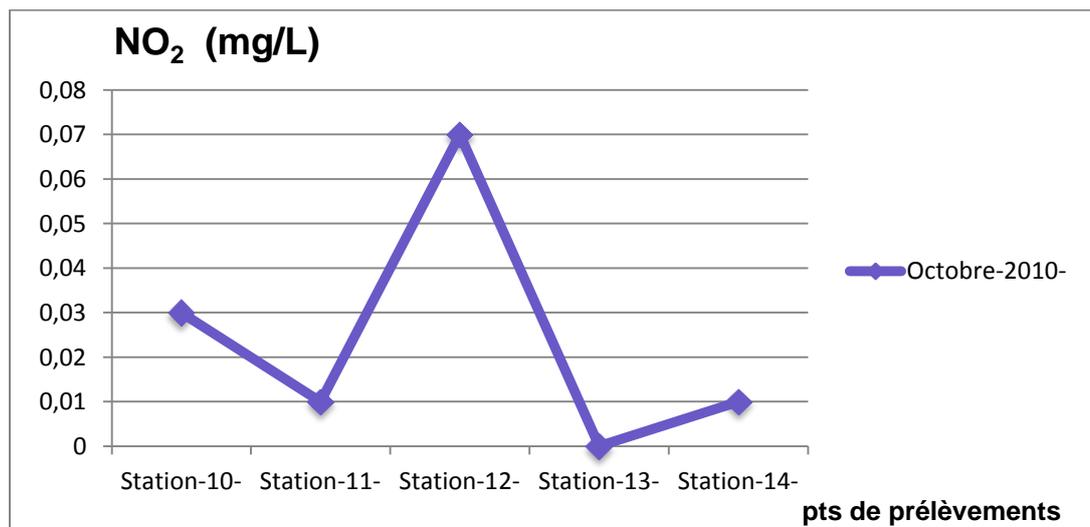


Figure.7.25 : Evolution des nitrites dans les eaux de la nappe phréatique

→ Cependant l'ammonium évolue d'une manière inverse par rapport aux nitrates pour les mêmes raisons qu'on a évoquées pour la relation nitrate-nitrite. Il est à signaler qu'il est difficile de connaître l'origine de l'ammonium quand le rejet des eaux usées domestiques ammoniacaux se déverse dans des zones agricoles, car ces derniers s'oxydent en donnant des nitrates qui se réduisent en ammonium et nitrite. Cependant les valeurs de l'ammonium enregistré lors de la campagne (d'octobre 2010) pour les eaux de la nappe sont de 0,07 mg/l à la St-14-, augmentent jusqu'à 1,24 mg/l à la ST-13- et arrivent à leur maximum à 1,58 mg/l

à la ST-12-(figure.7.26). Ce qui nous emmène à classer notre eaux de médiocre avec pollution nette à la ST-10- ; ST-12- et ST-13- et de qualité assez bonne avec pollution modérée à la ST-11- et ST-14-.

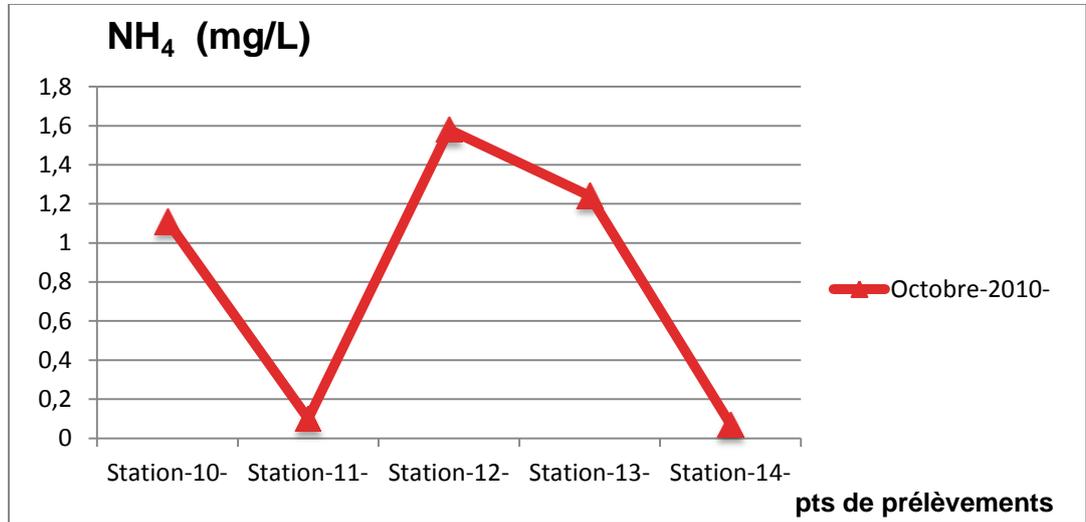


Figure.7.26 : Evolution de l'ammonium dans les eaux de la nappe phréatique

→ Pour ce qui est de l'azote Kjeldahl on note des valeurs allant de 0,12 mg/l à la ST-10- et de 0,17 mg/l à la ST-13-. Les ST-11- et ST-14- présentent des valeurs d'environ 0,20 mg/l. pour atteindre un maximum à la ST-12- avec une valeur de 3,05 mg/l (figure.7.27), valeur très loin de la limité fixé par les normes Algériennes des eaux usées.

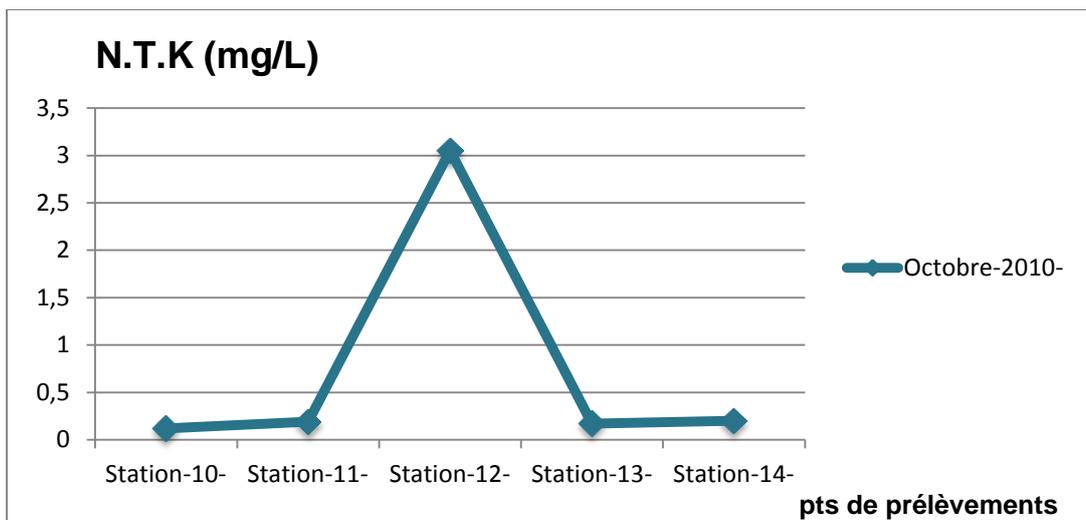


Figure.7.27 : Evolution du N.T.K dans les eaux de la nappe phréatique De la région de l'oued Righ

→ Les composés phosphorés: les agriculteurs utilisent les engrais phosphatés d'une manière aléatoire. Les engrais utilisés sont fabriqués à partir des roches phosphatées. Le phosphore présente dans ces roches n'est pas assimilable directement par les plantes surtout dans les sols basiques. L'évolution des phosphates aux cours de la campagne d'analyse en (octobre 2010) effectué sur les eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ montrent que les valeurs enregistrées vont de 0,18 mg/l à la ST-12- et arrivent jusqu'à 0,66 mg/l à la ST-10- cependant à la ST-11- ; ST-13- et ST-14- les valeurs varient de 0,59 mg/l ; 0,48 mg/l et 0,52 mg/l respectivement (figure.7.28), ce qui nous permet de classer notre eau dans la qualité polluée. On peut aussi remarquer que la ST-12- présente une valeur inférieure par rapport aux autres stations et qui est de 0.18 mg/l, cela peut s'expliquer par le fait du manque d'entretien des cultures dans cette zone.

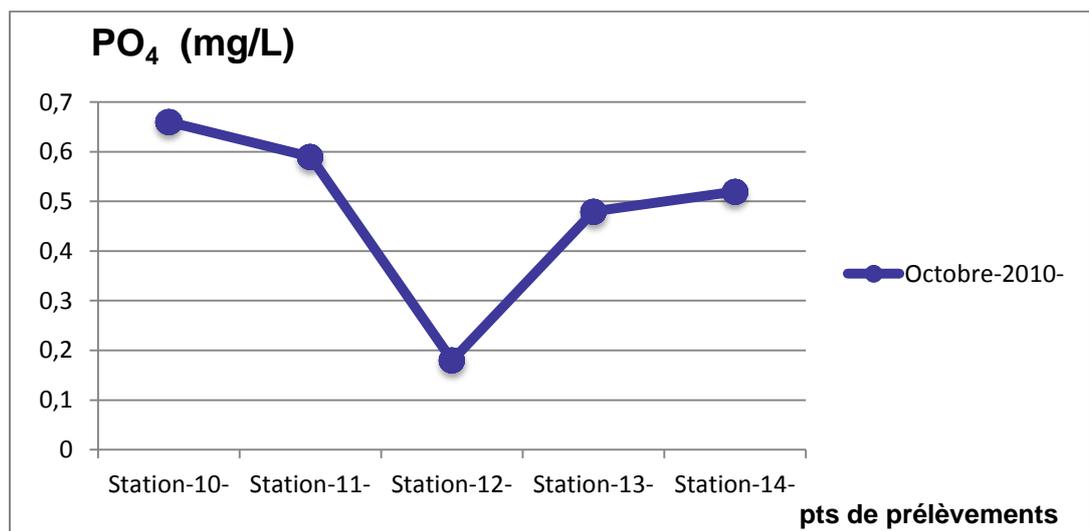


Figure.7.28 : Evolution du phosphore dans les eaux de la nappe phréatique de la région d'oued Righ

→ Pour ce qui est des valeurs enregistrées pour le phosphore total elles varient de 0,01 mg/l à la ST-11- et la ST-14- (figure.7.29), augmentent légèrement à la ST-10- avec une valeur de 0,016 mg/l et on note une valeur de 0,014 mg/l à la ST-12-. Les concentrations en composés phosphorés ainsi présent permettent de classer l'eau de la nappe de moyennement polluée à polluée.

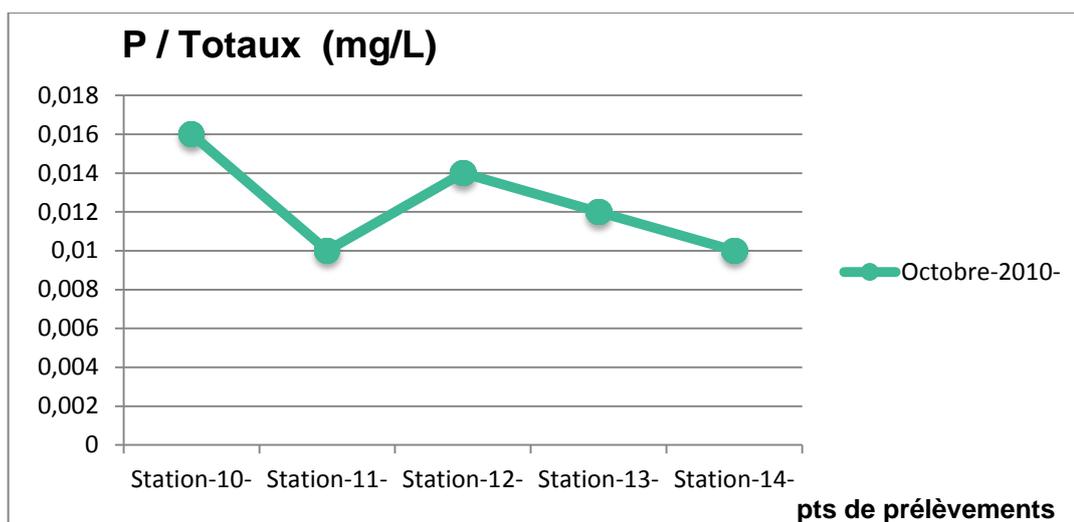


Figure.7.29 : Evolution du phosphore total dans les eaux de la nappe

7.5 : Analyse des métaux des eaux du canal d'oued Righ

Afin d'éliminer toute éventualité d'une autre sorte de contamination, une analyse des métaux a été effectuée sur les eaux du canal en (octobre 2010) celles-ci sont consignées sur le (tableau.7.5) où on peut constater que les teneurs enregistrées ne reflètent pas de grandes anomalies.

Station	Fer (mg/l)	Manganèse (mg/l)	plomb (mg/l)	Cuivre (mg/l)	Zinc (mg/l)	Chrome total (mg/l)	Cadmium (mg/l)
1	< 0,002	0,0250	< 0,01	< 0,0004	0,035	< 0,002	< 0,001
2	< 0,002	< 0,0004	< 0,01	< 0,0004	0,028	< 0,002	< 0,001
3	< 0,002	< 0,0004	< 0,01	< 0,0004	0,026	< 0,002	< 0,001
4	0,054	0,0290	< 0,01	< 0,0004	0,025	< 0,002	< 0,001
5	< 0,002	0,0180	< 0,01	< 0,0004	0,025	< 0,002	< 0,001
6	0,006	0,0220	< 0,01	< 0,0004	0,024	< 0,002	< 0,001
7	0,002	0,0260	< 0,01	< 0,0004	0,023	< 0,002	< 0,001
8	0,009	0,0270	< 0,01	< 0,0004	0,023	< 0,002	< 0,001
9	0,025	0,0210	< 0,01	< 0,0004	0,022	< 0,002	< 0,001

Tableau.7.5:Analyse des métaux des eaux du canal d'oued Righ (Octobre-2010)

➤ Les valeurs pour le paramètre (Fe) sont très faibles par rapport à la norme ressentie qui est de 0,05 mg/l et qui donne une turbidité rougeâtre. Le fer se classe au 4^{ème} rang de la croûte terrestre. Les eaux de surface peuvent contenir jusqu'à quelques mg/l de fer. Ayant pour origine la lixiviation des terrains traversés, où les pollutions industrielles. La norme nationale est fixée à 5mg/l.

➤ Le manganèse est très répandu dans la nature. Les eaux de surface en contiennent généralement moins de 0,05 mg/l. Pour ce qui est des valeurs retenues sur les eaux du canal, on considère qu'elles sont très faibles, puisque la valeur la plus élevée est de 0,029 mg/l à la ST-4-, inférieur à la norme Algérienne qui est de 1 mg/l.

➤ Le plomb est un constituant naturel, largement réparti dans la croûte terrestre. Les sols acides sont généralement moins riches en plomb que les sols alcalins. La majorité du plomb véhiculé par les eaux de surface se retrouve dans les sédiments. La nature des matières organiques édaphiques joue aussi un rôle important dans la concentration en plomb des sols. Cependant les végétaux absorbent peu le plomb tellurique et le métal ne se concentre pas au long de la chaîne alimentaire. La réglementation européenne et française a imposé une réduction progressive de la limite de qualité de 50 à 25µg/L (entre le 25 /12 /2005 et le 24/12 /2013) puis de 25 à 10 µg /l (à partir du 25 / 12 / 2013) [Rodier, 2009]. Pour ce qui est du profil d'analyse effectué sur les eaux du canal de oued Righ les teneurs en plomb sont toutes inférieures à 0.01 mg /l.

En agriculture, certaines variétés de plantes ont une grande tolérance pour le plomb qu'elles concentrent à partir du sol, qui fixe le plomb en formant des complexes avec les substances humiques. Il est à noter que la vie aquatique peut être perturbée à partir de 0.1mg/l. la limite supérieure est de 1mg/L. selon la (loi N°83-17 du 16 Juillet) portant code des eaux selon la réglementation nationale de déversement des eaux usées.

➤ Les sels de cuivre sont utilisés comme fongicides ou algicides en agriculture. Le cuivre est susceptible de perturber l'épuration des eaux résiduaires par les boues activées cela à des teneurs faibles (1mg/l). Les valeurs enregistrées pour les analyses des eaux du canal sont insignifiantes par rapport à la norme admise, puisque ces valeurs sont toutes inférieures à 0.0004 mg/l. donc une contamination par le cuivre est à exclure.

➤ Le Zinc se trouve dans les roches généralement sous forme de sulfure. Le minerai le plus répandu est le sulfure de Zinc (blende) qui contient également du Fer, du cadmium, du manganèse et de l'arsenic. D'une façon générale, les eaux à pH faible ont des teneurs en Zinc plus importantes. La présence de Zinc dans les eaux de surfaces doit être rattachée à des activités industrielles. Il y'a lieu de noter que dans les eaux résiduaires de traitement de surface, le Zinc est habituellement accompagné de plomb et de cadmium. Pour la vie aquatique le Zinc présente une certaine toxicité. Pour l'usage agricole le dépérissement des plantes peut intervenir à partir de 5 mg/l. Valeur qui coïncide avec la norme national des rejets d'eaux usées. Cependant les teneurs en Zinc enregistrées lors des analyses des eaux du canal qui varient de 0.022 mg/l à la ST-9- et allant à 0.035 mg/l à la ST-1- Ces valeurs semble être très faible pour signaler une éventuel contamination.

