

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE
ARBAOUI Abdellah

DEPARTEMENT DE GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE

Option : Conception Des Systèmes D'irrigation et Drainage

THEME :

**La Réutilisation Des Eaux De Drainage à Des Fins
Agricoles De La Vallée De Oued Righ
(W. OUED SOUF)**

Présenté par :

M^r: LEBBAD Hamza

Promoteur :

M^r: HATTALI Kamel.

Devant le Jury composé de :

Président: M^r T. KHETTAL

Examineurs:

M^{me} L. BAHBOUH

M^{me} S. LEULMI

M^{me} H. BOUCHAMA

M^r M. MESSAHEL

Octobre 2011

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

ECOLE NATIONALE SUPERIEURE DE L'HYDRAULIQUE
ARBAOUI Abdellah

DEPARTEMENT DE GENIE DE L'EAU

MEMOIRE DE FIN D'ETUDES

EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLOME
D'INGENIEUR D'ETAT EN HYDRAULIQUE

Option : Conception Des Systèmes D'irrigation et Drainage

THEME :

**La Réutilisation Des Eaux De Drainage à Des Fins
Agricoles De La Vallée De Oued Righ
(W. OUED SOUF)**

Présenté par :

M^r: LEBBAD Hamza

Promoteur :

M^r: HATTALI Kamel.

Devant le Jury composé de :

Président: M^r T. KHETTAL

Examineurs:

M^{me} L. BAHBOUH

M^{me} S. LEULMI

M^{me} H. BOUCHAMA

M^r M. MESSAHEL

Octobre 2011

Dédicace



*C*haqu' un entre nous estime de passer d'une réussite à une autre,
la vraie victoire est
Celle qui à lieu des difficultés, grâce à mes efforts et à l'aide de mes proches, que je
vais donner mes sens à mon projet, reconnaissant de leurs aides, je vais leurs dédier ce
modeste travail en guise de reconnaissance et de gratitude.

*A*U plus tendre et chère mère « yemma » qui ma prodigué soutien, réconfort,
Compréhension et sacrifice durant toute ma vie. (N'habak Yemma)

A mon père, Que dieu m'aide à vous honorer « que DIEU vous pardonne et vous
accepte dans son vaste paradis » je t'aime « baba ».

A mon frère « Abd Errezak » qui joue le rôle d'un père durant toute sa vie
que DIEU vous pardonne et vous accepte dans son vaste paradis.

A Mes très chers frangins Ebd Elhadi, I mad, Louèy, Salah et Yazid

A Mes très chères frangines Widad, Wahiba, Amel, Sabah et Mekka.

A celle qui n'a jamais hésité le moindre instant à se tenir à mes cotés afin
de m'aider, et m'encourager... ma fiancée Madjda.

A mon exemple de sagesse, ingéniosité, mon allié Nacir KHELIL.

A mon exemple de générositéBachir ZUI NE.

A mes amis le groupe de (la chambre A302), sans exception.

A mes collègues d'étude, Massaoud, Daho, Anoir, Brahim, Saïd, Naas.

A toute la promo 2010-2011.

Je dédie ce travail.

Hamza.LEBBAD

REMERCIEMENT

*Je m'incline et me prosterne devant mon Création, **DIEU** de l'orient et de l'occident, **DIEU** de tous les êtres, pour m'avoir guidé et appris tous ce que je sais. Devant lui, le plus grand, l'un, l'unique, je me prosterne encore pour tous les biens qu'il m'a gratifié en me créant musulman et en m'aidant à le rester pour toujours, lui la réalisation de tous mes vœux.*

*J'exprime ma gratitude à mes chers **parents** ...*

Au terme de ce travail, ces avec un réel plaisir que j'exprime ma gratitude à mon promoteur monsieur Kamel HATTALI qui veille à ce que ce travail se déroule dans les meilleurs conditions, et lui exprime ma gratitude et mes profond respects.

Mes remerciements très chaleureux vont également à madame Laila BAHBOUH, pour l'honneur qu'il ma fait, malgré ses multiples occupations.

J'exprime ma gratitude à monsieur KAFI (ONID, Touggourt), ainsi qu'à monsieur MESSAOUDI (ONID, Djamaa) ainsi qu'à CHAWKI Yousef, Yacine BRADAI.

J'adresse mes profonds remerciements à mes profond chers amis LOGHRI CHI Yazid, KAZOUI T Massaoud.

Je n'oublier jamais que j'exprime ma gratitude à le groupe de bibliothèque (ENSH).

Un spécial remerciement à monsieur Lazhar SIAGH (entreprise nationale de canalisation, SONATRACH).

Qu'il me soit permis de remercier toutes les personnes qui ont contribuées de près ou loin à la réalisation de ce mémoire.

الملخص

إن المجال الزراعي يتطلب كميات كبيرة من مياه السقي لهذه يجب توفير ذلك بتقنيات متعددة ومنه يجب البحث عن المصادر التي تساهم في المحافظة على احتياطي الأجيال القادمة.

و تتناول هذه المذكرة احد هذه المصادر التي تمثل في إعادة استعمال مياه الصرف ل"واد ريغ " وهذه الأخيرة التي تتميز بنسبة ملوحة مرتفعة وامتزاجها بمياه الصرف الصحي و عليه تتضمن هذه المذكرة أيضا كيفية معالجة هذه المياه بتقنية "اسموز عكسي" بعد معالجتها أوليا و أيضا هناك دراسة تقني-اقتصادية لهذه المعالجة.

RESUME :

Le domaine de l'agriculture demande des quantités énormes d'eau d'irrigation, pour cela il faut en veiller des différentes techniques.

Donc, il faut chercher les ressources qui aident à la préservation de réserve des futures générations.

Ce travail traite l'une de ces ressources, qui est la réutilisation des eaux de drainage de « Oued Righ ». Ces eaux, qui se caractérisent d'un taux de salinité très élevé, et qui se mélange avec les eaux usées, comme cet mémoire comporte une méthode qui consiste en le traitement de ces eaux en utilisant la technique « Osmose Inverse » après le prétraitement, et une étude technico-économique de ce traitement.

SUMMARY:

The field of agriculture requires huge amounts of irrigation water, for that we need to ensure the different techniques.

So we have to look for resources that help to preserve reserves for future generations.

This work deals with one of these resources, which is the reuse of drainage water of "Oued Righ."

These waters, which are characterized by a high salinity, which is mixed with sewage, as this memory comprises a method in the treatment of these waters by using the technique "Reverse Osmosis" after pretreatment, and a technical-economic study of this treatment.

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I : Descriptif de la zone d'étude

1) Description de la vallée de l'Oued Righ.....	1
Relief.....	3
2.1 Données climatiques.....	4
I-2 Représentation des stations utilisées.....	5
I-3 Analyse des paramètres climatiques.....	6
I-3-1 Précipitations.....	6
A\ Précipitation mensuelle.....	6
B\ Précipitation interannuelle.....	7
I-3-2 L'humidité.....	8
I-3-4 La durée d'insolation.....	10
I-3-5 Température.....	11
A\ La température moyenne mensuelle.....	12
B\ La température moyenne interannuelle.....	12
C/ Diagramme pluviothermique.....	14
I-3-6 L'évaporation.....	15
I-3-7 :L'évapotranspiration.....	15
A\L'évapotranspiration réelle ETR.....	15
A-1 Formule de TURC.....	15
A-2 Formule de COUTAGNE.....	16
A-3 Formule de THORNTHWAITE.....	16
B-1 Formule de SERRA.....	17
C\ Synthèse de l'évapotranspiration.....	19
I-3-8 Vent.....	19
I-4 Géomorphologie.....	20
I-5 Conclusion.....	21

Chapitre II : Aspect hydrogéologique

II-1 Introduction.....	22
II-2 Cadre géologique régional.....	22
II-2-1 Les bassins sédimentaires de l'Algérie.....	22
A- Algérie alpine.....	22
B- Plateforme saharienne.....	23
B-1 Bassin Tindouf et Reggane.....	23
B-2 Bassin de Bechar.....	23
B-3 Bassin de l'Ahnet-Timimoun.....	23
B-4 Bassin de Mouydir et de l'Aguemour-Oued Mya.....	23
II-2-1 Le Continental Intercalaire.....	25
C\Alimentation.....	26
D\ Les exutoires.....	26
E\Epaisseur du réservoir.....	26
II-2-2-Le Complexe Terminal.....	27
A\La première nappe des sables CT1.....	28
B\La deuxième nappe CT2.....	28
C\La nappes des calcaires du Sénonien Eocène CT3.....	28
II-2-3La nappe phréatique.....	29
II-A-Nappe du Continental Intercalaire.....	32

TABLE DES MATIERES

II-B-Caractéristiques essentielles des nappes :	32
II.3- Etude Géologique de la Région du Souf :	33
II.1. Structure Géologique Générale :	33
II.1.1. Le Secondaire:	35
a. Crétacé Inférieur :	35
b. Crétacé moyen	36
c. Crétacé Supérieur :	37
II.1.2. Le Tertiaire :	37
II.1. 3. Le Quaternaire :	38
II.2. Interprétation des coupes	38
II.3. Tectonique	41
II-4- Ressources en eau :	44
II-5 Conclusion :	46
 Chapitre III : Aspect agronomique	
1) ... Introduction :	47
Caractérisation générale des sols :	47
1.1) Première classification :	47
1) Description morphologique :	47
1.2) Deuxième classification :	48
1.2.1) Description morphologique :	48
1.2) Deuxième classification :	48
1.2.1) Description morphologique :	48
2) Texture et structure des sols :	49
3. Profondeur d'enracinement des plantes :	49
2) Activités agricoles :	50
2-1) Occupation du sol et conduite de cultures.....	50
2-1-1) Le palmier dattier :	50
2-1-2 Culture annuelles :	51
2-1-3 Les cultures fourragères.....	51
2-1-4 Cultures maraichères :	51
2-1-5 L'élevage :	52
I-Cas de l'élevage dans les palmeraies.....	52
II- Cas de l'élevage transhumant.....	52
3) Irrigation Et Drainage :	53
OPTION DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE.....	54
3.1 Le choix des spéculations.....	54
3.2 Le calendrier cultural.....	55
3.3 Les assolements proposés.....	56
II-3-Besoin en eau des cultures:	57
II-3-1 Méthodes de calculs.....	57
3.1.1Calcul de l'ETP :	57
Cas du palmier :	58
Cas des autres cultures :	58
3.2 Méthode d'irrigation.....	61
II-4-Rendements :	61
Conclusion.....	63

TABLE DES MATIERES

Chapitre IV : Les infrastructures hydraulique

Introduction.....	64
IV .2. Les Réfrigérants :	66
IV .3. Réseau d'irrigation :	67
IV .3-1-Système d'irrigation :	68
IV .4. Réseau de drainage :	69
IV .4.1-Système de drainage :	69
IV .5. Conclusion.....	70

Chapitre IV : Grand canal collecteur

Introduction.....	71
V. les eaux de surface.....	71
V.1. Les lacs.....	71
V.2. Le canal d'Oued Righ :	72
V.3.CARACTERISATION DU CANAL OUED RIGH.....	73
V.3.1. Mesure du débit du canal Oued Righ.....	73
V.3.2. Calcul des paramètres hydrauliques par la méthode du jaugeage au moulinet.....	74
V.3.2.1.Généralités sur le matériel :	74
V.4. Les Stations de mesure :	76
V.4.1. Les Paramètres hydrauliques :	77
V.4.2. Interprétation des résultats.....	78
V.5. Les problèmes posés par l'évolution hydraulique :	79
V.5.1. La remontée des eaux :	79
V.5.2. La chute de l'artésianisme :	80
V.5.3. La dégradation du canal de l'Oued Righ :	80
V.5.4. Problème de la salinité :	81
V.6. Analyse des causes principales de cette problématique.....	82
V.6.1. La croissance démographique :	82
V.6.1.1. L'évolution de la population :	82
3.1.2. Répartition de la population par commune :	83
3.2. L'évolution du nombre des forages.....	85
3.3. Le développement agricole.....	87
3.4. Les rejets des eaux usées.....	88
4. Interaction entre les différents facteurs liés sur le secteur hydraulique :	89
Conclusion.....	91

Chapitre VI : Analyse des eaux du canal

VI -Analyses des eaux du canal Oued Righ.....	92
VI-1-Introduction.....	92
VI-2 -La salinité.....	93
VI -3-Rapport d'adsorption du sodium (SAR)	94
VI-4- Classification des eaux.....	95
VI-5- Paramètres bactériologiques.....	96
VI-6- conclusion :	96

Chapitre VII : Les procédés de traitement

VII-1- Introduction :	97
VII.1.1.Les Procèdes Physiques :	97

TABLE DES MATIERES

VII.1.2.Les Procédés Biologiques :	98
VII-2- Le Dessalement.....	100
VII-2-1-Les Technologies Membranaires.....	101
VII-2-1-1-La Microfiltration.....	101
VII-2-1-2-L'ultrafiltration.....	102
VII-2-1-3-La Nanofiltration.....	102
VII-2-1-4-L'osmose inverse.....	102
Principe de fonctionnement :	105
Les avantages et inconvénients des usines d'osmose inverse :	106
VII-3- Les Procédés De Distillation.....	106
VII-3-1 Le Procède De Distillation A Détentes Étagées (Multi-Stage Flash Distillation) (MSF).....	107
VII-3-2 Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED)..	109
Avantages du procédé :	112
Inconvénients	112
VII-3-3 L'électrodialyse (avec membrane constituée de résines échangeuses d'ions) ...	112
Avantages du procédé :	114
Inconvénients :	115
VII-3-3-1- Caractéristiques techniques :	115
VII-4-Conclusion.....	117
Chapitre VIII : Etude des variantes et résultats technico-économique	
Introduction :	118
VIII-1-Estimation des coûts des stations des différentes technologies.....	118
VIII-1-1-L'Electrodialyse.....	119
VIII-1-2-Distillation thermique.....	120
VIII-1-3-Osmose Inverse.....	121
VIII-2-Projection des stations de dessalement.....	123
VIII-2-1-Première variante.....	124
VIII-2-2-Deuxième variante.....	125
VIII-3-PRESENTATION DES VARIANTES D'ADDUCTION.....	126
VIII-3-1-Description de la première variante.....	126
VIII-3-1-1-Commune de Djamaa.....	126
VIII-3-1-2-Commune de Tindla.....	128
VIII-3-1-3-Commune de Sidi- Khelil.....	130
VIII-3-2-Description de la seconde variante :	131
VIII-4-ESTIMATION DU COUT DE L'ADDUCTION.....	134
VIII-4-1-Base de calcul économique.....	134
VIII-4-1-1-Coût de l'investissement :	134
VIII-4-1-2-Stations de pompage.....	134
VIII-4-1-3-Comparaison des coûts des variantes :	138
VIII-4-2- Mélange de l'eau traitée aux eaux non traitées.....	141
VIII-4-2-1- Mélange à partir du canal Oued Righ.....	142
VIII-4-2-2- Mélange à partir d'un forage.....	142
VIII-5-Conclusion.....	144
CONCLUSION GENERALE	

LISTE DES TABLEAUX

Tableau01: Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1975-2009).....	6
Tableau 02: Précipitations annuelles à la station de Touggourt.....	7
Tableau03: Humidité moyenne mensuelle interannuelles (1975-2009).....	8
Tableau 04 : Variation interannuelle de l'humidité relative moyenne à la station de Touggourt.....	9
Tableau n°05 : Vitesse des vents moyenne mensuelle en m/s.....	10
Tableau06: La durée d'insolation mensuelle interannuelle (1975-2009).....	11
Tableau n°07 : Températures moyennes mensuelles en (c°) (1975-2009).....	12
Tableau 08: Température moyenne annuelle (1975-2009) -source (ONM, ANRH).....	13
Tableau 09: Evaporation moyenne mensuelle (1975-2009).....	15
Tableau 10 : Calcul de ETR d'après THORNTHWAITE :.....	17
Tableau 11: L'ETP moyenne mensuelle, calculée par la formule de SERRA.....	18
Tableau 12: Calcul de l'ETP d'après Thornthwaite.....	19
Tableau 13 : Vitesses du vent moyennes mensuelles (m/s).....	19
Tableau 14:Caractéristiques de la rose des vents.....	20
Tableau 15: Potentiel hydrique global dans la vallée Sud d'Oued Righ.....	44
Tableau 16 : Résultats analytiques de première classification (ABHS).....	48
Tableau 17 : Résultats analytiques de deuxième classification (ABHS).....	49
Tableau 18: L'inventaire du palmier dans la zone de projet (*).....	50
Tableau 19 : Effectif du cheptel ovin/caprin.....	52
Tableau 20: surface des palmerais par commune :.....	53
Tableau 21: Calendrier cultural.....	55
Tableau 22: Assolement 1.....	56
Tableau 23: Assolement 2.....	56
Tableau 24: Besoins unitaires nets en (m ³).....	59
Tableau 25: besoin en eau (assolement n°1).....	60
Tableau 26 : besoin en eau (assolement n°2) :.....	60
Tableau 27: Rendement Des Cultures.....	62
Tableau 28: les seuils de tolérance des cultures à la salinité.....	62
Tableau 29 : coordonnées des points de prélèvement.....	73
Tableau 30: Résultats de mesure des débits à travers les sections de contrôle choisies.....	73
Tableau 31 : Coordonnées géographiques (GPS) et topographie des Stations.....	77
Tableau.32 Résultats des paramètres hydrauliques aux stations de jaugeage.....	78
Tableau. 33 : Résultats des débits de chaque station (au moulinet).....	78
Tableau 34 : Evolution de la population d'Oued Righ Sud par commune.....	83
Tableau 35 : Répartition de la superficie, la population et la densité de la population par commune.....	84
Tableau 36 : Nombre de forages réels.....	86
Tableau 37 : Nombre de forages estimés.....	86
Tableau 38 : Nombre des palmiers réels.....	87
Tableau39 : Nombre des palmiers estimés.....	87
Tableau 40 : la situation de l'assainissement et des rejets des eaux usées.....	89
Tableau 41: Résultats d'analyses des eaux du canal Oued Righ.....	92
Tableau 42 : Avantages et inconvénients des procédés d'épuration :.....	99
Tableau 43: Coût d'investissement et d'exploitation suivant l'électrodialyse.....	119
Tableau 44: Evaluation du coût du m ³ suivant l'électrodialyse.....	119
Tableau 45: Coût d'investissement et d'exploitation suivant la distillation thermique.....	120
Tableau 46 : Evaluation du coût du m ³ suivant la distillation thermique.....	120
Tableau 47 : Coût d'investissement et d'exploitation suivant l'osmose inverse.....	121

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 48 : Evaluation du coût du m ³ suivant l'osmose inverse.....	121
Tableau 49 : Récapitulatif du prix de revient du m ³ d'eau dessalé.....	121
Tableau 50: Estimation des coûts de dessalement des eaux saumâtre et marines.....	122
Tableau 51: Débits des eaux usées année 2008.....	123
Tableau 52 : volumes d'eau disponibles.....	124
Tableau 53: Volume d'eau disponible après dessalement et surfaces irrigables (variante 1)..	125
Tableau 54: Volume d'eau disponible après dessalement (variante 2).....	125
Tableau 55: Volume d'eau disponible après dessalement et surface irrigable (variante 2)..	126
Tableau 56 : Coût d'investissement des ouvrages station Djamaa.....	127
Tableau 57: Coût d'investissement des ouvrages station Tindla.....	129
Tableau 58 : Coût d'investissement des ouvrages station Sidi khelil.....	130
Tableau 59 : Volume d'eau réutilisable et surfaces à irriguer (variante 2).....	132
Tableau 60: Coûts d'investissement pour l'irrigation des palmeraies des Sidi Khelil et Tindla suivant la (variante 2).....	132
Tableau 61: présente les facteurs utilisés pour convertir, les investissements en annuités résultant de l'amortissement et de renouvellement.....	134
Tableau 62: Coût de l'adduction suivant la variante 1.....	135
Tableau 63: Prix du mètre cube suivant la variante 1.....	136
Tableau 64: Coût de l'adduction suivant la variante 2.....	137
Tableau 65: Comparaison des coûts d'investissement de variantes 1 et 2 d'adduction.....	139
Tableau 66 : proportions du mélange et prix de reviens des eaux de Oued Righ.....	142
Tableau 67 : caractéristique chimique du forage Ain Gadjout (Tigdidine).....	143
Tableau 68: concentration et proportion du mélange.....	143

LISTE DES FIGURES

Fig. 01 :Situation géographique de la région de l'Oued Righ (*).....	1
Fig. 02 :Carte de situation géographique de la vallée de l'Oued Righ.....	2
Fig. 03 :Vue par satellite de la région d'étude.....	2
Fig.04:carte de la situation administrative et géographique de la zone d'étude.....	3
Fig.05:Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations météorologiques d'après cahier de sécheresse, N 1/98(Internet).....	4
Fig.06: Carte de situation des stations de mesure (ANRH Ouargla).....	5
Fig.07: Histogramme des précipitations mensuelles interannuelles (1975-2009).....	6
Fig.08: Histogramme des précipitations annuelles (1975-2009).....	7
Fig.09: Histogramme des Humidité moyenne mensuelle interannuelles (1975-2009).....	8
Fig.10: Histogramme d'humidités annuelles (1975-2009).....	9
Fig.11: Histogramme de vitesse des vents moyens mensuels (1975-2009).....	10
Fig.12 : Histogramme de durée d'insolations mensuelles interannuelles (1975-2009).....	11
Fig.13: Histogramme de Températures moyennes mensuelles en (1975-2009).....	12
Fig.14 : Histogramme de Température moyenne annuelle (1975-2009).....	13
Fig.15: Diagramme pluviothermique à la station de Touggourt.....	14
Fig.16: Evaporation mensuelle interannuelles à la station de Touggourt.....	15
Fig17: Carte des bassins sédimentaires (d'après Sonatrach).....	22
Fig.18 : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), extrait de recueil des communications, 2002.....	24
Fig.19 : Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI.....	25
Fig. 20: Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région de Oued Righ.....	29
Fig.21 : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO 1972)...	30
Fig.22 : Le bassin de l'Oued Righ et ses limites (ARNH Ouargla).....	31
Fig.23 : Carte Géologique Régionale.....	34
Fig.24: Coupe Géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989).....	39
Fig.25 : Coupe Géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989).....	40
Fig.26: Coupe Géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989).....	41
Fig.27: carte géologique avec le sens d'écoulement des nappes de CT et CI dans le.....	42
Fig.28 : Forage l'Albien (coupe d'après ANRH 1993).....	43
Fig.29 : Taux de mobilisation des ressources en eaux souterraines dans la vallée Sud d'Oued Righ.....	45
Fig.30 : Schéma récapitulatif du potentiel hydrique dans la vallée Sud d'Oued Righ.....	45
Fig. 31 : Forage artésien (200l/s).....	64
Fig.32 Schéma récapitulatif des nombres de forages dans la vallée d'Oued Righ.....	65
Fig.33 : Réfrigérant.....	66
Fig. 34 : Schéma d'aménagement d'irrigation.....	67
Fig.35 : Canalisations Confectionnées En Ciment.....	68
Fig.36 : récepteur d'eau d'un forage du CT.....	68
Fig.37 : Séguias En Béton.....	68
Fig.38 : Drain Secondaire.....	69
Fig.39: exemple de submersion d'eau pour absence de drainage.....	70
Fig.40 : Prise de vue du lac de Temacine	71
Fig.41 : Prise de vue du lac de Megarine	71
Fig.42 : Vue de section du canal d'Oued Righ Nord.....	72
Fig.43 : Le moulinet.....	74
Fig. 44 : Variation du débit en fonction de la longueur du canal.....	79
Fig. 45 : La remontée de la nappe phréatique dans la région de Touggourt (Tatawine).....	80
Fig. 46 : Destruction des berges du canal en sable à cause des turbulences.....	81
Fig.47 : la salinité dans les palmeraies.....	82

LISTE DES FIGURES

Fig.48 : Palmeraies dégradés par la salinité.....	82
Fig.49 : L'évolution de la population d'Oued Righ Sud par commune.....	83
Fig.50 : la densité de la population dans la vallée d'oued Righ Sud.....	85
Fig.51 : la courbe d'évolution du nombre des forages dans la région d'Oued Righ Sud.....	86
Fig.52 : la courbe d'évolution du nombre des palmiers dans la vallée d'Oued Righ Sud.....	87
Fig. 53 : Les rejets des eaux usées dans le canal d'Oued Righ.....	88
Fig.54 Interaction entre les différents secteurs liés a l'eau et leurs impacts sur la vallée sud de Oued Righ.....	90
Fig.55: Représentation en barres des cations et anions.....	94
Fig.56: classifications des eaux du canal Oued Righ.....	95
Fig. 57: schéma simplifié du principe de fonctionnement de l'osmose inverse.....	103
Fig. 58 : les différentes étapes de dessalement suivant l'osmose inverse.....	104
Fig.59 : Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse.....	105
Fig.60: Principe de fonctionnement d'un système par détentés successives (MSF) à 3 étage	108
Fig.61: Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED).....	110
Fig.62: Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur.....	111
Fig.63: Evolution de la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression.....	112
Fig.64: Principe de fonctionnement de l'électrodialyse.....	113
Fig.65: Schéma de la variante 1 pour l'irrigation de la palmeraie de Djamaa.....	128
Fig.66: Schéma de la variante 1 pour l'irrigation de la palmeraie de Tindla.....	129
Fig.67: Schéma de la variante 1 en vue d'irriguer la palmeraie de Sidi Khelil.....	131
Fig.68 : Schéma de la variante 2 en vue d'irriguer les palmeraies de Sidi Khelil et Tindl....	133
Fig.69: Schéma de principe pour un mélange eau dessalé et eau brut du canal Oued Righ..	141
Fig.70: Schéma de principe pour un mélange eau brut du canal Oued Righ à l'eau d'un forage.....	141

INTRODUCTION GENERALE

La vallée de l'oued Righ est considérablement développée ses dernières années par l'exploitation cinquantaine d'oasis regroupent plus de 2.5 millions de palmiers dattiers auxquels s'ajoutent les cultures intercalaires et les besoins en AEP.

Ce potentiel des eaux excédentaires de ce rejet à travers le canal de l'oued Righ sont évaluées à un débit de 5 à 7 m³/s.

Devant cette importante ressource qui se déverse dans le Chott Merouane, l'idée nous est parvenue à son utilisation pour le développement agricole de la région.

Les zones qui font objet de notre étude ne sont que des parties de cette vallée, et elles sont comprises dans les oasis de **Sidi Amrane, Tindla, Djamaa, Sidi Khelil**, cette étude s'articule sur une introduction générale et huit chapitres : un **D**escriptif de la zone d'étude, l'**A**spect Hydrogéologique, l'**A**spect agronomique , Les **I**nfrastructures Hydrauliques , le **G**rand Canal Collecteur , l'**A**nalyse des eaux du canal , Les **P**rocédés de traitement , l'**E**tude des variantes et résultats de l'étude technico-économique et se terminant par une conclusion générale.

1) Description de la vallée de l'Oued Righ :

La région dite " Oued Righ " se situe au Sud-est du pays, plus précisément au Nord-Est du Sahara sur la limite Nord du Grand Erg Oriental, et la bordure Sud du massif des Aurès, la partie de la vallée de l'Oued Righ (étudiée ici) commence au Sud par le village d'El Goug (Touggourt) et se termine sur une distance de **150km** plus au Nord par le village d'Oum-Thiours [100 km de la wilaya de Biskra]. La largeur de la zone varie entre 20 et 30 Km.