➤ Le chrome est présent en petites quantités dans la nature, il est plus important dans les roches de type basique que dans celles de type siliceux. D'une façon générale sa solubilité est faible vis -à -vis des phénomènes de lessivage des sols. Les eaux brutes n'en contiennent que de faibles quantités (de 5 à 15 µg/l). Du point de vue de la vie aquatique, les organismes inferieurs (limite: 0,05mg/l de chrome total) sont plus sensibles que les poissons (limite : 1mg/l en chrome total). Le profil du chrome sur les eaux du canal présent des valeurs identique inferieur à 0.002 mg/l. Donc la contamination par le chrome n'a pas lieu.

➤ Le cadmium en générale n'est présent dans les eaux qu'à des teneurs de quelques (µg/L). Lorsque des teneurs les plus élevées sont rencontrées dans les eaux superficielles ou les eaux de nappe, l'origine du cadmium doit être recherchée dans les effluents industriels (galvanoplastie, en particuliers). Le cadmium peut aussi être entraîné par les pluies à partir des fumées industrielles, pour la vie aquatique la toxicité apparait pour certaines espèces à partir de 200µg/L. En présence d'une pollution aquifère, tous les produits végétaux semblent concentrer le cadmium sans limite ni seuil, il y'a donc un intérêt certain de limiter les rejets de cadmium dans le milieu aqueux et atmosphérique et de se préoccuper attentivement de l'épandage des boues de traitement des eaux usées. La norme nationale de rejet de cadmium est fixée à 0.2mg/L. Les teneurs énergisées dans nôtre eau du canal sont tous inferieurs à 0.001mg/l. Ce qui explique que la contamination des eaux par le cadmium est loin d'avoir lieu.

Conclusion : (canal)

Les résultats obtenus montrent que les eaux du canal sont de qualité assez dégradée, puisque la majorité des analyses spatio-temporelles ont révélé des teneurs qui dépassent les normes algérienne et même parfois les normes internationales. La pollution est beaucoup plus ressentie à la station -1- qui est la station Kerdèche, en amont du canal et aussi à la station-2- qui est toujours la station Kerdèche représentant les eaux de drainage en aval du canal. Il est à noter qu'à ce niveau la largeur du canal est de **4,4 m**, sa profondeur moyenne est de **0,426 m**, la vitesse d'écoulement de l'eau maximale et minimale est de **0,486 m/s** et **0,162 m/s** respectivement et le débit est de **0,735 m³/s**.

On constate une augmentation des paramètres de pollution à la station- 4- ou le lac Temacine communique avec le canal, et la pollution se propage à la station-5- qui est la station Rannou où la largeur du canal est de **5,9 m** et sa profondeur moyenne est de **0,304 m** cependant les vitesses maximale et minimale sont respectivement de **0,66 m/s** et **0,19 m/s** et un débit de **0,215 m³/s**. On peut noter que la pollution s'accroît aussi à la station-9- qui est la station Zaouïa EL Abidia où la largeur du canal est de **5,5 m**, sa profondeur est de **0,99 m**.

La vitesse d'écoulement de l'eau maximale est égale à **0,475 m/s** et la vitesse minimale est de **0,041 m/s** le débit est de **1,345 m³/s**. Le fonctionnement du canal n'a jamais été performant surtout en amont où le débit minimum enregistré à ce jour est de **0,105 m³/s**, au niveau de la station Kerdèche. Et le débit maximum enregistré à ce jour est de **5,3 m³/s** au niveau de la station Tinedla. Nous constatons selon une étude d'experts soviétique (1970) que le débit croît linéairement selon le site de la station de mesure sur le sens de l'écoulement, la mission a avancé le chiffre de **22 millions de m³** d'eaux évacués chaque année dont **8** en été et **14** en hiver [123] mais le débit moyen enregistré au niveau des deux stations (Kerdèche, Rannou) 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 de l'oued Righ représentent un débit de démarrage d'écoulement. Et c'est pour cette raison que les valeurs élevées de paramètres de pollution durant les campagnes de (Février 2009) et (Mai, Octobre 2010), font ressentir l'impact de la pollution apportée par les eaux déversées par les agglomérations urbaines qui génèrent des quantités

importante des eaux usées sans aucun traitement préalable et des déchets solides qui sont éparpillés sur les rives du court d'eau. Les eaux du canal sont très dures et présentant une pollution à prendre en considération, et une minéralisation très élevée. Les valeurs trouvées en M.E.S ; en Résidu Sec permettent de dire que les eaux du canal sont très chargées, les teneurs en composés azotés et phosphorés dépassent les normes Algérienne de rejet des eaux usées, l'eau du canal est de ce fait classée en eau de mauvaises, à très mauvaise qualité, et permet d'avancer que la charge polluante est représentative d'une eutrophisation possible du milieu récepteur (canal).

A la fin du canal vers le chott Merouane le débit augmente, et il est de **4,11m³/s** 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. Depuis 1993 -2007 le débit moyen du canal continue à augmenter pour atteindre plus de **158 millions de m³ /an**. De ce fait la préservation des ressources hydrique devient donc impérative devant la dégradation des écosystèmes aquatiques et exige la mise en place des stations d'épuration et des décharges contrôlées pour la région d'oued Righ.

Le dosage des métaux dans les eaux du canal d'oued Righ, revêt un aspect insignifiant du fait que les valeurs enregistrées pour les analyses effectuées s'avèrent très faibles, et en dessous même des normes nationales et internationales. En effet l'appréciation des teneurs en métaux et de leur degré de contamination devrait faire la part de ce qui provient effectivement des rejets, de la disponibilité de ces éléments vis-à-vis des autres composantes du sol et surtout de la possibilité de remobilisation des métaux à partir des substrats. En suivant le profil de nos analyses sur les métaux on peut dire qu'elles ne reflètent pas de grandes anomalies, sauf quelques traces qui nous emmènent à expliquer que le canal est loin d'être contaminé par les rejets industriels et que ces eaux sont en majorité d'origine domestique (urbaine). Il s'avère alors, que pour compléter cette étude, il est nécessaire de déterminer les caractéristiques minéralogiques du site étudié, à savoir le taux de calcite et de la fraction argileuse, les différents types d'argile ainsi que le pourcentage en argile échangeuse d'ions. L'évaluation de la contamination par les métaux nécessite la connaissance des teneurs de référence déterminées à partir du sédiment d'un site dépourvu de toute pollution.

Conclusion (nappe)

Les analyses des paramètres de pollution effectués sur les eaux de la nappe phréatique des terrains avoisinant le canal, s'avèrent aussi très polluées surtout à la **station -12-** qui est la station Sidi Slimane représentant une zone cultivée pas loin du canal. Il est à noter qu'à ce niveau la largeur du canal est de **7,2 m**, la profondeur moyenne est de **0,67m**, les vitesses d'écoulement de l'eau sont de **0,668 m/s** pour une vitesse maximum, et de **0,523 m/s** pour une vitesse minimum, avec un débit des eaux de **2,237 m³/s**. Des examens ont montré que le niveau piézométrique de la nappe phréatique dans une parcelle cultivée subit des fluctuations saisonnières et spatiales, suite au mode d'irrigation et l'efficacité du système de drainage. Il faut noter qu'il existe également un équilibre entre les prélèvements et les rejets (retours d'irrigation) qui causent la stagnation des eaux de drainage, suite à l'inefficacité de ce dernier. Dans certains périmètres cultivés le niveau d'eau de la nappe qui était de **1 m** de profondeur, peut parfaitement arriver ou dépasser les **1,7m** de profondeur, ceci s'explique par l'utilisation des eaux de la nappe phréatique pour l'irrigation, en l'absence d'un réseau de drainage cette profondeur ne peut atteindre les **2,5 m** en été. 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 la l'oued Righ qui représente l'exutoire en aval, cette même direction coïncide avec le sens du drain secondaire de la palmeraie. La pollution ressentie au niveau de la **station-12-** qui est la station Sidi Slimane est due alors à une éventuelle contamination par les eaux du canal, du moment que l'irrigation se fait à partir de la nappe phréatique ou la profondeur de l'eau arrive jusqu'à **2,5 m** et que les terrains cultivés sont au alentour du canal à environ **2 à 3 km**. Donc on peut expliquer le dépérissement des palmeraies dans cette zone par deux phénomènes :

⇒ Qui est l'irrigation par des eaux polluées venant du canal.

⇒ Et stagnation de ces eaux au niveau des palmeraies par absence de drainage adéquat.

➔ Ces problèmes conjugués à une faible pente du canal, avec un excès d'irrigation et l'inefficacité du réseau de drainage font que les palmeraies de Sidi Slimane subissent un détérioration dans l'espace et dans le temps.

CONCLUSION GENERALE

Ce travail s'était donné pour objectif d'évaluer le degré de pollution des eaux du canal d'oued Righ, leurs éventuelle contamination de la nappe phréatique avoisinante et l'impact de celle-ci sur la dégradation du patrimoine phoenicicole de cette région.

* La région d'oued Righ (S. E. Algérie) est soumise à un climat aride typiquement saharien, qui se caractérise par des précipitations rares et irrégulières, une température élevée et une humidité relativement faible. L'évaporation est très intense, surtout lorsqu'elle est renforcée par des vents de sable parfois chaud et violents.

* La région d'oued Righ est caractérisée par la présence d'un sol sableux en majorité siliceux et formés de quartz pur donc insoluble. Dans les régions sédimentaires (oued Righ) on trouve aussi des sables calcaires (CaCO_3) et gypseux ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) et l'existence aussi de deux grands systèmes aquifères, séparés par d'épaisses séries argileuses et évaporitiques, de la base du crétacé supérieur. Ces deux nappes du continental intercalaire (C I) et du complexe terminal (C T), peu profonde au sud et profonde au nord, présente une potentialité en eau importante. Ces nappes sont fortement utilisées pour l'irrigation, l'industrie et l'alimentation en eau potable.

* La nappe phréatique est contenue dans les niveaux sableux argilo-évaporitiques du quaternaire. Elle est principalement alimentée par les eaux d'irrigation et de distribution urbaine. L'évacuation des eaux industrielles, ménagères et agricoles (drainage) de la région vers le chott Merouane se fait à partir d'un canal d'oued Righ dont la longueur atteint les 150 Km et la largeur d'une trentaine de mètres.

* La surface piézométrique de la nappe phréatique présente une fluctuation régulière, caractérisée par une baisse durant la période de basses eaux, sous l'effet de l'évaporation, et une remontée pendant la période de hautes eaux, suite à la recharge de la nappe à partir des précipitations.

* La situation est devenue dramatique dans la vallée d'oued Righ, grand collecteur des eaux de drainage des nombreuses palmeraies couvrant 20 000 ha dont 8000 ha ont été mis en valeur depuis 1986. Les besoins en eaux du palmier

dattier reste relativement importants, pouvant atteindre jusqu'à 26 000m³/ha/an. En effet la réalité reste difficile à cerner, compte tenu de la multiplication des forages illicites, particulièrement dans certaines zones de l'oued Righ, telles que la zone de Touggourt. D'après les estimations, la superficie des oasis dans la vallée dépasserait 76 000 ha, dont plus de 14 000 ha de mise en valeur anarchique à la faveur de forage illicites et d'extensions à la périphérie des anciennes oasis. Tout l'espace de la vallée d'oued Righ est en pleine mutation, dans cette région relativement plane où les eaux ont du mal à s'évacuer, le niveau statique de la nappe superficielle alimenté par les eaux de drainage et les usées urbaines de Touggourt a régulièrement augmenté se rapprochant ainsi de la surface du sol.

* L'eau vient même chaque hiver stagner en surface.

* Ces eaux usées urbaines, la plupart du temps rejetées dans le milieu naturel qui est le canal sans avoir été traitées, constituent en outre un risque sanitaire pour les populations fréquentant les sites de rejets.

* Le suivi de la qualité des eaux du canal dans le temps et dans l'espace a montré l'impact des facteurs climatiques (les précipitations et l'évaporation) sur la minéralisation des eaux du canal et de la nappe.

* La comparaison des concentrations des éléments chimiques (Na⁺ ; Cl⁻ ; Ca²⁺ ; SO₄²⁻ ; HCO₃⁻) qui caractérisent les formations géologiques principales de la région et du canal, a mis en relief la dominance des ions salifères (Na⁺ ; Cl⁻) et les ions gypsifères (Ca²⁺ ; SO₄²⁻) par rapport à ceux carbonatés (Ca²⁺ ; HCO₃⁻) dans l'acquisition de la salinité, celle-ci est très élevée dans la totalité des eaux du canal, avec une conductivité électrique allant jusqu'à 26.30 ms/cm. (classe C₅), une valeur du SAR > 28 (classe S₄) et des teneurs en TDS allant jusqu'à 21 g/l.

* La quantité de sel mise en jeu est très importante, elle introduit dans le même exutoire naturel environ 1,2 à 2,4 millions de Tonnes de sels par ans. Les eaux du canal sont excessivement salées, très dures, légèrement basiques, et de faciès chimiques globaux hyper-chlorurés sodiques.

* Les classifications de RICHARDS et celle de WILCOX ont montré la dégradation des eaux pour l'irrigation, qui sont de très mauvaise qualité et appartiennent en majorité à la (classe C₅S₄).

* Quand à l'aspect environnemental, les investigations sur les sources de pollution du canal d'oued Righ ont fait apparaître une forte contamination de celle-

ci par des nutriments d'origine et par les rejets urbains, qui sont déversées sans aucun traitement préalable, avec des valeurs en Résidu Sec ; MES ; DBO₅ et DCO supérieur à la norme nationale et internationale.

* Les teneurs en composées azotés et phosphorés dépassent les normes Algériennes de rejets des eaux usées, l'eau du canal est de ce fait classée en eau de très mauvaise qualité, et permet d'avancer que la charge polluante est représentative d'une eutrophisation possible du milieu récepteur (canal).

* La pollution est plus ressentie au niveau de la station Kardéche en amont du canal où le fonctionnement n'a jamais été performant, avec un débit de 0,105 m³ / s, cependant ce débit croit linéairement selon le site de la station de mesure sur le sens de l'écoulement, la vitesse de l'écoulement est certainement dû à la diminution de la pente du lit qui est faible au démarrage de l'écoulement (station Kardéche) amont du canal. On peut noter aussi que la pollution s'accroît aussi à la station Zaouia El Abidia où la largeur et la profondeur du canal diminue ainsi que la vitesse de l'écoulement de l'eau.

◆ Le suivi de l'évolution de la qualité des eaux de la nappe phréatique avoisinants le canal à montré que la contamination de la nappe est très accentuée au niveau de la station Sidi Slimane où on note des valeurs de conductivité électrique de 17,9 ms/cm soit 14,32 g/l de sel dissout, une eau dure avec un pH alcalin, un taux de Résidu Sec valant 14,920 g/l et une turbidité allant jusqu'à 1000 N T U.

◆ Les eaux de la nappe sont très minéralisées et présente un faciès chloruré-sodique, le diagramme de Richards et Wilcox ont montré que les eaux de la nappe au niveau de la station Sidi Slimane sont de mauvaise qualité, et même déconseillé pour l'utilisation (classe C₅S₄).

◆ Pour ce qui est des teneurs en DBO₅ ; DCO ; composée Azotés et phosphorés on peut dire qu'elles frôlent de très près les normes des rejets des eaux usées et cela au niveau des 5 points piézométriques, surtout au niveau de la station Sidi Slimane où la pollution s'accroît et nous permet de classer notre eaux en classe polluée à très polluée. Il faut noter que le niveau le plus proche du sol entre 0,2 et 0,4 m se situe dans cette zone et qui est une zone cultivée. Tandis que les niveaux les plus profonds se trouvent entre 1,5 à 2,20 m dans les terrains nus. Généralement dans les terrains nus (sebkhas) entre la station Kardéche et Sidi Slimane, la salure des eaux de nappe phréatique est variable et diminue en

fonction de sa profondeur. Dans la zone de Sidi Slimane, 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.

✦ Le diagramme de PIPER des eaux de la nappe nous a permis de conclure que les eaux de la nappe sont de faciès dominant qui est le chloruré- sodique à 80% des cas, suivie du faciès sulfaté-sodique dans 20% des cas.

✦ L'évolution du SAR et des T D S ainsi que du % de Na, présentent des teneur élevée au niveau de la station Sidi Slimane d'après les diagramme de RICHARDS et WILCOX, on a pu faire apparaitre les classes (C_4S_3 - C_5S_3) pour les stations (ST-10- ; ST-11- et ST-14-) et qui sont des eaux de très mauvaise qualité et fortement minéralisée utilisable seulement dans des circonstances exceptionnelles, la classe (C_5S_4) apparait au niveau des (ST-12- et ST-13-) et qui sont des eaux déconseillé pour l'irrigation donc très fortement minéralisée.

✦ Pour ceux qui est de la pollution environnementale, les valeurs des M E S de la DBO_5 ; de la DCO ; des composées azotées et phosphorés, sont quelques fois supérieur à la norme des eaux usées Algériennes et parfois même international.