Elle s'étend sur un axe Sud- Nord entre les altitudes Nord **32°54'** et **34°9'**, et longitudes Est **5°30'** et **6°20'**

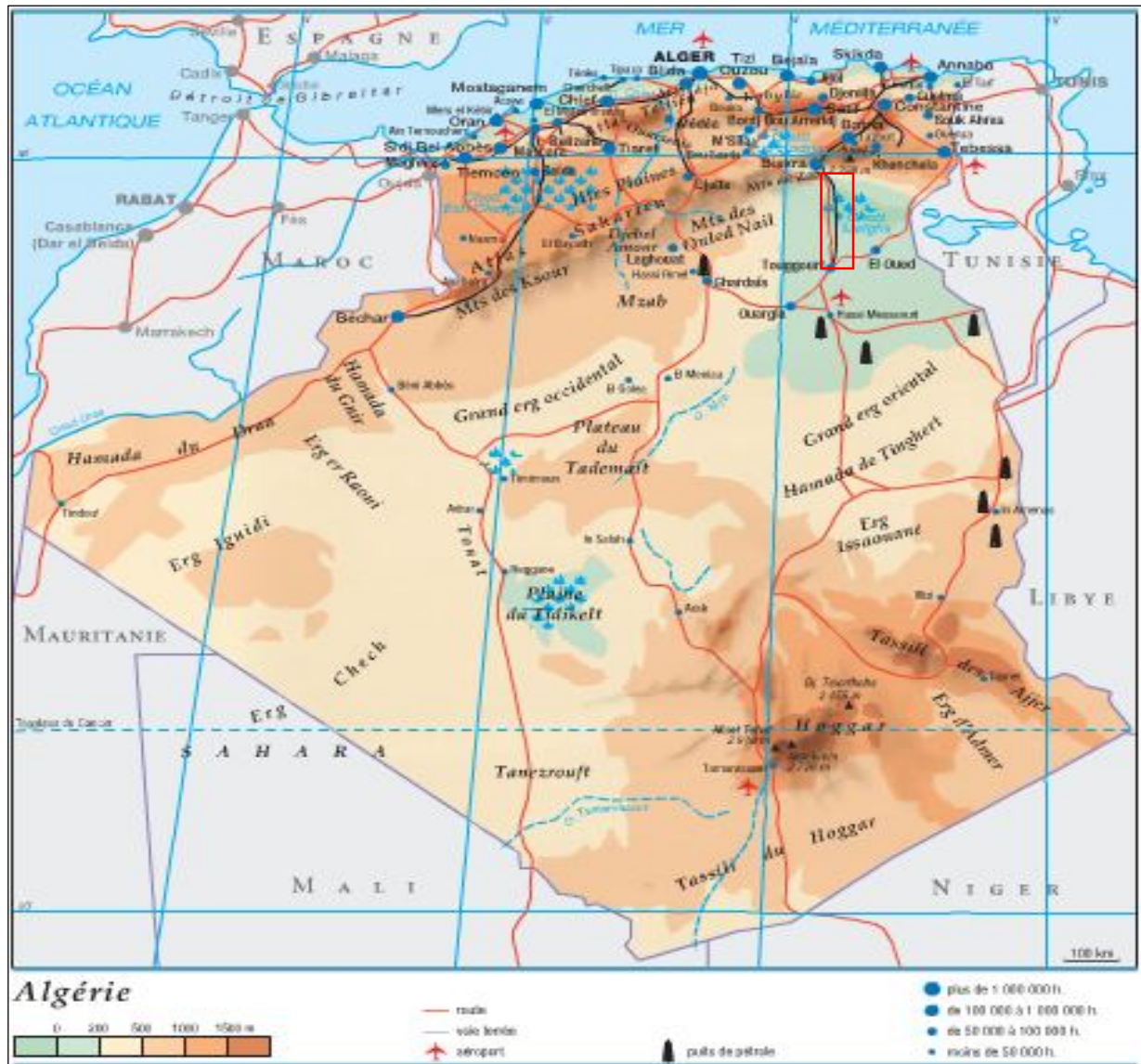


Fig. 01 : Situation géographique de la région de l'Oued Righ (*)

(*) <http://www.rove.com> (consulté le 21/05/2011).

Géographiquement, elle est encadrée par les Zibans entre Biskra et Tolga ; au Nord, au Sud-Ouest : les oasis de Ouargla, à l'Est la vallée de l'Oued Souf.



Fig. 02 : Carte de situation géographique de la vallée de l'Oued Righ.

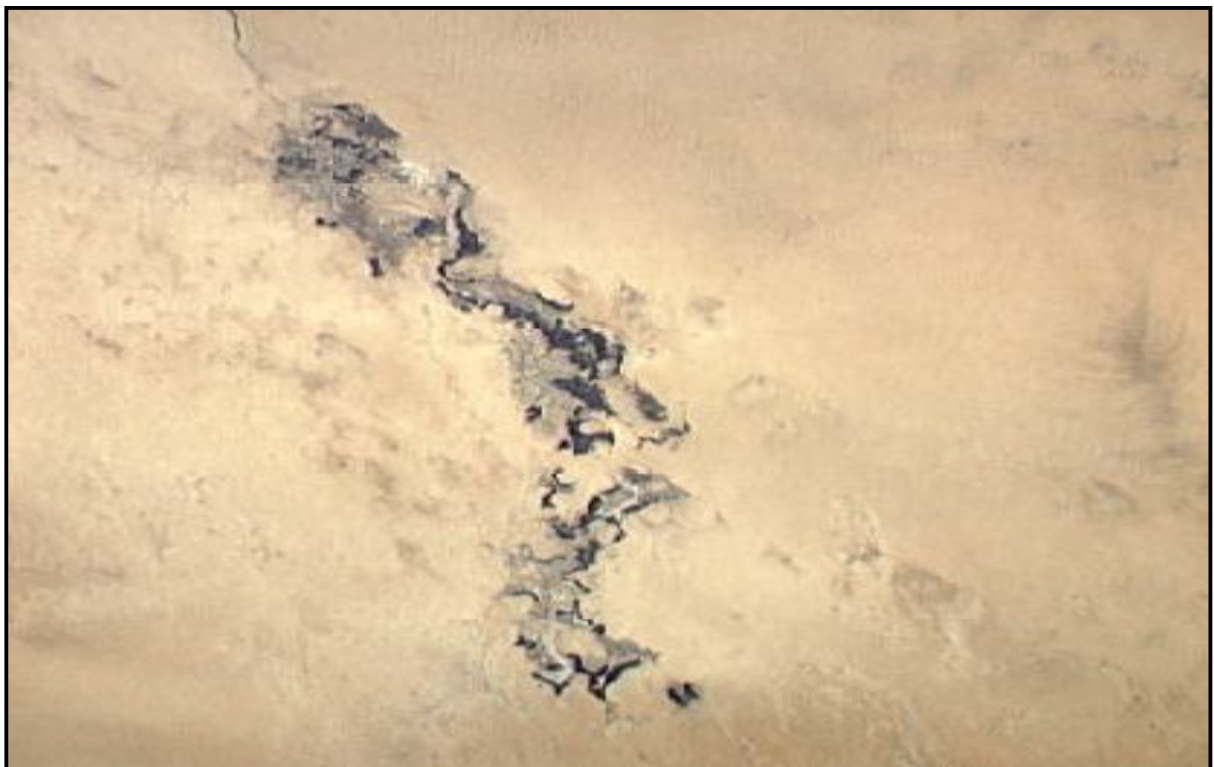


Fig. 03 : Vue par satellite de la région d'étude

Relief :

La région de l'Oued Righ fait partie d'un large fossé de direction Sud Nord.

Cette région est connue sous le nom de Bas Sahara, à cause de la basse altitude, notamment dans la zone des chotts au Nord, où les altitudes sont inférieures au niveau de la mer.

Les altitudes s'élèvent progressivement du Nord au Sud : Négatives à **Ourir** et **Meghaier** (entre -16 et -10 m), elles atteignent (+ 75 m) à **Tougourt** et (+ 80 m) à **Temacine**.

La pente générale est très faible, elle est de l'ordre de 1%. Cependant, le profil longitudinal de la vallée est très irrégulier : on note une succession de petits chotts communiquant entre eux par des seuils bas. Une coupe géologique transversale fait apparaître à la partie supérieure, un niveau quaternaire ancien constitué par une croûte gypso calcaire recouverte de formation dunaire Erg.

Du point de vue administratif, elle fait partie de deux wilaya [Ouargla- ElOued] passant par six daïras, du Sud vers le Nord : **Témacine, Tougourt, Sidi Slimane, Mégarine** appartiennent à **Ouargla, Djamaa, Sidi Amrane, Tindla** et **Sidi Khelil** qui sont rattachées administrativement à la wilaya d'**El Oued**.



Fig.04: carte de la situation administrative et géographique de la zone d'étude

1.1 Données climatiques :

Le climat joue un rôle essentiel sur la végétation, la genèse et le type de sols et sur les activités agricoles.

Le climat algérien est caractérisé par sa grande variabilité de précipitations et des températures annuelles. Cette variation est due essentiellement aux irrégularités topographiques et aux influences opposées de la Méditerranée et du Sahara.

Le climat de la région d'étude est comme le climat saharien se caractérise par un faible taux de précipitations, des températures élevées, d'une évaporation importante et d'un rayonnement solaire excessif.

Dans ce chapitre, on va analyser les facteurs climatiques et faire ressortir les périodes humides et sèches et le type de climat caractérisant la région.

La carte ci-dessous configure les différents sous bassins versants du Sahara algérien, ainsi que les principales stations météorologiques actuellement en activité.

Selon cette carte, basée sur le découpage hydrologique adopté par l'ANRH incluse dans grand bassin saharien.

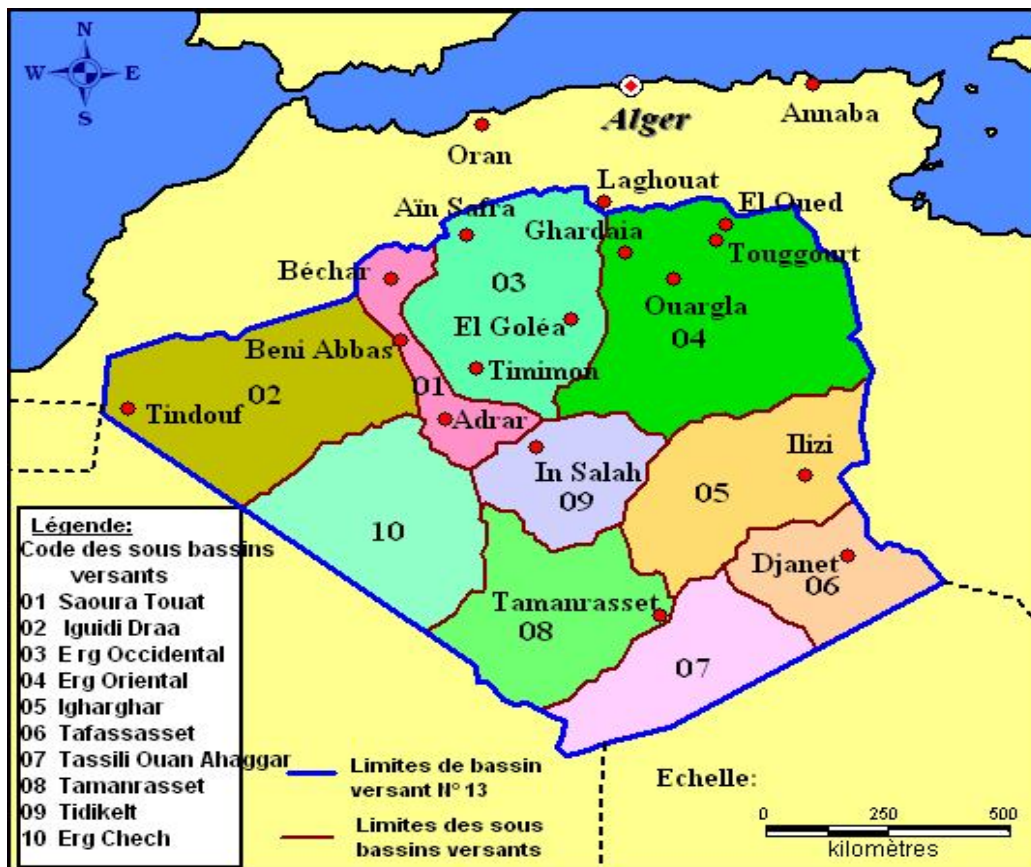


Fig.05: Carte des sous bassins versants du Sahara algérien et des stations météorologiques d'après cahier de sécheresse, N 1/98(Internet)

I-2 Représentation des stations utilisées :

Nous nous sommes basées sur des données climatologiques portées sur l'intervalle des années hydrologiques (1975-2009) selon les paramètres enregistrés par la station de Touggourt, la plus proche de notre zone d'étude dont les coordonnées sont les suivantes :

- Attitude : 33°11'N
- Longitude : 06°13'E
- Altitude: 85m

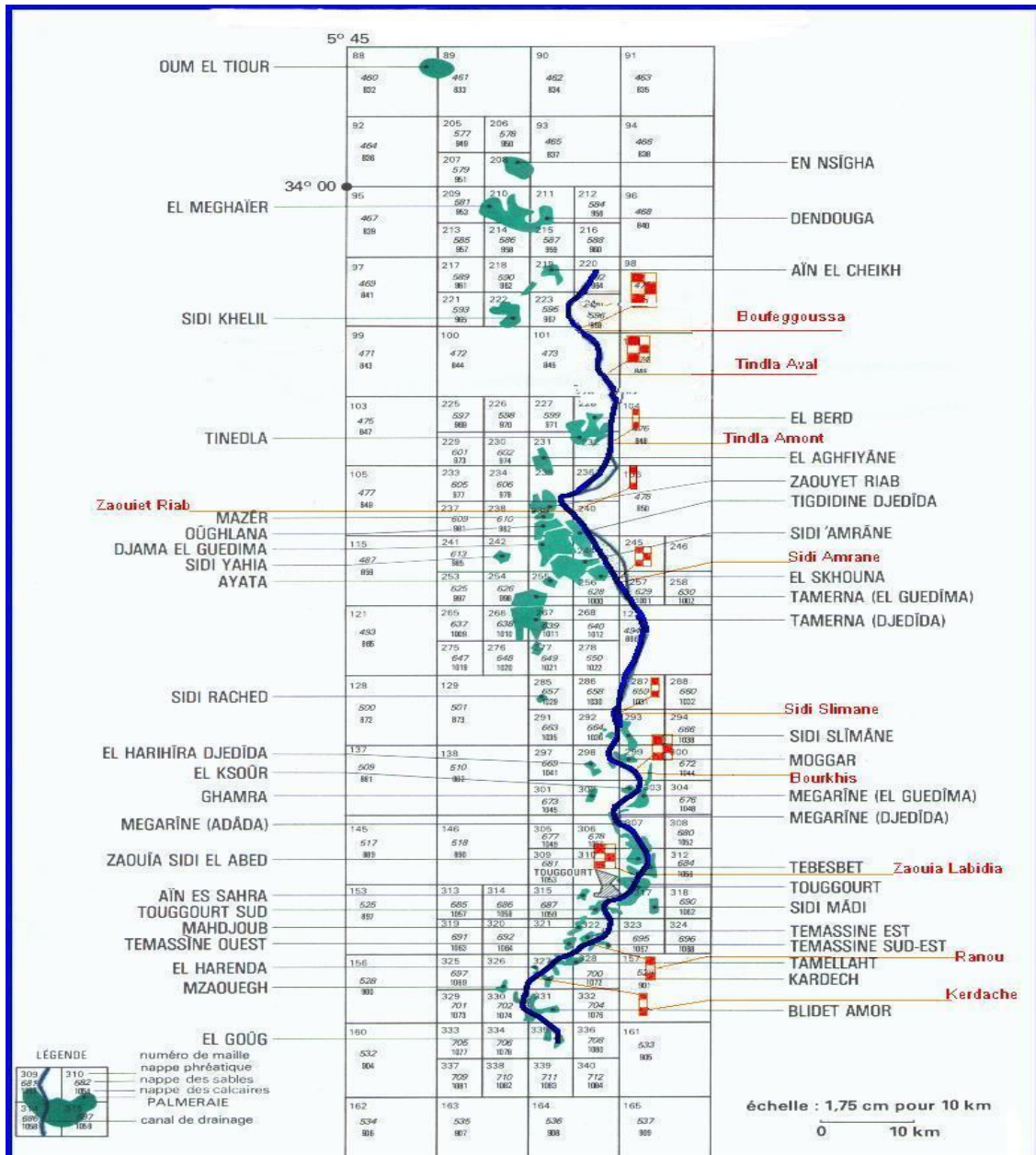


Fig.06: Carte de situation des stations de mesure (ANRH Ouargla)

Nous analyserons successivement les valeurs mensuelles et annuelles des précipitations, température de l'air, l'humidité relative et évaporation, vitesse du vent, insolation....etc.

I-3 Analyse des paramètres climatiques :**I-3-1 Précipitations :****A\ Précipitation mensuelle :**

Le tableau ci dessous donne la précipitation moyenne, mensuelle observée durant la période (1975-2009).

Mois	Jan	Fév	Mars	Avril	Mai	Juin	Jui	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
P mm Moyenne	16,30	5,18	10,07	6,79	6,07	1,54	0,89	2,49	6,76	7,95	10,80	6,29

Tableau01: Précipitations moyennes mensuelles interannuelles (1975-2009)

Source (ONM- ANRH) 2010

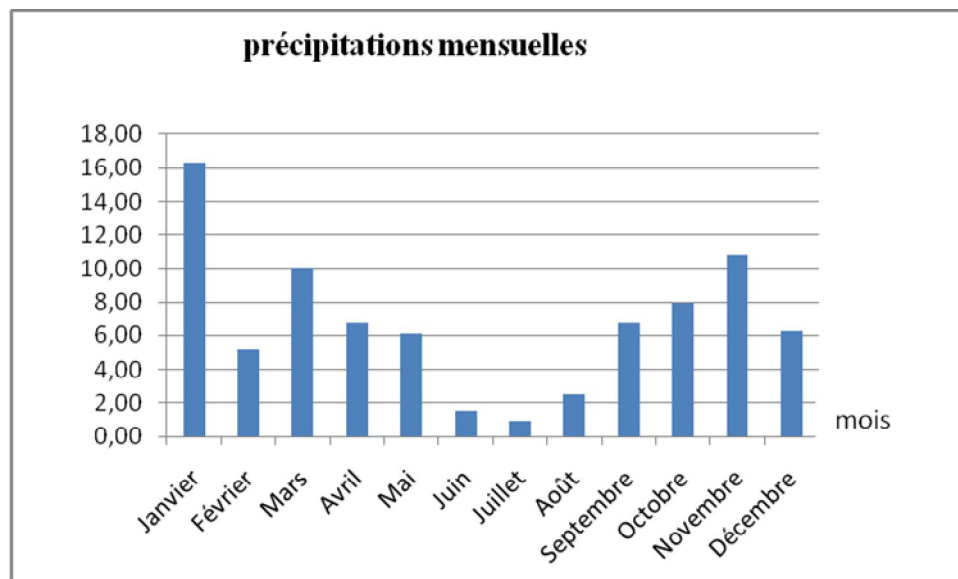


Fig.07: Histogramme des précipitations mensuelles interannuelles (1975-2009)

L'histogramme de précipitations moyennes mensuelles montre que les précipitations se produisent du mois de **Novembre** à **Mars** surtout au mois de **janvier (16,30mm)**, alors que le reste de l'année est relativement sec (particulièrement au mois du **juillet 0,89 mm** et au **juin 1,54 mm**).

B\Précipitation interannuelle :

Tableau 02: Précipitations annuelles à la station de Touggourt

Année	P en mm	Année	P en mm	Année	P en mm
1975	118,1	1987	41,7	1999	118,1
1976	107	1988	54,5	2000	58,6
1977	44,7	1989	115	2001	141,2
1978	44,9	1990	148,4	2002	322,1
1979	51,9	1991	42,8	2003	69,22
1980	153	1992	132,2	2004	161,8
1981	43,4	1993	55,2	2005	25,7
1982	72,4	1994	48,7	2006	44,7
1983	31,8	1995	61,4	2007	77,6
1984	30,9	1996	88,5	2008	55,7
1985	33,7	1997	64,2	2009	156
1986	79,4	1998	46,4	Moyenne	81,25

Source (ONM, ANRH ; 2010)

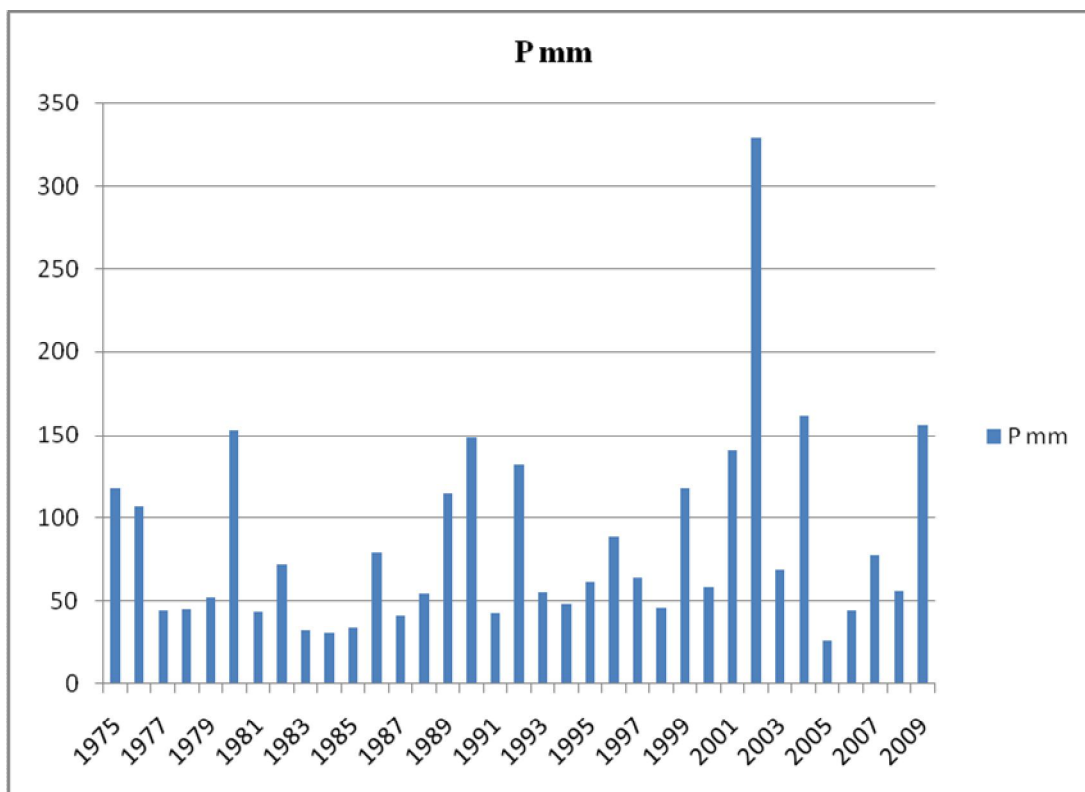


Fig.08: Histogramme des précipitations annuelles (1975-2009)

D'après l'histogramme, on constate que l'année la plus pluvieuse est l'année hydrologique (2002-2003) avec un cumule de précipitation de **322,1 mm** et l'année la plus sèche est l'année (2005-2006) avec une précipitation de **25,7 mm**. on remarque donc que la pluviométrie dans notre région d'étude est caractérisée par une grande irrégularité avec de grand écart.

I-3-2 L'humidité :

Le tableau suivant donne les valeurs d'humidité relatives moyennes observées en **35 ans** d'observation le graphe qui en découle permet de distinguer les mois secs, et les mois relativement humides.

Tableau03: Humidité moyenne mensuelle interannuelles (1975-2009)

Mois	Janvier	Février	Mars	avril	mai	juin	juillet	aout	sept	oct	nov	déc
H% moy	64,73	54,79	48,55	43,51	39,47	34,43	32,69	33,93	44,12	51,79	60,83	65,88

Source (ONM, ANRH2010)

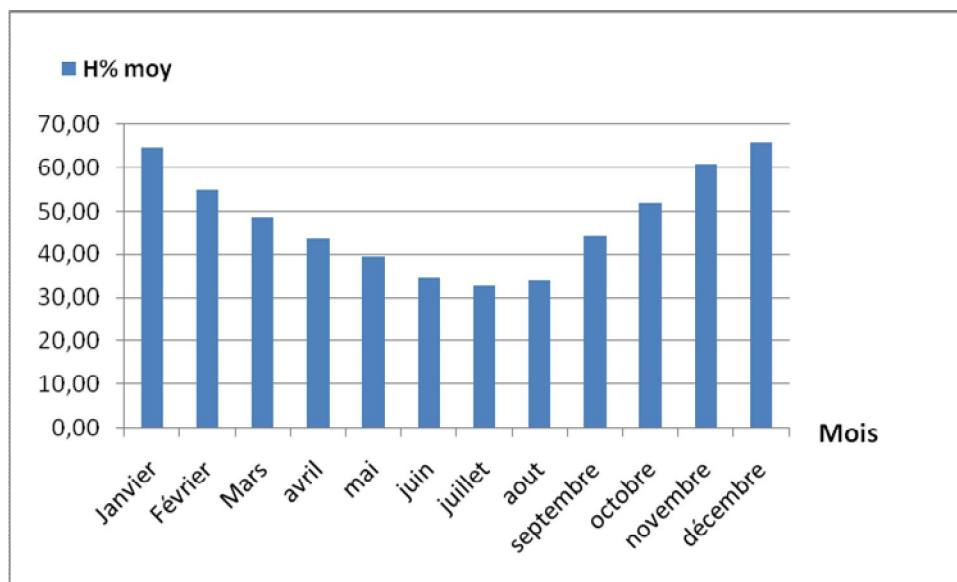


Fig.09: Histogramme des Humidité moyenne mensuelle interannuelles (1975-2009)

On remarque d'après le graphe que les mois « humides » sont **janvier, février, mars, Octobre, novembre et décembre** et les mois « secs » caractérisant le reste de l'année.

Tableau04: Variation interannuelle de l'humidité relative moyenne à la station de Touggourt :

Année	H (en %)	Année	H (en %)	Année	H (en %)
1975	52,7	1987	46,8	1999	48,5
1976	54,5	1988	47,8	2000	47,2
1977	50	1989	48,9	2001	44,9
1978	50,2	1990	53,3	2002	45,7
1979	46,6	1991	46,3	2003	46,9
1980	48,4	1992	49,1	2004	50,42
1981	45,1	1993	48,7	2005	47,16
1982	48,7	1994	50,3	2006	31,6
1983	42,2	1995	49,7	2007	44,8
1984	45,2	1996	47,9	2008	48,3
1985	43,1	1997	48,6	2009	47,7
1986	49,5	1998	47,3	Moyenne	47,54

Source (ONM, ANRH ; 2010)

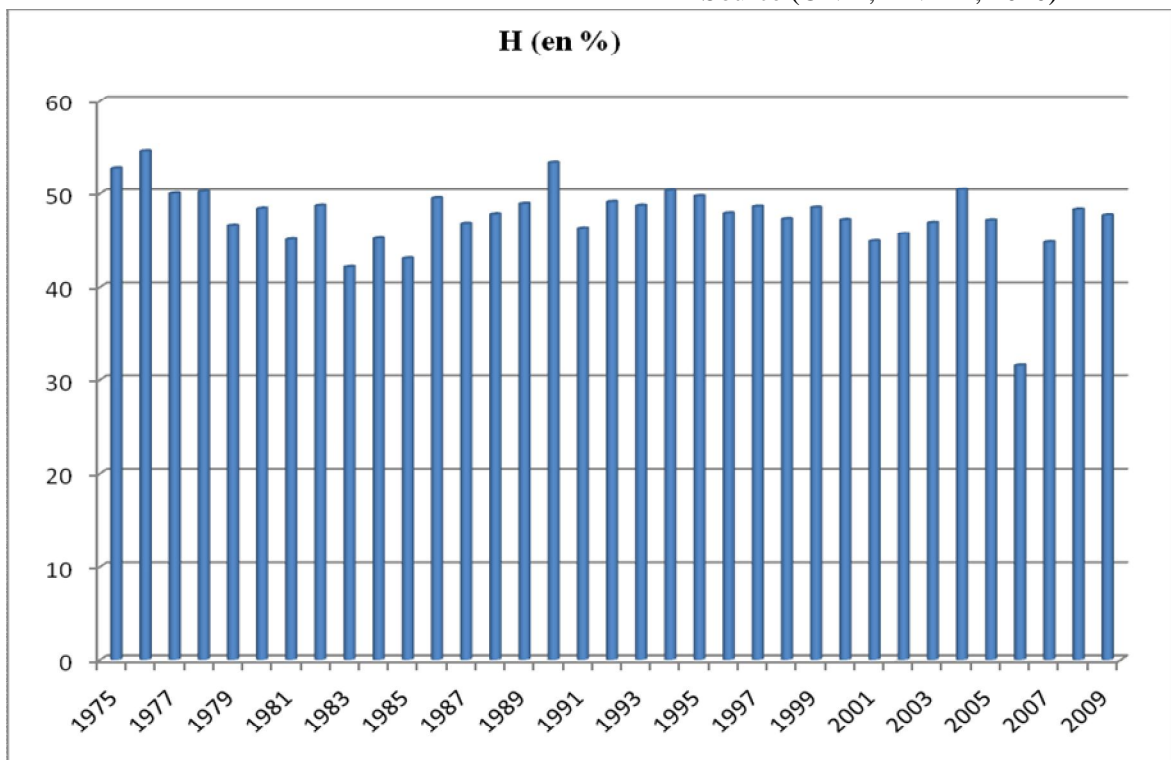


Fig.10: Histogramme d'humidités annuelles (1975-2009)

En ce qui concerne les variations interannuelles, on remarque que le taux de l'humidité prend une valeur moyenne est (47,54%) dont on enregistre en 1976 et 1990 des pics avec respectivement 54,5% et 53,3% ; Et en 2006 un minimum de (31,6%).

I-3-3 Vitesse des vents :

Vitesse des vents en m/s (1975-2009) :

Tableau n°05 : Vitesse des vents moyenne mensuelle en m/s

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	août	moy
Touggourt	2.76	2.92	3.36	3.99	2.73	3.74	3.49	4.12	4.18	2.81	2.75	2.61	3.28

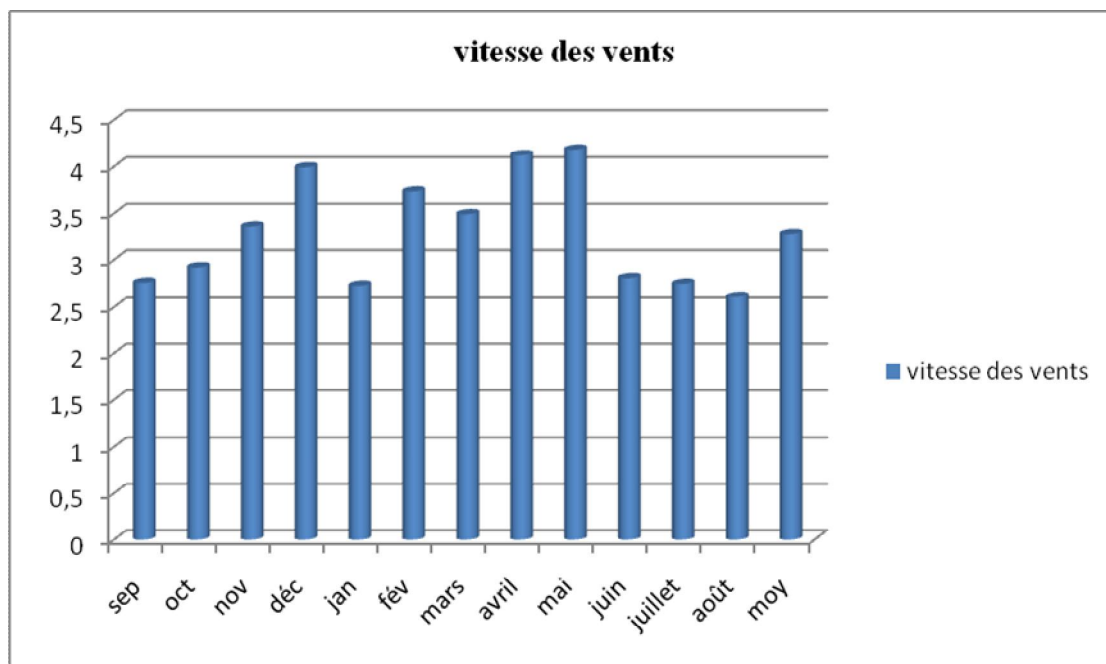


Fig.11: Histogramme de vitesse des vents moyens mensuels (1975-2009)

On remarque d'après le graphe, que le maximum du vent enregistré au mois du **Mai** avec une vitesse **4,18 m/s** et le minimum en **août** avec une vitesse de **2,61 m/s**. Ces vents soufflent dans des directions différentes

I-3-4 La durée d'insolation :

L'insolation est la durée d'apparition du soleil, elle est exprimée en heure. Elle varie en fonction de l'altitude qui détermine la longueur des jours et le degré d'obliquité des rayons solaires.

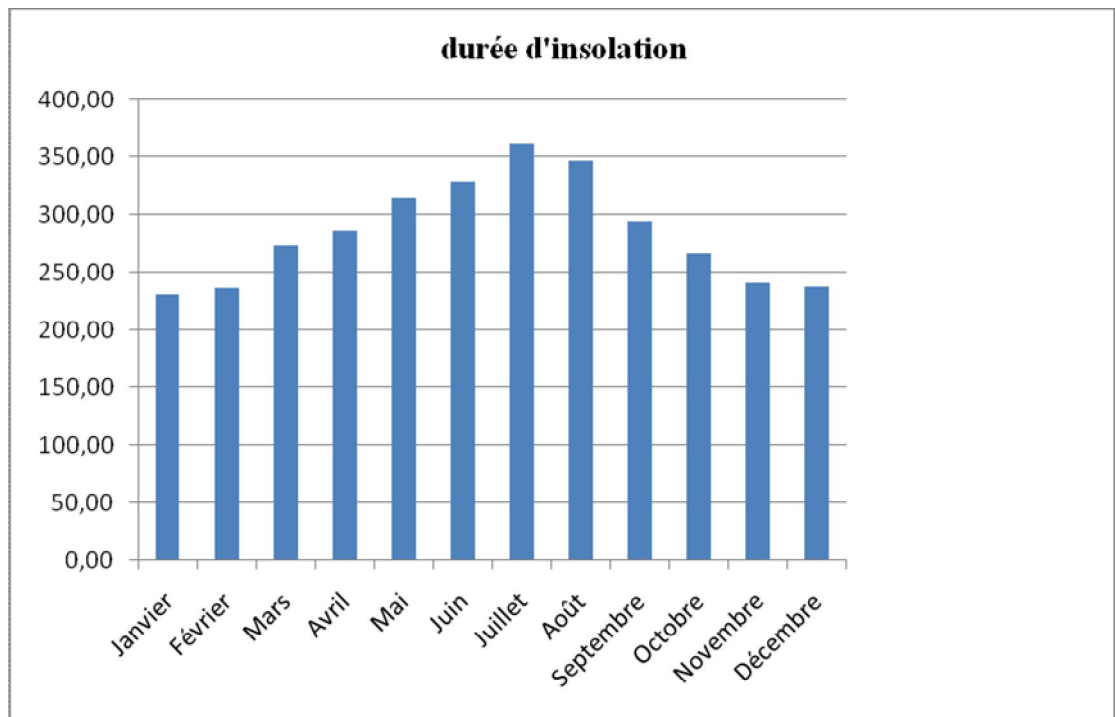
La durée d'insolation moyenne mensuelle interannuelle :

Le tableau suivant donne les valeurs d'insolation moyennes observées en **35 ans** d'observation (1975-2009).

Tableau06: La durée d'insolation mensuelle interannuelle (1975-2009).

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juin	Août	Sept	Oct	Nov	Déc
Durée d'ins Moy	231,07	236,02	272,4	285,9	314,4	328,54	360,82	346,66	294,12	266,18	240,35	237,17

Source (ONM, ANRH2010)

**Fig.12 :** Histogramme de durée d'insolations mensuelles interannuelles (1975-2009)

D'après le tableau de répartition des insolations mensuelles (1975-2009), on remarque que les mois **d'avril, mai, juin, juillet, août et septembre** correspondent aux mois les plus chauds, et les mois de **novembre, janvier, décembre et février** sont les plus froids, donc le maximum atteint la durée de **360 heures** d'insolation au mois de **juillet** et le minimum au mois de **janvier** avec une durée de **231 heures**.

I-3-5 Température :

La température joue un rôle primordial sur le climat. Dans notre zone d'étude, de type désertique, elle a plus d'ampleur et influe grandement sur les autres paramètres météorologiques tels que l'évaporation et le taux de l'humidité de l'atmosphère. Elle est donc le paramètre déterminant dans le calcul du bilan hydrique

A\ La température moyenne mensuelle :

Tableau n°07 : Températures moyennes mensuelles en (c°) (1975-2009)

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	Fév.	mars	avril	mai	juin	jui	août	Moy
Touggourt	28.79	22.43	15.87	11.18	10	12.74	16.26	20.41	25.6	30.87	33.35	33.04	21.72

Source (ONM, ANRH, 2010)

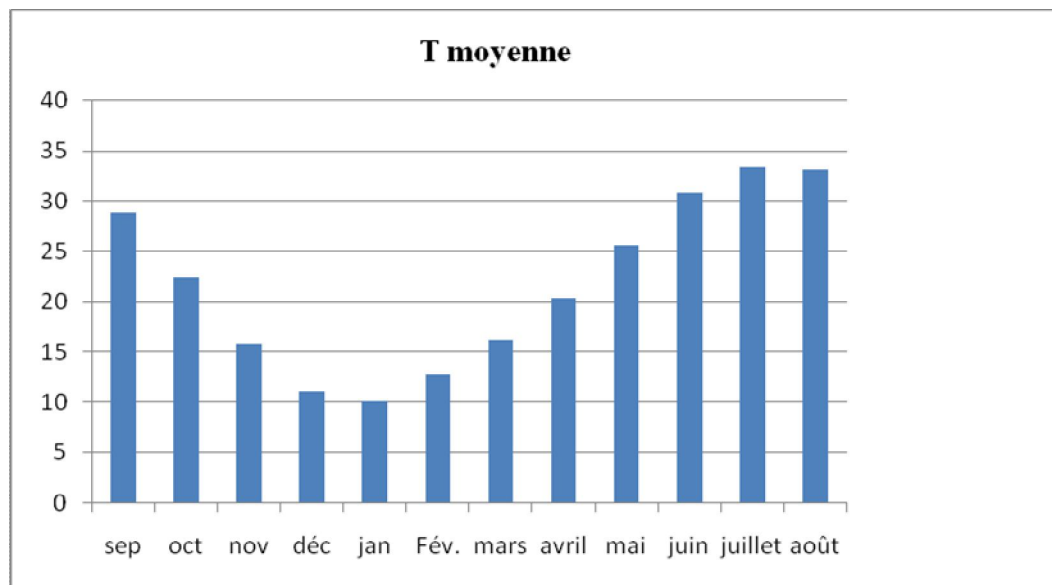


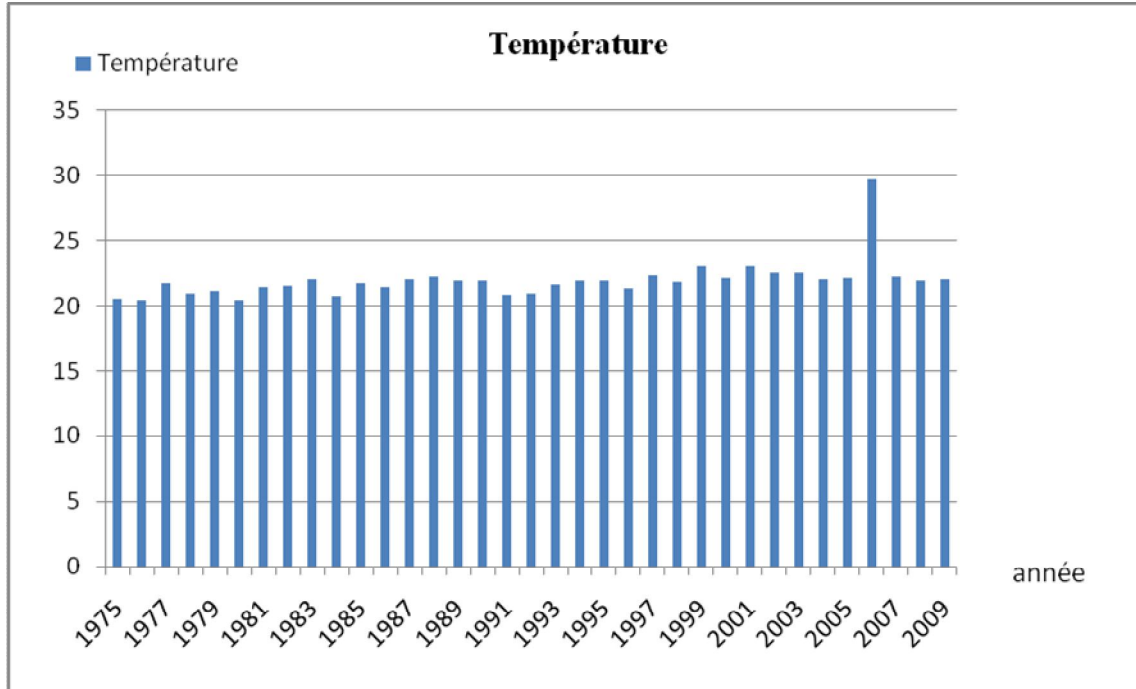
Fig.13: Histogramme de Températures moyennes mensuelles en (1975-2009)

L'histogramme qui découle de ce tableau illustre les variations mensuelles de la température, on constate que les valeurs les plus élevées s'observent entre **mai** et **septembre** ≥ 25 c° et les plus basses en **décembre** et **janvier** avec respectivement **11,18** et **10,1c°**. La moyenne annuelle est de **21,72 c°**.

B\ La température moyenne interannuelle :

Tableau 08: Température moyenne interannuelle (1975-2009) -source (ONM, ANRH)

Année	Température	année	température	année	température
1975	20,5	1987	22	1999	23
1976	20,4	1988	22,2	2000	22,1
1977	21,7	1989	21,9	2001	23
1978	20,9	1990	21,9	2002	22,5
1979	21,1	1991	20,8	2003	22,5
1980	20,4	1992	20,9	2004	21,97
1981	21,4	1993	21,6	2005	22,12
1982	21,5	1994	21,9	2006	29,7
1983	22	1995	21,9	2007	22,2
1984	20,7	1996	21,3	2008	21,9
1985	21,7	1997	22,3	2009	22
1986	21,4	1998	21,8	Moyenne	21,91

**Fig.14 : Histogramme de Température moyenne annuelle (1975-2009)**

L'histogramme des variations interannuelles des températures montre que les valeurs sont très proches entre elles sauf le cas de 2006 qui présente un pic d'une valeur 29,7

C/ Diagramme pluviothermique :

En se basant sur les données des précipitations et des températures mensuelles sur la même période d'observation, on peut établir la courbe pluviothermique dont le but est de déterminer les périodes sèche et humide.

Un mois sec est celui où le total moyen des précipitations (mm) est inférieur ou égale au double de la température moyenne (°C) du même mois. Cette relation permet d'établir un diagramme pluviothermique sur lequel les températures sont portées à une échelle double des précipitations (in Baygnons).

Lorsque les températures passent au dessus de la courbe des précipitations, la période correspondante est déficitaire en eau, et lorsque la courbe des précipitations passe au dessus de celle des températures, la période correspondante est humide.

A partir de ce diagramme, on constate que durant l'année hydrologique, la région est caractérisée uniquement par une période sèche, même pour le mois de janvier qui est marqué par ($T=10.1^{\circ}\text{C}$ et $P=14.4\text{mm}$)

La détermination de cette période a une importance primordiale pour les besoins en eau d'irrigation.

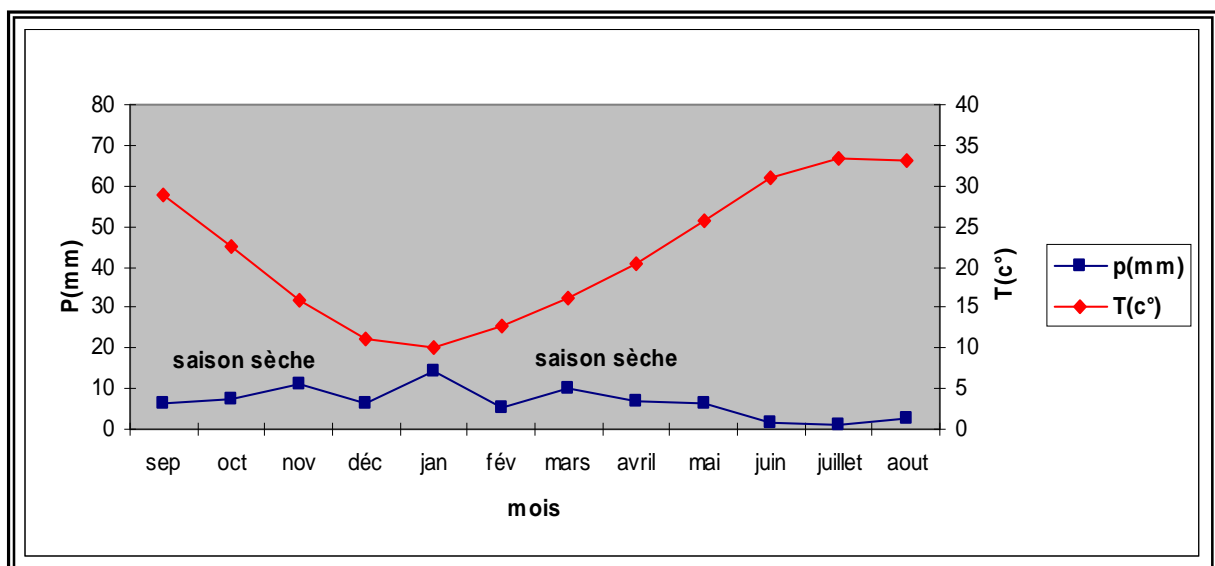


Fig.15: Diagramme pluviothermique à la station de Touggourt

I-3-6 L'évaporation :

D'après le tableau ci-dessous l'étude des phénomènes d'évaporation intervient dans le cycle de l'eau au moment où les précipitations atteignent la surface du sol.

Le maximum de l'évaporation est enregistré au mois de **juillet** et **août** avec respectivement **460,75** et **376,59 mm** et le minimum au mois de **décembre** avec **109,66 mm**. **EV (moyenne) = 242.14 mm**

Tableau 09: Evaporation moyenne mensuelle (1975-2009).

Mois	Janv	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre
Eva Moyenne	115,71	130,21	230,86	257,26	324,57	382,75	460,75	376,59	274,81	196,55	126,93	109,66

Source (ONM, ANRH)

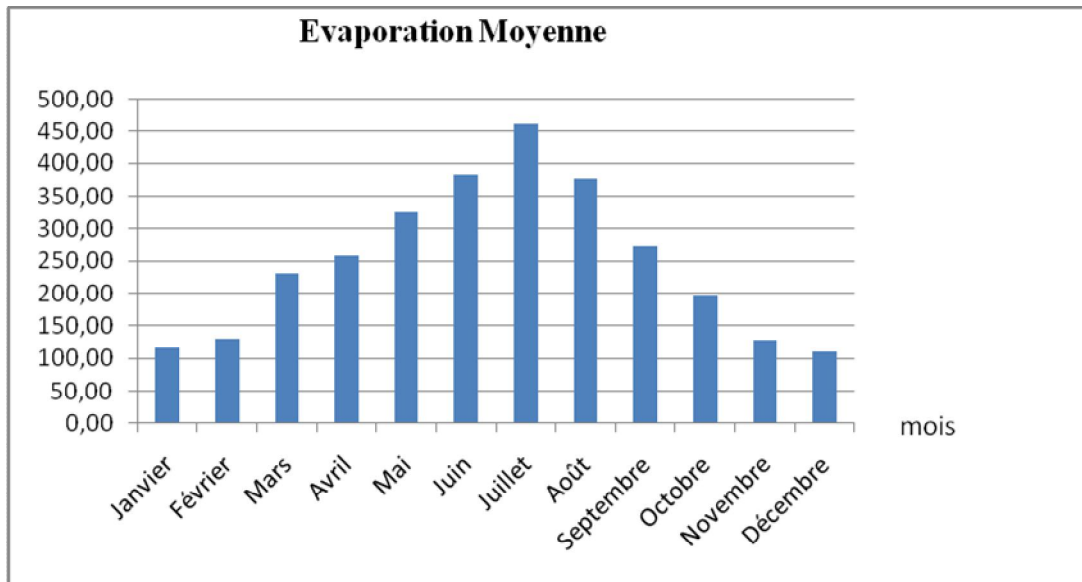


Fig.16: Evaporation mensuelle interannuelles à la station de Touggourt

I-3-7 :L'évapotranspiration :

L'évapotranspiration est déterminée par l'ensemble des processus d'évaporation (phénomène physique) et de transpiration (phénomène biologique). On distingue alors l'évapotranspiration potentielle (**ETP**) qui correspond à la quantité d'eau pouvant être restituée par la transpiration des végétaux et l'évaporation à partir du sol ; et l'évapotranspiration réelle (**ETR**) qui correspond à la quantité d'eau effectivement évaporée et transpirée par le sol, végétauxetc.

A\L'évapotranspiration réelle ETR :

Pour le calcul de l'**ETR** nous avons utilisé plusieurs formules : de **Turc**, de **Coutagne** et le bilan de **Thorntwaite**.

A-1 Formule de TURC :

Cette formule est applicable dans tous les climats, elle est fonction de précipitation moyenne annuelle et de la température moyenne annuelle.

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \left(\frac{P^2}{L^2}\right)}}$$

Avec ETR : l'évaporation réelle en mm.

P : précipitation moyenne annuelle en mm.

L : pouvoir évaporant de l'atmosphère telle que $L = 300 + 25T + 0,05T^3$

T : température moyenne.

Pour la Région d'étude on a :

$$P \text{ moye} = 81,25 \text{ mm} \quad T = 21,91^\circ\text{C} , L = 1373 ,64$$

Donc **ETR= 86,43 mm**

A-2 Formule de COUTAGNE :

Ce déficit découlement est rapproché de l'ETR, cette formule fait intervenir la pluviométrie et la température selon l'équation suivant :

$$ETR = D = P - \lambda P^2, \quad \lambda = \frac{1}{0,8} + 0,14T$$

Ou D : déficit d'écoulement en mm.

P : précipitation moyenne annuelle en mm.

T : température moyenne annuelle en °c.

Cette formule est applicable pour les valeurs 1 de λ comprise entre $\frac{1}{8}\lambda$ et $\frac{1}{2}\lambda$.

Dans notre région :

$$P = 81,25 \text{ mm} \quad T = 21,91 \text{ °c}$$

$$ETR = D = P - \lambda P^2, \quad \lambda = \frac{1}{0,8} + 0,14T$$

La formule de **Coutagne** n'est pas applicable car la valeur de λ n'est pas comprise entre $\frac{1}{2}\lambda$ et $1/8\lambda$.

A-3 Formule de THORNTHWAITE :

Le calcul du bilan d'après la méthode de **Thornthwaite** fait intervenir l'évapotranspiration potentielle et la pluviométrie, le principe est le suivant :

- lorsque $p \geq ETP$: l'ETR sera égale à l'ETP.
- lorsque $p \leq ETP$: l'ETR sera égale à l'ETP aussi longtemps que les réserves en eau du sol seront capables d'équilibrer la balance, au delà il y aura déficit.

Thornthwaite, dans ces calculs, utilise une valeur moyenne de la réserve utile (RU) égale à **100 mm** mais dans notre cas (région saharienne), on prend (RU) égale à **50 mm** (d'après les agronomes de l'institut national d'agronomie d'Alger)

Tableau 10 : Calcul de ETR d'après THORNTHWAITE :

Mois	Jan	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juit	Août	Sep	Oct.	Nov.	Déc
P en mm	16,02	5,74	10,59	6,05	6,27	1,64	0,98	2,05	6,24	7,52	12	5,92
ETP c mm	10,28	17,85	40,05	75,80	147,99	240,68	292,78	273,14	171,88	85,07	29,42	12,81
P-ETP	5,74	-12,11	-29,46	-69,75	-141,72	-239,09	- 291,20	-271,09	- 165,64	-77,55	-17,42	-6,89
ETR mm	10,28	5,74	10,59	6,05	6,27	1,64	0,98	2,05	6,24	7,52	12	5,92
Ru	5,74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
D=ETP- ETR	0	12,13	29,46	69,75	141,72	239,04	291,19	271,09	165,64	77,55	17,42	6,89
ETP mm	11,82	21,08	38,89	68,91	122,31	197,28	241,47	235,47	166,88	87,70	34,21	15,25

Le déficit atteint son maximum au mois de **juillet 291,19 mm**.

Il nous donne une approximation des besoins en eau d'irrigation des cultures.

B/L'évaporation potentielle (ETP) :

De nombreux auteurs ont établis des formules empiriques donnant une approximation de l'ETP à partir de paramètres climatiques facilement accessibles.

L'ETP se calcule par deux formules :

- B-1 La formule de **Serra**.
- B-2 La formule de **Thornthwaite**.

B-1 Formule de SERRA :

L'ETP exprimée par la formule de **Serra** s'écrit :

$$ETP = 1,6 \cdot \left(\frac{10T}{I} \right)^\alpha \quad I = \sum_{l=i}^K i \quad i = 0,09T^{\frac{3}{2}}$$

$$\text{Avec : } \alpha = \left(1,6 \cdot \frac{I}{100} + 0,5 \right) \text{ Et } \alpha = 2,33$$

Avec : ETP : évapotranspiration potentielle.

- T : température mensuelle moyenne (°c)
- I: indice thermique annuel
- I : indice thermique mensuel.

Tableau 11: L'ETP moyenne mensuelle, calculée par la formule de SERRA

Mois	T (en °c)	I	ETP en mm	K	ET P C en mm
Jan	10,12	2,89	11,98	0,87	10,42
Fév.	12,70	4,07	20,3	0,85	17,29
Mars	16,20	5,86	35,87	1,03	36,94
Avril	20,31	8,23	60,74	1,1	66,81
Mai	25,48	11,57	103,04	1,21	124,67
Juin	30,78	15,36	160,0	1,22	195,2
Jouit	33,34	17,32	192,7	1,24	238,9
Août	33,01	17,06	188,37	1,16	218,5
Sep	28,81	13,91	137,18	1,03	141,29
Oct.	22,34	9,50	75,84	0,97	73,56
Nov.	15,4	5,43	31,87	0,86	27,40
déc.	11,19	3,36	15,14	0,84	12,71
	24,39	114,56	1033,39		1157,69

B-2 Formule de THORNTHWAITE :

C'est l'une de plus anciennes formules mises au point, elle reste très employée en hydrologie car sa résolution ne nécessite que la connaissance de la température moyenne mensuelle :

L'ETP par la formule de **Thornthwaite** s'écrit :

$$ETP_c = ETP \times k = 1,6 \left(\frac{10T}{I} \right)^\alpha \times k$$

Avec : k : coefficient d'ajustement mensuel.

$$I: \text{indice thermique mensuel} \quad i = \left(\frac{T}{I} \right)^{1,514}$$

$$I: \text{indice thermique annuel} \quad I = \sum 12i$$

α : Exposant climatique :

$$\alpha = 0,49239 + [1792 \cdot 10^{-5} \cdot I] - [771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2] + [675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3]$$

T : température moyenne mensuelle du mois considéré en °c.

Tableau 12: Calcul de l'ETP d'après Thornthwaite.

Moi	Jan	Fèv	Mars	Avril	Mai	Juin	Jouit	Août	Sep	Oct.	Nov.	Des
P mm	16,02	5,74	10,59	6,05	6,27	1,64	0,98	2,05	6,24	7,52	12	5,92
T c°	10,12	12,70	16,20	20,31	25,48	30,78	33,34	33,01	28,81	22,34	15,4	11,19
I	2,90	1,67	5,92	8,35	11,67	15,66	17,68	17,41	14,17	9,64	5,50	3,38
K	0,87	0,85	1,03	1,1	1,21	1,22	1,24	1,16	1,03	0,97	0,86	0,84
Etp	11,82	21,08	38,89	68,91	122,31	197,28	241,47	235,47	166,88	87,70	34,21	15,25
Etpc	10,28	17,85	40,05	75,80	147,99	240,68	292,78	273,14	171,88	85,07	29,42	12,81

ETPc totale = 1397,14.

C\Synthèse de l'évapotranspiration :

Méthode	ETP et ETR	Valeur
SERRA	ETP	1157,69
THORNTHWAITE	ETP	1397,148
TURC	ETR	93,43
THORNTHWAITE	ETR	75,27

I-3-8 Vent

Les vitesses du vent mensuelles moyennes sont données dans le tableau qui suit :

Tableau 13 : Vitesses du vent moyennes mensuelles (m/s)

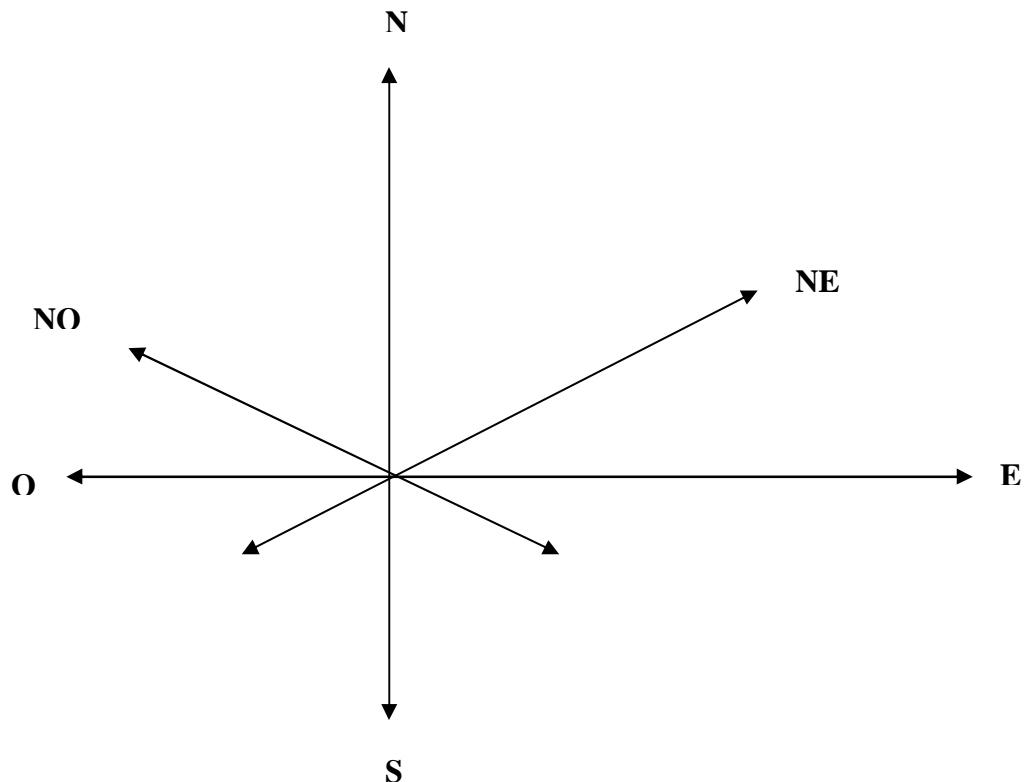
Paramètre	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jun	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Dec	Moy
Vitesse de vent (m/s)	2,6	2,9	3,3	3,8	3,9	3,2	3,4	2,8	2,9	2,7	2,5	2,5	3,0

D'après le tableau suivant nous remarquons que la vitesse du vent moyenne oscille entre 2,5 m/s enregistrée durant le mois de décembre et 3,9 m/s pour le mois de mai, Les vitesses du vent sont relativement faibles et homogènes durant toute l'année, La moyenne annuelle est de 3,0 m/s.