► En ce qui concerne le suivi des éléments traces métalliques sur les eaux du canal, l'étude nous a permis de montrer l'existence de très faibles concentrations, probablement dû aux rejets directs des effluents domestiques, d'activités artisanales aussi d'établissements industriels dans le canal sans le prétraitement qui apporte une charge en ces éléments. Mais globalement ces valeurs sont inférieurs à la valeur limite fixé par les normes Algériennes, pour avoir un sérieux impact sur la pollution des eaux du canal.

➔ D'une manière générale il en ressort de cette étude que l'ensemble des eaux du canal d'oued Righ présentent des signes considérables de dégradations, puisque la majorité des analyses ont révélé des teneurs qui dépassent les normes Algériennes notamment en amont du canal, a la station Kardéche et aussi au niveau de la station Zaouia El Abidia à la sortie de Touggourt où la pollution des eaux est très importante. Les eaux dégradées du canal sont acheminé dans des zones de percolation qui ont favorisé la contamination de la nappe phréatique, ou on a pu remarquer des phénomènes indésirables tels que la dégradation des palmiers dattiers avoisinants le canal.

- ☞ L'action conjuguée d'un climat caractérisée par une évapotranspiration intense, et la présence d'une nappe peu profonde fait que la plupart des sols subissent le phénomène de salinisation secondaire.
- ☞ Plus il y a du sel dans l'eau et moins il peut pénétrer d'eau dans la plante, la présence de sodium exerce alors une action néfaste sur la végétation et le sol, causant des changements de perméabilité et de l'aération du sol d'une part et d'autre part, ils provoquent des perturbations du métabolisme des plantes et du processus osmotique de ces dernier.
- ☞ La teneur élevée en sel augmente la pression osmotique dans la solution du sol, qui entraîne la diminution concomitante de l'eau disponible pour les palmiers. Des valeurs importante de (P.O) sont enregistrée dans cette étude arrivant à la station Kardéche jusqu'à 9,47 atm, valeurs qui traduit une diminution nette de la croissance des palmiers dans ces régions, voir même en certain endroit dépérissement des palmiers.
- ☞ La contamination des eaux de la nappe phréatique par les eaux polluée du canal ; suivie d'une minéralisation très élevée de ces eaux, ont été enregistré surtout au niveau de la station Sidi Slimane, qui est une zone cultivée pas loin du canal, et qui voit aujourd'hui une dégradation importante de son patrimoine phoenicicole dans l'espace et dans le temps suite à la dégradation des eaux de la nappe qui a été contaminée par les eaux polluée du canal.
- ◆ Le problème ne réside pas iniquement dans la pollution des eaux, mais la surexploitation de ces derniers à partir des nappes profonde d'une manière anarchique qui a provoqué un énorme problème dans l'écosystème, c'est la remontée des eaux profondes qui a causée un déséquilibre écologique dans la vallée d'oued Righ, détérioration du tissu urbain, inondation d'un grand nombre de palmeraies, et détérioration de la qualité de l'eau. La palmeraie de la vallée d'oued Righ est aujourd'hui malade de trop d'eau de mauvaise qualité.

RECOMMANDATIONS

L'eau est un milieu complexe et les interactions sol-plante sont largement conditionnées par les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques de cette eau, et par les variations de ces caractéristiques.

La situation à oued Righ exposée, impose la nécessité d'une évaluation et d'une gestion prudente de cette précieuse et rare qui est l'eau en milieu aride. Elle exige également une mutation positive des mentalités et des comportements des oasisiens, ainsi qu'une réflexion novatrice et prospective de la part de l'autorité chargées des ressources en eaux.

La réflexion stratégique intégrée et durable des ressources en eau dans les oasis de la vallée d'oued Righ pour éviter une telle dégradation doit tenir compte.

- ◆ De l'exploitation rationnelle du volume limité en eau.
- ◆ De renforcer le cadre institutionnel en matière d'exploitation et de gestion des nappes profonde (nappe du C.I et C.T) en créant des comités intersectoriels, pour fermer les forages illicites et mettre l'application des lois et décrets relatifs à la gestion de l'eau.
- ◆ Des ressources humaines existantes dans chaque oasis.
- ◆ Des problèmes d'hygiène et de santé, tout particulièrement ceux liés à l'usage d'eaux usées, mal ou pas traitées et/ou d'eaux naturellement polluées.
- ◆ D'une socio-économie ne pouvant pas toujours supporter les systèmes de traitement habituellement proposés,
- ◆ Des besoins réels en eau.
- ◆ Des problèmes d'énergie et de matériels qui doivent tenir compte des contraintes techniques, économiques, environnementales et climatiques.

▶▶ Le palmier dattier supporte bien les eaux d'irrigation salées, mais la quantité et la qualité des dattiers produites sont supérieures lorsqu'il est irrigué avec de l'eau douce. Pour pallier les inconvénients de la salinisation et du compactage du sol qui empêche l'infiltration il est conseillé :

- ▶ De procéder à un raclage de la pellicule saline superficielle.
- ▶ De procéder à des irrigations très fréquentes de lessivage des sels solubles.

- ▶ D'ameublir le sol sur 1 m 50 à 2 m cela lui confère une perméabilité suffisante pour que l'eau et l'air puissent circuler, et pour permettre à l'enracinement du palmier de disposer d'un volume de terre important à exploiter.
- ▶ Installer un réseau de drainage bien étudié (profondeur, espacement ...etc.) et faire une désalinisation préalable par quelques irrigations à forte dose si le sol est très salé au départ.
- ▶ Il est toutefois conseillé d'incorporer du sulfate de chaux à la dose de 5 quintaux par hectare afin de diminuer l'effet de la salinisation.
- ▶ De pratiquer des irrigations rationnelles : doses et fréquences en fonction du sol et des besoins saisonniers du palmier.

PERSPECTIVES

❖ La pollution n'est pas une fatalité, même dans les milieux arides, le traitement des eaux usées conduit en milieu oasien notamment à une eau traitée non potable ; il existe dans l'esprit de chacun une image peu valorisante du traitement des effluents domestiques et déchets. Aussi on mesure toute l'importance de l'impact socio-économique d'une politique qui donne un aspect plus positif au traitement des effluents.

Il reste à déterminer quel type possible de dispositif de traitement des eaux usées peut- on proposer dans le contexte du milieu aride, dispositif qui devra être choisi pour sa simplicité, faible coût d'entretien, sa robustesse.

❖ La filière d'épuration la mieux adaptée au contexte saharien est le lagunage pour les raisons suivantes [performances épuratoires adaptées aux objectifs sur la pollution carbonatée et bactériologique, procédés acceptant les caractéristiques des effluents (salinité, sulfates,...ect)]. donc le procédé choisi d'hygiénisation des eaux usées le mieux adapté avant leur rejets en milieu naturel qui est le canal d'oued Righ est le traitement par lagunage en raison de sa facilité de mise en œuvre et de contrôle et sa grande efficacité dans les zones chaudes et ensoleillées.

❖ Ces techniques sont en effet préférables aux stations d'épuration « classique » qui ne sont pas les plus adaptées.

❖ Le projet de traitement portera également sur l'optimisation de la valorisation de ces eaux résiduaires traitées et la détermination de nouvelles méthodes de gestion pour diminuer les pertes et valoriser au maximum la ressource en eau. L'objectif à terme de ce projet est de proposer un système de fonctionnement durable du milieu oasien dans la vallée, en particulier en ce qui concerne la gestion de la ressource en eau.

❖ Il intégrera notamment les agriculteurs légitimes propriétaires de cette eau qu'ils utilisent déjà fréquemment sans précaution pour l'irrigation, légalement où non. Cependant la législation dans le domaine de l'utilisation des eaux usées pour l'irrigation reste imprécise en Algérie où la loi 137 stipule qu'il est interdit d'utiliser les eaux résiduaires urbaines, mais la loi 138 dit qu'en cas de déficit, on peut

utiliser, à condition qu'elles soient épurées et qu'elles ne servent à irriguer que les produits destinées à la cuisson.

❖ L'hygiénisation des eaux usées, utilisées jusqu'à présent sans précautions pour irriguer certaines palmeraies, limitera en outre le risque sanitaire pour les agriculteurs et les consommateurs.

❖ La limitation des rejets d'eaux usées réduira la remontée des nappes phréatiques et permettra de préserver les palmeraies anciennes des processus de salinisation et d'hydromorphie, et de conserver une ressource économique fondamentale dans ces zones sahariennes.

❖ Il faut donc insister sur l'urgence qu'il y a de former des spécialistes et des équipes qui puissent traiter ce problème localement, car chaque situation présente des caractéristiques différentes et appelle des solutions adaptées. Réétudier l'emplacement des décharges d'eaux usées des agglomérations en les installant loin des zones vulnérables à la pollution, et ce pour éviter leurs effets sur les ressources hydriques, surveiller en permanence la qualité des eaux au niveau de l'oued, réaliser une étude de modélisation des écoulements souterrains pour connaître les mécanismes de transfert des polluants, ce qui peut beaucoup aider la protection de la nappe contre la pollution. Pour réaliser tout cela la mise en place de laboratoires spécialisés et pluridisciplinaires dans le domaine de la gestion et du traitement des eaux résiduaires urbaines est une priorité, car le traitement et la réutilisation des eaux usées ne sont plus des solutions marginales ou occasionnelles, mais bien une phase substantielle du nouveau cycle hydraulique saharien qui va s'installer dans ce XXI^{ème} siècle.

REFERENCES

1. Khadraoui, A., "Eaux et sols en Algérie, gestion et impact sur l'environnement ISBN", 9947.0.1193-3, (2006), 94p.
2. Benhaddya, M^{ed}., "Contribution à l'inventaire des éléments traces dans les sols et dans les eaux souterraines dans la région de l'Oued Righ :leur origine et leur impact sur l'environnement ",(2007),1p.
3. Viziterv,T.," 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.
4. Khadraoui, A., " Sols et hydraulique agricole dans les oasis Algérienne, caractérisation, contraintes et propositions d'aménagement ", (2005), 317 p.
5. Cote M., " des oasis malades de trop d'eau ", sécheresse, (1998) ,9., 123-30.
6. Simonneau,P., et Aubert,G., " L'utilisation des eaux salées au Sahara ",(1963), 859-872.
7. Sogetha- Sogreah., " participation à la mise en valeur de l'Oued Righ ", étude agro-pédologique,(1970),201p.
8. Dubost,D., " Ecologie, aménagement et développement agricole des oasis Algérienne ", Thèse de doctorat en géographie et aménagement du monde arabe, université François Rabellais-tours, tome .2, (Octobre 1991).
9. O.N.M., "Office national de météologie", station Touggourt,Algérie,(2005).
10. Pizzi,G., et Sartori,L., "Interconnected groundwater systems simulation ",IGROSS," Description of the system and a case history application ", Hydrol,J., 75,(1984),255-285.
11. Khadraoui, A.,DG/ABH Sahara, " Gestion des ressources en eaux souterraines au Sahara Algérienne ",p 4.
12. Ould Babasy., " Recharge et paléo recharge du système aquifère du Sahara septentrional ", (2005), 37-49.
13. Benhaddya, M.L., " contribution à l'inventaire des éléments traces dans les sols et dans les eaux souterraines dans la région de Oued Righ leur origine er leur impact sur l'environnement ", thèse de Magister, centre larbi ben M'hidi Oum El Bouaghi,(2006-2007),120p.
14. Khadraoui, A., " Eau et Impact environnemental dans le Sahara Algerien, Définition- Evaluation et perspective de développement ", (2005), 305p.
15. Fiche descriptive sur les zones humides Ramsar,(2001).
16. Hafouda,L," Caractérisation et quantification de la salinité du sol et de la nappe dans la vallée d'oued Righ", thèse de Magistère, Institut National Agronomique , El Harrach, Alger,(2005),75- 80.

17. Cserni, I., "Analysis of soil hydraulic conductivity in palm plantation in the saline soils of the Oued Righ", (2002).
18. Sogeta –Soghrea., " Participation à la mise en valeur de l'Oued Righ ", étude agro pédologique, (1970), 201p.
19. Soutrer, M., et Musy, A., " Statique et dynamique de l'eau dans le sol, traité d'irrigation ", Ed, ENGEF, Lavoisier, (1998), 641-686.
20. Aubert, G., et Szablocs., "Institut National des sols, de l'irrigation et du drainage ", Les sols salins en Algérie " Ministère de l'agriculture et du développement Rural, (1989).
21. Aubert, G., " Les Sols de régions arides", www.wadilarab.com, (1983).
22. Sumner, M.E., "Sodic soils, new perspectives", Australian journal of soil research, 31, (1993), 683-750.
22. Levy, G.J., Sodicity in Sumner, M. E., Ed, Handbook of soil science ,CRC press, Ny ,USA, (2000), pp G 27-G62.
23. Benguergoura Laradj, S et Remini, B , " The releases of wastewater in the Oued Righ valley. The palm groves in decline", publisher, Taylor & Francis, London ; V.52, (2013), pp 2187-2192.
24. Braudeau, E., et Hachicha, M., " guide du suivie de la salinité des eaux et du sols ", Orstom-Ingref , (1998).
25. Madani, Djamilia., " Relation entre le couvert végétal et les conditions édaphiques en zone à déficit hydrique " université de Batna, magister, (2008).
26. Servant, J.M ., " Etude pédologique des sols halomorphes". These. Doc. Uni. Montpellier, (1975), 194p.
27. USSL, Staff , " Diagnosis and Improvement of saline and Alkali soils". U.S.D.A , Handbook , n°.60, (click on index Number for available HTML/PDF version) , (Web version only), (1954) .
28. Robert, M., "Le sol interface dans l'environnement ressource pour le Développement " Ed. Masson. Paris, (1996), 243 p.
29. Durand., "Diagnosis and improvement of saline and alkali soils" U.S.D.A , Handbook , n° 60 ,in US, Salinity Laboratory , 1950, Washington, (1983), 160p.
30. Gaucher., (1974), et Hullin., (1983), et al dans Soutrer ,M., et Musy, A., (1998), " statique et dynamique de l'eau dans le sol traité d'irrigation " Ed, E.N.G.E.F (ENGEF), Lavoisier , 641-686.
31. U.S.D.A., united states salinity laboratory "dianoses and improvement of saline Alkali soils agriculture" Handbook , n° 6 ,Reverside, (1954).
32. Durant, J.H., " Etude hydrogéologique pédologique et de salinité " Rapport général, n°.1, ACCT, ouvrage-article "arrêter le désert", Paris, France, (1988).

33. Servent,J.,“ contribution à l'étude pédologique des terrains halomorphes, exemple des sols salés du sud et du sud ouest de la France ”, thèse de Dr,SC, ENSA, Montpellier,(1975),Dr.Science Naturelles, Univ,Sciences et Techniques du Languedoc, tome.1, (Texte et Tableaux),194 p.
34. IPIRID, FAO,CISEAU ., organisé , et modéré.“ Conférence électronique sur la salinisation, Extention de la salinisation et stratégés de prévention et réhabilitation ” du (6 février, au 6 mars 2006).
35. Douaoui,A., “ Qualité des eaux souterraines utilisées en irrigation et risque de dégradation des sols dans la plaine du Bas-cheliff, Algérie ”,
Univ Hassiba Benbouali de Chlef, Algérie, Umr G-eau Girad , 34398, Montpellier, France, (2007).
36. Kovda,V.A., “ Loss of productive land due to Salinisation”,Ambio.12, (1983),91-93.
37. Bot,A., Nachtergaele, F.,&young.A., “Land resource potential and constraints at regional and country levels” Word soil Resources Report ,n^o 90, Rome, FAO of UN,(2000).
38. Mashali, A., Suarez,D.L., Nabhan,H.,& Rabindra,R., “Integrated management for sustainable use of salt- affected soils” Rome FAO soils bulletin, now printing,(2005) .
39. Simonneau,P., et Aubert,G., “l'utilisation des eaux salées au Sahara”.
Service des études scientifiques appliqué à l'hydraulique, Alger, Section de pédologie, O.R.S.T.O.M, France,(1961).
40. Cointepas, J.P., “ compte rendu concernant la parcelle d'essais de Ksar Khilane ” S.S.E.P.H., rep. Tunis. E.S.30.(1960).
41. D.R.S.O., “ Etude d'approche sur le captage traditionnel (Foggara) ” ministère de l'équipement et de l'aménagement du Territoire A.N.R.H-Dir.Rég du sud-Ouest Adrar. (Avril 1999), Document non numéroté, 120 p.
42. E.R.E.S.S. “ Note sur l'établissement de l'historique de l'évolution des niveaux ” piézométriques de l'Oued Righ E.R.E.S.S. Ouargla (1970).
43. Braudeau,E.,et Hachicha,M., “ Projet d'irrigation de la Basse Vallée de la Medjerda et de Ras Djebel” guide du suivi de la salinité des eaux et du sol.,Orstom-Ingref.,avec la collaboration de AHT international. Tunisie,(1998).
44. Isabelle,couture., “ Analyse d'eau pour fin d'irrigation MAPAQ Montérégie-est AGRI-Vision ,(2003-2004).
45. Protec Traitement des eaux “ Analyse des eaux Signification des titres chimiques ” http://www.protec.traitement.com/15_signification_des_titre_chimique.Htm.
46. Boulaine,J.,“Hydrogéologie, des écoles nationales de génie rural des eaux et des forets”,n°1412,Alger (1971), 125p.
47. Ayers,R.S.,et Wescot,D.S., “ Water quality for agriculture .Irrigation and drainage”, paper. 29, FAO, Rome (1985).