La rose des vents (Fig. 3) dont les caractéristiques sont données dans le tableau, montre que la grande dominance des vents est de direction (Nord).

Directions	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
fréquence	12,6	9,0	9,6	5,4	9,0	3,6	4,2	6,6

Tableau 14:Caractéristiques de la rose des vents



I-4 Géomorphologie

La vallée de Oued Righ se présente sous forme d'une large cuvette orientée sud-Nord Est sur une longueur de 150 Km. Elle prend origine à partir d'El Goug et débouche sur le chott Merouane. La pente en générale est faible 1‰ et le relief est peu marqué. La zone d'étude repose sur des formations miopliocènes et éocènes qui s'enfoncent progressivement vers le nord, on trouve sur les parties hautes de la vallée un niveau quaternaire ancien à encroûtement gypso-calcaire, recouvert par endroits de formations dunaires. Le fond de la vallée est constitué de dépôts sableux avec par endroits des dépôts argileux.

I-5 Conclusion :

Le climat de la région d'étude est en certains points analogue à celui du reste du Sahara : très chaud et sec l'été, et qui devient assez froid en hiver de 2 à 8 °C voir les gelées la nuit. En effet, les différences de températures entre le jour et la nuit sont très élevées (jusqu'à 30°C en été).

La synthèse des données climatiques nous permet de distinguer que la région est caractérisée par un climat hyper aride de type saharien avec deux périodes différentes :

L'une est sèche et chaude se prolonge entre le mois de mars et novembre et l'autre est humide et froide qui s'étale entre novembre et février.

Le mois le plus humide est décembre, caractérisé par une forte humidité (moyenne de 66.35 %) et d'un faible rayonnement solaire (moyenne de 231.92 heures) et le mois le plus sec est juillet, caractérisé par une faible humidité (moyenne de 31.12 %). La durée de l'ensoleillement est très élevée (moyenne de 357 heures) ce qui traduit un pouvoir évaporant excessif.

L'établissement du bilan hydrique et l'estimation de ses paramètres nous permettent de ressortir les résultats suivants:

Le bilan est déficitaire, l'excédent est nul et la RFU est épuisée durant toute l'année malgré qu'elle présente uniquement une valeur de 4.31 mm pendant le mois de janvier.

Les précipitations sont de l'ordre de 76.11mm.

Les résultats des données climatiques nous montrent que le développement agricole dans la région de oued Righ est conditionné par des apports d'eau d'irrigation.

II-1 Introduction :

Le rôle de la géologie est primordial en hydrogéologie, il permet la description lithologique et stratigraphique des formations et d'identifier celles susceptibles d'être aquifères.

L'Algérie a été structurée grâce aux processus géodynamiques en deux domaines :

- Au Nord l'Algérie alpine.
- Au Sud la plateforme saharienne.

Notre région s'intègre dans la partie septentrionale de la plateforme saharienne, et elle fait partie du bassin Triasique.

II-2 Cadre géologique régional :

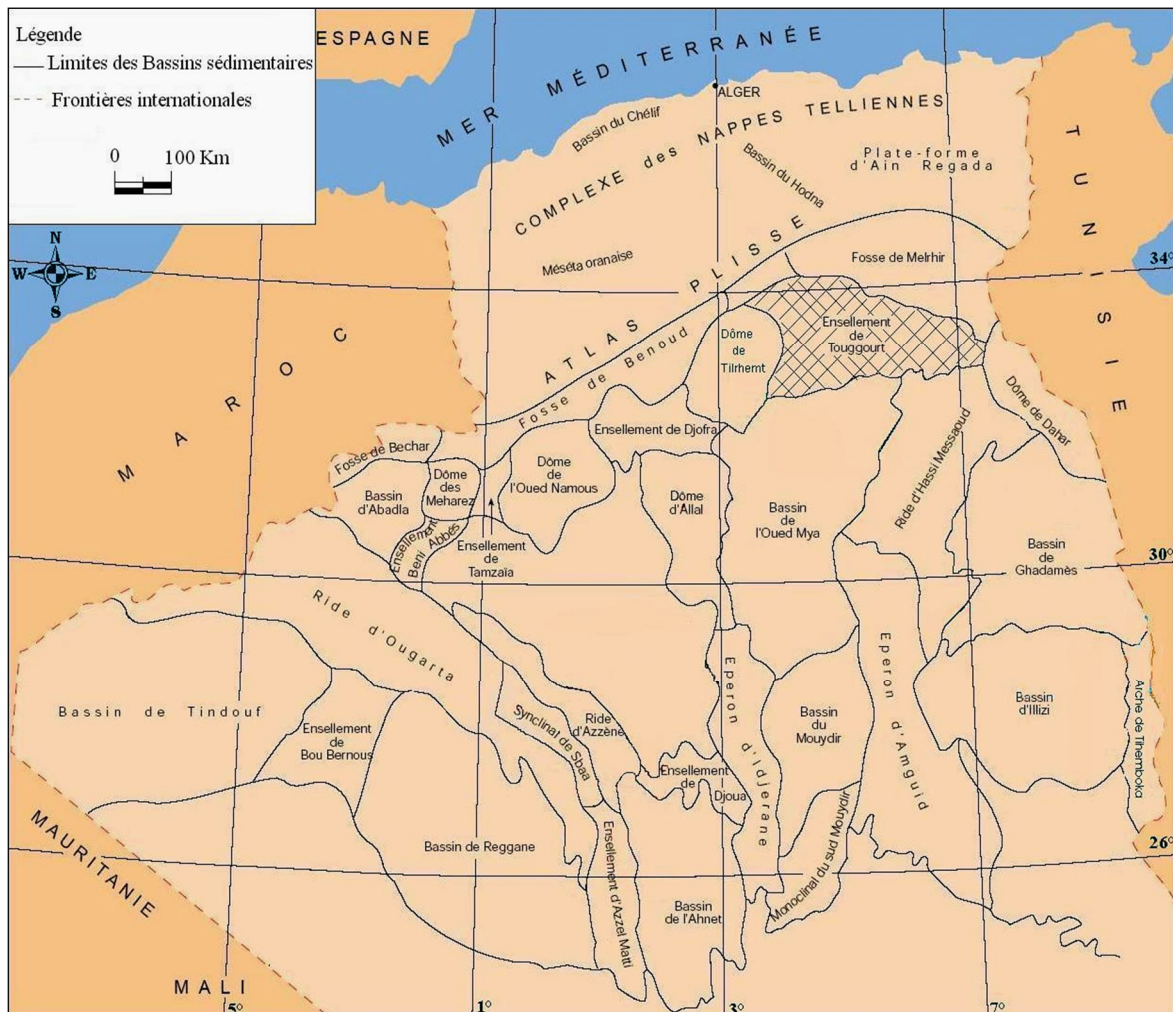


Fig17: Carte des bassins sédimentaires (d'après Sonatrach)

II-2-1 Les bassins sédimentaires de l'Algérie :

A- Algérie alpine :

Le domaine Nord est constitué par des reliefs jeunes, modelés au cours de Tertiaire par les mouvements alpins .ce domaine est constitué par les ensembles structuro-sédimentaires suivants du Nord au Sud : (Le plateau continental algérien est réduit et repose sur un socle métamorphique).

- L'Atlas Tellien est le domaine des nappes de charriages avec des bassins de type intra-montagneux.
- Le Hodna est un bassin d'avant fosse dont la séquence de remplissage débute par des dépôts continentaux.

B- Plateforme saharienne :

Elle est située au Sud de l'Atlas saharien qui appartient au Craton Nord Africain et comprend un socle Précambrien sur lequel repose en discordance une puissante couverture sédimentaire structurée au Paléozoïque en plusieurs bassins séparés par des zones hautes :

De l'Ouest à l'Est on distingue :

B-1 Bassin Tindouf et Reggane :

Ce bassin est situé sur les bordures Nord et Nord -Est du Bouclier Reguibat ou la couverture sédimentaire atteindrait **800 m**, dans le bassin de Tindouf et **6500 m** dans celui de Reggan.

B-2 Bassin de Bechar :

Il est limité au Nord par le Haut Atlas, au Sud et à l'Ouest par la chaîne de l'Ouguarta, sa couverture sédimentaire serait épaisse de **8000 m** en moyenne.

B-3 Bassin de l'Ahnet-Timimoun :

Il est limité au Nord par les hauts fonds d'Oued Namous, à l'Ouest par la chaîne Ouaguarta, au Sud par le Bouclier Targui et à l'Est par la dorsale d'Idjrane-Mزاب, sa couverture est de **4000 m**.

B-4 Bassin de Mouydir et de l'Aguemour-Oued Mya :

Ils sont limités à l'Ouest par la dorsale d'Idjrane-Mزاب et à l'Est par la dorsale d'Amguid Elabiod, au Sud les sédiments Paléozoïques affleurent dans le Mouydir au Nord, dans la dépression d'Aguemour-Oued-Mya ; comblée par une puissante série Paléozoïque (**5000 m** à Oued Mya), où d'importants gisements à hydrocarbures ont été mis en évidence.

B-5 La synéclyse d'Illizi-Ghadames :

Est limitée à l'Ouest par la dorsale d'Amguid el Abiod et à l'Est par la môle de Tihemboka et les confins Tuniso-Libyens dans le bassin de Ghadames, la couverture sédimentaire est supérieure à **6000 m**.

Ainsi, les épaisseurs des séries (**1000-8000m**), renferment souvent les gisements hydrocarbures, notamment dans le Paléozoïque et le Trias ; leur nature, les déformations tectoniques et la subsidence, ont modelé la plate forme Saharienne en un certain nombre de bassins repartis en : province occidentale, la province orientale et la province Triasique.

C'est la province Triasique qui englobe le bas Sahara, qui nous intéresse dans cette étude .située dans la partie septentrionale de la plate forme Saharienne .la province Triasique est un anticlinorium de direction Est-Ouest, où les éléments majeurs suivants ont été individualisés :

- La voûte de Tilrient et le haut fond de Telemzane.
- Le système structural de Djamaa-Touggourt.
- Le système de dislocation d'El Agreb-Messaoud.

- La môle de Dahar.

Ces éléments sont séparés par des dépressions (Oued Mya), ou l'on rencontre les séries types de la province Triasique. Les dépôts Paléozoïques sont souvent très érodés, aussi profondément que l'Ordovicien ou le Cambrien.

Le Mésozoïque est en discordant sur le Paléozoïque.

Le Cénozoïque est représenté par une série détritique du Mio- Pliocène.

La série sédimentaire du bassin triasique dépasse **4500 m** d'épaisseur dans sa partie septentrionale, elle est caractérisée par une importante formation évaporitique.

La zone étudiée appartient au Bas Sahara. Cet environnement socio-économique se situe dans un contexte climatique de type désertique hyperaride. Les précipitations sont très faibles et irrégulières ne jouent qu'un rôle limité dans la recharges des nappes.

L'agriculture est la principale activité dans ce territoire.

Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées de :

- ◆ Ressources renouvelables provenant des infero-flux du versant sud des Aurès, donc le régional de Biskra.
- ◆ Ressources non renouvelables représentées par les deux grandes aquifères :
 - Continentale Intercalaire.
 - Complexe Terminal.

Ces deux systèmes hydrauliques font du Sahara Algérien une région considérée comme très riche en ressource hydrique.

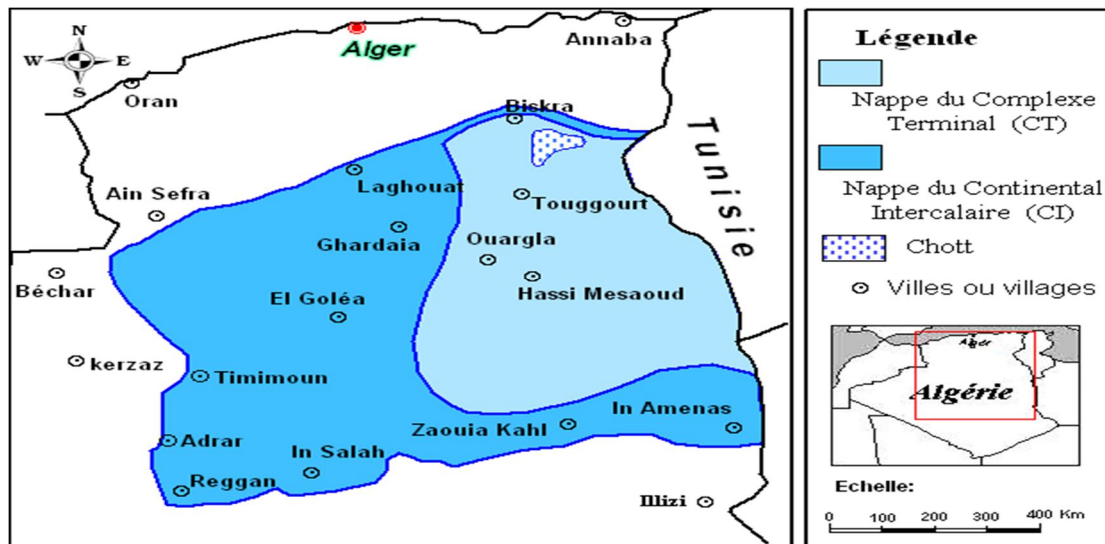


Fig.18 : Carte des ressources en eau souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal), extrait de recueil des communications¹, 2002.

II-2-1 Le Continentale Intercalaire :

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins (l'Algérie, la Tunisie et la Libye). La partie Algérienne du Continentale Intercalaire couvre **600000 km²**. Elle stock un volume d'eau considérable, estimé à **3.5x10⁹** milliards m³ environ. Cette nappe est plus connue sous la dénomination d'«Albien». Le terme Continental Intercalaire, par contre désigner l'ensemble des couches détritiques qui se sont déposées au Mésozoïque inférieur au Sahara entre deux cycles marins, c'est le plus puissant aquifère du Sahara (**250 -1000 m** épaisseur).

A\ Limites et morphologie du continental intercalaire :

Est limité au Nord par l'Atlas Saharien, à l'Ouest par l'axe Béchar-Reggan et au Sud par l'axe Reggan- Ain Amenas ; à l'Est il se prolonge au delà des frontières Algéro-Libyenne et Algéro-Tunisienne. Il est partagé par la dorsale du M'zab en deux bassins :

- Le bassin Occidental Oriental.
- Le bassin Oriental qui englobe le Bas Sahara.
- La transgression Cénomaniennne donne au Continentale Intercalaire une limite supérieure beaucoup plus uniforme que sa limite inférieure.
- Au périphérique, le Continentale Intercalaire, se termine évidemment en biseau sur les anciens reliefs hercyniens, mais il atteint très vite une grande puissance dans les anciennes cuvettes d'accumulation.
- Au sens large, le Continentale Intercalaire recoupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien [la définition donnée par l'UNESCO dans « l'étude sur les ressources en eau du Sahara Septentrional »].

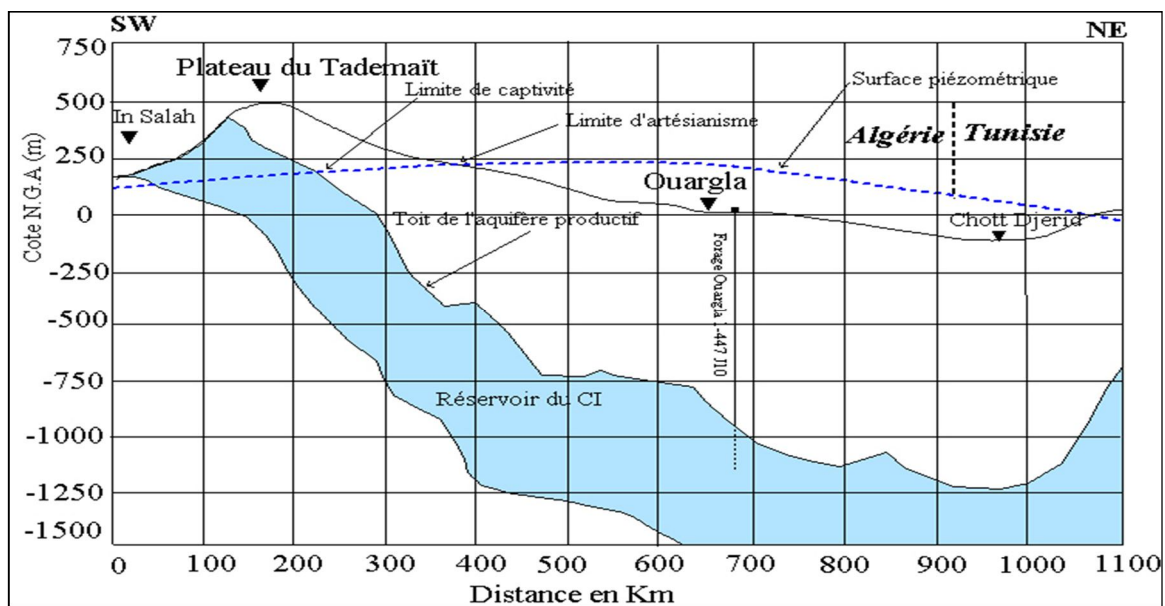


Fig.19 : Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique du CI

C\Alimentation :

Cette nappe s'est chargée au cours des périodes pluviales du Quaternaire. Actuellement, elle reçoit une faible recharge, surtout à partir du piémont de l'Atlas Saharien ; la quantité d'eau qui tombe annuellement sur les affleurements du Crétacé inférieur continental est estimée en **2,5 milliards m^3** /an. Mais, il est difficile d'appliquer à ces formations un coefficient d'infiltration, les conditions climatiques (hauteur de pluies faibles et évaporation intense), étant très différentes de celles des régions où ces coefficients ont pu être expérimentés :

Le volume d'eau emmagasiné dans le CI, évalué à **3.5×10^9 milliards m^3** , ce qui se signifie qu'il faudrait un débit continu de **$1000 m^3/s$** pendant **1000 ans** pour le remplir.

D\ Les exutoires :

Ils sont constitués par :

- **Les puits artésiens** (bassin oriental).
- **Les sebkhas** : vastes étendues humides et salines, surfaces évaporantes dont le débit total n'est pas négligeable.

E\Épaisseur du réservoir :

Son épaisseur utile est souvent déterminée à partir des diagraphies, cette épaisseur utile correspond à la sommation des horizons perméables gréseux et des couches calcaires dolomitiques de l'Aptien immergées au sein de cette série gréseux-sableuse.

Les plus fortes épaisseurs sont localisées de l'Est d'El Goléa où elles sont comprises entre **750m** et **1000m**. La vallée de l'Oued Righ et les Zibans sont un peu moins bien lotis avec des valeurs inférieures à **350 m**.

Les caractéristiques du réservoir montrent que les niveaux argileux ne constituent jamais des horizons continus de grandes extensions qui permettraient la formation d'un système aquifère multicouche.

❖ 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).

Le Continentale Intercalaire proprement dit nappe d'eau douce comprise dans les grès Albo-Barrémiens.

II-2-2-Le Complexe Terminal :

Le système aquifère du Complexe Terminal est moins étendu que le **CI** néanmoins, il couvre la majeure partie du bassin oriental du Sahara Septentrional, sur environ **350.000 km²**; sa profondeur oscille entre **100** et plus de **500m** et son épaisseur, en moyenne de **220 m**.

Sont désignées sous le nom de Complexe Terminal (**CT**) les formations les plus récentes, déposées au Bas-Sahara. Il se compose de deux ensembles aquifères principaux d'âge et lithologie différentes, séparées par des formations semi-perméables ou imperméables ce sont :

⇒ Au sommet, des sables du Mio-Pliocène, couvrant en discordance pratiquement la totalité de l'Erg Oriental depuis la dorsale de M'zab à l'Ouest jusqu'au Dahar Tunisien à l'Est, l'épaisseur de l'aquifère des sable **50-100m** en moyenne, minimale dans la région de Hassi Messaoud **30m**, augmente vers le Sud **400 m**, et le Nord où elle peut atteindre **600 m**.

⇒ Les formations carbonatées des Sénonien supérieur, s'étendent sur l'ensemble du Bassin Oriental. L'Eocène inférieur ne couvre que la zone située au Nord d'une ligne de Djamaa – Tozeur.

⇒ Les calcaires et les dolomies du Turonien sont reliés hydrauliquement aux formations carbonatées précédentes par l'aquifère des sables du Mio-Pliocène. L'épaisseur moyenne de réservoir carbonaté est de **100 à 200 m** augmentant vers le Nord, atteint **500 m** sous le chott Melghir et **600 m** dans la fosse Atlasique.

- Dans la partie de la Chébkha de direction Ouest est un vidage de la nappe vers la ligne de sébkhas de l'Oued Mya et chott Melghir.

- Dans le bassin occidental, une partie importante de l'écoulement rejoint les séries sous-jacentes du **continental intercalaires** et contribué à l'infero-flux de l'oued Saoura.

- L'alimentation de la nappe du complexe terminal se fait sur les affleurements perméables, par infiltration des eaux de ruissellements apportées par les oueds qui descendent les reliefs des bordures.

Un apport non négligeable se fait par l'impluvium propre de grand erg oriental.

⇒ Complexe terminal **CT** compose de trois nappes superposées :

- l'une dans les sables et argiles du Pliocène **CT1**.

- L'autre dans les sables grossiers à graviers, du Miocène supérieur **CT2**.
- La troisième dans les calcaires fissures, plus au moins karstiques de l'Eocène inférieur **CT3**.

A\La première nappe des sables CT1 :

Hormis, La nappe phréatique, cette nappe est la moins profonde, sa puissance varie entre **50 à 100 m**.

Elle est constituée de sable fin à moyen, sable argileux et grès, d'âge Mio-Pliocène. Le faciès sableux varie largement, latéralement. Un niveau d'argile constitue son substratum, et son toit est constitué par des argiles et des évaporites. C'est une nappe captive. Elle était jadis très exploitée avec des débits faibles à moyens, de l'ordre de **20 à 40 l/s** (le débit global d'exploitation proche à **6 m³/s**) cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les forages qui la captent sont actuellement moins utilisés.

B\La deuxième nappe CT2 :

Les formations contenant cette nappe sont également d'âge Mio-Pliocène. Comme la première nappe, elle est formée essentiellement de grès, de gravier et de sable avec la présence de quelques lentilles argileuses. Son épaisseur est de **20 à 36m**, elle est très exploitée avec un débit variant entre **25-45 l/s**. Des argiles à niveaux calcaires et des marnes forment son substratum, alors que des argiles et les argiles sableuses constituent son toit.

- Ces deux nappes sont alimentées localement par les rares précipitations et les infiltrations d'eaux de surface (de la nappe phréatique et du canal de l'Oued Righ), et les percolations des nappes artésiennes sous-jacentes. Les prélèvements par forages représentent leur seul exhaure.
- Ces deux nappes surmontent l'autre ensemble du Complexe Terminal ; constituant la troisième formation aquifère, formée par les carbonates de l'Eocène inférieur Sénonien supérieur.

C\La nappes des calcaires du Sénonien Eocène CT3 :

Ces deux étages géologiques ont été regroupés parce qu'ils forment un ensemble lithologique et hydrogéologique homogène. Essentiellement carbonaté, il est formé de calcaires, calcaires dolomitiques ou marneux, d'anhydrite et gypse, sa puissance de **350m, 200m** à Touggourt, **360m** à Meghaier. Il n'est pas très exploité. L'artisanisme étant à l'origine plus important au Nord.

A la base, le Sénonien lagunaire forme le substratum de cette nappe et au sommet, le toit est surtout argileux.

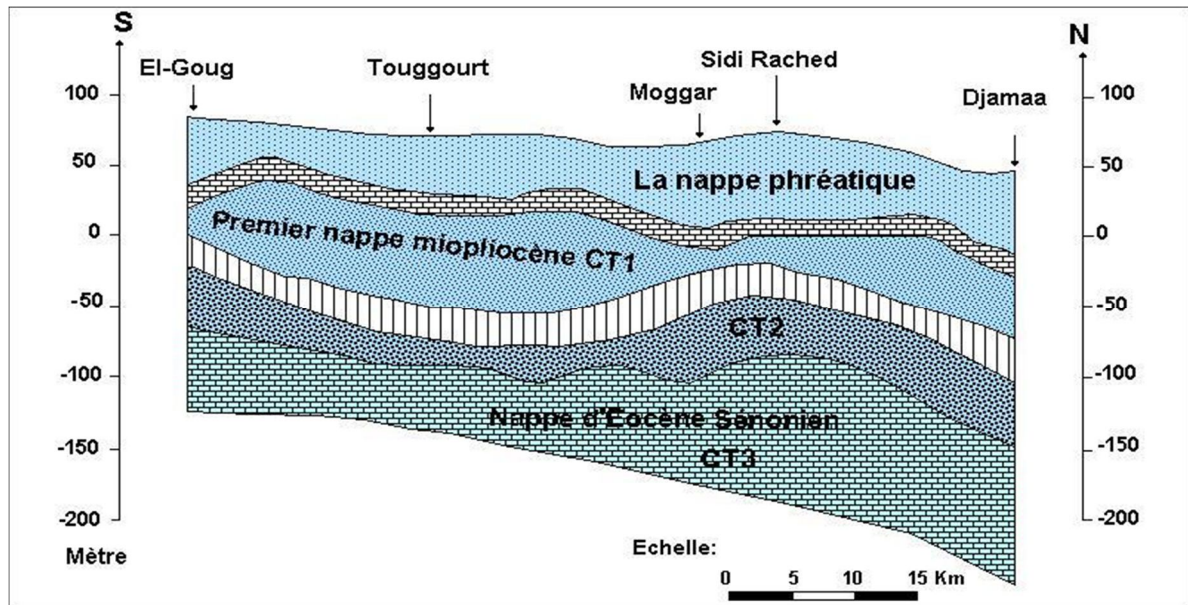


Fig. 20: Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région de Oued Righ

II-2-3 La nappe phréatique :

Elle est continue dans les niveaux sableux et argilo-évaporitiques du Quaternaire. Elle se présente sous forme pelliculaire par apport à la nappe des sables qui lui succède en profondeur et dont elle est généralement séparée par un niveau semi-perméable du Mio-Pliocène

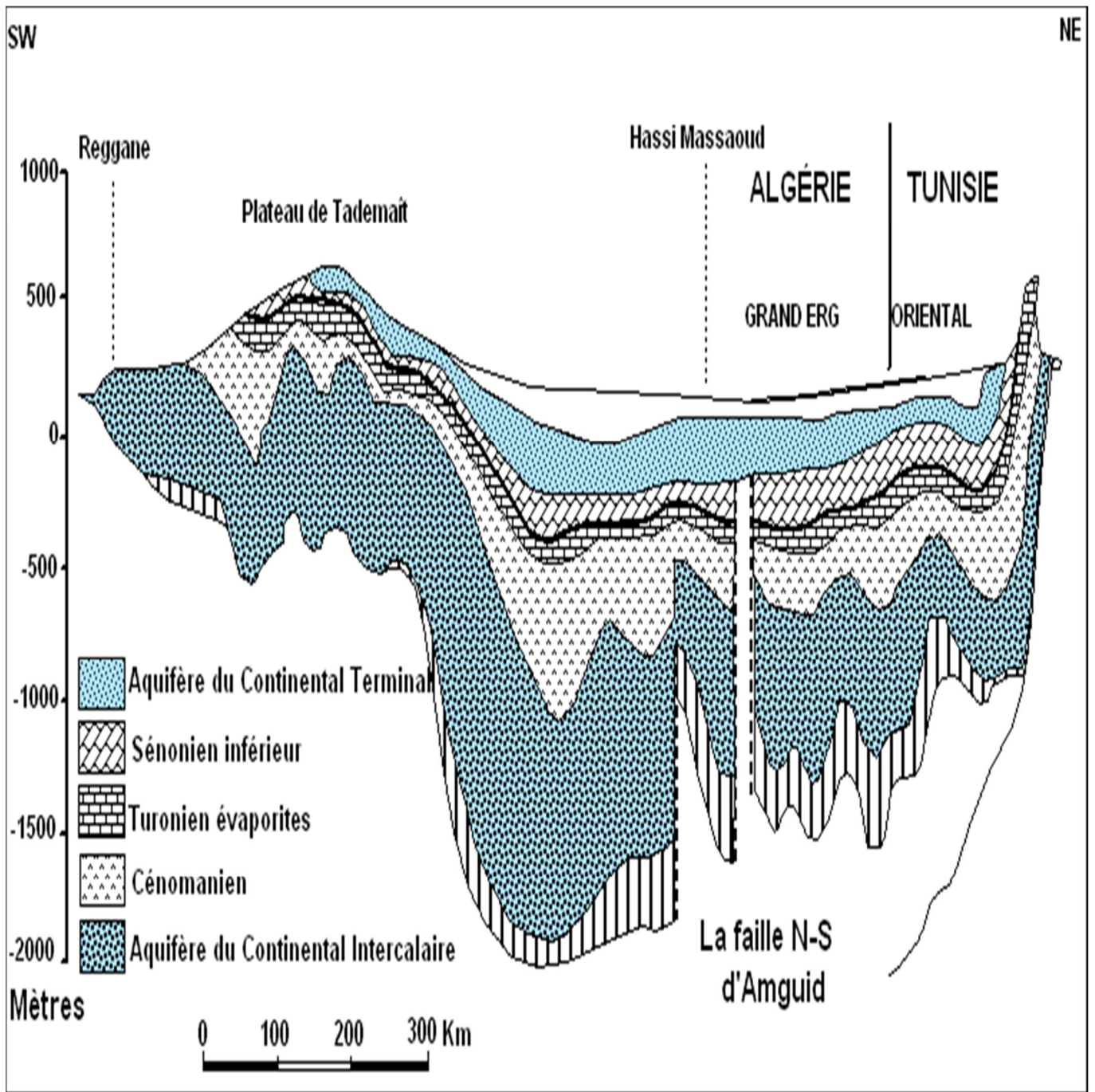


Fig.21 : Coupe hydrogéologique synthétique de Sahara septentrionale (UNESCO 1972).

L'hydrogéologie locale (de l'Oued Righ) :

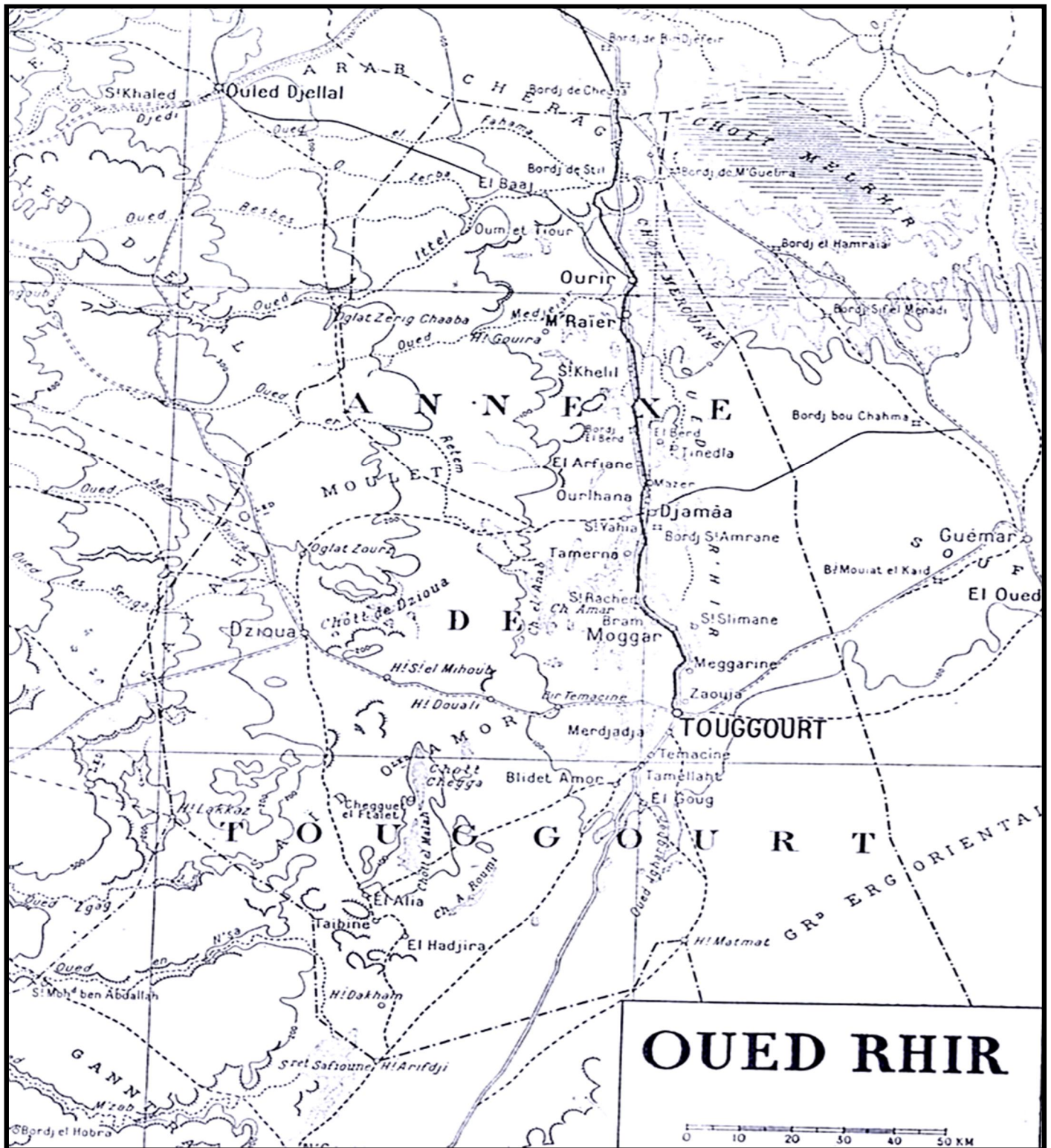


Fig.22 : Le bassin de l'Oued Righ et ses limites (ARNH Ouargla).

II-A-Nappe du Continental Intercalaire :

C'est un aquifère profond, composé de sables gréseux ou argileux. Son épaisseur varie d'une région à une autre des valeurs inférieures à **350 m (200 m à Touggourt)**.

Il est contenu dans les formations continentales du Crétacé inférieur (Barrémien Albien).

Le mur constitue par le socle ou Primaire déformé par l'orogénèse hercynienne et très irrégulière.

Les apports d'eau au système aquifère s'effectuent par:

- L'infiltration des eaux de ruissellement des reliefs situés à la périphérie du domaine et par des précipitations sur les affleurements.

- Le piémont de l'Atlas saharien, au Nord.

- Le plateau de Tihert, au Sud.

Pour **CORNET** cette alimentation est estimée à **25 m³/s**, **BURGEAR** la fixait à **15 m³/s**. Elle provient en grande partie du piémont de l'Atlas mais elle reste très faiblement alimentée par rapport au volume d'eau qu'elle contient.

Son exutoire est la zone des chotts avec un sens d'écoulement souterrain Sud Nord (dans le bassin oriental).

II-B-Caractéristiques essentielles des nappes :

On se rend compte que cette dénomination correspond cependant à une réalité :

L'Oued Righ n'est pas un cours d'eau, mais en le survolant.

Le tracé de l'Oued Righ est marqué par l'échelonnement de petits chotts exutoires des eaux de la nappe phréatique.

- Zone d'alimentation : l'eau des nappes provient :

- L'infiltration d'eau météorique dans les sables poreux.

- L'infiltration pluviale dans l'Erg.

- L'infiltration directe dans les fissures des couches affleurant au sol.

- Les zones d'alimentation des nappes artésiennes de l'oued sont très lointaines et très vastes, il existe d'autres zones moins connues vers l'Ouest et le Nord-Ouest de la vallée.

- Le sens d'écoulement des eaux est Sud Nord jusqu'au chott Merouane

La zone étudiée appartient au Bas Sahara. Cet environnement socio-économique se situe dans un contexte climatique de type désertique hypèraride. Les précipitations sont très faibles et irrégulières ne jouent qu'un rôle limité dans la recharges des nappes.

L'agriculture est la principale activité dans ce territoire.

Les ressources en eau souterraines du Sahara sont essentiellement constituées de :

- ◆ Ressources renouvelables provenant des infero-flux du versant sud des Aurès, donc le régional de Biskra.

- ◆ Ressources non renouvelables représentées par les deux grandes aquifères :

- Continentale Intercalaire.

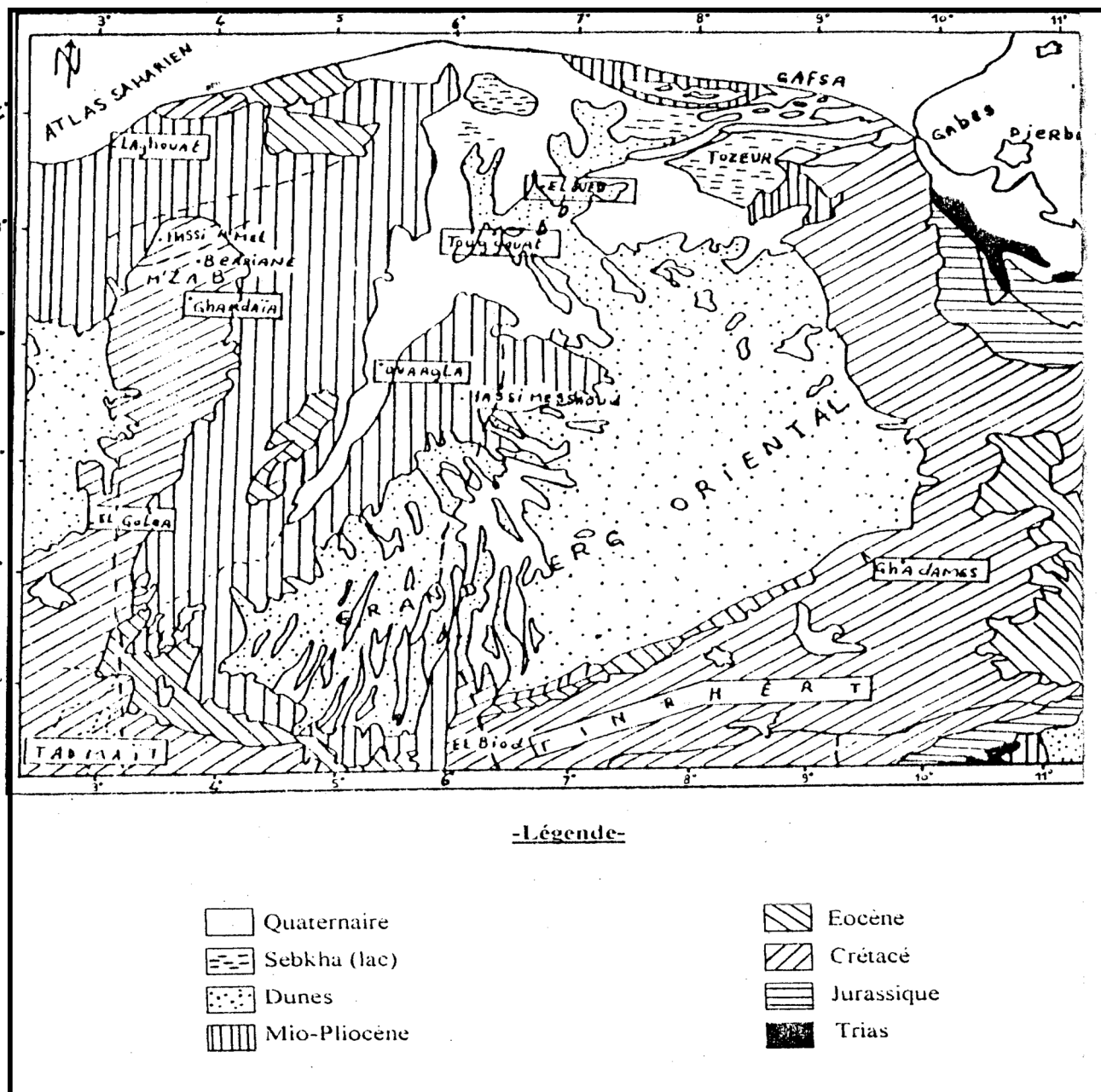
- Complexe Terminal.

Ces deux systèmes hydrauliques fond du Sahara Algérien une région considérée comme très riche en ressource hydrique.

II.3- Etude Géologique de la Région du Souf :

II.1. Structure Géologique Générale :

À la base de l'édifice sédimentaire il y a des terrains paléozoïques marins contenant des niveaux aquifères salés et les gisements d'hydrocarbure au-dessus, et en discordance on rencontre des formations du Secondaire et du Tertiaire qui peuvent dépasser 3000 m dans le centre du bassin (régions d'Ouargla, Touggourt, El Oued) ainsi que sur la bordure des Aurès (Ziban). Le Quaternaire représenté essentiellement par des sables dunaires, atteint parfois plusieurs dizaines de mètres d'épaisseur.



Echelle : 1/5000000
Fig.23 : Carte Géologique Régionale.

ERE	ETAGE	LITHOLOGIE	NATURE	
			HYDROGEOLOGIQUE	
Quaternaire		Sables.	Nappe superficielle.	
		Argiles,	Substratum (imperméable).	
Tertiaire	Mio-pliocène	Sables.	1 ^{ère} nappe des sables	
		Argiles	(Semi perméable).	
	Pontien	Sables, graviers	2 ^{ème} nappe des sables	
	Eocène	Moyen	Argiles	Substratum
		Inférieur	Dolomies et	Nappe des calcaires
Secondaire	Crétacé	Sénonien		
		Sénonien	Evaporites, Substratum.	
		Cénomaniien	Argile, marnes Substratum.	
		Albien.	Sables et grès. Nappe Albienne (Continental	

Schéma : Synoptique des différents aquifères (A.N.R.H., 1993)

II.1.1. Le Secondaire :

a. Crétacé Inférieur :

*Le Barrémien:

Cet étage est capté par tous les forages car continental Intercalaire réalisés dans cette région; il présente une lithologie, d'alternance de grès avec passages d'argiles et parfois des intercalations de calcaire, dolomitique, on rencontre également des sables

avec présence de silex. L'épaisseur moyenne de cet étage est de l'ordre de 200 à 230 m.

*L'Aptien:

Comme le Barrémien, ce dernier est constitué principalement par des formations dolomitiques, marneuses et marne-calcaires.

D'après les coupes géologiques des forages réalisés dans la région, L'Aptien est le seul étage dont l'épaisseur ne dépasse guère 30 mètres.

*L'Albien:

Cet étage est constitué par une alternance de marnes, de grès de sables et surtout par des calcaires avec passages de silex et d'argile.

La limite inférieure est constituée par le toit de la barre Aptienne, alors que sa limite supérieure se caractérise par l'apparition, des faciès argilo carbonatés.

D'après les coupes de sondages des forages Albien, l'épaisseur de cet étage varie de 100 à 150 m ; dans d'autres endroits elle peut atteindre 200 m.

*Le Vraconien:

C'est en fait, une zone de transition entre l'Albien sableux et le Cénomaniens argilo carbonaté. Cet étage est constitué principalement d'une alternance irrégulière de niveaux argilo dolomitiques. On montre aussi des argiles sableuses et de rares passées de grès à ciment calcaire.

Le plus important dans cet étage, c'est qu'en raison de l'importance de ses niveaux argileux, il constitue une importante couverture de l'Albien.

L'épaisseur de cet étage, dans toute la zone d'étude varié entre 250 et 300 mètres (Figure II-4).

b. Crétacé moyen :

*Le Cénomaniens:

Tous les forages réalisés dans cette région ont montré que cet étage est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires dolomitiques de marnes dolomitiques, d'argiles et d'anhydrites. Cet étage joue le rôle d'un écran imperméable.

Quant aux limites de cet étage, on peut dire que la limite inférieure est caractérisée par l'apparition d'évaporantes et de dolomies qui la distingue nettement, la limite supérieure caractérisée par l'apparition d'évaporantes et de calcaires correspondants à la limite inférieure du Turonien.

*Le Turonien:

Cet étage représente la base du complexe terminale. Il est généralement carbonaté et

constitué par des calcaires dolomitiques et des dolomies micro cristallines compactes avec des intercalations de calcaires Turoniens et parfois de marnes.

Les forages de la région montrent clairement que son épaisseur varie d'un endroit à un autre ; elle dépasse parfois 650 mètres (figure n°II-1.2.3).

c. Crétacé Supérieur :

***Le Sénonien:**

La plupart des études géologiques effectuées à travers le Sahara Algérien montrent que le Sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue faciès :

L'un correspond au Sénonien lagunaire situé à la base, l'autre au Sénonien carbonaté

au sommet.

***Sénonien Lagunaire:**

La limite de ce sous étage est bien distinguée. Le Sénonien lagunaire est caractérisé par un faciès évaporé avec des argiles ou ces derniers sont aisément différenciés, de ceux du Turoniens.

Il est constitué également d'anhydrites, de calcaires dolomitiques d'argiles et surtout les bancs de sel massif dont l'épaisseur avoisine 150 mètres. La limite supérieure de cette formation coïncide avec le toit de la dernière intercalation anhydride.

***Le Sénonien carbonaté:**

Ce second sous étage est constitué par des dolomies, des calcaires dolomitiques avec des intercalations, marno- argileuses et en grande partie par des calcaires fissurés et des dolomies vacuolaires. Son épaisseur dépasse par fois 300 mètres.

Il faut mentionner par ailleurs l'existence d'une continuité lithologique entre le Sénonien carbonaté et Eocène qui présentent tous deux des calcaires de même nature avec présence de nummulites.

II.1.2. Le Tertiaire :

***L'Eocène:**

Il est formé par des sables et des argiles, parfois on rencontre des gypses et ces graviers. Dans cette région, l'Eocène est carbonaté à sa base, sa partie supérieure est marquée par des argiles de type lagunaires.

L'épaisseur de cet horizon varie entre 150 et 200 mètres.

*Le Miopliocène:

Il repose en discordance indifféremment sur le primaire d'une part et sur le crétacé inférieur, le Turonien, le Cénomaniens et l'Eocène d'autre part, il appartient à l'ensemble appelé communément complexe terminale (C.T).

La plupart des coupes de sondages captant cet horizon, ne montrent que le Miopliocène est constitué par un empilement de niveaux alternativement sableux, sablo argileux avec des intercalations gypseuses et des passées de grés.

Sur toute l'étendue du Sahara oriental, BEL et DEMARGNE séparent cet horizon en 4

-Niveau Argileux

Il est peu épais et existe uniquement dans la zone centrale du Sahara oriental. Avec l'Eocène lagunaire, les argiles de la base du Miopliocène constituent une barrière peu perméable entre les nappes du Sénono-Eocène carbonatées et celle du Pontien sableux.

-Niveau Grés sableux

Comparé aux 3 autres, c'est le plus intéressant sur le plan hydrogéologique. Son épaisseur reste presque régulière sur toute l'étendue du Sahara oriental. A sa base, on trouve parfois des graviers alors que le sommet se charge progressivement d'argiles pour passer au 3^{ème} niveau. C'est en fait à ce niveau que se rattache le principal horizon aquifère du Complexe Terminal.

-Niveau Argileux

Il ne présente pas un grand intérêt du point de vue hydrogéologique, ce niveau renferme des lentilles sableuses qui peuvent former le quatrième niveau (sableux) du Miopliocène.

-Niveau Sableux

Ce niveau constitue le deuxième horizon aquifère du complexe terminal. Donc du point de vue hydrogéologique, les niveaux sableux (2 et 4) présentent un grand intérêt, ils correspondent pour ainsi dire à la nappe des sables du complexe terminal.

II.1. 3. Le Quaternaire :

On y trouve des dunes récentes à mélange de grés blanchâtre et de sable de fin à moyen, beige siliceux, il s'agit d'une formation continentale, ceci le retrait totale de la mer. L'existence de sable dans les dunes provient essentiellement de l'érosion du Hoggar.

II.2. Interprétation des coupes

Ces coupes ont pour but, d'établir une corrélation lithologique du sous sol, ainsi que d'identifier l'extension géographique et l'épaisseur utile de la nappe phréatique de la région.

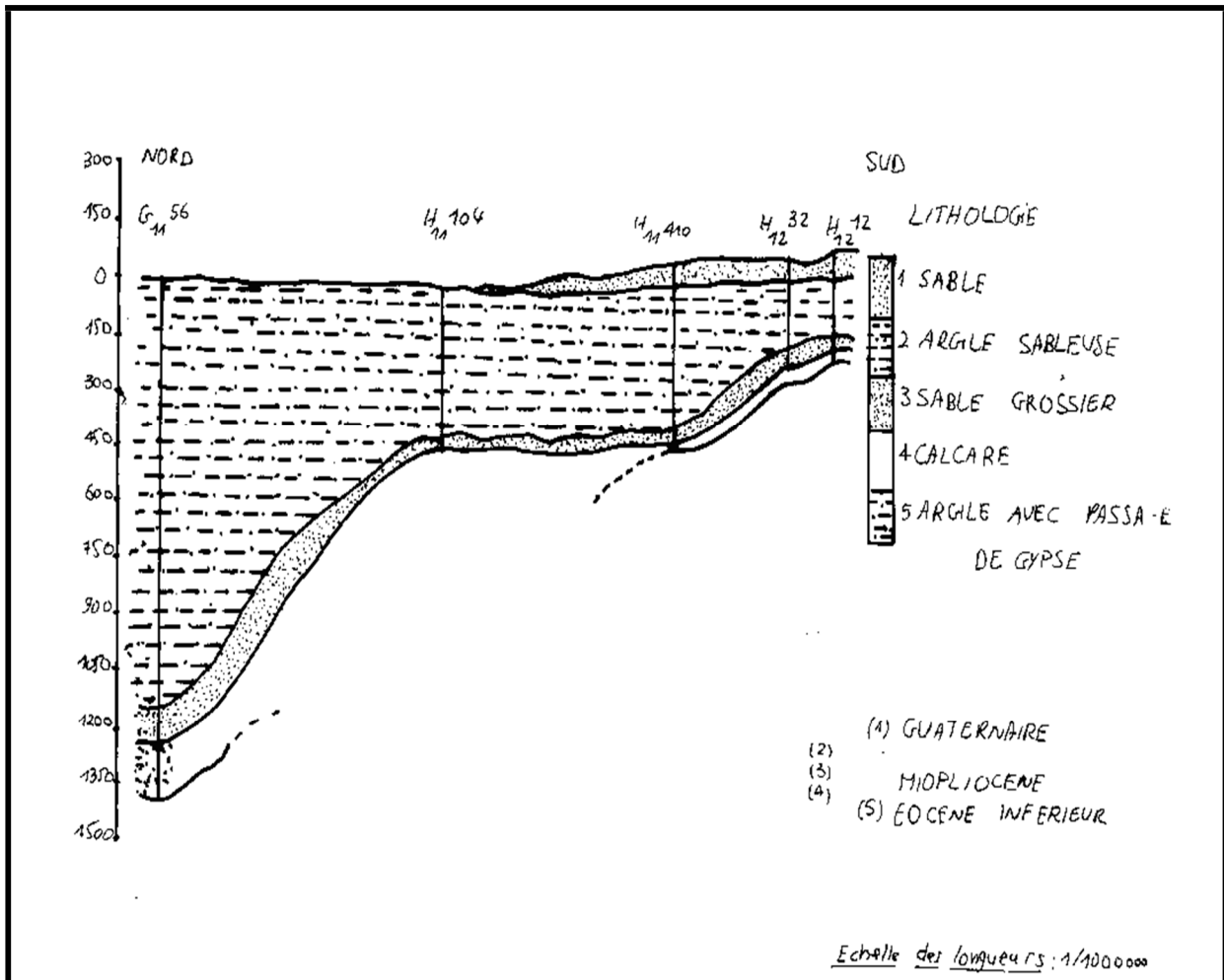


Fig.24: Coupe Géologique N° 1 (A.N.R.H, 1989).

Extraite à partir des logs lithologiques de forage.

II.2.1. Coupe n° 1 :

Cette coupe est faite sur la base des coupes de forages, elle est orientée du Nord vers le Sud

On remarque que l'épaisseur du Miopliocène qui est constitué par des argiles, de sable et de calcaire diminue du Nord vers le Sud. Au niveau H11104 on remarque l'absence des formations quaternaire représentée par des sables; cette lacune ne peut être expliquée que par

L'effet d'une érosion, ces formations tendent à s'épaissir vers le Sud.

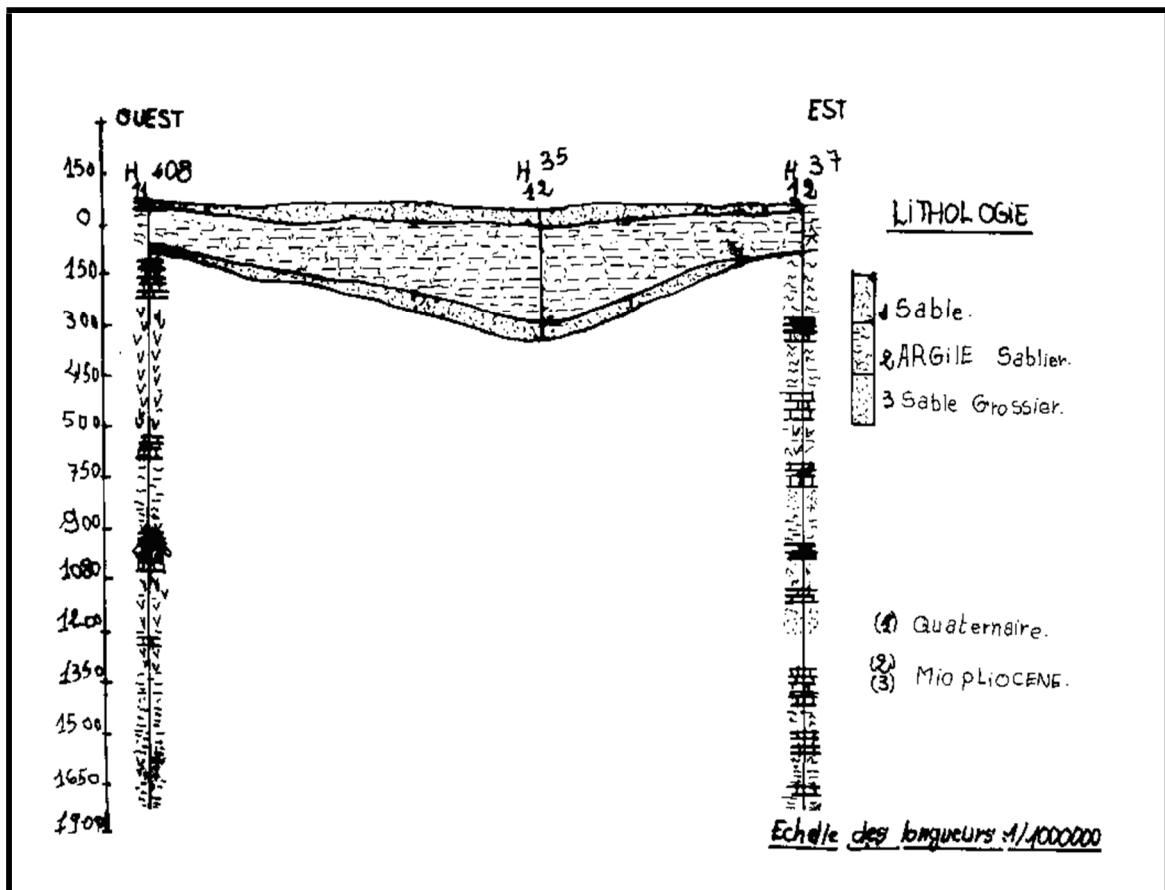


Fig.25 : Coupe Géologique N° 2 (A.N.R.H, 1989).
Extraite à partir des logs lithologiques de forage.

II.2.2. Coupe n° 2 :

Cette coupe est effectuée sur une distance de 170 Km, allant de Djamaa à l'Ouest vers Bouaroua à l'Est, en passant par Magrane. Nous ne constatons que les couches d'argile sableuses qui correspondent au substratum de la nappe phréatique sont caractérisées par une épaisseur considérable, cette importance est très remarquable dans la région de Magrane que dans les autres.

C'est ce qui nous donne une formation de cuvette remplie de sédiments sableux d'âge Quaternaire correspondant à ceux de la nappe phréatique. Nous constatons aussi que cette formation sableuse diminue progressivement à l'Est et à l'Ouest de Magrane.