48. Chevy.,Richards,L.A.,et al., U.S. Salinity Laboratory , “ Diagnosis and improvement of saline and alkali soils” editor (E.U.A),(1996),157 p.
49. Kovda ,V.A., “Problèmes de désertification et de la salinisation des terres irriguées” Ed,Kollos, Moscou,(1984),301p.
50. Borovski,V.M.,1981. “ Théoretical principales of soil Salinisation désalinisation” Ed , Naouka,Almez-Alta,(1981),290p.
51. Mermoud,A., “Maitrise de la salinité des sols” cours de physique du sol, Ecole polytechnique fédérale de Lausanne,(2006).
52. FAO., “Water Quality for agriculture” ,V.29,rev .n°1. FAO, Rome, (1985).
53. Bouteyre,G., et Loyer., “Sols salés, eaux saumâtres des régions arides tropicales et méditerranéennes : principaus faciés, conséquences pour l’agriculture ” ,ORSTOM, Paris (1991).
54. Cote, M.,“Des oasis malade de trop d’eau”,revue sécheresse,V.9-2 ,(1998), 81-176.
55. Visterev,T., “ Etude agro-économique, réaménagement et extension des palmeraies de la vallée de Oued Righ ” Ed Budapest,(1985-1986).
56. Munier,P., “ Le palmier dattier ” , Ed maison-neuve et larose, Paris (1973),217p.
57. Simonneau, P., “ Observation sur l’irrigation du palmier dattier ” Les journées de la datte, Algérie, (3-4 mai 1961).
58. Girard,M.,1961. “ Actualité dans le domaine de la recherche en phoëniculture ”,Les journées de la datte ,Algérie, (3-4 mai 1961).
59. Daoud,Y.,et Halitim,A., “ Irrigation et salinisation au Sahara algérien ” Sécheresse, V. 15,(1994),151-160.
60. Pernes, J.J., “ l’eau et les hommes au Maghreb ” contribution à une politique de l’eau méditerranéenne, Ed, Karthala, Paris, (1999) ,461p.
61. Simonneau,P., et Aubert,G., “ L’utilisation des eaux salées au Sahara ”,(1963), 859-872.
62. Salem,A.,“ Foggara et Kettara un système millénaire de captage des eaux ” in l’eau et Maghreb, Ed, PNUD,(1988),131-1136.
63. Charoy,J., et Torrent,H.,1990. “Origine, gestion de l’eau, évaluation des aquifères dans les oasis ”, Revue option méditerranéenne, CIHEAM, Série. A, n° 11, (1990), 229-235.
64. Brouwer,C., FAO., “ Gestion des eaux en irrigation ”, Manuel de formation n° 5 , Méthode d’irrigation organisation des nations unies pour l’alimentation et l’agriculture , Institue international pour l’amélioration et le mise en valeur des terres,(1990).
65. Victor, Savoie., “ le drainage de surface ”, Formation pour OAQ MAPAQ, centre du Québec, (2009-2010).

66. MEZA, N., " l'irrigation et le drainage en région Saharienne et leur impact sur le milieu (cas de la vallée de Oued Righ) dans l'environnement en Algérie " ,Ed laboratoire d'étude et de recherche sur le Maghreb et la méditerranée université de Constantine, (2001), 81-89.
67. Visitery,T., " Etude du réaménagement et de l'extension des palmeraies de Oued Righ " Ed Budapest,(1989).
68. Guilloteau, J., " l'eau dans les zones arides " organisation des nations unies pour l'éducation, la science et la culture, original Français, Paris,(1959).
69. Zella,L., et Mouhouche,B., "Guide pratique de micro-irrigation", office des publications universitaires,(2004),61p.
70. A.N.R.H., " Inventaire des analyses physico-chimique des eaux d'irrigations et jaugeage ", Algérie,(2003-2007).
71. Merrouki,K., Cherfouh,R., et Derridj,A., " Eaux d'irrigation et comportement des cultures sous palmier dattier dans l'Oued Righ ", Sud est Algérien Faculté des Sc. Biologique et Sc. Agronomiques université Mouloud Mammeri de Tizi Ouzou, Algérie.
72. Dubost,G.,et Dubost,D., " Méthode pratiques pour le calcul de l'évapotranspiration au Sahara Algérien", Bull. Agr Sahar, n° 5,(1983) ,111-42.
73. Hayward, H.E., " Programme de la zone aride, croissance des plantes en milieu salin " ,United states salinity laboratory,Reverside, californie.U.S.A,(Mai 1952).
74. Wilcox,L.V., " The quality of water for irrigation use " U.S, Dept, Agr, Tech, Bull, n° 962,(1948).
75. Magistrad,O.C., et Christiansen,J.E., " Saline soils , their nature and management " U.S, Dept, Agr , Circ, n° 707, (1944).
76. Eaton,F.M., " Boron in soils and irrigation waters and its effects on plants " , U.S, Dept, Agr, Tech, Bull, n° 448),(1935).
77. Harris,F.S., "Effect of alkali salts in soils on the germination and growth of crops " , Journal, Agr, Res, V.5, (1915),1-53.
78. Magistred,O.C., "Plant Growth relation on saline and alkali soils", Bot, Rev, V. 11, (1945), 181-230.
79. Hayward,H.E., et Wadleigh, C.H., "plant growth on saline and alkali soils", Adv, in agronomy, V. 1,(1949),1-38.
80. Ratner,E.I., " The influence of exchangeable sodium in the soils on its properties as a medium for plant growth" ,soils , sci ,V. 40,(1935), 439-471.
81. Magistrad,O.C., et Reitemeir,R.F., "Soil solution concentrations at the wilting point and their correlation with plant growth " ,soils ,sci ,V.55 ,(1943),351-360.
82. Adriani, M.S., "Recherches sur la phytosociologie, la synécologie et le bilan d'eau des halophytes de la région néerlandaise méridionale ainsi que la méditerranée française", Montpellier station international de géobotanique méditerranéenne et alpine, Communication, n° 38, France,(1934).

83. Killian, C.H., et Faubel ., 1933 “ Observation sur la pression ostomique des végétaux désertiques et subdésertique de l’Algérie ”, Société botanique de France, Tome. 80, n^o 9-10, Paris(1933), 175-178.
84. Adriani,M.S.,“ Recherches sur la synécologie de quelques associations halophiles méditerranéennes ”, Montpellier station internationale de géobotanique méditerranéenne et alpine communication ,n^o 32 ,France(1934),9-31.
85. Russell,E.J., “ Soils conditions and plant growth ”,Londre Longmans, Green and Co,(1952),606 p.
86. History : weather underground ,“ Historique pour Touggourt ” Algérie [http : //www.climatedata.eu](http://www.climatedata.eu)
87. SOGREAH Ingénierie ., “ Etude des nappes alluviales entre Chalon sur Saône et la Truchère” ,Conseil Général de Saône et Loire, service départemental de l’agriculture, avril (1994).
88. O.N.M., “Office national de météologie”, station Touggourt, Algérie,(2009).
89. Daoud., et Halitim., (1994), REZKI.,(2000)., HALITET., et DOGAR., (2000), dans “ Comportement des sols gypseux sous irrigation en zone aride ”, projet CNEPRU chef du projet : BENSÂÏD Rabah.
90. Braudeau, E., et HACHICHA, M.,“ Projet d’irrigation de la basse vallée de la Medjerda et de Ras Djebel, guide du suivi de la salinité des eaux et du sol ”, Tunisie,(1998),34p.
91. Klintworth,H., “ The use of brack water for irrigation” farming in south Africa, V. 27, n^o 311, Pretoria, (Février 1952),45-51.
92. RATNER, E.I.,“ The influence of exchangeable sodium in the soil on its properties as a medium for plant growth”, soil, Sci, V. 40, (1935), 459-471.
93. Hayward,H.E., Programme de la zone aride “Croissance des plantes en milieu salin ”, Riverside Californie USA, UNESCO/N/ AZ/81,Paris,(Mai 1952).
94. Stewart, R., et Peterson, W., “The origin of niter spots in certain western soils”, Jour, Amer, Soc, Agron, V. 6 , (1915),241-248.
95. Person,J.,“Irrigation et drainage en Tunisie problème posé par la salinité des sols et des eaux”, Bulletin du BRGM, 2^{ème} série, section III, n^o 2,Tunis(1978), 143-151.
96. Roald Simler ., <http://www.lha.Uvin-avignon.fr/LHA-Logitiels-htm>
97. C Serni,I., “ Analysis of hydraulic conductivity in palm plantation in the saline soils of the oued righ”,(2002).
98. Mashali, A.M.,“Soil management practices for gypsiferous soils-international symposium on soils with gypsum-Léïda” ,Espagne, (1996), 34-52.
99. Gouaidia, L.,“Influence de la lithologie et des conditions climatiques sur la variation des paramètres physico-chimiques des eaux d’une nappe en zone semi-aride, Cas de la nappe de MESKIANA nord-est Algérien”, faculté des Sciences de la terre, département de géologie, Univ, Badji MOKHTAR-ANNABA,(2008), 89 p.

100. Debiche, T.H., " Evolution de la qualité des eaux (salinité azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle", Thèse de doctorat, Uni.de Franche comté,(2002),199 P.
101. Doneen, L.D., " The influence of crop and soil on percolating water", Biennial conf on ground water recharge, Proc,(1961), 10 p.
102. Amor, M'timet., et Roger, Pontanier., " Contraintes édaphiques et utilisation des eaux saumâtres en milieu oasis ", Direction des sols orstom Tunisie. ISSN-0330-2059, Tunis, (1995) .
103. Braudeau, E., et Hachicha, M., "Projet d'irrigation de la basse vallée de la Medjerda et de Ras Djebel", Orstom-Innrrgref guide du suivi de la salinité des eaux et du sol (avec la collaboration de AHT international), Tunis(1998), 37 p.
104. Magistad, O.C., et Reitmeir, R.F., " Soil solution concentration at the wilting point and their correlation with plant growth ", soil ,sci, V. 55, (1943), 351-360.
105. UNESCO., "Use of saline waters", Proceeding of research on arid, NS.56 III, 5 F,(1957).
106. Djennane, A., " Constat de situation des zones sud des oasis Algérienne office national de la datte (Algérie) option méditerranéennes", Ser, A / n° 11, les systèmes agricoles oasiens,(1990).
107. Lemaire, F., Dartigue, A., et Riviere, L.M., " Les substrat problèmes particuliers posés par les cultures de plantes ornementales en pots et conteneurs, les relations entre les systèmes racinaires des végétaux et les sols ou substrats artificiels ",Compte rendu des séminaires du groupe d'étude des racines, Aix en Provence ,France,(1990), 55-71.
108. Morel, R., "Les sols cultivés ", 2ème édition Lavoisier Paris,(1996), 399 p.
109. Mustin, M., " Le composte gestion de la matière organique", La valorisation agronomique des compostes et plus généralement des matières organiques, édition, français Dulux, Paris, (1987), 954p.
110. Jones, C., et Jacobsen, J., " plant nutrition and soil fertility", Montana university,(2001), www.colostate.edu/depts/coopExt/TRA/plants/nutrient/PDF.
111. Bollag., et al ., " Interaction entre les minéraux des sols, les composés organiques et les microorganismes", Edition scientifique, Regist, n° 404, symposium , n° 41,(1998).
112. Rietz, D.N., et Haynes, R.J., " Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity", Soil biology & biochemistry. 35, (2003), 845-854.
113. Rodier, J., " Analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer", 7ème édition, Dunot, Paris,(1984).
114. Herbert, S., et Legre, S., " Suivi de la qualité de l'eau des rivières et petits cours d'eau", Direction du suivi de l'état de l'environnement , ministère de l'environnement gouvernement du Québec, Canada,(2000), 5p.

115. Rodier, J., Legube, B., Merlet, N., et Coll., “ Analyse de l’eau”, 9^{ème} édition, Dunod, Paris, (2009).
116. Meinck, F., et al ., “ Les eaux résiduaires industrielles”, 2^{ème} édition. Masson, Paris, (1977), 863p.
117. Bremon, R., et Perrodon, C., “ Paramètres de la qualité des eaux”, Ministère de l’environnement et cadre de vie, prévention des pollutions, 2^{ème} édition, (1979), 259p.
118. Lois n°83-17 du 16 juillet 1983 portant code des eaux, “ Normes d’eau usée utilisée en Algérie ”.
119. UNEP/ MAP/ MEDPOL, “ Guidelines on environmental inspection systems for Mediterranean region”, MAP technical reports series n° 149, (2004).
120. Chapman, D., et Kimstach, V., “ Selection of water quality variables”, Water quality assessments, a guide to the use of biota, sediment and water in environment monitoring, Chapman édition, 2nd ed. E and FN spon, London, (1996), 59-126.
121. Martin, J.M., “ Cycle des éléments chimiques dans les estuaires océaniques”, 5 (fasc. hors-série), (1980), 517-520.
122. Berrekbia, M., “ Impact de l’oued righ sur le drainage des eaux d’irrigation des palmeraies avoisinantes”, Thèse de magister , faculté des sciences de l’ingénieur, département des sciences de l’eau et de l’environnement, U.S.D.B, Algérie, (2010).
123. Dubost, D., “ Ecologie, aménagement, et développement agricole des oasis Algériennes ”, Thèse de doctorat d’université en géographie et aménagement du monde arabe-de tours, Tome II , France, (octobre 1991).
124. Glossaire d’hydrogéologie : [Agence de l’eau
http://www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/HINDFRHG.HTM](http://www.cig.ensmp.fr/~hubert/glu/HINDFRHG.HTM)
125. Glossaire géologie : geologie.mnhn.fr/glossaire
126. Définitions : <http://fr.Wikipédia.org/wiki/>

ANNEXE : A

Données mensuelles de février 2009
pour Touggourt (Algeria)

Touggourt	février	2009	OK
-----------	---------	------	----

Jour	Température max.	Température min.	Précipitations 24h	Ensoleillement	
1	16.8 °c	6.2 °c	0 mm		
2	21.3 °c	12.5 °c	0 mm		
3	20 °c	13.5 °c	0 mm		
4	22.3 °c	8 °c	0 mm		
5	23.8 °c	11.6 °c	0 mm		
6	22.7 °c	10.5 °c	0 mm		
7	16.6 °c	11.2 °c	0 mm		
8	15 °c	8.8 °c	0 mm		
9	19.6 °c	6.4 °c	0 mm		
10	23.8 °c	8.2 °c	0 mm		
11	20.3 °c	9.2 °c	0 mm		
12	19.5 °c	7.3 °c	0 mm		
13	18.6 °c	7.4 °c	0 mm		
14	17.2 °c	3.5 °c	0 mm		
15	18.5 °c	6.6 °c	0 mm		
16	15.4 °c	4.6 °c	0 mm		
17	15.2 °c	4 °c	0 mm		
18	15.5 °c	2.8 °c	0 mm		
19	20 °c	3.7 °c	0 mm		
20	16.8 °c	4.5 °c	0 mm		
21	17.8 °c	7.3 °c	0 mm		
22	16.6 °c	6.8 °c	0 mm		
23	17.5 °c	6.5 °c	0 mm		
24	19.4 °c	5 °c	0 mm		
25	17.6 °c	6.4 °c	0 mm		
26	16.3 °c	7 °c	0 mm		
27	17.6 °c	3.8 °c	0 mm		
28	16.2 °c	5.3 °c	0 mm		
	18.5 °c	7.1 °c	0 mm		

ANNEXE : B

Données mensuelles de mai 2010
pour Touggourt (Algeria)

Touggourt	▼	mai	▼	2010	▼	OK
-----------	---	-----	---	------	---	----

Jour	Température max.	Température min.	Précipitations 24h	Ensoleillement	
1	36.6 °c	18.1 °c	0 mm		
2	34.2 °c	18.7 °c	0 mm		
3	36.2 °c	19 °c	0 mm		
4	29.4 °c	17 °c	0 mm		
5	25.3 °c	12.8 °c	0 mm		
6	28 °c	11.6 °c	0 mm		
7	31.8 °c	17 °c	0 mm		
8	30 °c	15.1 °c	0 mm		
9	34 °c	18.4 °c	0 mm		
10	37.2 °c	20.8 °c	0 mm		
11	36.6 °c	20.5 °c	0 mm		
12	34.7 °c	21 °c	0 mm		
13	32.6 °c	19.5 °c	0 mm		
14	29.1 °c	19 °c	0 mm		
15	26.6 °c	13 °c	0 mm		
16	28 °c	14 °c	0 mm		
17	29.7 °c	14.1 °c	0 mm		
18	29.5 °c	15.2 °c	0 mm		
19	33.2 °c	18 °c	0 mm		
20	29.4 °c	18.2 °c	0 mm		
21	30 °c	14.6 °c	0 mm		
22	33.4 °c	18.5 °c	0 mm		
23	27.1 °c	21 °c	0 mm		
24	29.3 °c	15 °c	0 mm		
25	29.8 °c	17.1 °c	0 mm		
26	34 °c	18.4 °c	0 mm		
27	36.6 °c	22 °c	0 mm		
28	28.6 °c	22.5 °c	2 mm		
29	30.5 °c	18.8 °c	0 mm		
30	30.4 °c	18 °c	0 mm		
31	32.7 °c	16.5 °c	0 mm		
	31.4 °c	17.5 °c	2 mm		