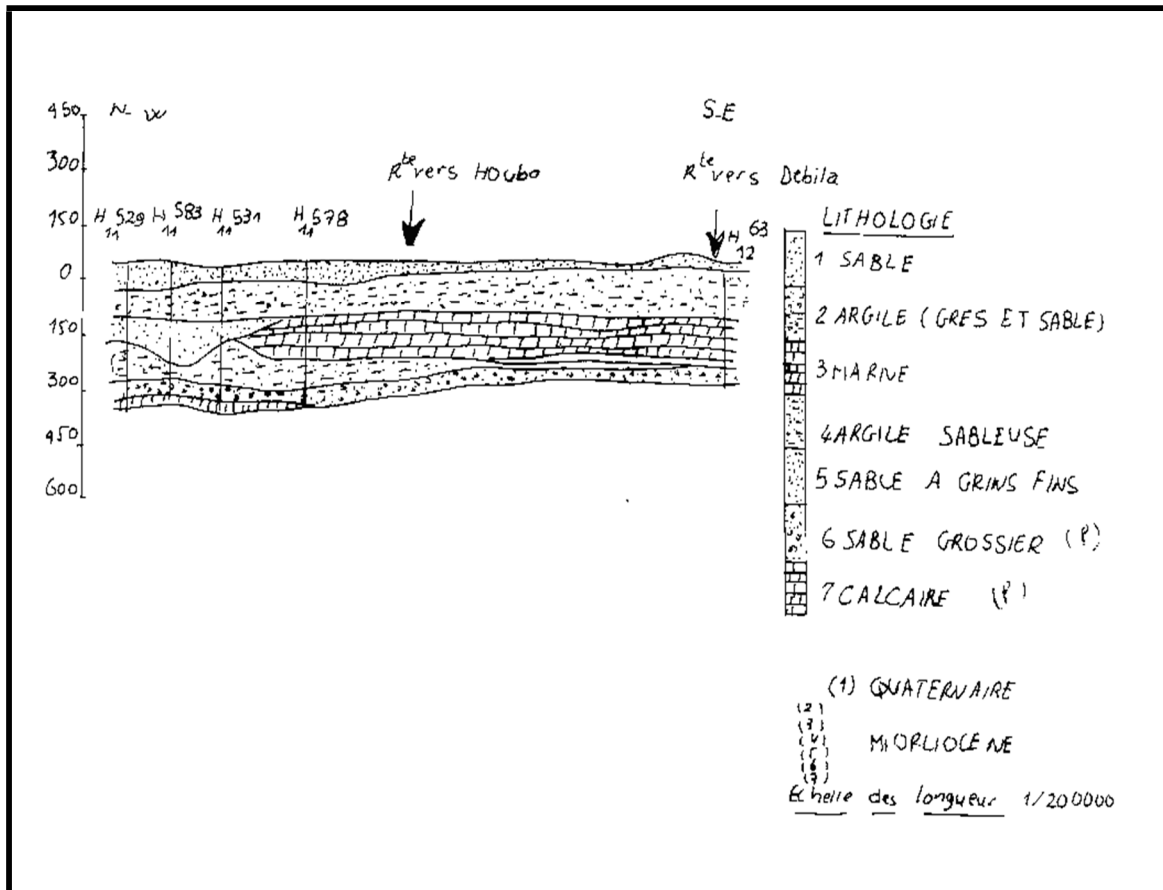


Fig.26: Coupe Géologique N° 3 (A.N.R.H, 1989).
 Extraite à partir des logs lithologiques de forage.

II.2.3. Coupe n° 3 :

La coupe n° 3 est orientée du Nord-Ouest vers le Sud-est, elle est différente des autres surtout du point de vue stratification; cette dernière entre croisée, ce qui donne naissance à des "biseautages". Cette situation est bien visible dans les quatre premiers forages. On constate que l'épaisseur des formations quaternaires, est plus importante au Nord-Ouest qu'au Sud- Est.

II.3. Tectonique :

La série sédimentaire lagunaire recouvrant la plate-forme crétacée forme un vaste synclinal dont le fond est doté d'un très grand rayon de courbure.

Les courbures sédimentaires semblent s'épaissir du Nord d'EL Oued vers le centre de cette dépression, ce qui montre que l'approfondissement suit de près la sédimentation.

Il faut noter qu'au cours de la phase de sédimentation, de l'immense dépression au début du quaternaire et sous l'effet de la sédimentation, le centre de celle-ci se déplace en fonction du temps vers le Nord tout en donnant naissance à des

nouvelle dépression correspondant actuellement à la zone des Chotts, ou leur naissance ne s'est effectuée qu'à la fin de quaternaire.

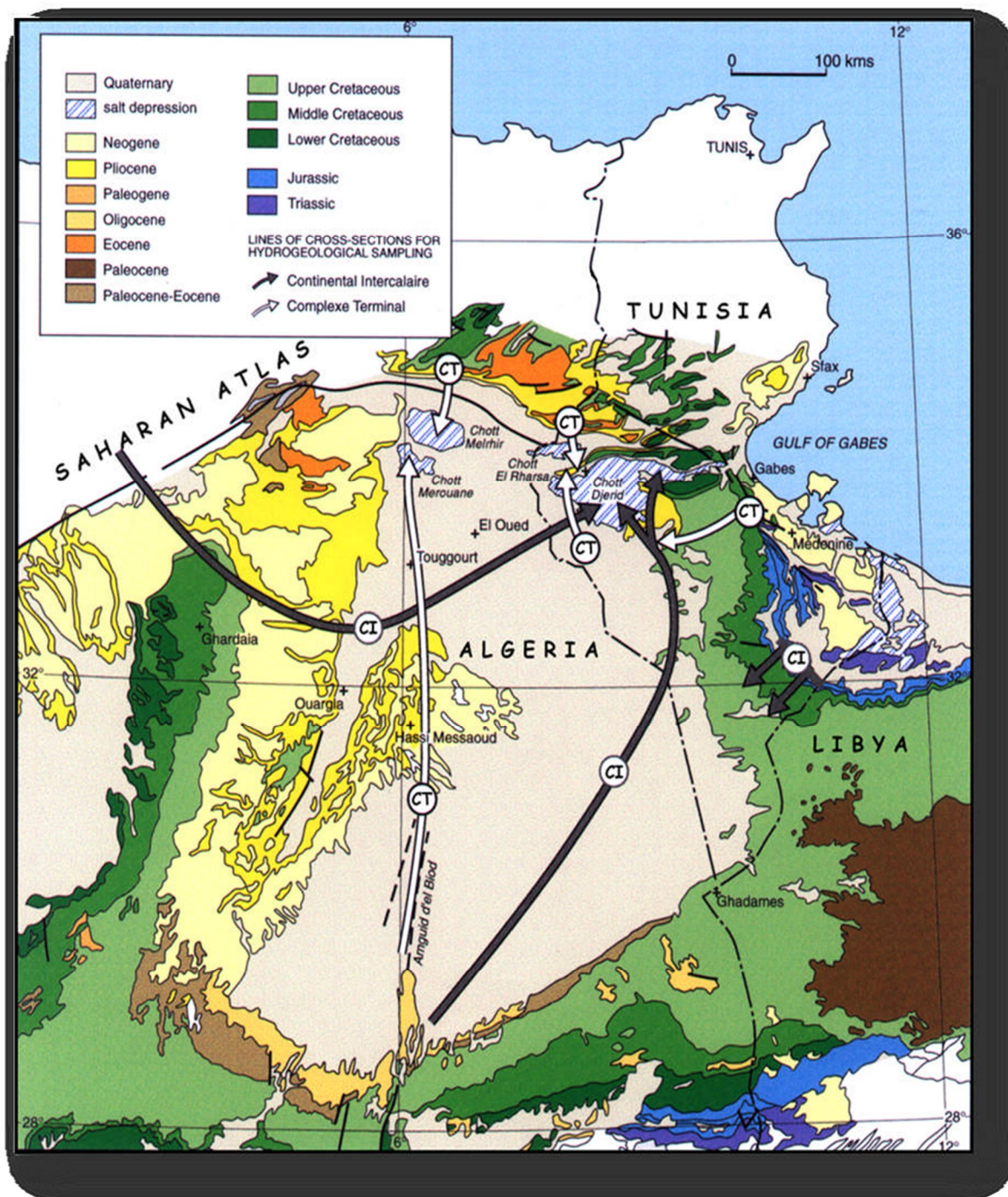


Fig.27: carte géologique avec le sens d'écoulement des nappes de CT et CI dans le Sahara septentrional (Unesco, 1972) modifiée par (Gendouz et al; 2003).

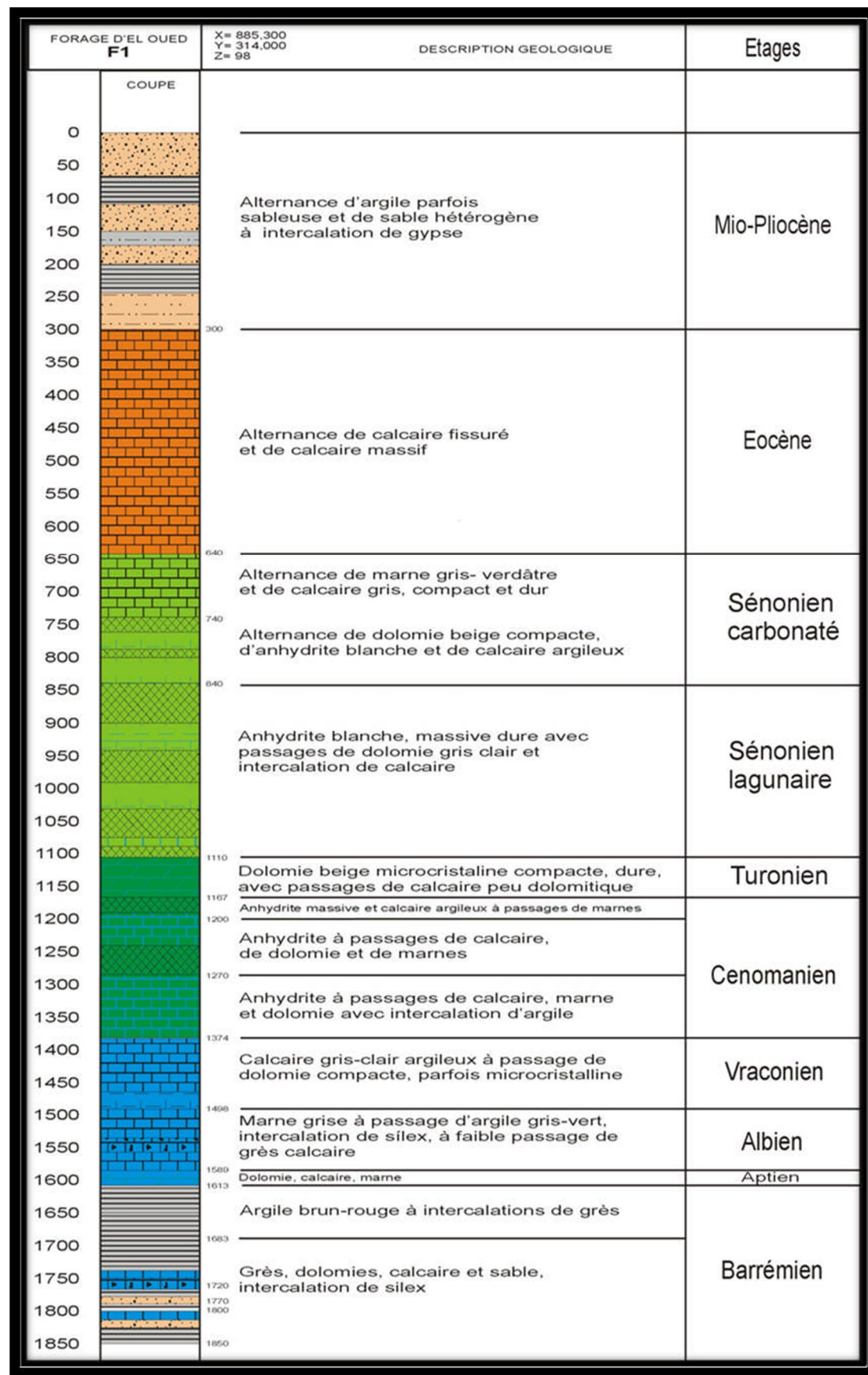


Fig.28 : Forage l'Albien (coupe d'après ANRH 1993).

II-4- Ressources en eau :

Au cours de ces dernières décennies, des nombreuses zones arides ont subi des transformations socio-économiques et démographiques aussi importantes que rapides, qui se sont traduites par des pressions très importantes sur l'environnement, et en particulier sur les ressources en eau. L'eau constitue un enjeu du développement économique ; celui-ci est principalement fondé sur les ressources naturelles.

L'inventaire de forages et des débits extraits réalisé en 2004 par le secteur de l'ANRH de Touggourt fait ressortir un débit total de l'ordre de 296.2 Hm³/An sur toute la vallée Sud d'Oued Righ et un nombre de 425 forages au total, mais seulement 288.67 hm³/An sont exploitées réellement. Les potentialités en eaux sont évaluées à 428 Hm³/An pour l'Oued Righ Sud selon le modèle mathématique actualisé en 1985(Hypothèse forte simulation CI24, CT22) par le PNUD.

- Potentialités : 428 hm³/an.
- Prélèvements : 288.67 hm³/an.

Tableau 15: Potentiel hydrique global dans la vallée Sud d'Oued Righ

Aquifères	Potentialités Hm³/an	Prélèvements Hm³/an
CT	308	263.76
CI	120	24.91
Total	428	288.67

Source : ANRH

En matière de mobilisation, les eaux souterraines sont restées la seule source dans notre région d'étude, le volume mobilisable est estimé à 428 Hm³/an, mais seulement 288.67 Hm³/an sont exploitées, soit un taux de 67 % des eaux souterraines mobilisables. Prés de 33 % des ressources souterraines restent encore à mobiliser, par l'implantation des forages et la réhabilitation de ceux qui sont en mauvais état.

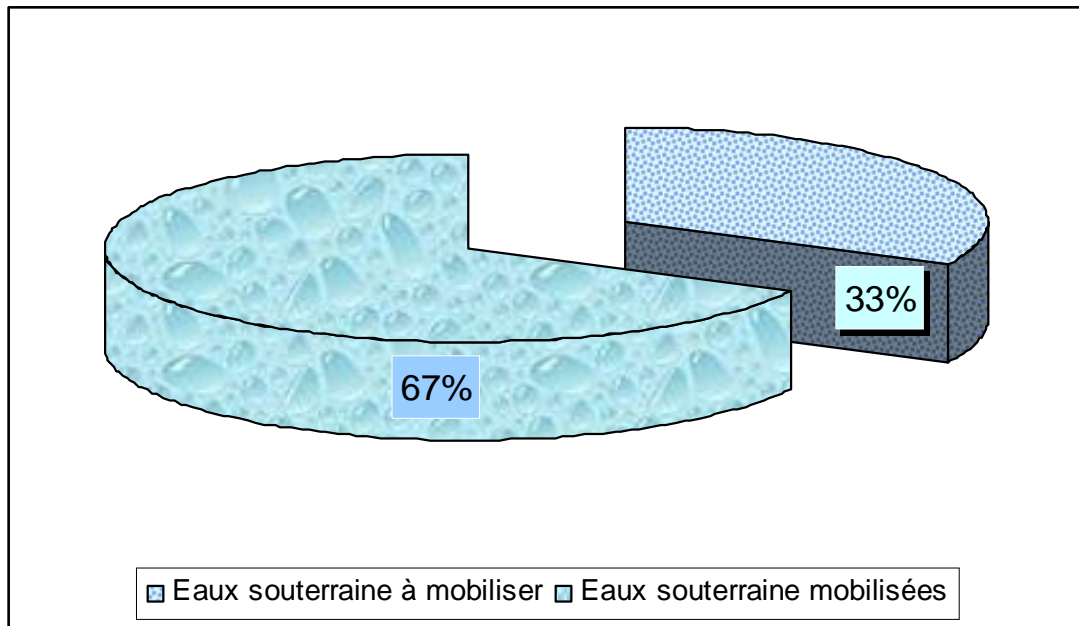


Fig.29 : Taux de mobilisation des ressources en eaux souterraines dans la vallée Sud d'Oued Righ

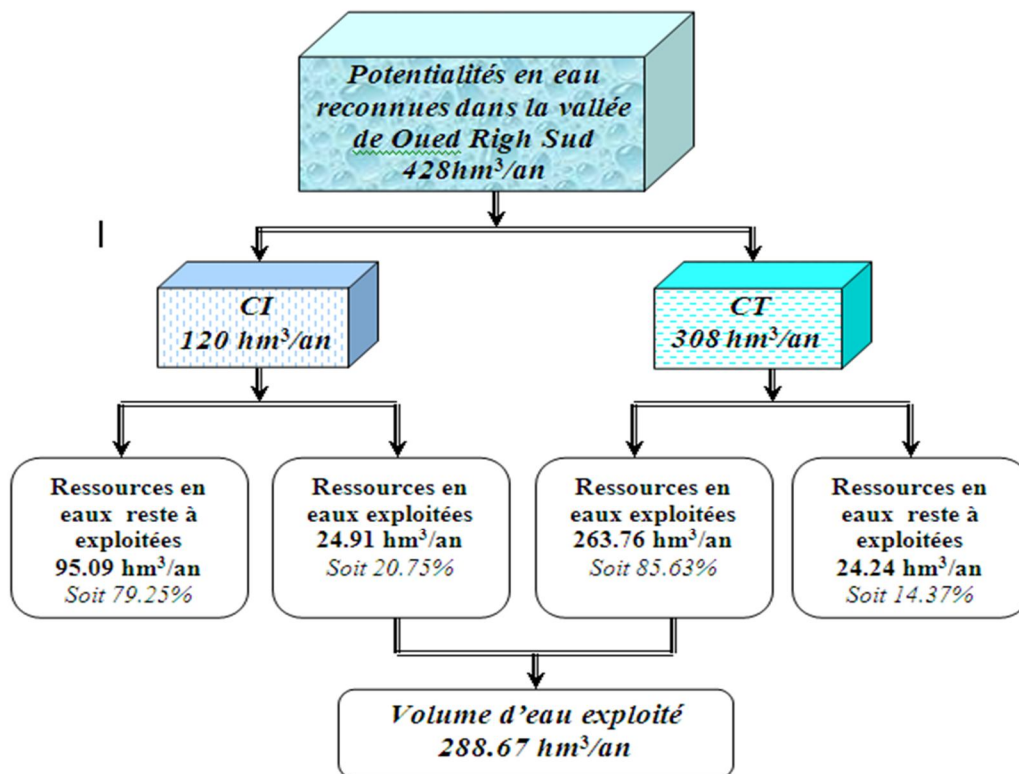


Fig.30 : Schéma récapitulatif du potentiel hydrique dans la vallée Sud d'Oued Righ

II-5 Conclusion :

Dans notre région, les conditions tectoniques et paléogéographiques ont permis la mise en place d'une série sédimentaire avec une lithologie variée dans le temps, régulière et homogène dans l'espace. Ces caractéristiques ont favorisé la formation dans la région et dans tout le bas Sahara de plusieurs formations aquifères à comportement hydrodynamique variable en fonction de leurs faciès.

Les formations du quaternaire récent forment dans la région l'aquifère détritique de la nappe phréatique. Il est surtout sableux à gréseux avec parfois du gypse et des argiles localisées surtout dans la partie Nord-est de la région, ou il se termine par une croûte gypseuse par des calcaires sableux ou gypsifères au toit.

L'aquifère Quaternaire de la région présente une épaisseur moyenne de 40 mètres. Son substratum est structuré en de nombreuses dépressions, dômes et sillons. Il affleure au Nord-Ouest de la région de Foulia et se situe à moins de 10 mètres de profondeur aux extrémités Nord-est de la région d'étude.

Les unités aquifères, qui sont étudiées, ont une grande extension et débordent très largement le cadre de notre région d'étude. La lithologie et les considérations hydrodynamiques permettent d'individualiser quatre (03) unités aquifères principales

➤ **Continental Intercalaire :**

Contenu dans les sables gréseux, son épaisseur varie d'une région à une autre, c'est un aquifère profond d'âge Crétacé inférieur (Barrémien-Albien).

➤ **Complexe Terminal :**

Est multicouche peu profond :

• **La nappe des calcaire CT3 :**

Carbonaté, constitué par des calcaires, calcaire dolomitique ou marneux d'âge Sénonien-Eocène, sa profondeur est de **160 m**.

• **La deuxième nappe des sable CT2 :**

Constituée par des grès, sables et graviers et quelques intercalations gréseuses d'âge Pliocène, sa puissance est de **10-50 m**.

• **La 1ère nappe des sables CT1 :**

Constituée par des sables à granulométrie plus au moins fine d'âge Mio-Pliocène, sa puissance varie de **10-50 m**.

La nappe phréatique surmonte ces deux aquifères contenus dans les sables fins à moyens, sa puissance moyenne **20 m**, son alimentation généralement locale se fait par l'excès d'irrigation.

La carte piézométrique établie montre deux sens d'écoulement vers l'exutoire naturel, l'un Sud Nord au Sud de la carte et l'autre Nord Sud au Nord de la carte.

La remontée piézométrique du réservoir **CT** et **CI** nécessite l'optimisation à forer.

En conséquence, l'étendue, et l'alimentation locale font que la nappe phréatique est la plus accessible (proche pour l'irrigation).

Pour la pérennité du développement agricole dans la vallée de l'Oued Righ, nous devons rester prudents pour l'utilisation des eaux souterraines.

1) Introduction :

Sur le plan agricole, la production des dattes constituait l'activité principale de la population d'Oued Souf à ses origines. Jusqu'en 1925, la production reste en autoconsommation, à partir de cette date, on note des exploitations de dattes de qualité grâce aux transports automobiles se développant entre le sud et le nord. En 1949, il y avait 680 000 palmiers dont 320 000 en production qui variait de 60 000 à 75 000 quintaux annuellement (OND, 2003). A partir des années 60, l'agriculture a été partiellement délaissée pour les activités pétrolières et administratives liées au développement de la ville. Actuellement, les agriculteurs de la vallée de Oued Righ, exercent souvent une double activité.

Les difficultés d'exploitation de la palmeraie par le niveau élevé de la nappe phréatique combiné à l'existence d'autres revenus familiaux entraînent un délaissement et un mauvais entretien des palmeraies.

1) Caractérisation générale des sols :

En vue d'avoir une idée sur les sols, il a été jugé nécessaire de présenter les caractéristiques morphologiques et physico-chimiques de deux profils représentatifs des sols de la vallée à savoir l'un représentant la classe des sols hydromorphes, halomorphes à action de nappe (sol médiocre) et l'autre la classe des sols peu évolués, profonds et légèrement salés. (Sol sain).

1.1) Premier classification :

- ♦ Classe des sols peu évolués.
- ♦ S /classe non climatiques.
- ♦ Groupe d'apport éolien et anthropique.
- ♦ S/groupe hydromorphes.
- ♦ Famille gypseuse et légèrement salée.
- ♦ Série profonds.

1.1. 1) Description morphologique :

0-30 cm : sec, brun foncé de texture sableuse à structure polyédrique fine, enraciné, consistance et cohésion faibles, poreux, limite distincte irrégulière.

30-70 cm : identique que le précédent horizon, mais avec des caractères d'hydromorphie de gley et pseudo-gley.

70-120 cm : horizon de couleur bariolée (rouge clair et brun foncé) avec beaucoup de gley - de texture très fine, de structure polyédrique moyenne, moyennement développée, consistance et cohésion moyennes, moyennement poreux.

Horizon (cm)	0 - 30	30 - 70	70 - 120
Analyses			
Argile %	0	0	0
Limon fin %	8	10	36
Limon grossier %	3	3	1
Sable fin %	48	46	18
Sable grossier %	9	8	4
Matières organiques	0,87	0,70	0,32
Carbone %0	5,10	4,50	1,90
Azote %0	0,35	0,39	-
C/N	15	12	-
Phosphore T %0	1,03	0,90	-
Phosphore ASS %0	326,0	290,0	-
Potasse T %0	0,97	0,85	-
Potasse ASS %0	11,0	11,0	-
PH	7,80	7,72	7,80
Conductivité électrique en mmhos/cm	6,65	7,02	7,02

Tableau 16 : Résultats analytiques de première classification (ABHS)

1.2) Deuxième classification :

- ♦ Classe des sols hydromorphes.
- ♦ S/ classe peu humifères.
- ♦ groupe a remise en mouvement de gypse.
- ♦ S/groupe halomorphes.
- ♦ famille très salée.
- ♦ série nappe à 60 cm.

1.2.1) Description morphologique :

0 – 25 cm : frais à humide de couleur brune, de texture sableuse à sablo- limoneuse faiblement enraciné, consistance et cohésion faible, poreux, avec quelques efflorescences blanchâtres de sel, limite nette régulière.

25 – 60 cm : idem que le précédent, mais plus humide à mouillé, texture sableuse à structure fondue et très bien enraciné avec des tâches d'hydromorphie, limite nette régulière.

Horizon (cm)	0 - 25	25 - 60
Analyses		
Argile %	0	0
Limon fin %	18	8
Limon grossier %	5	5
Sable fin %	42	47
Sable grossier %	22	25
Matières organiques %0	0,87	0,20
Carbone %0	4,10	3,50
Azote %0	0,30	0,14
C/N	10	22
Phosphore T %0	0,60	0,59
Phosphore ASS %0	73,0	130,0
Potasse T %0	1,93	1,21
Potasse ASS %0 mg	75,0	18,0
PH	8,20	8,12
Conductivité Electrique mmhos/cm	46,84	12,77

Tableau 17 : Résultats analytiques de deuxième classification (ABHS)

2) Texture et structure des sols :

La texture des sols dans les régions étudiées est très grossière par endroit et la teneur en sable fin et grossier peut dépasser les 90%. La détermination de la composition granulométrique des agrégats de certains profils a été perturbée par la présence importante de gypse.

Cette texture très grossière peut être corrigée par des apports argileux, amendement couramment utilisé dans certaines régions du sud du pays (ex : Touat Et Gourara). Cet apport permet d'une part de réduire la forte perméabilité des sols et d'autre part d'augmenter l'éventail de spéculations possibles limitées par cette contrainte.

La très mauvaise structure des sols (particulière à fondue) s'explique surtout par la texture grossière et la très faible teneur en matières organiques

Il est à remarquer, que la structure n'est pas une contrainte irréversible, car on peut l'améliorer par des apports d'argile, de fumier et d'engrais vert.

3. Profondeur d'enracinement des plantes :

La profondeur des sols est importante à connaître pour le choix des aptitudes culturales et pour l'irrigation, car la présence d'un niveau dur (croûte, charge caillouteuse importante) constituera une limite pour la profondeur d'enracinement. En outre, après la mise en irrigation, ce niveau imperméable jouera le rôle de substratum entraînant ainsi la création d'une nappe phréatique ou perchée, qui sera gênante pour les cultures.

Généralement la profondeur de 1,20 m est bonne pour les cultures arboricoles et le palmier dattier ; Pour les cultures céréalières, fourragères et maraîchères elle doit de l'ordre de

0,60 mètres. La profondeur des sols de la région prospectée est limitée le plus souvent par une nappe phréatique, dont le niveau hydro statique varie d'une zone à une autre.

2) Activités agricoles :

2-1) Occupation du sol et conduite de cultures

La vallée de **Oued Righ** se caractérise par un système végétale de type oasien qui consiste une association de trois strates végétales ; le palmier dattier, l'arboriculture et les cultures annuelles.

L'association de ces trois states traditionnelles, est présente dans plusieurs palmerais soit près de la moitié des exploitants.

Pour le reste on y pratique un système de production plus ou moins extensif ou rarement des cultures annuelles sont cultivées.

2-1-1) Le palmier dattier :

L'activité agricole dans la vallée de l'Oued Righ est concentrée dans les oasis. La spéculation dominante est la phoeniculture. En effet, elle constitue la principale source de revenu de la population oasienne.

D'après le recensement effectué par la direction des services agricoles (DSA) au cours de la campagne agricole 2008/2009, le patrimoine est de 1440 071 plants, qui se répartissent entre 40,95% dans la commune de **Djamaa**, 34,08% dans la commune de **Sidi Amrane**, 13,82% dans la commune de **Tindla** et dans la commune de **Sidi Khelil**.

Le nombre total de palmiers producteurs est de l'ordre de 1 162 140 pieds ce qui représente environs 80% des palmiers existants.

Nous donnons ci après la répartition dans les communes d'étude.

Commune	palmiers existants		dont producteurs	la production (Qx)
	nombre	%		
SIDI KHELIL	160 574	11,15	137 086	67 134
DJAMAA	589 712	40,95	448 818	190 113
SIDI AMRANE	490 835	34,08	443 683	209 110
TINDLA	198 950	13,85	132 683	60 583
Total	1 440 071	100	1 162 140	526 940

Tableau 18: L'inventaire du palmier dans la zone de projet ^(*)

Leur plantation est généralement régulière, avec un écartement moyen de 10 m x 8 m et 10 m x 10 m. plusieurs variétés de palmiers dattiers sont cultivées dans la région, ce pendant la variété

(*) Direction des services agricoles el Oued (DSA).

« **Deglet Nour** » est la plus appréciée et la plus cultivée, suivie par la variété « **El Ghars** ».

Ces deux principales variétés de palmiers conviennent très bien aux conditions édapho-climatique de la région, mais actuellement, de nombreuses contraintes limitent leurs développent. Ces contraintes sont liées essentiellement à l'environnement naturel des zones productrices, la stagnation des eaux et accumulation des sels à la surface des sols.

La production des dattes est de 926 940 qx soit une production moyenne de 30 qx/ palmiers existant et que 40 qx par palmier producteur.

2-1-2 Culture annuelles :

Le microclimat favorable crée par le palmier, a favorisé la pratique d'une polyculture vivrière (maraichage, fourrage et céréaliculture) en association parfois à un élevage ovin/caprin de type familial composé quelques têtes.

Les espèces et les variétés, ainsi que les techniques utilisées sont orientées vers les besoins locaux et les pratiques restent traditionnelles donnant des rendements médiocres.

2-1-3 Les cultures fourragères

Les cultures fourragères sous palmiers, sont essentiellement l'orge et la luzerne, elles sont cultivées pour répondre essentiellement aux besoins de cheptel, par ailleurs la forte demande en bottes de luzerne exprimée par les éleveurs nomades durant ces dernières années avec des prix rémunérateurs, a poussé les agriculteurs à développer cette culture à chaque fois que les conditions le permettent.

La luzerne est donc une culture fréquente à Oued Righ, elle est bien exploitée et permet de réaliser jusqu'à 8 à 10 coupes entre le mois de mars et d'octobre.

Elle est cultivée dans des planches de dimensions variables ; son implantation est normalement effectuée pour 4 ans, mais certains agriculteurs la laissent pour 6 et 7 ans.

Pour ce qui est de l'orge, il est semi à l'automne, à la volée sur des planches de tailles très variable. Cette culture a l'avantage d'être peu sensible aux perturbations créées par la récolte des dattes. Pour cette période de semis, une première récolte peut être effectuée en février et une seconde coupe en avril. En fait, les semis peuvent être étalés entre l'automne et le mois de février pour obtenir une production qui s'échelonne entre le mois de février et de juin. Les semences sont produites localement.

2-1-4 Cultures maraichères :

Cette strate de culture est de plus en plus développée, en effet certains exploitants ne s'arrêtent pas au jardinage d'autosubsistance mais cultivent à une grande échelle, visant la commercialisation de leur produit.

Avec le programme de PNDA le maraichage s'est développé même sous serre.

Les variétés cultivées sont pour la plupart des variétés locales qui rependent mieux aux conditions du milieu.

Le maraichage d'hiver est représenté par l'ail, les fèves, la carotte, les navets et le chou.

L'ail et l'oignon sont les espèces les plus représentées, et sont exploités « en vert ».

La conduite des cultures est très traditionnelle, les traitements antiparasitaires sont très rares, par contre un ou deux désherbages manuels sont réalisés.

La fève est une culture essentiellement vivrière, le semis se fait généralement à l'automne et la récolte à partir de mois de février.

Les cultures d'été sont essentiellement le piment, le poivron, la tomate, les cucurbitacées (melon, pastèque, courge et courgette). Leur importance est bien moindre que les cultures d'hiver en raison essentiellement de la pénurie d'eau d'irrigation.

2-1-5 L'élevage :

Deux modes d'élevages sont pratiqués : l'élevage familial en milieu oasien et élevage transhumant en milieu steppique.

Pour l'ensemble des communes dans le projet, nous enregistrons environ **160 000** têtes entre caprins et ovins (voir tableau ci après).

Communes	Ovins	Caprins
Sidi khelil	6 300	6 000
Djamaa	21 419	25 101
Sidi Amrane	40 874	41 141
Tindla	9 437	9 478
Total	78 030	81 720

Tableau 19 : Effectif du cheptel ovin/caprin

I -Cas de l'élevage dans les palmeraies

L'élevage dans les palmeraies est peu développé, il est conduit en extensif, caractérisé par la dominance de petits troupeaux de 3 à 8 têtes en moyenne de caprins destinées pour la production de lait et de 3 à 6 têtes d'ovins destinée à l'autoconsommation essentiellement à l'occasion des fêtes.

L'absence de pâturage rend la subsistance du troupeau impossible sans la production agricole de la palmeraie, laquelle d'ailleurs ne réserve pas assez de superficie pour la production des cultures fourragères.

L'alimentation est à base d'orge, d'avoine, de luzerne et de paille ainsi que les sous produits des cultures de palmier.

La conduite des troupeaux des phoeniciculture est effectuée en stabulation avec pacage sous les palmeraies.

II- Cas de l'élevage transhumant

Dans la zone steppique, l'élevage transhumant constitue le seul moyen de tirer parti de la végétation adventice clairsemée. Ce pendant dans les années favorables, les pasteurs nomades emblavent de petites surfaces (bordures d'oueds, bas fonds) susceptibles de collecter les eaux de pluies.

Pour les nomades, le troupeau représente un capital important qui s'accroît de lui-même en année favorable.

La transhumance s'effectue sur des distances considérables, au début de la saison des pluies, les troupeaux sont conduits vers le sud où ils trouvent subsistance à l'abri des grands froids.

Au printemps ces parcours se dessèchent et le bétail est ramené dans une migration massive (Achaba) vers les Hauts plateaux de l'Algérie du Nord.

3) Irrigation Et Drainage :

Dans la vallée de l'**Oued Righ**, l'agriculture ne peut pas se développer sans la pratique de l'irrigation. Dans le tableau suivant sont données les surfaces de palmerais situés dans la zone étudiée ⁽¹⁾:

Communes	Surfaces (ha)
Sidi khelil	4 438
Djamaa	4 471
Sidi Amrane	1 670
Tindla	1 598
Total	12 177

Tableau 20: surface des palmerais par commune :

Elle se fait le plus souvent à partir des forages qui sont situés à proximité des palmerais, la fréquence d'irrigation est généralement d'une irrigation par semaine pendant la saison hivernale (de novembre à février), et une irrigation tous les 10 ou 15 jours (de mars à avril) et rarement une irrigation par mois en été.

Les doses et les fréquences d'irrigation varient d'une exploitation à une autre, et ne répondent pas aux besoins réels des cultures mais restent souvent liées aux disponibilités en eau au niveau des parcelles.

Théoriquement on détermine les besoins en eau des cultures en se basant sur le coefficient culturale qu'on affecte à l'ETP.

Il est à noter que les ressources qui sont suffisantes pour irriguer une parcelle en hiver peuvent s'avérer insuffisantes en été et conduire l'agriculteur à effectuer un tour d'eau.

Supplémentaire dans sa parcelle. Autrement dit, un tour d'eau de 7 jours peut être en été sur la moitié de la parcelle et le tour suivant sur l'autre moitié ; dans ce cas, l'irrigation intervient tous les 14 jours.

Donc, cette fréquence d'irrigation est conditionnée par la disponibilité des eaux. Lors de notre sortie sur terrain. Nous avons pu voir à **Tigdidine** des arbres fruitiers complètement desséchés suite à une absence d'irrigation.

⁽¹⁾ Direction des services agricoles (DSA).

Dans les palmerais irrigués, l'eau est ramenée à la parcelle par un dispositif d'irrigation constitué par des seguias en terre, des conduites enterrées. Ces systèmes sont souvent défectueux et occasionnent des pertes d'eau importantes réduisant très fortement l'efficacité du réseau.

L'irrigation à la parcelle est faite suivant le principe de l'irrigation gravitaire par planche. Ces planches sont situées dans les inters rangs libres de drains dont un d'entre eux est un drain central.

Ces planches sont perfectionnées de deux manières :

- Planches de 1 à 1,5 m de large sur une longueur de 50 à 100 m et même 150 m.
- Planches plus large de 5 à 7 m, sa longueur peut atteindre 100 à 150 m, elles sont découpées par des bourrelets de terre tous les 10 à 15 m afin de freiner l'eau.

Concernant le drainage, ce dernier est effectué avec des drains à ciel ouvert localisés au milieu de l'inter-rang.les drains sont situés à une distance de 20 à 40 m. les canaux collecteurs de drains sont rarement entretenus.

OPTION DE DÉVELOPPEMENT AGRICOLE

3.1 Le choix des spéculations

Le choix des spéculations envisageables a été effectué en tenant compte de la vocation de la région, des besoins et des traditions de la population locale ainsi que des contraintes du milieu naturel, et de la nature des eaux destinées à l'irrigation.

Vu que l'irrigation sera effectuée à partir des eaux non conventionnelles, il y aura une certaine restriction.

Les types de cultures qui conviennent sont :

- Le palmier dattier : le développement ou l'extension de la phoeniculture dans la région reste la priorité dans la zone du projet, vu déjà son adaptation au climat désertique et sa résistance au sel. De plus cette strate joue un rôle considérable dans la sédentarisation de la population locale.

- Les cultures fourragères sous palmeraies doivent être cultivées d'avantage, afin d'assurer en premier lieu l'alimentation des troupeaux des phoeniculture.

- L'orge en vert et la luzerne sont deux cultures bien adaptées à la zone à conditions d'utiliser les variétés locales, en effet ces deux espèces sont peu sensibles à la salinité. Aussi une troisième culture peut être envisagée, il s'agit de la culture de ray-grass qui donne de très bons rendements en matière verte et tout en résistant à la salinité (avec une production plus précoce que l'orge).

- L'arboriculture fruitière qui est actuellement marginalisée, pourra être développée, avec comme principales espèces : le grenadier, l'abricotier, le figuier.

Les cultures proposées sont à caractère orientatif, l'exploitant pourra développer des cultures similaires ayant les mêmes exigences édapho-climatiques.

Pour ce qui est de l'élevage, il est de tradition dans les palmeraies d'associer au palmier un petit élevage ovin avec quelques têtes de caprins, qui permet de satisfaire l'autoconsommation en viande et en lait.

D'autre part la valorisation du fumier est très bénéfique pour l'amélioration de la fertilité du sol.

3.2 Le calendrier cultural

Le choix des cultures tient compte des calendriers culturaux.

Tableau 21: Calendrier cultural

Cultures	s	o	n	d	j	f	m	a	m	j	j	a
<u>Céréales</u>												
Orge					←							→
<u>Fourrages d'hiver</u>												
Vesce-Avoine					←							→
Luzerne	←											→
Orge en vert					←							→
Ray-grass					←							→
Sorgho											←	→
<u>Phoeniculture</u>												
Palmier dattier	←											→
<u>Arboriculture diversifiée</u>												
Vigne de table	←											→
Pommier/Poirier	←											→
Abricotier	←											→
Olivier	←											→
Figuier	←											→
Prunier	←											→
Amandier	←											→

3.3 Les assolements proposés

Les assolements préconisés sont réservés uniquement à la palmeraie et sont donc applicables en intercalaire sur environ 40% de la surface d'exploitation, répondant ainsi aux normes d'utilisation optimales des soles sous palmeraies.

Le choix des cultures a été effectué en fonction des besoins et des traditions locales des producteurs et des consommateurs et en fonction des contraintes du milieu naturel.

Les cultures proposées sont celles qui résistent à la salinité comme le cas de l'orge, la luzerne et le ray-grass. Elles sont données à caractère orientatif afin que nous puissions déterminer les besoins en eau des palmeraies et orienter l'agriculteur dans le choix des cultures à mettre en place.

Ce pendant deux types d'assolements sont proposés :

- l'assolement 1 comprenant deux strates de cultures (le palmier dattier et les cultures herbacées),
- l'assolement 2 comprenant trois strates de cultures (le palmier dattier, les cultures herbacées et l'arboriculture) ;

Tableau 22: Assolement 1

Soles	s	o	n	d	j	f	m	a	m	j	j	a	
Sole 1			Orge en vert										
Sole 2			Vesce avoine							Sorgho			
Sole 3			Céréales										
Sole 4	Luzerne												

Tableau 23: Assolement 2

Soles	s	O	n	d	j	f	m	a	m	j	j	a	
Sole1			Céréales										
Sole2			Ray-grass							Sorgho			
Sole 3	Luzerne												
Sole 4	Arboriculture												

II-3-Besoin en eau des cultures:**II-3-1 Méthodes de calculs**

Le calcul des besoins en eau des cultures a été mené à l'aide de logiciel Cropwat 5 : Logiciel pour la planification et la gestion des systèmes d'irrigation, service des eaux de la FAO.

L'évapotranspiration a été calculée selon la méthode de Penman-Montieth, en prenant en considération les paramètres suivants :

- Température de l'air sous abri,
- Humidité atmosphérique.
- Intensité de vent.
- Insolation.

Calcul de l'ETP :

La méthode de calcul utilisée pour l'estimation théorique de l'évapotranspiration potentielle est celle de Penman-Montieth. En effet elle est recommandée par la FAO et utilisée par le logiciel CROPWAT.

Les précipitations utilisées sont celles de la station climatologique d'El Arfiane pour la période 1936-2005.

La méthode adoptée de calcul des besoins en eau des cultures emploie les informations suivantes :

- La date de plantation
- La durée des phases de croissance :
 - ❖ Initial
 - ❖ Développement, arrière
 - ❖ Mi-saison ;
 - ❖ Arrière-saison.
- Le coefficient cultural (K_c).
- La profondeur d'enracinement,
- Le tarissement admissible,
- Le coefficient (K_y) de réponse de rendement ;

Le coefficient cultural (K_c) représente le rapport entre l'évapotranspiration réelle de la culture en question et l'évapotranspiration potentielle (ETP) de référence. Ce coefficient dépend de la culture et de cycle végétatif.

On souligne en particulier que le volume d'eau du sol qui peut être utilisé par la culture dépend directement de sa profondeur d'enracinement et notamment à la phase initiale pour les jeunes plantes et plein développement, au début de la mi-saison ; le tarissement admissible représente l'humidité du sol au-dessous de laquelle le manque d'eau affecte l'évapotranspiration et par conséquent la production de la culture.

Les paramètres ont été fournis pour chaque phase individuelle de croissance et ils sont reportés dans les fiches de besoin en eau des cultures.

Le calcul des besoins en eau des cultures est effectué par décade ; les valeurs du coefficient cultural K_c sont celles des fiches culturales données par le programme Cropwat.

- **Cas du palmier :**

En ce qui concerne le palmier, la densité de la plantation est très variable, ce qui a une certaine influence sur la consommation en eau et aussi sur les rendements.

Les valeurs de K_c qui sont couramment admises dans la littérature, sont :

- ❖ Doorenbos et Pruitt (bulletin FAO n°24) conseillent pour le palmier, K_c compris entre 0.8 et 1 à maturité.
- ❖ à la station expérimentale de ZAFARANIAH (Iraq) des essais et donnée un K_c moyen de 0.86 qui est considérée comme représentative de l'année entière.
- ❖ Par ailleurs G.Touain (élément d'agronomie saharienne) adopte pour le Sahara un coefficient annuel $K_c=0.75$.
- ❖ Le logiciel Cropwat, dans ses calculs des besoins en eau, utilise une valeur de K_c qui est égale à 0.8.

Vu toutes ces approches, nous retenons dans nos calculs des besoins en eau du palmier dattier, une valeur moyenne de 0.8.

- **Cas des autres cultures :**

Il est à noter que les cultures sous palmeraie demandent moins d'eau que les cultures en plein champ, et ceci d'autant plus que le couvert de la palmeraie est dense, en raison de l'amélioration des paramètres climatiques sous ce couvert, qui conduit à une réduction de l'évapotranspiration.

G.Toutain, propose les chiffres suivants :

- 40% de la consommation théorique, en palmeraie dense de 8m x 8m.
- 50% de la consommation théorique, en palmeraie dense de 9m x 9m.

- 65% à 70% de la consommation théorique, en palmeraie avec un écartement de 10m x 10m.

Le coefficient d'abattement correspondant aux plantations les plus courantes dans les palmeraies de l'Oued Righ (10m x 10m) est de 65%.

Compte tenu de ces éléments, nous pouvons estimer les besoins en eau des cultures sous palmeraie avec une occupation moyenne de 40% de la superficie de la palmeraie.

Les besoins unitaires nets du palmier dattier et des cultures sous jacentes en prenant avec une consommation de 65% des besoins théoriques sont le suivants :

Tableau 24: Besoins unitaires nets en (m³).

Cultures	Besoins nets unitaires m ³ /ha	Besoins nets des cultures sous palmiers (m ³ /ha)
Palmier dattier	14 490	14 490
Orge	7 402	4 811
Vesce-avoine	8 773	5 702,50
Luzerne	19 924	12 951
Orge fourrage	8 137	5 289,10
Sorgho	8 174	5 313
Ray-grass	5 535	3 597,80
Arboriculture	15 118	9 827

Le calcul des besoins en eau des cultures intègre différents paramètres, qui sont principalement la réduction de consommation en eau des cultures sous palmeraies, de la salinité du sol et de la salinité de sol d'irrigation et enfin de l'efficacité du système d'irrigation.

Cette efficacité est comme suite :

- ❖ Pour une irrigation gravitaire, l'efficacité à la parcelle est de 0.7.
- ❖ L'efficacité du réseau de distribution est de 0.9.

Ainsi l'efficacité globale du réseau d'irrigation est de 0.63, résultant du produit des deux efficacités (0.7 x 0.9).

pour diminuer la salinité de sol, il convient d'effectuer un lessivage initial qui consiste à apporter en une seule fois, une quantité d'eau importante sur une parcelle afin de faire chuter la salinité du sol à un niveau qu'on considère acceptable et qu'on entretiendra par un lessivage continu.

En réalité, l'efficacité du système d'irrigation contribue au lessivage permanent, adapté aux besoins des cultures intercalaires à mettre en place.

Notons que pour une efficacité à la parcelle de 70%, les pertes par percolation sont de 20%.

Les besoins en eau unitaire d'un hectare de palmier avec 40% de surface occupée par les cultures intercalaires, sont donnés dans le tableau suivant selon les assolements envisagés :

Tableau 25: besoin en eau (assolement n°1)

Cultures	Besoin nets unitaires m3/ha	Superficie en ha	Besoin nets de la culture m3	Besoins bruts avec une efficacité de 63%
Palmier dattier	14 490	1	14 490	23 000
Orge fourrager	5 289	0.1	529	840
Vesce-avoine	5 702	0.1	570	905
Sorgho	5 313	0.1	531	843
Céréale	4 811	0.1	481	764
Luzerne	12 951	0.1	1 295	2 056
Besoins totaux d'un hectare de palmier avec des cultures sous jacentes			17 897	28 407
Indice d'intensification			1.5	

Tableau 26 : besoin en eau (assolement n°2) :

Cultures	Besoin nets unitaires m3/ha	Superficie en ha	Besoin nets de la culture m3	Besoins bruts avec une efficacité de 63%
Palmier dattier	14 490	1	14 490	23 000
Orge fourrager	4 811	0.1	481	764
Vesce-avoine	3 598	0.1	360	571
Sorgho	5 313	0.1	531	843
Céréale	12 951	0.1	1 295	2 056
Luzerne	9 837	0.1	983	1 560
Besoins totaux d'un hectare de palmier avec des cultures sous jacentes			18 140	28 794
Indice d'intensification			1.5	

Compte tenu de ces données, les besoins en eau d'un hectare de palmier associé à 40 ares de cultures sous jacentes sont de **28 407** m³/ha avec l'assolement n°1 et de **28 794** m³/ha avec l'assolement n°2.

Les besoins en eau seront élaborés en détail dans la phase suivante de l'étude sur la base de :

- ❖ Besoin en eau du palmier
- ❖ Besoins en eau des cultures intercalaires
- ❖ L'efficience du système d'irrigation.
- ❖ Lessivage continu si les pertes par percolation n'y suffisent pas.

Méthode d'irrigation

Le système d'irrigation qui convient le mieux aux palmerais de **Oued Righ** est celui qui est actuellement pratiqué autrement dit l'irrigation gravitaire par planche.

- L'irrigation par gravité est bien connue et expérimentée dans la région.
- Elle s'adapte bien à la nécessité de lessivage continu.
- Elle semble le plus adéquate pour les cultures intercalaires.

II-4-Rendements :

Les rendements des cultures sont variables en fonction de plusieurs paramètres. Le premier paramètre est le niveau technique des agricultures qui s'adaptera progressivement pour optimiser les potentiels des cultures en vue de dépasser les projections émises dans ce rapport. Le second est un facteur limitant au potentiel des cultures mais dépendra, une fois de plus, de la gestion que l'exploitant réalisera pour minimiser son effet. Ce facteur est le potentiel du sol cultivé.

Le périmètre irrigué déposera d'avantages comparatifs pour la production des cultures annuelles (céréales/fourrages) et cultures pérennes (arboricultures).

Les rendements à terme retenus pour les cultures conduites en intensif avec irrigation, fertilisation raisonnée, traitements phytosanitaires, sont relativement prudents.

De plus, il est retenu le principe d'abaisser les rendements prévisionnels pendant les trois premières années à 75%, 85%, et 95% à partir de la 4^{ème} année les rendements sont considérés comme constants. Durant ces premières années il n'est pas retenu d'abaissement des charges en intrants, celles-ci sont prises dès le départ à niveau de croisière.

Nous donnons ci après les rendements prévisionnels des cultures pratiquées.

Cultures	Rendement /ha
Palmier dattier	80 qx
Orge grain	30 qx
Orge vert	25 tonnes de matière verte
Vesce-avoine	250 bottes
Luzerne	80 tonnes de matière verte
Sorgho	10 tonne de matière sèche
Ray-grass	50 tonnes de matières vertes
Arboriculture (abricotier)	100 qx

Tableau 27: Rendement Des Cultures

Dans notre contexte vu l'ampleur de la salinité qui est largement rencontrée, on présente dans le tableau suivant les seuils de tolérance des cultures à la salinité.

Cultures	Niveau de rendement en fonction de Ce (mmhos/cm)				
	100%	90%	75%	50%	0%
Blé	6	7.4	9.5	13	20
Orge	8	10	14	18	24
Luzerne	2	3.4	5.4	8.8	16
Bersim	1.5	3.2	5.9	10	19
Mais fourrager	1.8	3.2	5.2	8.6	15
Vesce-avoine	3	3.9	5.3	7.6	12
Vigne	1.5	2.5	4.1	6.7	12
Olivier	2.7	3.8	5.5	8.4	14
Pécher	1.7	2.2	2.9	4.1	6.5
Palmier dattier	4	6.8	11	18	24

Tableau 28: les seuils de tolérance des cultures à la salinité

Conclusion

Notre région ‘‘Oued Righ’’, traditionnellement agricole avec sa palmeraie considérée comme étant la plus grande oasis d'un seul tenant sur plus de 12 177 ha, a connue de fortes mutations socioéconomiques suite à l'apparition et le développement d'un pôle d'hydrocarbures ayant fortement influencé la société, l'économie et le paysage.

Concernant l'irrigation localisée, elle est envisageable essentiellement dans le cadre de l'extension des palmerais soit l'irrigation des jeunes plantations. Elle est très économe en eau et ne permet pas le ruissellement en surface, elle présente l'inconvénient de charger à la longue les sols en sels. Ceci dit que le lessivage du sol est préconiser.

On remarquera qu'à partir 8 mmhos/cm la chute de rendement sera de 50% pour la majorité des cultures.

Introduction

Les infrastructures hydrauliques jouent un rôle primordial dans la sécurité hydrique et alimentaire de la région et rend de précieux services à l'économie d'eau. Elles contribuent, au développement de l'accès à l'eau potable, à la stabilisation de la production agricole grâce à l'irrigation de plus de 12 177 d'hectares dans la vallée de oued Righ, et au développement industriel.

IV .1. Les forages :



Fig. 31 : Forage artésien (200l/s)

A titre d'information selon le rapport de l'ANRH de la subdivision de Touggourt en 2008, le nombre total des forages recensés dans la région d'Oued Righ Sud est de l'ordre de 425 forages.

Parmi les 425 forages recensés seulement 339 forages (CT, CI) sont exploités, tous les 6 forages CI sont en service et 86 forages CT non exploités. En se basant sur des critères d'expertise prenaient sur terrain parmi ces 86 forages CT non exploités, 62 forages sont classés exploitables, ils sont généralement a l'arrêt, non électrifier, de réserves, nouveaux forages, abandonnés à cause de l'éloignement,...etc. les 24 forages restés non récupérables qui

nécessitent leur bouchage sont généralement des puits ensablés, accidentés, mal réalisés, très anciens, à eau très salés, taris...etc.

Dans cette zone la nappe du Complexe Terminal (Mio-pliocène et Eocène) est exploitée par 333 forages, parmi ces forages seulement 2 forages sont destinés pour l'alimentation en eau potable, les autres sont destinés essentiellement pour l'irrigation de plus d'un million des palmiers réparties dans toute la région d'étude.

La vallée sud d'oued Righ correspond à la zone où la nappe du Complexe Terminal est la plus exploitée. Elle est captée à une profondeur variant entre 30 et 240 m et Le débit fourni par forage est compris entre 10 et 40 l/s. Le volume soutiré est 263.76 hm³/an.

Quant à la nappe du Continental Intercalaire, elle est captée par 06 forages fournissant chacun un débit de l'ordre de 130 l/s, en moyenne. Le débit prélevé de cette nappe est évalué à 25 Hm³/an, Les 06 des forages CI sont destinés pour l'alimentation en eau potable.

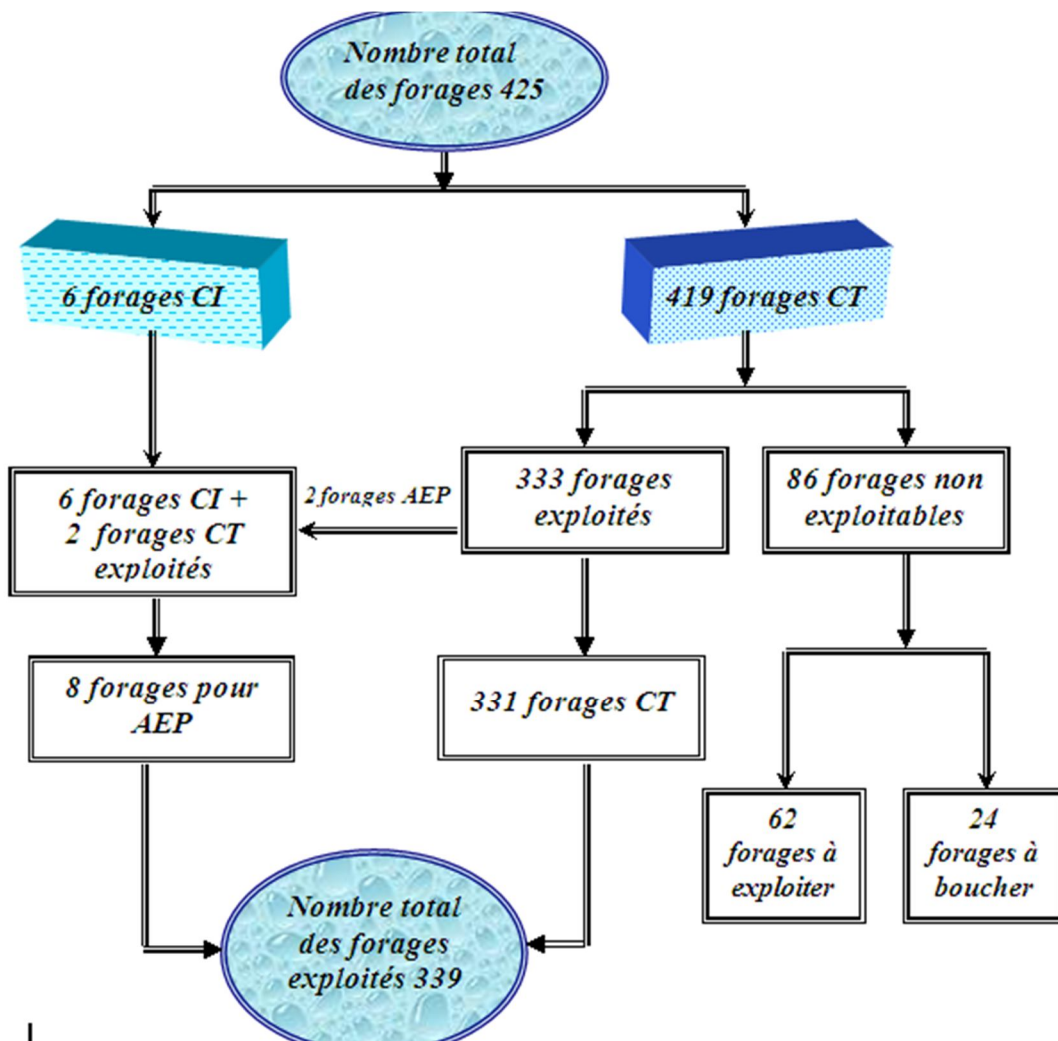


Fig.32 Schéma récapitulatif des nombres de forages dans la vallée d'Oued Righ.

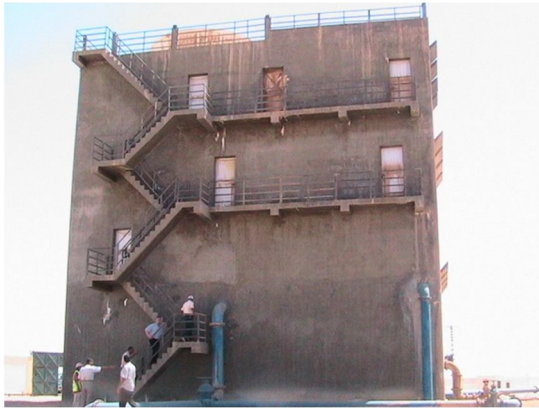
IV .2. Les Réfrigérants :

Fig.33 : Réfrigérant

Définition de Réfrigérant :

Ouvrage de refroidissement de l'eau albienne par ventilation forcés installé au niveau des forages (CI), le taux de refroidissement est de 50%.