ANNEXE : C

Données mensuelles de octobre 2010
pour Touggourt (Algeria)

Touggourt	▼	octobre	▼	2010	▼	OK
-----------	---	---------	---	------	---	----

Jour	Température max.	Température min.	Précipitations 24h	Ensoleillement	
1	31.5 °c	16.1 °c	0 mm		
2	33.5 °c	17.5 °c	0 mm		
3	35.6 °c	19.7 °c	0 mm		
4	36.6 °c	21.5 °c	0 mm		
5	37.5 °c	23.2 °c	0 mm		
6	36.7 °c	23 °c	0 mm		
7	39.4 °c	22.4 °c	0 mm		
8	31.4 °c	25.6 °c	0.1 mm		
9	34.5 °c	21 °c	0 mm		
10	33.6 °c	23.4 °c	0.5 mm		
11	28.2 °c	18.6 °c	0 mm		
12	26.6 °c	15 °c	0 mm		
13	30.5 °c	16 °c	0 mm		
14	29.4 °c	15.5 °c	0 mm		
15	32 °c	15.7 °c	0.8 mm		
16	28.6 °c	16.4 °c	0 mm		
17	28 °c	-16.2 °c	0 mm		
18	24.6 °c	15 °c	0 mm		
19	23 °c	13 °c	0 mm		
20	24.4 °c	10.6 °c	0 mm		
21	26 °c	15.1 °c	0 mm		
22	25.6 °c	14 °c	0 mm		
23	25.8 °c	13.5 °c	0 mm		
24	22.6 °c	16.3 °c	0 mm		
25	27.1 °c	12.5 °c	0 mm		
26	---	15.8 °c	0 mm		
27	22.8 °c	7.6 °c	0 mm		
28	23.1 °c	8.4 °c	0 mm		
29	23.6 °c	9.9 °c	0 mm		
30	25.7 °c	8.4 °c	0 mm		
31	27.6 °c	11.5 °c	0 mm		
	29.2 °c	15 °c	1.4 mm		

Précisions :

Températures max. : Température maximale du jour relevée entre 6h TU et 6h TU le lendemain

Températures min. : Température minimale du jour relevée entre 18h TU la veille et 18h TU du jour

Précipitations : Quantité de pluie/neige/grêle (en mm d'eau) qui est tombée entre 6h TU et 6h le lendemain

Ensoleillement : Nombre d'heures de soleil entre 6h TU et 6h TU le lendemain

6h TU (Temps Universel) : 7h heure d'hiver, 8h heure d'été

18h TU (Temps Universel) : 19h heure d'hiver, 20h heure d'été

ANNEXE : D



Photo Ph mètre



Photo d'un conductimètre



Photo d'un spectromètre à flamme pour le dosage des cations



Photo d'un spectrophotomètre



Photo d'un spectrophotomètre pour Le dosage des composés azotés



Photo d'un spectromètre à flamme pour le dosage des phosphates

ANNEXE : E

Photo d'une enceinte thermostatée
Pour la mesure de la DBO



Photo d'un appareil pour la
mesure de la DCO



Photo d'un appareil pour la détection des métaux lourds

GLOSSAIRE

A

Alluviale (nappe) : Volume d'eau souterraine contenu dans les terrains alluviaux (terrains composés de sédiments transportés puis déposés par des cours d'eau, tels que les sables, graviers, cailloux et de l'argile en proportion variable), en général libre et souvent en relation avec un cours d'eau.

Alluvions : Les alluvions sont un dépôt de sédiments d'un cours d'eau constitué, selon les régions et la force des courants, de galets, de graviers, de boues et de limons.

Albien : (de *Alba*, nom latin de l'Aude, Fr.) 6ème étage du Crétacé inférieur (ère mésozoïque) qui est daté d'environ - 107 Ma à - 95 Ma.

Amont : La partie la plus élevée du cours d'eau par rapport à l'observateur.

Aval : La partie moins élevée s'appelle l'aval. Il faut se tourner dans le *sens* de l'écoulement du cours d'eau (de l'amont vers l'aval) pour définir la rive droite et la rive gauche d'un cours d'eau.

Aquifère : Formation perméable contenant de l'eau en quantités exploitables.

Arable (terre) : Se dit d'une terre qui peut être labourée et cultivée. Comprend les grandes cultures, les cultures maraichères, les prairies artificielles et les terrains en jachère.

Agriculture durable: Mode de production alimentaire fondé sur la culture et l'élevage de plantes et d'animaux permettant d'utiliser les ressources naturelles de manière durable ou renouvelable dans le temps, afin de ne pas porter préjudice aux générations futures. (Voir aussi développement durable).

Agriculture intensive: Mode de production alimentaire fondé sur la culture et l'élevage de plantes et d'animaux de manière à maximiser la production (par exemple à l'aide d'engrais) sur un espace réduit. L'agriculture intensive conduit souvent au surpâturage, à la réduction ou à l'abandon de la jachère et à la monoculture qui fatiguent les terres.

Agriculture pluviale: Mode de production végétale reposant sur l'arrosage naturel par les pluies, sans système d'irrigation artificiel.

Arboriculture: Culture des arbres, en particulier des arbres fruitiers.

Aride: Climat caractérisé par la faiblesse des pluies. En termes scientifiques : les précipitations ne dépassent pas 200 mm/an.

Alluvions : sont des dépôts de débris plus ou moins gros, tels du sable, de la vase, de l'argile, des galets, du limon ou des graviers, transportés par de l'eau courante. Les alluvions peuvent se déposer dans le lit du cours d'eau ou s'accumuler au point de rupture de pente. ...

Artésianisme : Aptitude d'un aquifère captif à permettre le jaillissement spontané des puits qui l'atteignent, ou l'existence de sources artésiennes, créée par la conjonction de conditions hydrodynamiques, et topographiques favorables.

Artésien : S'applique aux phénomènes liés aux nappes phréatiques captives dont la mise sous pression fait monter l'eau au dessus du toit de la nappe.

Ascension capillaire : En zone non saturée, mouvement ascendant d'eau sous l'effet d'un gradient de potentiel capillaire.

Avancée du désert : Progression de la limite du désert sur les terres arables.

Atmosphère : Enveloppe gazeuse qui entoure le globe terrestre.

A.N.R.H : Agence National pour les Ressources Hydrauliques.

Autoépuration: Processus naturel physique, chimique et biologique permettant à un milieu, eau ou sol, de retrouver son état naturel par la transformation et l'élimination des pollutions. Dans le cas d'un écosystème aquatique, l'élimination puis la minéralisation de la charge organique est réalisée par des organismes décomposeurs.

B

Barrémien : (De Barrême, Alpes-de-Haute-Provence, Fr.) 4^{ème} étage du Crétacé inférieur (ère mésozoïque) qui est daté d'environ - 114 Ma à - 112 Ma.

Barrage vert : Haie d'arbres et d'arbustes plantée afin de faire barrage contre des gênes extérieures (feu, sable, vent, invasions animales, etc.).

Bassin versant : Zone géographique sur laquelle toutes les eaux (précipitations, rivières) convergent vers un exutoire commun, l'embouchure d'un fleuve par exemple. En assainissement, on parle de bassin de collecte pour décrire le territoire dont les eaux usées sont conduites vers une station d'épuration.

Biodiversité: Ensemble des espèces vivantes (animaux, plantes, champignons, micro-organismes) que renferme un écosystème.

Biogaz: Gaz combustible produit par fermentation anaérobie des déchets animaux et végétaux et des résidus urbains.

Bio-drainage : Le bio-drainage utilise le pouvoir évapotranspiratif de la végétation, en particulier des arbres pour conserver en profondeur le niveau des nappes.

C

Captation: Action de recueillir un fluide.

Captage : Dérivation d'une ressource en eau. Au sens restreint, désigne tout ouvrage utilisé couramment pour l'exploitation d'eaux de surface ou souterraines.

Captif (aquifère): Aquifère intercalé entre deux formations quasi imperméables.

Champs captant : zone englobant un ensemble d'ouvrages de captages prélevant l'eau souterraine d'une même nappe.

Chott : Lac salé temporaire dans un désert, surtout en Afrique du Nord ,c'est une étendue d'eau salée permanente, aux rivages changeants, située dans les régions semi-arides. ...

Climat continental: Le climat continental est caractérisé par des hivers très froids et des étés très chauds avec des saisons de transition brèves. Les terres de climat continental sont généralement éloignées des mers et des océans.

Couche vadose : Ou zone non saturée (ZNS) du sol est la partie du sol et/ou du sous-sol située à l'interface entre atmosphère-pédosphère et la nappe phréatique. Dans cette zone, les pores du sol sont partiellement remplis d'eau (à l'exception de la frange capillaire) et de gaz (le plus souvent de l'air), contrairement à la zone saturée en eau (ou aquifères), dans laquelle la totalité du système poreux est rempli d'eau.

Colonisation: Phénomène par lequel une fraction minimale d'une population animale ou végétale introduite dans un nouvel écosystème s'installe dans ce dernier et s'y reproduit, souvent aux dépend des espèces préexistantes.

Colloïdes : Très fines particules solides (0,01 à 5 µm). Dans l'eau, les colloïdes en suspension sont difficilement décantable du fait de leur faible masse. De plus, les colloïdes sont chargés électriquement et la répulsion naturelle qu'ils exercent les uns sur les autres les empêche de s'agglomérer.

Colluvion : Dépôt meuble sur un versant, mis en place par gravité. On peut aussi l'appeler « dépôt de pente ». Le terme s'emploie presque toujours au pluriel. Les colluvions reflètent la lithologie du haut du versant. Elles nappent, sur le bas du versant, la roche en place. Les éléments ont subi un faible transport, à la différence des alluvions. En bord de mer, elles sont les premières attaquées par l'érosion marine. Leur ablation aboutit alors à la dénudation de la roche saine. Les colluvions sont étalées sur les versants du haut vers le bas.

Compost: Engrais naturel à base de déchets organiques d'origine végétale utilisé pour fertiliser les cultures.

Condensation: Processus transformant de la vapeur d'eau (gaz) en eau (liquide).

Couverture végétale: Ensemble de la végétation (en général plantes basses) recouvrant le sol.

Culture extensive: Mode de production végétale privilégiant l'accroissement de l'espace agricole pour augmenter la productivité. La culture extensive s'accompagne souvent de déforestations et de défrichage afin de gagner des terres arables.

Culture intensive: Mode de production végétale privilégiant la productivité sur un espace réduit. La culture intensive conduit généralement à la dégradation des terres. (voir aussi agriculture intensive).

Culture pluviale: Mode de production de végétaux, encore appelé culture sèche, reposant sur l'arrosage naturel par les pluies, sans système d'irrigation artificiel.

Capacité au champ: Quantité d'eau retenue dans un sol après que le drainage rapide a pris fin, soit environ 2 ou 3 jours après un mouillage total du profil. Elle

s'exprime en pourcentage d'humidité par unité de poids spécifique. On considère souvent qu'elle correspond approximativement à un sol en équilibre avec une pression de 1/3 de bar (ou atmosphère) équivalant à une force de succion de l'eau de 330 cm ou un potentiel hydrique de - 33kpa (unités SI).

Conductivité électrique (CE): Inverse de la résistivité électrique. Résistance en ohms d'un conducteur métallique ou électrolytique d'une longueur de 1 cm et d'une section de 1 cm². Autrefois, la conductivité électrique était exprimée en ohms inversés par centimètre, c'est-à-dire en mhos/cm; elle est maintenant exprimée en unités SI = dS/m.

Conductivité électrique de la solution de sol sature (q.v) CE: Mesure en rapport avec la concentration de sels dans le sol dS/m (à 25°), autrefois exprimée en mmhos/cm.

D

Dégradation des terres: Perte de fertilité des terres pouvant être liée à une diminution de matières organiques ou à une accumulation de minéraux dans le sol ou encore à une modification de la structure du sol par dessèchement ou érosion.

Désert: Environnement qui se caractérise par une sécheresse de l'atmosphère et une extrême pauvreté ou irrégularité des pluies, une hydrographie vestigielle ou absente, et une couverture végétale très faible ou absente.

Développement durable: Forme de développement qui respecte l'environnement et fait un usage prudent, fondé sur une exploitation rationnelle et modérée, de la nature et de ses ressources, ce qui assure un maintien indéfini de la productivité biologique de la biosphère.

Digue: Chaussée pour contenir des eaux.

Drain : Tout conduit non étanche, collecteur d'eau souterraine par gravité, imposant des niveaux rabattus (potentiels) constants, dans lequel l'eau s'écoule avec ou sans surface libre.

Drainage : Suppression naturelle ou artificielle des excès d'eau souterraines et de surface et des sels dissous dans les terres afin d'améliorer la production agricole. Dans le cas du drainage naturel, l'excès d'eau s'évacue des champs jusqu'au lacs, marécages, fleuves et rivières. Dans un système artificiel, l'excès d'eau souterraine ou de surface est éliminé par des canalisations souterraines ou de surface.

Drainage dans les superficies irriguées : Superficie irriguée où le drainage est un instrument permettant de contrôler la salinité, la rétention d'eau et l'engorgement.

Drainage de surface : Le détournement ou retrait ordonné de l'excès d'eau de la surface des terres grâce à des fossés naturels ou construits, compléter si nécessaire par le modelage et l'inclinaison des terres vers ces fossés.

Drainage par drains souterrains : Système artificiel qui permet d'écouler l'excès d'eau et de sel par le sol jusqu'à des puits, des drains-taupes, des tuyaux de drainage et /ou des fossés collecteurs d'où il peut être évacué.

Drainage vertical : Contrôle des niveaux des nappes souterraines par des puits tubulaires verticaux à pompes.

Drainage horizontal : Pour contrôler les niveaux des nappes par des drains enterrés souterrains (système clos) ou des drains ouverts.

Décantation : En assainissement, procédé physique qui permet d'éliminer les matières en suspension en les laissant se déposer dans un bassin, puis en les retirant à l'aide d'un racleur et d'une pompe. La technique devient physico-chimique si l'on utilise des réactifs pour accélérer le processus (formation de floccs qui décantent plus rapidement). Ce procédé a pour fonction de réduire la teneur en matières organiques de l'eau usée ; il conduit à la production de boues d'épuration qu'il va falloir traiter.

Dolomite : Double carbonate naturel de calcium et de magnésium ($MgCO_3$, $CaCO_3$), présente dans de nombreux sédiments carbonatés comme le marbre, et servant à la préparation de la magnésie et au revêtement des fours.

E

Eau : Corps composé d'un atome d'oxygène et de deux atomes d'hydrogène (H_2O). On la trouve à l'état gazeux au dessus de 100 °C, à l'état liquide entre 100 et 0 °C et à l'état de glace en dessous de 0 °C. C'est la présence de grandes quantités d'eau liquide sur Terre qui en font une planète particulière et où la vie a pu émerger. L'eau n'est pas pure à l'état naturel mais contient de nombreuses substances minérales dissoutes.

Eau agressive : Eau naturellement acide, principalement par sa teneur en anhydride carbonique, pouvant exercer une action corrosive sur des roches ou des matériaux.

Eau douce : Eau contenant une faible quantité de matières dissoutes.

Eau incrustante : Eau saturée en un sel dissous, généralement en bicarbonate, dont la précipitation est facilement provoquée par dépassement du point de saturation, déterminant un dépôt.

Eau minérale : Terme désignant des eaux propres à la consommation humaine et s'étant chargées en sels minéraux au cours de leur transport souterrains.

Eau salée : Eau contenant une quantité sensible, surtout du point de vue de la potabilité, de sels dissous, plus particulièrement de chlorure de sodium par opposition à une eau douce. Sa concentration minimale en matières dissoutes peut être figée conventionnellement en général à 1000 ppm. Les eaux salées sont constituées par les eaux saumâtres, les eaux salines et les eaux sursalées.

Eau saline : Eau salée dont la teneur en matières dissoutes est proche de celle de l'eau de mer. Par convention, classe d'eau salée à concentration comprise entre 10 000 et 100 000 ppm, donc intermédiaire entre les eaux saumâtres et les eaux sursalées.

Eau saumâtre : Eau salée dont la teneur en matières dissoutes est inférieure à celle de l'eau de mer. Par convention, classe d'eau salée à concentration comprise entre 1000 et 10 000 ppm, donc intermédiaire entre les eaux douces et les eaux salines.

Eau sursalée : Eau salée dont la teneur en matières dissoutes est supérieure à celle de l'eau de mer. Par convention, classe d'eau salée à concentration supérieure à 100 000 ppm.

Eaux usées : Eaux chargées de pollutions diverses du fait de l'activité humaine. Elles doivent être collectées pour subir des traitements afin de protéger la santé humaine et la biodiversité aquatique ; c'est l'assainissement, qu'il soit collectif ou individuel. Les eaux usées traitées dans les stations d'épuration comprennent les eaux usées domestiques (douche, vaisselle, lessive, toilettes, bricolage, etc.), des eaux usées industrielles, parfois prétraitées par les entreprises (chargées de pollutions chimiques et métalliques), et dans certains cas les eaux pluviales (chargées de sables, d'hydrocarbures).

Écosystème : Ensemble composé d'un milieu (biotope) et de toutes les espèces vivantes qui s'y trouvent (biocénose), ainsi que de toutes les relations existant entre le milieu et les espèces, mais aussi entre les espèces entre elles.

Effluent : Eau usée urbaine véhiculant une charge polluante, conduite par les égouts vers une station d'épuration.

Égout : Canalisation destinée à collecter et transporter les eaux usées. Le « réseau public de collecte » est l'appellation remplaçant le terme égout depuis la loi sur l'eau et les milieux aquatiques de 2006. Cf. réseau de collecte et transport des eaux usées.

Eutrophisation : Dans un milieu aquatique (rivière, lac, littoral), enrichissement des eaux en éléments nutritifs (phosphates, nitrates) entraînant des proliférations algales ou végétales. Il en résulte un appauvrissement de l'eau en oxygène qui perturbe les organismes aquatiques et induit une perte de biodiversité. L'eutrophisation affecte également les activités humaines (production d'eau potable, loisirs liés aux cours d'eau, etc.).

Eau de drainage de l'agriculture : Il s'agit de l'eau prélevée pour l'agriculture mais qui n'est ni consommée, ni recyclée. Elle ne subit pas de traitement particulier et se distingue ainsi des eaux usées réutilisées. Elle peut représenter une importante ressource en eau pour le pays.

Eboulis : Accumulation de matériaux grossiers (pierres, cailloux, terre) au pied d'un relief, due mécaniquement à une érosion.

Ecologie : Etude des relations des organismes vivants avec leur environnement et des mécanismes qui expliquent leur distribution, leur abondance et leur comportement.

Ecosystème : Ensemble interactif d'une communauté d'organismes vivants et de l'environnement physique et chimique dans lequel ils évoluent.

Energies alternatives : Sources d'énergies provenant de phénomènes naturels — énergie solaire, énergie éolienne, énergie hydraulique, etc. — dont les disponibilités sont considérables. Leur exploitation est une alternative moins polluante que les hydrocarbures fossiles.

Erosion: Phénomène résultant de l'action des vents (érosion éolienne) ou de l'eau (érosion hydraulique) qui provoque l'enlèvement des couches supérieures des sols et la dégradation des roches.

Espèce exotique: Espèce étrangère à une région biogéographique donnée dans laquelle elle a été accidentellement ou volontairement introduite par l'homme.

Espèce locale: Espèce adaptée à la région biogéographique considérée, encore appelée espèce indigène de cette région.

Engorgement: Situation dans laquelle la zone du sol explorée par les racines des cultures est saturée d'eau.

Espèce ornementale: Espèce dont la production n'est pas destinée à l'alimentation mais à l'ornement.

Evaporation: Phénomène par lequel de l'eau liquide s'échappe dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau sans avoir été absorbée par des êtres vivants.

Evapotranspiration: Accumulation de l'évaporation de l'eau au-dessus du sol et de la transpiration des plantes.

Essai de pompage : Essai qui consiste à pomper de l'eau dans un puits, à un ou plusieurs débits donnés, tout en mesurant régulièrement le niveau piézométrique dans le puits pompé et dans des puits d'observation voisins. Les données ainsi obtenues sont utilisées pour déterminer les paramètres de l'aquifère dans le voisinage du puits de pompage.

Exhaure : Extraction de l'eau contenue dans le sol ou dans une cavité.

Écoulement laminaire : Mouvement d'un fluide dont la vitesse réelle est inférieure à la vitesse critique pour des conditions déterminées, définies par le nombre de Reynolds, donc avec perte de charge proportionnelle au débit.

Écoulement non uniforme : Écoulement dont les débits unitaires et les directions diffèrent selon les points du domaine considéré.

Écoulement permanent : Écoulement à flux constant sous des conditions de potentiel invariables dans le temps.

Écoulement transitoire : Écoulement dont le flux et la direction, en un point donné, varient dans le temps.

Écoulement turbulent : Mouvement d'un fluide dont la vitesse réelle est supérieure à la vitesse critique pour des conditions déterminées, définies par le nombre de Reynolds, donc avec perte de charge non proportionnelle au débit. L'écoulement turbulent en milieu perméable n'est pas soumis à la loi de Darcy.

Effet de serre : Echauffement de l'atmosphère, dû à l'absorption par certains gaz, d'une partie du rayonnement émis par un corps, spécialement une planète.

Enfouissement : Dans un aquifère à écoulement polyphasique de fluides de densités différentes, déplacement descendant, à composante verticale non négligeable, d'un fluide de densité supérieure à celle du fluide remplacé sous l'effet de la gravité, et accumulation du fluide lourd dans la partie inférieure du réservoir.

Eocène : Division de l'ère tertiaire (Cénozoïque) s'étalant de 56,5 Ma à 35,4 Ma.

Eolien : Se dit des processus marqués par l'intervention du vent et des formes qui

résultent de ces actions (érosion et accumulation).

Epandage : Désigne un aplatissement et une dispersion des alluvions principalement par action éolienne ou fluviale.

Épandeur : Tout conduit non étanche (fossé, rigole...) servant à distribuer et à infiltrer des eaux à évacuer, en général des eaux usées dans un réseau d'épandage, ou à irriguer.

Ere : Division de premier ordre des temps géologique. On distingue le Précambrien des ères primaire, secondaire, tertiaire puis quaternaire, marquées par l'apparition de la vie et se différenciant notamment par le développement et l'extinction de différentes espèces animales et végétales.

Erg : Un erg est un désert de dunes, plus précisément des champs de dunes fixes dont seul le sable superficiel est remodelé sans cesse par le vent.

F

FAO : Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture. Les trois lettres signifient en anglais: Food and Agricultural Organization of the United Nations. Contribue à améliorer la productivité agricole, la sécurité alimentaire et le niveau de vie des populations rurales.

Fertilité: Fécondité d'un sol. Un sol fertile contient assez de matières organiques et minérales pour assurer le développement et la croissance des plantes qui y poussent.

Foggara: Galerie souterraine qui recoupe une nappe phréatique dont elle draine l'eau vers les terrains à irriguer.

Fourrage: Herbe, paille, foin destiné à l'entretien des bestiaux. Les plantes fourragères sont employées comme fourrage.

Faciès : Ensembles des caractères lithologiques et / ou paléontologiques observables dans une roche, et permettant de la différencier.

Forage : Opération consistant à creuser des puits dans le sol et le sous-sol. On peut distinguer les forages de reconnaissances, de ceux visant à créer des puits de production (d'eau, d'hydrocarbures). Les forages servent essentiellement à la reconnaissance et à l'exploitation des gisements de pétrole ou de gaz naturel.

Fossile : Trace actuelle d'un être vivant disparu. Les fossiles permettent notamment de rapprocher les couches géologiques étudiées par la stratigraphie. Des êtres vivants sont reconstitués par les traces fossiles qu'ils laissent. L'étude des faciès permet de reconstituer les conditions de vie des fossiles.

Fossile de faciès : Fossile caractéristique d'un certain milieu de sédimentation.

Fossile stratigraphique : Fossile ayant eu une existence courte à l'échelle géologique et ayant eu une grande extension géographique. Les fossiles stratigraphiques sont de très bon référentiel pour comparer les régions.

Frang capillaire : Dans une nappe d'eau souterraine, partie de la nappe contenant de l'eau capillaire. C'est la zone contenant l'eau capable de "monter" par

capillarité (ascension capillaire).

G

Gestion durable: Gestion des ressources naturelles permettant de satisfaire les besoins des générations présentes sans compromettre les besoins des générations futures.

Gestion participative: Système de gestion reposant sur la participation active d'une communauté locale.

Gravité: force d'attraction exercée par la terre sur un corps.

Galerie drainante - Galerie de captage ou de drainage, généralement à plan d'eau libre, disposée souvent dans un aquifère riverain d'un cours d'eau.

Géologie : Domaine des sciences de la Terre lié particulièrement à l'étude de la croûte terrestre et à l'histoire de son évolution. Les différentes spécialités de la géologie sont la minéralogie, la géochimie, la paléontologie, la pétrologie. La géologie s'appuie également sur la géophysique (tectonique des plaques, etc...), les sciences de l'Univers.

Géomorphologie : Science qui étudie les formes d'un relief ainsi que leur évolution

Gisement : Formation géologique riche en minéral ou dans une roche exploitée comme le charbon ou le pétrole.

Graveleux : 1.) Se dit de ce qui contient des gravelles (exemple calcaire graveleux).

2.) Se dit de ce qui est mêlé de graviers (exemple une terre graveleuse).

Gravelle : Petit grain calcaire arrondi ou émoussé (arénite ou rudite) entrant dans la composition de certains calcaires détritiques.

Gravier : Roche détritique constituée d'éléments dont la taille est généralement comprise entre 1 à 30 mm.

Grès : Roche sédimentaire formée par l'accrétion de grains de quartz et d'un ciment naturel (sable consolidé).

Gypse : Cristaux translucides et clivables de sulfate de calcium hydraté de formule $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ roche sédimentaire formée par cristallisation de sels. Donne le plâtre par chauffage.

Gypsification : Transformation de l'anhydrite en gypse par hydratation.

Gradient de pression : Différence de pression hydrostatique entre deux points, dans un système aquifère, par unité de distance.

Gradient hydraulique : Différence de charge hydraulique entre deux points d'un aquifère par unité de distance, selon une direction donnée, en général selon une ligne de courant.

H

Halophyte : Ou plante halophyte,est une plante adaptée aux milieux salés ou par extension aux milieux à pression osmotique importante. L'une des halophytes les plus connues est la salicorne que l'on trouve associée aux marais salants. ...

Haie vive: Barrière constituée de végétaux vivants. Les haies vives protègent les cultures contre le vent, les animaux et l'érosion.

Harmattan: Vent continental qui souffle de l'est sur le Sahara et l'Afrique occidentale.

Halomorphe : Se dit de l'ensemble des sols dont l'évolution et les propriétés sont affectées par la présence de sels de sodium (et, secondairement, de magnésium et de calcium). Relatif à des sols contenant de fortes quantités de sels, généralement de sodium

Herbicide: Produit chimique détruisant les mauvaises herbes.

Horticulture: Culture des fruits, des légumes et des espèces ornementales.

Humus: Mélange complexe de composés organiques provenant en grande majorité de la dégradation des feuilles mortes sur le sol et procurant une grande fertilité au sol.

Halite : Chlorure de sodium naturel de formule chimique NaCl, appartenant au système cubique, de couleur blanche mais parfois coloré en gris ou en rouge par les impuretés. La halite est présente principalement dans les roches sédimentaires de type évaporite.

Hamada :(Mot arabe) En région désertique désigne un plateau rocheux.

Holocène : Période la plus récente de l'ère quaternaire, caractérisée par l'apparition de l'homme.

Hydromorphe : L'hydromorphie est une qualité d'un sol. Un sol est dit hydromorphe lorsqu'il montre des marques physiques d'une saturation régulière en eau. La vie microbienne est alors « noyée » et la présence d'eau a également des conséquences physico-chimiques. L'hydromorphie est la saturation des pores d'un sol en eau sur une période plus ou moins longue de l'année. Cette saturation du sol entraîne des phénomènes d'anoxie qui perturbent la faune du sol et la végétation. Elle affecte aussi les minéraux présents dans le sol avec la formation de dépôts rouges de fer oxydé, de dépôts bleu-vert de fer réduit et de concrétions noires ferro-manganiques (fer et manganèse).

I

Indice cultural: Nombre de récoltes effectuées comparé au nombre d'années du plan de culture. Exprimé sous forme de pourcentage.

Infiltration: Pertes d'eau par écoulement latéral à travers les diguettes des rizières.

Insolation : L'insolation désigne l'exposition au rayonnement solaire. Plus

spécifiquement en météorologie, insolation signifie la quantité d'énergie solaire reçue, mais aussi peut être synonyme d'ensoleillement, c'est-à-dire la durée d'exposition d'un site au Soleil.

Irrigation au goutte a goutte: Technique permettant de distribuer l'eau sous un faible débit avec des arrosages fréquents ou de longue durée, au moyen de tuyauteries équipées de goutteurs placés au pied des plants.

Intrusion (roche d'-): Roche née de la pénétration du magma dans les parties supérieures de l'écorce où il s'est solidifié.

Isomorphe : Relatif aux minéraux ayant une même structure cristalline, mais de composition chimique différente.

Irrigation: Technique qui consiste à apporter et répandre de l'eau dans une région sèche par des procédés divers.

Irrigation par aspersion: Système d'arrosage en pluie dans lequel l'eau est acheminée par canalisation et distribuée au moyen de buses d'aspersion de types divers.

Irrigation par bassins: Système d'irrigation de surface dans lequel l'eau s'accumule à l'intérieur d'un bassin entouré, sur ses quatre côtés, de bourrelets ou de banquettes en terre.

Irrigation par calant: Système d'irrigation superficielle dans lequel l'eau s'écoule et se répand sur des planches parallèles disposées dans le sens de la pente et séparées par des bourrelets.

Irrigation d'appoint: Irrigation servant à compléter les besoins en eau des cultures partiellement satisfaits par les précipitations qui tombent directement sur les champs.

Irrigation par épandage des eaux de crue: Irrigation avec l'eau des rivières et oueds gonflés par les orages.

Irrigation superficielle: Système d'irrigation dans lequel l'eau est distribuée par écoulement à la surface du sol.

J

Jachère: Pratique qui consiste à arrêter toute culture sur un sol pendant deux années ou plus, afin de permettre à la couverture végétale naturelle de reconstituer les sols lorsqu'ils ont été épuisés par la succession des cultures.

Jurassique : est une période géologique qui s'étend d'environ -200 à -145 millions d'années. Le Jurassique constitue la période intermédiaire du Mésozoïque et est souvent connu sous le nom d'âge des dinosaures. Son début est marqué par une extinction massive d'espèces, l'extinction du Trias-Jurassique. Cette période se subdivise en *Lias*, *Dogger* et *Malm* aussi connus sous le nom de Jurassique inférieur, Jurassique moyen et Jurassique supérieur.

L

Labourage: Action de retourner la terre, avec une charrue, une bêche, un tracteur, etc., pour l'aérer et la préparer aux semis.

Lagunage : Technique d'épuration consistant à faire séjourner des eaux usées dans des bassins où des micro-organismes et plantes aquatiques filtrent et dégradent la matière organique.

Lessivage: Processus d'élimination de matériaux solubles par passage de l'eau à travers le sol.

Lixiviation : Du latin *lixivium* ; souvent lessivage. La lixiviation désigne dans le domaine de la chimie, de la pharmacie ou des sciences du sol, toutes les techniques d'extraction de produits solubles par un solvant, et notamment par l'eau circulant dans le sol (éventuellement pollué) ou dans un substrat contenant des produits toxiques (décharge industrielle en particulier).

Libre (aquifère) : Aquifère surmonté de terrains perméables et disposant d'une surface piézométrique libre et d'une zone non saturée.

Limon : Roche sédimentaire détritique meuble, dont la taille des grains est intermédiaire entre celle des sables et celle des argiles (si leur teneur en calcaire est suffisante, des sols fertiles se développent sur les limons).

Limoneux, euse : Plein de boue, de limon : terrain limoneux.

Lit : Désigne la partie de la vallée occupée par un cours d'eau. On distingue le lit majeur (occupation du cours d'eau lors des inondations) du lit mineur (écoulement normal du cours d'eau). Terme utilisé pour désigner un niveau pour les roches sédimentaires.

M

Matière organique: Substance qui provient des êtres vivants.

Métabolisme: ensemble des processus physiologiques et biochimiques se déroulant dans l'organisme.

Marne : (Mot d'origine gauloise) Roche sédimentaire composée de calcaire et d'argile (de 35 à 65 %). Chauffées, ces roches donnent la chaux et le ciment.

Marno-calcaire : Terme désignant une alternance régulière de bancs calcaires et marneux.

Mésolithique : Période préhistorique entre le Paléolithique et le Néolithique caractérisée par l'émergence d'une fabrication de silex taillés de petite taille (10 000 à 7 000 ans).

Mésozoïque : Ère synonyme de Secondaire, datée d'environ - 245 Ma à - 65 Ma, qui est divisée par les systèmes Trias, Jurassique et Crétacé.

Miocène : (Du grec *meion* et *kainos* moins récent) Division de l'ère tertiaire (Cénozoïque), premier sous-système du Néogène, qui est daté d'environ -23,3 Ma à -5,2 Ma.

Microclimat: Climat particulier à une portion restreinte d'un environnement. Il se distingue du climat général de cet environnement.

Micro-organisme: Organisme microscopique, animal ou végétal.

Monoculture: Mode d'agriculture consistant à ne planter qu'une seule espèce sur de très vastes surfaces. La monoculture est source de graves déséquilibres écologiques car elle peut induire une érosion des sols et favorise la population de ravageurs.

Maladie hydrique : Maladie causée par l'ingestion ou le contact avec une eau insalubre, souillée par des matières fécales. Ces dernières véhiculent des micro-organismes (virus, bactéries, parasites) qui déclenchent des maladies chez les personnes contaminées. Parmi les maladies hydriques les plus connues, on peut citer les gastro-entérites, le cholera, la fièvre typhoïde, la leptospirose, la salmonellose.

Matières Dissoutes : Matières solubles dans l'eau, c'est-à-dire formant un mélange homogène avec l'eau et ne pouvant pas décanter. Elles sont responsables de la couleur et de la salinité de l'eau.

Micropolluant : Pollution pouvant avoir un impact sur les êtres vivants à des concentrations très faibles, notamment en raison de sa toxicité, de sa persistance ou de sa bioaccumulation. On distingue les micropolluants métalliques (inorganiques, dont font partie les métaux lourds) et les micropolluants chimiques (organiques ; pesticides, solvants, hydrocarbures, résidus médicamenteux). Une troisième catégorie est parfois ajoutée : les micropolluants biologiques (virus, bactéries, vers).

Masse d'eau : Portion de cours d'eau, canal, aquifère, plan d'eau ou zone côtière homogène. Il s'agit d'un découpage élémentaire des milieux aquatiques destinée à être l'unité d'évaluation de la DCE. Une masse de surface est une partie distincte et significative des eaux de surface, telles qu'un lac, un réservoir, une rivière, un fleuve ou un canal, une partie de rivière, de fleuve ou de canal, une eau de transition ou une portion d'eaux côtières. Pour les cours d'eau la délimitation des masses d'eau est basée principalement sur la taille du cours d'eau et la notion d'hydro-écorégion. Les masses d'eau sont regroupées en types homogènes qui servent de base à la définition de la notion de bon état. Une masse d'eau souterraine est un volume distinct d'eau souterraine à l'intérieur d'un ou de plusieurs aquifères.

Micro-irrigation: Système d'irrigation qui utilise diverses solutions techniques (goutteurs, cracheurs, micro-asperseurs, etc.) pour obtenir un arrosage localisé.

Milliéquivalent (meq): Un millième d'équivalent: poids atomique divisé par la valence/1000.

Meq par 100g de sol: milligrammes d'un cation divisés par l'équivalent de poids pour 100g de sol.

Milliéquivalent par litre: Milliéquivalent d'un ion ou d'un composé dans un litre de solution.

Mio-Pliocène : Relatif à une période allant du miocène au pliocène.

N

Nappe phréatique: Nappe d'eaux souterraines, encore appelée aquifère, qui peut être enfouie plus ou moins profondément dans le sol, selon son origine. La nappe phréatique joue un grand rôle dans les zones arides où elle représente la majeure partie des ressources en eaux.

Nappe captive : Une nappe est dite captive si elle est surmontée par une formation peu perméable et si la charge hydraulique de l'eau qu'elle contient est supérieure au toit de la nappe.

Nappe libre : Nappe souterraine limitée au-dessus par une surface libre.

Niveau phréatique: Surface supérieure d'une nappe souterraine. Partie supérieure d'un ensemble de points où la pression de l'eau souterraine est égale à la pression atmosphérique.

Néolithique : Dernière période de la préhistoire qui est caractérisée par la fabrication d'outils en pierre taillée et polie, par le développement de l'agriculture. En Europe occidentale le Néolithique débute en 5000 avant JC et se termine en 2000 avant JC (ces dates varient considérablement en fonction des sites).

Nitrates: Sels minéraux de l'acide nitrique ; éléments minéraux nutritifs pour les plantes. Dans les zones d'agriculture intensive, l'utilisation d'engrais à base de nitrates conduit fréquemment à une pollution des eaux de surface et des eaux souterraines.

Noria: Machine à élever l'eau, constituée principalement d'une roue et d'une longue chaîne à laquelle sont fixés des godets.

Nutriment: Terme désignant les divers éléments minéraux nutritifs indispensables à la physiologie des organismes. Les nutriments majeurs des plantes vertes terrestres sont les phosphates, les nitrates, les sels minéraux et le potassium.

O

Oasis: Ecosystème situé en zone désertique autour d'un point d'eau ou dans des dépressions où les nappes phréatiques sont proches de la surface.

OMM : Organisation météorologique mondiale. Encourage la recherche scientifique sur l'atmosphère terrestre, les changements climatiques et facilite l'échange de données météorologiques au niveau mondial.

P

Patrimoine mondial : La Convention du patrimoine mondial de l'UNESCO définit et répertorie les sites naturels et culturels qui ont une valeur universelle exceptionnelle du point de vue esthétique ou scientifique.

Paléolithique : Relatif à la première époque préhistorique, caractérisée par l'usage de la pierre taillée et une économie basée sur la chasse et la cueillette.

Paléontologie : Science qui étudie les organismes (animaux ou végétaux) disparus à travers leurs fossiles. Cette science utilise de nombreux instruments tels les microscopes, la radiographie aux rayons X, ...

Paléozoïque : Ere synonyme de Primaire, datée d'environ - 530 Ma à - 245 Ma, qui est divisée par les systèmes Cambrien, Ordovicien, Silurien, Dévonien, Carbonifère et Permien.

Paillage: technique agricole consistant à étaler de la paille ou d'autres végétaux morts sur le sol pour limiter l'érosion et conserver l'humidité.

Pédologie : Science qui étudie les caractères chimiques, physiques et biologiques des sols. Elle s'intéresse également à son évolution et à sa répartition.

Pliocène : Sur l'échelle des temps géologiques, le Pliocène est la plus récente époque géologique du Néogène. S'étendant de $5,332 \pm 0.005$ à $2,588 \pm 0.005$ millions d'années, il est suivi du Pléistocène et précédé par le Miocène. ...

Précipitations: Quantité totale de précipitations (pluie, brume, neige, grêle, brouillard, condensation, gelée blanche, givre) exprimée par la hauteur d'eau qui recouvrirait une surface plane en l'absence de tout ruissellement, infiltration et évapotranspiration; mm/jour.

Percolation: Mouvement descendant de l'eau à travers le sol, notamment à travers un sol saturé ou quasi saturé, sous un gradient hydraulique égal ou inférieur à 1.

Période végétative: Longueur (en jours) de la période pendant laquelle la température et l'humidité du sol permettent à la culture de croître (voir "saison végétative" et "cycle végétatif"). Note: la période végétative est une caractéristique des terres; le cycle végétatif est une caractéristique de la culture.

Perméabilité : Aptitude d'un milieu à se laisser traverser par un fluide sous l'effet d'un gradient de potentiel. Elle s'exprime quantitativement par la perméabilité intrinsèque et, pour l'eau, par le coefficient de perméabilité (de Darcy) ou perméabilité pris en abrégé dans ce sens quantitatif.

Pertes en cours de transport: Pertes d'eau par évaporation, percolation ou fissures dans le réseau de canaux ou de canalisations d'irrigation, entre la source d'alimentation et le champ.

Phoeniciculture : Culture de palmiers dattiers.

Phytoplancton : (Du grec *phyton* ou « plante ») est le plancton végétal, c'est-à-dire l'ensemble des organismes végétaux vivant en suspension dans l'eau. Plus précisément il s'agit de l'ensemble des espèces de plancton autotrophes vis-à-vis du carbone (y compris des bactéries telles que les cyanobactéries, anciennement "algues bleu-vert"). Le phytoplancton est un groupe très diversifié d'un point de vue taxonomique. Il comprend environ 20000 espèces distribuées dans au moins huit classes taxonomiques ou embranchements.

Phragmites : est un genre de plantes herbacées de la famille des Poaceae, sous-famille des Arundoideae. Le genre comprend quatre espèces dont une comportant trois sous-espèces. Certaines de ses espèces sont appelées « roseaux des marais ».

Point de flétrissement permanent: Pourcentage d'humidité, teneur en eau ou potentiel d'humidité du sol au moment où les plantes se flétrissent et ne peuvent plus retrouver leur turgescence. On le détermine normalement avec des tournesols nains; on peut aussi supposer qu'il équivaut environ à 15 bars (soit: une force de succion de 15 atmosphères, pF 4,2, ou un potentiel de l'eau du sol égal à -1,5 MPa).

Percolation : Phénomène par lequel l'eau pénètre et traverse les pores d'un sol ou d'une roche.

Pesticide : Produit chimique dangereux destiné à éliminer les animaux et les plantes considérés comme nuisibles et représentant un très grand facteur de pollution.

Piézomètre - n. m. - Dispositif servant à mesurer la hauteur piézométrique en un point donné d'un aquifère, qui indique la pression en ce point, en permettant l'observation ou l'enregistrement d'un niveau d'eau libre ou d'une pression. Sondage, tube constituant l'essentiel de ce dispositif.

Pliocène : Sur l'échelle des temps géologiques, le Pliocène est la plus récente époque géologique du Néogène. S'étendant de $5,332 \pm 0.005$ à $2,588 \pm 0.005$ millions d'années, il est suivi du Pléistocène et précédé par le Miocène. ...Dernière époque de la deuxième partie du tertiaire (Néogène) succédant au Miocène.

Plio-Quaternaire : Terme regroupant le Pliocène et le Quaternaire.

Protérozoïque : 2ème système du Précambrien qui se divise en 3 sous-systèmes: Paléoprotérozoïque, Mésoprotérozoïque et Néoprotérozoïque. Il est daté d'environ - 2500 Ma à - 530 Ma.

Pyréenne : Phase tectonique datée de l'Eocène moyen et supérieur (ère Tertiaire).

Polluant naturel : Corps présent naturellement dans une eau, selon une teneur la rendant inapte à certains usages, notamment à la consommation humaine, pouvant être acquis et concentré par l'eau au cours de son évolution normale dans un aquifère.

Pouzzolane : Roche volcanique claire, tendre et poreuse (de type cinérite) servant à la fabrication de mortier, de ciment ou encore utilisée en jardinerie comme corps drainant.

Pression artésienne : Pression hydrostatique de l'eau d'un puits ou forage artésien pouvant jaillir, mesurée au niveau du sol, en l'absence d'écoulement.

Pression hydrostatique : Pression exercée par un fluide immobile sur les parois des interstices du milieu solide qui le contient, notamment sur les parois des interstices du milieu poreux, ou des surfaces de discontinuité d'un milieu fissuré.

Profil piézométrique : Trace de la surface piézométrique d'une nappe dans un plan vertical (coupe) dont l'orientation peut être quelconque par rapport à la direction principale d'écoulement.

Pilote: Une action, ou un projet pilote est mené(e) dans un but expérimental afin d'en mesurer les effets en vue d'actions ultérieures.

PNUD : Programme des Nations Unies pour le développement menant des actions en faveur du progrès social et économique. Il mesure chaque année des indices (PIB, IDH) du développement de chaque pays du monde.

PNUE : Programme des Nations Unies pour l'environnement qui encourage l'application de pratiques respectueuses de l'environnement dans le monde entier.

Polyculture: Pratique simultanée de plusieurs cultures dans une même exploitation agricole. À l'inverse de la monoculture, la polyculture permet d'équilibrer l'écosystème agricole en y augmentant la biodiversité.

Potable: Propice à la consommation. L'eau potable doit être propre et ne pas porter atteinte à la santé de celui qui la boit.

Porosité : Rapport du volume des interstices, dans un échantillon de matériau tel qu'un sol, au volume total de l'échantillon, vides compris.

Puisard : Puits utilisé pour évacuer des eaux usées ou polluées, des saumures, etc

Puits à drains rayonnants : Puits muni de drains tubulaires horizontaux disposés selon plusieurs directions radiales et accroissant son rayon efficace.

Puits : Trou d'une certaine profondeur foncé, creusé ou foré dans la terre afin d'extraire de l'eau.

Puisage : Action de puiser de l'eau, d'extraire l'eau d'un puits, plus particulièrement par des moyens faisant appel à l'énergie humaine ou animale (distinguée de ce point de vue du pompage).

Puits artésien : Puits, forage captant l'eau d'une nappe captive, jaillissant ou non

Q

Quaternaire : Caractérise l'ère géologique la plus récente, postérieure au Tertiaire avec lequel elle forme le Cénozoïque. Elle est marquée par l'apparition de l'Homme. Sa définition a beaucoup varié au cours des temps, aujourd'hui on semble lui faire correspondre une couche sapropélique de la série marneuse de Vrica (Calabre, Italie). Cependant de nombreuses autres définitions lui sont attribuées.

Quartzeux, se : Se dit d'une roche sédimentaire riche en grains de quartz d'origine détritique.

Quartzique : Qui contient une proportion faible de quartz.

Quartzite : Roche siliceuse constituée de grains siliceux (non discernables) liés par un ciment siliceux. Roche très compacte à cassure conchoïdale, de couleur claire, et d'aspect gras.

Quartzitique : Se dit d'une roche magmatique dont la proportion de quartz varie entre 5 et 20 %.

Quartzolite (ou quartzolithe) : En milieu lagunaire, agrégat de cristaux de quartz secondaire moulées les uns contre les autres. Streckeisen, en 1966 définit une quartzolite comme un synonyme de silexite (roche magmatique hypersiliceuse).

R

RAMSAR : La Convention de RAMSAR, officiellement Convention relative aux zones humides d'importance internationale, particulièrement comme habitats des oiseaux d'eau, aussi couramment appelée convention sur les zones humides, est un traité international adopté le 2 février 1971 pour la conservation et l'utilisation durable des zones humides, qui vise à enrayer leur dégradation ou disparition, aujourd'hui et demain, en reconnaissant leurs fonctions écologiques ainsi que leur valeur économique, culturelle, scientifique et récréative.

Reboisement: Action de replanter beaucoup d'arbres dans une zone déboisée.

Réhabiliter: Rétablir dans son premier état. La réhabilitation de terres dégradées par le reboisement, par exemple permet d'aider un écosystème fragilisé à se régénérer.

Repiquage: transplantation de jeunes plantes provenant d'un semis.

Réserve de biosphère: Aire portant sur des écosystèmes terrestres, reconnue au niveau international par l'UNESCO comme site privilégié pour la recherche et la promotion des relations équilibrées entre les hommes et la nature.

Restauration : Retour à des conditions identiques à celles présentes avant la perturbation.

Réseau de collecte et transport des eaux usées : Maillage de canalisations souterraines ayant pour fonction de collecter les eaux usées et de les conduire à une station d'épuration, via des collecteurs et des émissaires. Ce transport se fait par gravité, mais aussi par refoulement, mise sous pression ou dépression par des pompes. Il existe deux principaux types de réseaux de collecte :

- réseau unitaire : réseau évacuant dans les mêmes canalisations les eaux usées et les eaux pluviales. Le réseau unitaire nécessite de tenir compte des variations de débits des eaux pluviales dans la conception et le dimensionnement des collecteurs et des ouvrages de traitement.
- réseau séparatif : réseau séparant la collecte des eaux usées et des eaux pluviales. Le système séparatif a l'avantage d'éviter le risque de débordement d'eaux usées dans le milieu naturel lorsqu'il pleut, mais aussi de pouvoir traiter spécifiquement les eaux pluviales.

Réseau hydrographique : Ensemble des cours d'eau et des milieux aquatiques présents sur un territoire. Le terme de réseau évoque les liens physiques et fonctionnels entre ces milieux.

Rabattement : Baissement de la surface d'une nappe libre ou de la surface piézométrique, par rapport au niveau naturel, résultant de l'extraction de l'eau souterraine par le pompage d'un puits, par l'écoulement artésien d'un forage ou par l'émergence d'une source provenant d'un aquifère.

Rabattement de nappe - Action de faire baisser, de façon permanente ou temporaire, la surface piézométrique d'une nappe dans une aire délimitée, pour faciliter l'accès dans le sous-sol en le dénoyant localement.

Relief : 1.) Saillie qui présente une surface. 2.) Ensemble des inégalités topographiques (creux et saillies).

Reg : Un reg est un désert de pierres, une surface caillouteuse débarrassée des éléments fins par le vent. Il correspond à la roche en place érodée ou à d'anciennes nappes de cailloutis. ...

Remontée : Montée du niveau d'eau dans un puits, un piézomètre, après l'arrêt du pompage, ce qui tend à rétablir le niveau naturel originel.

Réseau piézométrique : Ensemble des puits d'observation ou des piézomètres répartis dans le but de connaître les variations de charge hydraulique d'une nappe.

Réserve (d'eau) : Quantité d'eau gravitaire contenue, à un instant (t), dans un aquifère. C'est le volume de la nappe.

Réserve de sel : Quantité totale de sels contenue à un instant (t), à l'état solide ou dissout dans l'eau, dans un aquifère ou un massif de sol délimité.

Réserve de tarissement : Part de la réserve d'un aquifère libre (en général un aquifère karstique) dont la vidange en régime non influencé fournit le débit décroissant aux exutoires.

Réserve d'eau du sol : - Quantité d'eau totale contenue dans la zone non saturée d'un sol, dans des conditions définies.

Réserve exploitable : Quantité d'eau maximale qu'il est possible d'extraire de la réserve d'un aquifère, de façon temporaire ou définitive, dans des conditions économiques acceptables.

Ressources d'exploitation de la réserve en eau souterraine : Ressources en eau souterraine non renouvelables, procurées, pendant une durée finie, par l'exploitation de la réserve d'un ou de plusieurs aquifère(s).

Ressources en eau souterraine exploitables : Quantités d'eau utilisable qu'il est techniquement possible et économiquement avantageux de prélever dans les aquifères, pendant une durée définie, en respectant diverses contraintes pratiques et économiques.

Ressources en eau souterraine naturelles : Ressources en eau renouvelables qui seraient théoriquement procurées par le captage de la totalité du débit naturel des nappes souterraines, dans un domaine défini et en régime d'équilibre moyen.

Ressources suralimentées : Ressources en eau souterraine exploitables supplémentaires, par rapport aux ressources renouvelables naturelles, procurées par la suralimentation de l'aquifère induite sous l'influence des captages, donc par un renouvellement accéléré de la réserve de l'aquifère.

Rivière souterraine : Cours d'eau souterraine dans un conduit karstique, une caverne d'assez grande dimension, accessible pour partie, où un tirant d'air est conservé, donc à surface libre en partie.

Roche : Matériaux constitutif de l'écorce terrestre, formé en général d'un assemblage de minéraux et présentant une homogénéité statique. Il existe cependant des roches liquides et gazeuses comme les hydrocarbures naturelles (ex. : le pétrole).

Roche mère - 1.) Roche à partir de laquelle se sont constitués les éléments détritiques d'un sédiment, ou un sol. 2.) Roche dans laquelle se forme les hydrocarbures.

Rugosité : Caractéristique de la paroi d'un conduit, d'une fracture, d'une fissure ouverte, dans un milieu aquifère fracturé, qui conditionne les pertes de charge par frottement visqueux du fluide en mouvement contre les parois.

Ruissellement souterrain : Mouvement d'eau, essentiellement gravitaire, dans la partie non saturée d'un aquifère karstique.

Résistivité : Caractéristique d'une substance conductrice, numériquement égale à la résistance d'un cylindre de cette substance de longueur et de section unités. (Unité : ohm-mètre.).

Rendement de l'irrigation: Rapport entre la quantité d'eau directement mise à la disposition de la culture et la quantité d'eau reçue à l'entrée de la parcelle; fraction.

Ruissellement: Perte d'eau pour le champ résultant d'un écoulement superficiel latéral.

S

SASS : Système aquifère du Sahara Septentrional.

Salinisation: Augmentation du taux de sels minéraux dans le sol ou l'eau. Une salinisation importante fait perdre sa fertilité au sol et pollue les nappes phréatiques.

Salinisation secondaire : C'est un processus d'enrichissement d'un sol en sels solubles causé par l'approvisionnement en eau pour l'irrigation et qui aboutit à la formation d'un sol salin .L'irrigation altère le bilan hydrique du sol en générant un apport d'eau supplémentaire ; cet apport est toujours associé à un apport de sels. En effet, même une eau douce de la meilleur qualité contient des sels dissous et, si la qualité de sels apportée par cette eau peut sembler négligeable, les qualités d'eau apportées au fil du temps entraînent un dépôt cumulé de sels dans les sols qui peut s'avérer considérable. Les échanges de cations entre le sol et l'eau d'irrigation sont le début de la salinisation du sol.

Salmonicole : La salmoniculture est la branche de la pisciculture dédiée à l'élevage des salmonidés. La salmoniculture se pratique tant en eau douce qu'en eau salée. Le principal débouché économique de la salmoniculture est l'alimentation humaine.

Saalienne : Phase tectonique du Permien inférieur.

Sable : Roche détritique meuble composée de grains d'origines diverses (notamment du quartz) dont la taille est comprise entre 1/16 mm et 2 mm. La nomenclature précise, en fonction des grains, le type de dépôt, NU (non usé) fluvatile, EL (émoussé luisant) marin, RM (rond mat) éolien.

Santonien : (De Saintonge, Fr.) 4ème étage du Crétacé supérieur (ère Mésozoïque) qui est daté d'environ - 86 Ma à - 83 Ma.

Saturation : État d'un milieu poreux et/ou fissuré dont les vides interstitiels sont complètement remplis d'eau.

Saturé : Concerne les roches magmatiques ne contenant pas de feldspathoïdes mais pouvant contenir du quartz.

Saturé (en eau) : Qualifie un milieu poreux et/ou fissuré dont les vides interstitiels sont complètement remplis d'eau.

Salinité: Taux de sel dans le sol.

Sodication ou Alcalinisation : Sodication, ou alcalinisation comme ce processus était appelé auparavant, est l'augmentation de la proportion de sodium existant dans les sols jusqu'à la saturation en sodium du complexe d'échange résultant en sols sodiques. Le processus de sodication peut causer la dispersion de l'argile et une instabilité structurelle, inhiber la circulation de l'eau dans les sols, et mener à une prédisposition accrue d'érosion du sol. Les sols sodiques peuvent donc limiter la croissance des plantes du fait des concentrations toxiques de Na.

Sécheresse: Phénomène caractérisé par l'absence prolongée de précipitations.

Semence: Graine que l'on sème.

Semi-aride: Caractère d'un climat dans lequel les précipitations ne dépassent pas 500 mm/an (pluies d'hiver) ou 800 mm/an (pluies d'été).

Sirocco: Vent du sud-est extrêmement chaud et sec, d'origine saharienne, résultant des dépressions qui se forment au-dessus de la Méditerranée.

Steppe: Ecosystème de formations herbacées qui se constitue dans les pays tempérés, là où les précipitations sont insuffisantes pour permettre la croissance des arbres.

Subhumide: Climat caractérisé par des précipitations dont le total est inférieur à l'évapotranspiration mais supérieur à la moitié de celle-ci.

Subhumide sec: Climat caractérisé par un régime de pluies saisonnières importantes et une variation des précipitations de moins de 25% d'une année sur l'autre.

Subsistance: On appelle activité ou culture de subsistance tout mode de production permettant tout juste de pourvoir aux besoins alimentaires du producteur, sans que celui-ci soit capable de faire des gains par la vente du surplus.

Subtropical: Situé près des tropiques. Le climat subtropical est caractérisé par la chaleur et une longue saison sèche.

Surexploitation : Exploitation abusive conduisant à la dégradation de ce qui est exploité (terres, eaux, végétation).

Surpâturage: Excès de broutage des animaux domestiques entraînant la dégradation de la couverture végétale.

Surveillance écologique: Suivi et contrôle des changements des principales caractéristiques écologiques propres à un écosystème.

Semi-captif (aquifère) : Formation aquifère surmontée d'une couche semi-perméable relativement mince et/ou surmontant une telle couche à travers laquelle l'eau peut pénétrer dans la formation aquifère ou en sortir.

Substratum : Socle rocheux sain de surface, recouvert d'une épaisseur variable de sédiments. Terme très général désignant ce sur quoi repose une formation géologique prise comme référence.

Station d'épuration : Ensemble d'équipements situés au débouché d'un réseau public de collecte et de transport des eaux usées, assurant l'épuration plus ou moins poussée des eaux usées et pluviales avant leur rejet dans le milieu naturel (rivière, mer, lac). Le terme consacré est Station de Traitement des Eaux Usées (STEU). En France, on compte 19 430 stations d'épuration en 2011. Une station d'épuration par procédé intensif (par opposition aux procédés extensifs de type lagunage) comprend différentes étapes de traitement :

- prétraitements (dégrillage-tamissage, dessablage, déshuilage)
- décantation (statique ou physico-chimique)
- traitements biologiques (cultures libres ou fixées)
- rejet des eaux épurées au milieu naturel
- traitement et valorisation des boues d'épuration
- traitement des odeurs.

Sodicité: Terme utilisé pour décrire la condition d'un sol sodique (alcalin) par exemple pour parler d'un risque ou problème de sodicité.

Sol sodique: Aussi appelé sol sodique non salin ou sol alcalin non salin.

Sol sodique non salin: Aussi appelé sol alcalin non salin: sol qui contient suffisamment de sodium échangeable pour entraver la croissance de la plupart des plantes cultivées et ne contient pas de quantités appréciables de sels solubles. Dans la définition de l'USDA, le pourcentage de sodium échangeable est supérieur à 15, et la conductivité électrique de la solution de sol saturé est inférieure à 4 dS/m (à 25°C). Le pH de la pâte de sol saturé dépasse généralement 8,5.

Sol sodique salin: Sol qui contient une quantité de sodium échangeable suffisante pour entraver la croissance de la plupart des plantes cultivées et qui contient une quantité appréciable de sels solubles. Dans la définition de l'USDA, le pourcentage de sodium échangeable est supérieur à 15 et la conductivité électrique de la solution de sol saturé est supérieure à 4 dS/m (à 25°C). Le pH du sol saturé est généralement inférieur à 8,5.

Solution de sol sature: Solution extraite d'un sol à son pourcentage de saturation.

Schiste : Aux sens large, n'importe quelle roche ayant acquis une structure feuilletée. De manière plus stricte, roche ayant acquis une schistosité sous l'influence de contraintes tectoniques.

Schistosité : Etat d'une roche qui présente une structure feuilletée sous l'influence de contraintes tectoniques.

Sebkha (ou sebkra) : (Mot arabe) Lac temporaire salé d'Afrique du Nord où se déposent des évaporites.

Sol : Formation superficielle, meuble, d'épaisseur variable, résultant de l'altération de roches par des phénomènes physiques, biologiques et chimiques.

Sous-sol : Partie de la croûte terrestre située en dessous du sol, dans laquelle se trouvent les roches et la nappe phréatique. Etude du sous-sol par sondage, forage, méthodes sismiques, gravimétrie.

Spectrométrie : Étude quantitative des spectres. On distingue principalement la spectrométrie d'adsorption atomique pour déterminer les éléments traces ; la spectrométrie de fluorescence X où on mesure l'intensité des rayons X de fluorescence ; la spectrométrie de masse où on mesure la déviation différentielle

pour identifier les isotopes ; et la spectrométrie infrarouge où on mesure les rayonnements infrarouges afin de renseigner les structures des cristaux (ou molécules).

Strate : Couches géologiques qui constituent un terrain.

Strate conductrice : Dans un aquifère non homogène, couche de faible épaisseur mais très perméable qui détermine l'essentiel de la transmissivité de l'ensemble. Elle conduit la plus grande partie du débit de la nappe, mais n'a qu'une fonction capacitive négligeable.

Stratification : Dispositions en strates.

Surexploitation : Exploitation de quantités d'eau souterraine excessives par rapport à une norme fixée en fonction de diverses contraintes, et plus particulièrement par rapport à u débit de production assuré lié à la conservation de l'équilibre à plus ou moins long terme.

Surface piézométrique : Surface idéale qui représente la distribution des charges hydrauliques d'une nappe à écoulement bidimensionnel, ou des charges rapportées à une surface ou une strate déterminée de l'aquifère en cas d'écoulement tridimensionnel.

Synclinal : Pli convexe en forme de U, où les couches du centre de la structure sont les plus récentes. Ant. anticlinal.

Synthétique : Caractérise un mouvement tectonique dirigé dans le même sens qu'un autre mouvement tectonique plus important.

Système aquifère : Domaine aquifère fini dont toutes les parties sont en liaison hydraulique continue et qui est limité par des obstacles créant des barrières à toute propagation d'influence.

Sel : - 1.) Composé dérivant d'un acide par substitution à un atome d'hydrogène d'un atome de métal. Un sel résulte notamment de l'action d'un acide sur une base. 2.) Nom courant du chlorure de sodium (NaCl), sel (au sens 1.) dérivant de l'acide chlorhydrique par substitution du sodium à l'hydrogène. Soluble dans l'eau, il existe sous forme de roche. Le sel gemme est du chlorure de sodium d'origine sédimentaire, exploité dans les gisements et mines, à l'opposé du sel des marais salants extrait par évaporation de l'eau de mer.

Sénonien : Sous-système du Crétacé supérieur (ère Mésozoïque), il est composé par le Coniacien, le Santonien, le Campanien et le Maastrichtien. Le Sénonien est daté d'environ - 89 Ma à - 65 Ma.

Syprinicole : En pisciculture, relatif à l'élevage de carpes et de tanches. Les eaux piscicoles dans lesquelles vivent ou pourraient vivre les poissons appartenant aux cyprinidés (Cyprinidae) ou d'autres espèces telles que les brochets (*Esox lucius*), les perches (*Perca fluviatilis*) et les anguilles (*Anguilla anguilla*).

T

Talus : Dans les régions de bocage un talus désigne un mur construit en mottes de terre et d'herbe, délimitant en général une parcelle.

Transpiration: Phénomène par lequel de l'eau liquide absorbée par un être vivant s'échappe dans l'atmosphère sous forme de vapeur d'eau.

Taux maximum d'évapotranspiration d'une culture, ET_m: Taux maximum d'évapotranspiration d'une culture quand la quantité d'eau contenue dans le sol n'est pas limitée. Egalement appelé "besoins en eau de la culture" et ET cult.

Teneur en eau du sol (identique à teneur en humidité du sol et pourcentage d'humidité du sol): 1) poids de l'eau perdue par un sol séché pour lui donner un poids constant à température normalisée, exprimé par un rapport. 2) en volume, c'est le volume d'eau tiré d'un sol amené par séchage à un poids constant à température normalisée, exprimé en tant que rapport entre le volume du sol avant séchage et après séchage. Hauteur: hauteur équivalente d'eau libre par 100 unités de hauteur de sol. Numériquement, cette valeur correspond approximativement au volume d'eau par 100 unités de volume de sol.

Terre irrigable: Terre apte à l'irrigation, qui peut recevoir de l'eau d'irrigation et qui est classée comme telle sur la base d'une évaluation économique de son aptitude à l'agriculture irriguée compte tenu des disponibilités en eau et des coûts et avantages résultant de la mise en oeuvre du projet.

Tectonique : Etude de la structure et des mécanismes de déformation des roches. La tectonique s'intéresse uniquement aux déformations post-formation. Ces principales déformations observables sont les fractures, les plis, les cassures et la schistosité.

Temps de séjour : Durée séparant l'instant d'introduction d'une particule d'eau en un point donné d'un aquifère, de l'instant de son prélèvement, en un autre point.

Terrain : Ensemble de roches de même nature, même origine ou de même âge.

Tertiaire : Ere datée d'environ - 65 Ma à - 1,8 Ma. Elle est divisée en deux systèmes, le Paléogène et le Néogène.

Texture : Ensemble des caractères définissant l'agencement et les relations volumiques et spatiales des minéraux dans une roche.

Topographie: Relief, configuration d'un lieu géographique. Technique de description de la surface terrestre (à une échelle inférieure à celle de la géodésie) permettant la représentation, sur un plan (une carte) de terrains (de relativement petites parties de la surface terrestre) avec leurs reliefs.

Touareg: Nomades du Sahara, en Afrique.

Tribunal de l'eau: Tribunal ou assemblée organisé(e) par la communauté locale pour discuter de la distribution de l'eau. Un maître de l'eau est chargé de calculer et de mesurer la quantité d'eau indispensable dans la vie quotidienne (boisson, hygiène) et de la distribuer équitablement à travers la communauté.

Trias : 1er système du Mésozoïque qui se divise en un sous-système inférieur, un moyen et un supérieur. Il est daté d'environ - 245 Ma à - 204 Ma.

Turbidité : Dépôt sédimentaire détritique résultant de courants sous-marins agitant des particules en suspension et les déposants en une seule fois. La série ainsi créée peut être décrite par la séquence type de Bouma, avec de bas en haut : A, grossier et granoclassement positif ; B, gréseux, fin et laminé ; C, fin et ondulé ; D, fin et laminé ; E, argileux.

Turonien : (De *Turonia*, nom latin de la Touraine, Fr.) 2ème étage du Crétacé supérieur (ère Mésozoïque) qui est daté d'environ - 91 Ma à - 88 Ma.

U

UMA : Union maghrébine arabe. Ses pays membres sont : Algérie, Jamahiriya arabe libyenne, Maroc, Mauritanie et Tunisie.

UNESCO : Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture. Certains programmes scientifiques de l'UNESCO contribuent à lutter contre la désertification, notamment l'Homme et la biosphère (MAB), le Programme hydrologique international (PHI) et le Programme de corrélation géologique international (PICG).

Urbanisation: 1. Développement des villes, concentration de la population dans les villes. 2. Aménagement des villes.

V

Vacuole : Petite cavité (mm à cm) à l'intérieure d'une roche. Elle peut être vide ou bien remplie de minéraux ou autres matériaux.

Vadose : Qualifie l'eau qui percole dans le sous-sol mais qui n'appartient pas à une nappe aquifère souterraine.

Vallée : Dépression de forme allongée, plus ou moins creusée par un cours d'eau ou par un glacier. Dans le premier cas, la vallée a une forme en V, et dans le second, une forme en U. Quand les alluvions sont nombreuses, le fond de la vallée peut être plat.

Vallée sèche : Vallée creusée par un cours d'eau qui n'existe plus, ou bien devenu souterrain (fréquent dans les paysages karstiques).

Vase : Sédiment gorgé d'eau formé par un mélange d'éléments détritiques très fins, d'hydroxydes et sulfures de fer, et de matières organiques. C'est la richesse de ces éléments qui détermine la couleur de la vase.

Versant (bassin) : Ensemble des pentes inclinées qui alimentent un même cours d'eau, ils sont séparés les uns des autres par des lignes de partage des eaux.

Versant : Surface topographique formant les pentes d'une montagne ou d'une vallée.

Vergers: Espace réservé à la culture d'arbres fruitiers.

Z

Zone agroclimatique: Unité de terre définie par un grand climat et la période végétative climatiquement adaptée à une gamme déterminée de cultures et de cultivars.