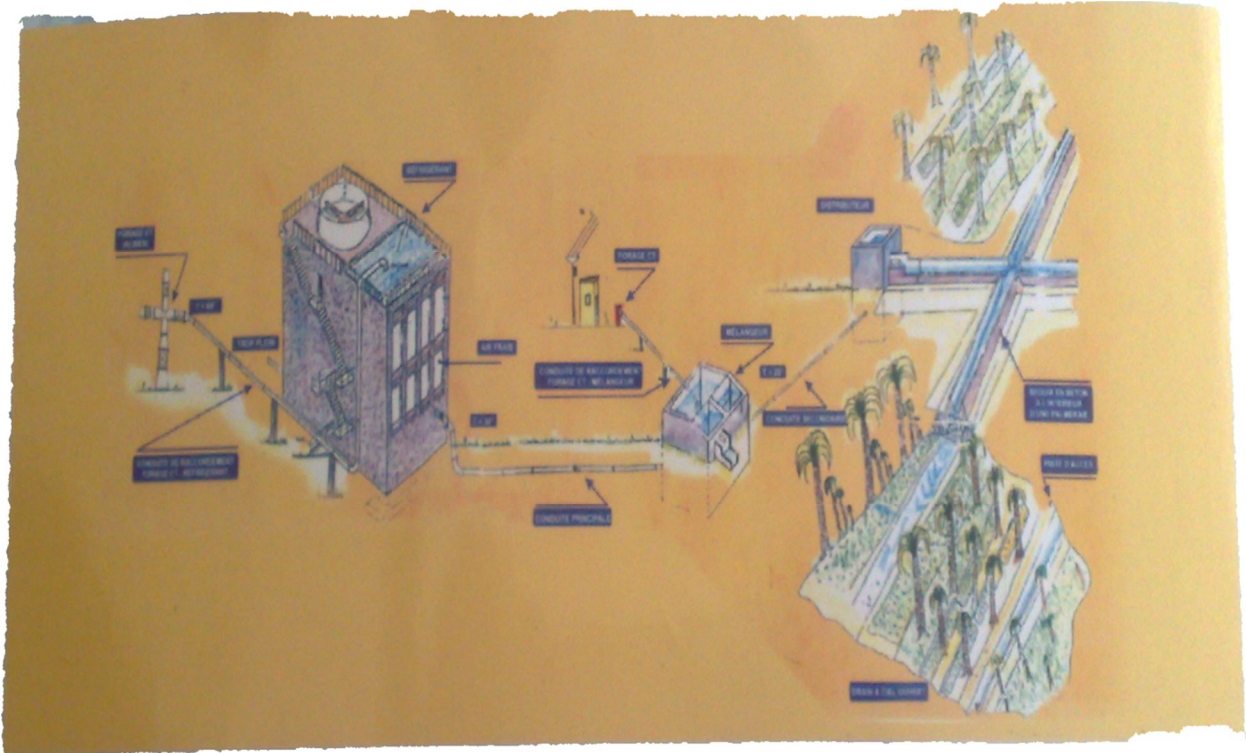


Fig. 34 : Schéma d'aménagement d'irrigation.

IV .3. Réseau d'irrigation :

Les palmeraies de l'ancien secteur sont irriguées à partir des forages collectifs artésiens. La quantité d'eau est suffisante en hiver mais pas en été, à cause des grandes pertes d'eau par l'évapotranspiration. La quantité d'eau est véhiculée du forage à l'exploitation grâce à des canalisations et canaux confectionnées en ciment qui sont souvent en mauvais état (fissurées) à cause du manque d'entretien et de la rénovation, ce qui augmente les pertes en eau.

La distribution et la gestion d'eau du forage sont faites par un agriculteur de confiance de la même palmeraie, possédant une liste des jardins à irriguer.

Les tours d'arrosage varient entre 5 à 10 jours, selon la région et le nombre de jardins à irriguer par le puits et les durées d'irrigation. Chaque tour d'eau correspond à une somme d'argent payée par le propriétaire. Le prix de revient de l'eau d'irrigation est en fonction des frais de

l'électrification, en plus des frais pouvant servir à l'entretien du puits, des pompes et des réseaux d'irrigation.



Fig.35 : Canalisations Confectionnées En Ciment

IV .3-1-Système d'irrigation :

Le système d'irrigation dans le périmètre de l'Oued Righ se base sur le mélange des eaux de CI (eau chaude) et les eaux de CT (eau froide saline) pour améliorer la qualité d'eau d'irrigation ; l'eau arrive à travers des conduites enterrées en amiante ciment au distributeur et sera distribuée dans un système étanche (séguias en béton) pour éviter les infiltrations et les pertes d'eau afin d'assurer une gestion rationnelle de l'eau d'irrigation.



Fig.36 : récepteur d'eau d'un forage du CT



Fig.37 : Séguias En Béton

IV .4. Réseau de drainage :

Le réseau de drainage joue un rôle primordial dans le développement de phonéicole de la région, il permet de rabattre le toit de la nappe à un niveau tolérable pour le développement de palmier dattier (généralement 1,20 m).

le réseau du drainage dans les palmeraies est en mauvais état, souvent défectueux et l'évacuation des eaux devient de plus en plus difficile par manque d'entretien. En effet, la mauvaise circulation des eaux à un effet très négatif sur les parcelles avoisinantes, ce problème provoque la formation de grandes flaques dues au débordement de l'eau du drain, ce qui est néfaste pour le palmier dattier, et augmente le taux de salinité de sol.



Fig.38 : Drain Secondaire

IV .4.1-Système de drainage :

Les anciennes palmeraies étaient traditionnellement drainées par des fossés à ciel ouvert creusés par les fellahs pour chaque deuxième et troisième rang de palmiers.

Actuellement les eaux de drainage s'écoulent à travers des drains à ciel ouvert (des drains à la parcelle, des collecteurs ; des canaux et le canal principal ou chotts).



Fig.39: exemple de submersion d'eau pour absence de drainage.

IV .5. Conclusion

Les premières conclusions qui se dégagent après plusieurs années d'exploitation des nappes du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal du Sahara septentrional sont surtout celles liées aux problèmes de gestion, de planification et de suivi de la ressource en eau. En effet, Il est difficile d'imaginer une gestion rationnelle et durable sans modification du fonctionnement physique, chimique et biologique de l'environnement. Il est difficile également de gérer une ressource sur un territoire aussi vaste sans un modèle mathématique de gestion.

L'élaboration de cet outil indispensable, permettra surtout de prévoir à moyen et long terme l'évolution de la nappe en fonction des prélèvements proposés, ainsi que les conséquences de son utilisation.

Introduction

Dans la vallée de l'Oued Righ l'eau est le facteur limitant pour le développement économique et surtout de l'activité agricole. C'est pourquoi il est fondamental de connaître et de maîtriser parfaitement ce facteur. Tout le développement de cette région passe par l'extension et la rationalisation de ces activités, ce qui exige une maîtrise des problèmes de l'eau.

V. les eaux de surface

V.1. Les lacs

Les lacs qui se trouvent dans le territoire de notre région d'étude sont classés parmi les plus beaux et prestigieux lacs salés de la wilaya de Ouargla. On distingue deux lacs dans la région d'Oued Righ Sud, l'un est situé au Nord c'est le lac de Megarine et l'autre c'est le lac de Temacine au sud.

Ses situations géomorphologiques se présentent en une dépression qui est a priori un exutoire naturel des eaux d'irrigation drainées salées à plus de 10 g/l de résidu sec, et ce à partir des palmeraies limitrophes.

La situation actuelle, notamment la pollution et la dégradation de la palmeraie environnante, font craindre le pire aux habitants. Ces lacs sont un symbole hautement traditionnel. Le réaménagement des zones humides donc devenu l'une des principales préoccupations du secteur de l'eau et de l'environnement dans la wilaya de Ouargla. Notamment l'une des premières actions c'est le plan de sauvegarde du lac Temacine qui comporte la prise en charge des rejets des eaux usées urbaines dans le grand canal d'Oued Righ.



Fig.40 : Prise de vue du lac de Temacine



Fig.41 : Prise de vue du lac de Megarine

V.2. Le canal d'Oued Righ :

Le canal de l'Oued Righ a été creusé en 1925 avec des méthodes traditionnelles et manuelles par la population de la région sur une longueur de 150 km à partir d'El Goug jusqu'au **Chott Merouane** (exutoire naturel), une largeur de 10 m, une profondeur de 4 m et une pente de 1 ‰.

Les 2/3 Sud du canal ont été creusés, tandis que 1/3 Nord est d'origine naturel (O.Khrouf).

Les habitants de la région ont creusé ce canal dans le but de faire drainer les eaux en excès d'irrigation, des palmeraies et l'évacuation des eaux usées.

L'alimentation du canal est en effet, hors les quelques orages annuelles, le fait des écoulements de drainage en provenance des palmeraies, donc le canal joue le rôle de collecteur principale de ces eaux qu'il conduit jusqu'à l'Oued Khrouf puis chott Merouane.

Caractéristiques du canal Oued Righ :

- Longueur totale 136 km.
- Largeur moyenne 10 m.
- Profondeur moyenne 4 m.
- Vitesse moyenne d'écoulement 1,25 m/s.
- Débit moyen max 5 m³/s.
- Salinité moyenne 15 g/l.

Pente d'écoulement moyenne 1 ‰.

Le débit du canal de l'Oued Righ est de l'ordre 260 l/s au point du dépôt, et augmente progressivement vers l'aval jusqu'à 5000 l/s.



Fig.42 : Vue de section du canal d'Oued Righ Nord

V.3.CARACTERISATION DU CANAL OUED RIGH

V.3.1. Mesure du débit du canal Oued Righ

Pour mission de mesures sont effectués sur le terrain, L'objectif étant la mesure du débit ainsi que la prise d'échantillons pour analyse physico-chimique et bactériologique. Le débit est déterminé à quatre sections de contrôle situés respectivement à : **Sidi Amrane**, **Djamaa (mazer zaouiat)**, **Tindla (Sidi Abed)** et enfin **Sidi Khelil (Oued Khrouf)**.

Les points de prélèvement sont localisés moyennant un GPS suivant une projection WGS 84.

Tableau 291 : coordonnées des points de prélèvement.

Point de prélèvement	Coordonnées : X	Coordonnées : Y
Sidi-Amrane	227 788	3 712 897
Djamaa (Zaouiet Riab)	222 206	3 720 457
Tindla (Sidi abed)	226 379	3 731 696
Sidi Khilil (Oued Khrouf)	224 902	3 750 315

Les résultats de mesures des débits sont résumés dans le tableau suivant :

Tableau 30: Résultats de mesure des débits à travers les sections de contrôle choisies

	Profondeur (Lame d'eau)	Vitesse (m/s)	Débit (Q m ³ /s)	Débit (m ³ /j)
Sidi amrane	0,35 m	1,47	1,54	133 056
Djamaa (mazer zaouiat)	0,6 m	1,05	2,42	209 088
Tinedla (Sidi Abed)	1,2 m	0,6	2,74	236 736
Sidi Khelil (oued Khrouf)	0,45 m	1,85	5	432 000

Le débit d'écoulement mesuré varie entre 1,54 m³/s à sidi amrane et 5m³/s à sidi khelil. Ces résultats corroborent dans leurs globalités avec ceux obtenus par l'ANRH qui indique un débit de 5 m³/s en aval du canal.

V.3.2. Calcul des paramètres hydrauliques par la méthode du jaugeage au moulinet

V.3.2.1. Généralités sur le matériel :



Fig.43 : Le moulinet.

Les moulinets généralement utilisés sont des moulinets à hélice, à axe horizontal. Le moulinet est composé d'un élément fixe appelé "corps du moulinet" comportant un axe horizontal sur lequel tourne une hélice. La rotation de l'hélice produit des signaux électriques (impulsions) qui sont détectés et comptabilisés par un dispositif électronique que l'on connecte au corps du moulinet. Lors des mesures, le corps du moulinet doit être monté sur un support. Le moulinet étant immergée dans le cours d'eau face au courant, la vitesse de rotation de l'hélice est lié par une relation connue à la vitesse locale de l'écoulement.

Une hélice est caractérisée par son diamètre et son pas. Ce dernier est la distance parcourue par l'eau pour générer un tour d'hélice.

La relation entre la vitesse de l'écoulement et la vitesse de rotation de l'hélice est appelée courbe d'étalonnage de l'hélice.

Pour une vitesse déterminée, la courbe d'étalonnage est sensiblement linéaire, pour une hélice donnée, on aura donc une ou plusieurs droites d'équation de la forme suivante :

$$v = a \cdot n + b$$

V : vitesse du courant (m/s).

A : pas réel de l'hélice.

N : nombre de tour d'hélice par seconde.

B : vitesse dite de frottement ou vitesse de démarrage (m/s)

La science qui s'occupe de la mesure des débits et de sa variation dans le lit d'un cours d'eau s'appelle l'hydrométrie.

Le débit est le seul élément intervenant dans la détermination du bilan hydrologique d'un bassin versant qui puisse être mesuré dans son ensemble avec une bonne précision.

Le débit Q (m^3/s) qui passe dans une section de mesure est par définition⁽¹⁾:

$$Q = V_m \times S_m$$

Avec :

V_m : vitesse moyenne (m/s). Et S_m : surface de la section mouillée (m^2).

Il existe différentes méthodes de mesure de débit :

- Par jaugeage.
- Par application de formule de Chézy.

Parmi les jaugeages connus utilisés en hydrologie on peut citer le jaugeage au moulinet, le jaugeage au déversoir, le jaugeage au flotteur, le jaugeage chimique ...etc.

Dans notre cas nous avons utilisé la méthode de jaugeage au moulinet étant donné que cette méthode ne présente pas de difficultés opérationnelles sur le terrain d'une part et donne des résultats qui se rapprochent plus de la réalité d'autre part.

Cette méthode consiste à explorer le champ des vitesses le long de la section "S" considérée.

La vitesse de l'écoulement n'est pas uniforme sur la section transversale d'un cours d'eau. Il est donc nécessaire d'explorer le champ des vitesses en réalisant des mesures en plusieurs points de la section, généralement situés le long de verticales judicieusement

(1) Touibia, Bénina, Manuel pratique d'hydrologie, p.92.

réparties sur la largeur de l'oued. Pour effectuer une bonne mesure certains critères doivent être réunis:

-Les vitesses doivent être parallèles entre elles (pas de remous) et perpendiculaires à la section de jaugeage.

-La vitesse doit être suffisamment constante dans le temps pour une même hauteur d'eau (écoulement permanent).

-La profondeur de l'eau doit être suffisante par rapport au diamètre de l'hélice.

-Le fond ne doit pas contenir d'obstacles.

La mesure de la vitesse est basée sur la transformation du mouvement rectiligne de l'eau en un mouvement rotatif de l'hélice du moulinet.

Le débit se définit comme le flux de vecteur vitesse à travers cette section. Pour une section élémentaire dA , le débit correspondant sera:

$$dQ = v \cdot dA$$

Le débit total à travers la section du cours d'eau A est :

$$Q = \int_A v \cdot dA$$

D'une manière plus simple, la mesure du débit par cette méthode exige la détermination des vitesses ponctuelles en nombre suffisant pour permettre le calcul d'une vitesse d'écoulement moyenne (V) dans la section du cours d'eau considérée. Le débit transitant à travers cette section est alors :

$$Q = A \cdot V$$

V.4. Les Stations de mesure :

Il existe quatre stations hydrométriques réparties le long du canal de Oued Righ .mais nous nous sommes seulement intéressés des deux stations qui se trouvent dans le territoire de notre région d'étude et qui représentent les points les plus favorables pour prendre les mesures des paramètres hydrauliques du canal. Il s'agit des stations de **Ranou** et de Sidi Slimane

- ❖ *Station de Ranou* : en amont du canal il réunit les drains et les rejets de Temacine.
- ❖ *Station de Sidi Slimane* : contrôle les rejets et les drains et de **Touggourt**.

Tableau 31 : Coordonnées géographiques (GPS) et topographie des Stations

Station	Cordonnées			La pente I (%)	Longueur cumulée (Pk) Km
	X	Y	Z (m)		
Ranou	06°03'38''	33°02'48''	69	1,072	24.5
Sidi Slimane	06°04'31''	33°17'14''	37	1,17	55,92

V.4.1. Les Paramètres hydrauliques :

➤ **La vitesse moyenne (V_m) :**

Elle est exprimée en (m/s):

$$V_m = Q/S_m$$

Avec:

Q : le débit (m^3/s). Et **S_m** : Section mouillée (m)

➤ **Rapport vitesse moyenne / vitesse moyenne de surface : V_m/VMS**

➤ **Rayon hydraulique (R_h)** : Il est défini comme étant le rapport de la section mouillée au périmètre mouillé. Il s'exprime en mètres.

$$R_h = S_m/P_m$$

Avec :

S_m : section mouillée (m^2). Et **P_m** : périmètre mouillé (m).

Il fait donc intervenir implicitement d'une manière simplifiée mais parfois assez représentative les caractéristiques géométriques d'une section.

➤ **Profondeur moyenne (H_m)** : La profondeur moyenne est définie comme étant le rapport entre la section mouillée (S_m) et la largeur au miroir (L)

$$H_m = S_m/L$$

Avec

L : la largeur au miroir (m)

➤ **La largeur au miroir (L)** : Elle est définie comme étant la distance de la rive droite à la rive gauche normalement à la direction de l'écoulement. (REMINI B, 2005)

➤ **Nombre de Froude (F_R)** : Le nombre de Froude d'un écoulement à surface libre représente donc le rapport de la vitesse moyenne du courant à la vitesse de propagation d'une onde superficielle infiniment petite le long du courant considéré.

$$F_R = \frac{V_m}{\sqrt{gH_m}}$$

Avec :

V_m : Vitesse moyenne d'écoulement (m/s).

G : l'accélération de la pesanteur (m/s^2).

H_m : Profondeur moyenne (m).

Remarque :

$F_R > 1$ régime torrentiel.

$F_R < 1$ régime fluvial.

$F_R = 1$ régime critique.

Tous les résultats obtenus sont bien répartis dans le tableau 18.

Tableau.32 Résultats des paramètres hydrauliques aux stations de jaugeage.

station de mesure	paramètres hydrauliques									
	débit m^3/s	V_m (m/s)	V_{ms} (m/s)	V_m/V_{ms}	S_m (m ²)	P_m (m)	R_h (m)	H_m (m)	F_r	Régime d'écoulement
Ranou	0.75	0.25	0.425	0.588	3.00	8.30	0.36	0.375	0.13	Fluvial
Sidi Slimane	1.95	0.63	0.668	0.943	3.06	5.2	0.85	0.68	0.85	Fluvial

V.4.2. Interprétation des résultats

D'après le calcul du nombre de Froude le régime d'écoulement dans toutes les stations hydrométriques est un régime fluvial.

Le calcul et les mesures ont montré que le débit au niveau du canal augmente tout en allant vers le Nord (tableau19).

Tableau. 33 : Résultats des débits de chaque station (au moulinet)

Station	Ranou	Sidi Slimane
Débit (m^3/s)	0,75	1,95

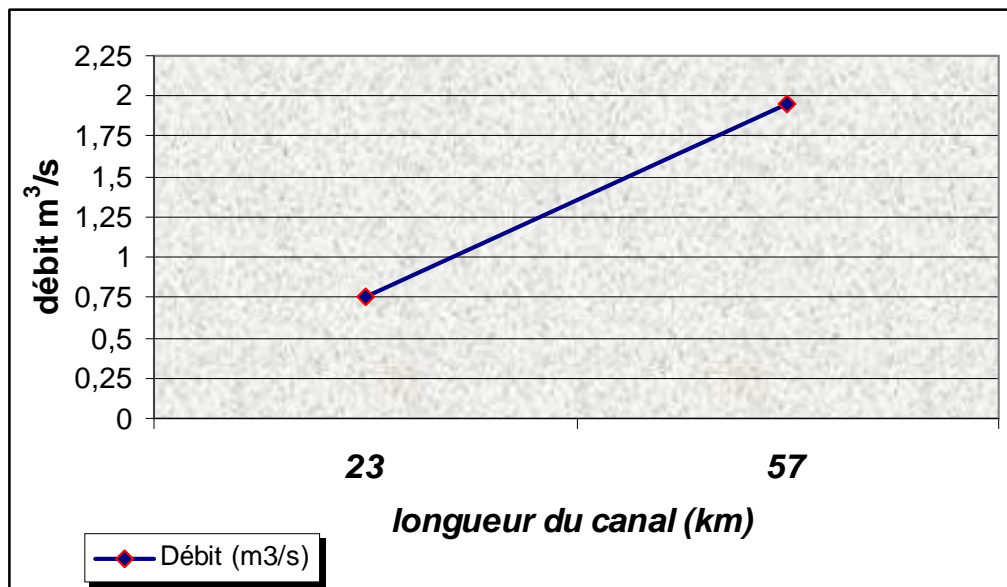


Fig. 44 : Variation du débit en fonction de la longueur du canal

D'après la figure ci-dessus on constate qu'il y a une nette augmentation du débit du canal entre la station de Sidi Slimane et celle de **Ranou** ce qui explique qu'il existe un apport important en eaux de drainage à partir des palmeraies.

V.5. Les problèmes posés par l'évolution hydraulique :

Les zones des palmeraies connaissent d'énormes problèmes dont la plus part sont liées directement aux conditions naturelles de la région tel que : morphologie du terrain, forte évaporation, salinité des eaux et des sols.

En outre la mauvaise exploitation des palmeraies (travaux cultureaux, entretien, mode d'irrigation) Ces contraintes conjuguées à une utilisation abusive des eaux profondes pour l'irrigation sont traduites par plusieurs problèmes telle que :

V.5.1. La remontée des eaux :

La multiplication des forages, les pompages intensifs à débit de 20 à 300 l/s, les drainages insuffisants et les rejets des eaux usées engendrent certains problèmes particuliers tels que la remontée du niveau hydrostatique de la nappe phréatique.

La nappe phréatique de la vallée d'Oued Righ subit une remontée progressive de son niveau piézométrique et qui semble s'aggraver avec les années. Les premiers signes de la remontée de la nappe phréatique sont visibles dans certaines régions telles que la région de Marjaja et Tatawine où la profondeur de l'eau est faible.

D'après les habitants de Touggourt ce phénomène a été observé aussi au niveau des cimetières où l'eau les a empêchées de creuser dans certains endroits de ces cimetières.

C'est vrai que la situation actuelle de cette nappe n'est pas encore arrivée à celles des régions limitrophes, tel que Oued Souf et Ouargla où ces villes vivent une situation dramatique, mais une remontée de la nappe phréatique dans ces localités n'est pas exclue.



Fig. 45 : La remontée de la nappe phréatique dans la région de Touggourt (Tatawine)

V.5.2. La chute de l'artésianisme :

Cette région était jadis caractérisée par l'artésianisme des forages des deux complexes hydrauliques (CT, CI). Cependant, depuis quelque temps, la disparition de l'artésianisme des forages du CT s'est manifestée. La surexploitation de cette nappe a entraîné un rabattement du niveau statique, qui s'est répercuté sur la chute de l'artésianisme qui a d'ailleurs presque entièrement disparu des forages du CT, hormis ceux captant la nappe du Sénonien, qui reste artésienne avec un faible débit 0,3 à 1 l/s.

En conséquence, presque tous les forages du CT nécessitent actuellement un équipement de pompage. Les forages de l'Albien en revanche restent artésiens mais progressivement une diminution de la pression y est constatée.

V.5.3. La dégradation du canal de l'Oued Righ :

Malgré le grand réservoir des eaux souterraines dans cette région, il n'y a pas des cours d'eaux ou des canaux qui nous aident à évacuer les eaux de drainage et d'assainissement. C'est pour ça que les habitants de cette vallée ont creusé ce canal artificiel. Vu la nature sableuse du sol de la région et sa richesse en sel ainsi que la pente élevée dans certains tronçons du canal collecteur on observe un phénomène de démolition et d'érosion sur les berges et cela à son tour provoque d'autres problèmes de bouchage et d'ensablement.

Le passage de ce canal dans les zones chotteuses ou sableuses provoque la destruction des berges notamment à Temacine, Kerdache, Sidi Slimane, Bourkhis et Boufeggoussa. Les zones où la pente est élevée des turbulences provoquent de la destruction des berges à Sidi Slimane et Boufeggoussa.



Fig. 46 : Destruction des berges du canal en sable à cause des turbulences

V.5.4. Problème de la salinité :

Selon l'ABHS, l'accumulation des sels dans les sols a pour origine plusieurs facteurs dont les principaux sont : les eaux d'irrigation, les roches parentales plus ou moins salées, la très forte évaporation et surtout la concentration des sels, dans le temps en l'absence de drainage (dessalage).

Dans les sols halomorphes, la salinité maximum en surface peut atteindre les 50 mmhos/cm et décroît brusquement ou progressivement avec la profondeur. Cette teneur en sels dans les sols, qui est une contrainte pour l'agriculture peut être corrigée par un lessivage d'hiver. Le caractère de salinité des sols peut varier d'une façon quantitative et qualitatif surtout en présence d'un plan d'eau en relation étroite avec la dynamique des nappes saumâtres imposées par les conditions géomorphologiques et climatiques de la région.



Fig.47 : la salinité dans les palmeraies



Fig.48 : Palmeraies dégradés par la salinité

Du point de vue qualitatif, les sels solubles de l'extrait de pâte saturée sont dominés par le chlorure et représentent un fort taux de la saumure anionique totale. Selon les zones et parmi les cations, le sodium vient en première place. Le pH de ces sols halomorphes est souvent alcalin, résultant surtout d'une importante teneur en gypse.

V.6. Analyse des causes principales de cette problématique

V.6.1. La croissance démographique :

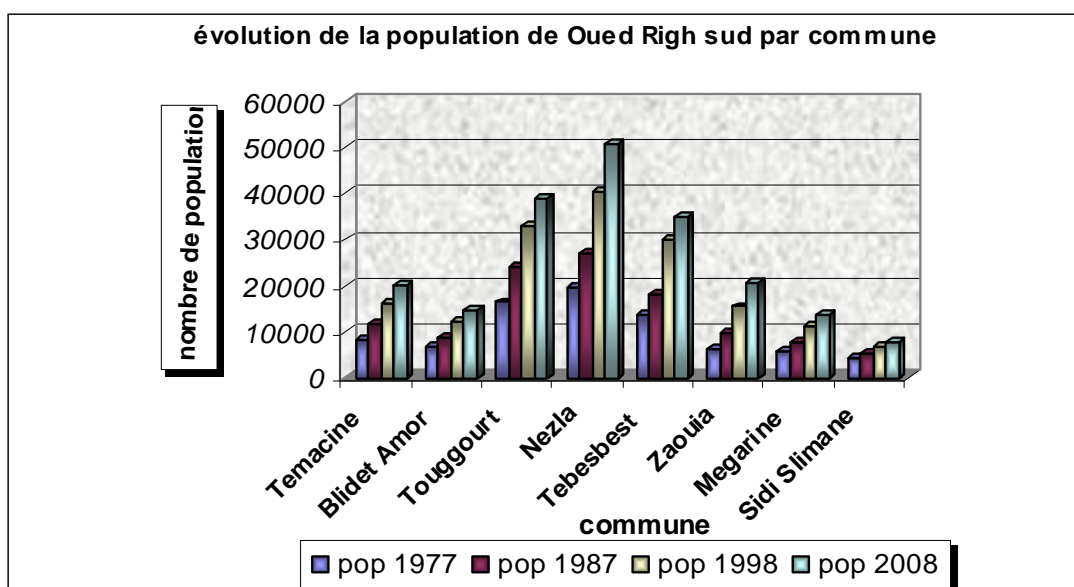
V.6.1.1. L'évolution de la population :

La population, constitue à la fois, l'objet et le but de toute action de gestion des eaux. Sa répartition, sa densité et son évolution déterminent et guident l'action de celle-ci. Tenir compte de ses éléments, c'est mettre de son côté toutes les chances de réussite.

La vallée Sud d'Oued Righ totalisait 200916 Habitants en 2008, alors qu'elle comptait 81600 habitants en 1977, Le tableau 28 donne une idée sur l'évolution de la population à travers toutes les communes de la région d'étude :

Tableau 34 : Evolution de la population d'Oued Righ Sud par commune

commune	Population 1977	Population 1987	Population 1998	Population 2008
<i>Temacine</i>	8300	11583	15933	20011
<i>Blidet Amor</i>	6800	8610	12135	14529
<i>Touggourt</i>	16400	23978	32940	38877
<i>Nezla</i>	19600	27178	40524	50595
<i>Tebesbest</i>	13800	18268	29840	34866
<i>Zaouïa</i>	6400	9546	15381	20526
<i>Megarine</i>	5900	7871	10996	13661
<i>Sidi Slimane</i>	4400	5137	6822	7851
Total	81600	112171	164571	200916

**Fig.49** : L'évolution de la population d'Oued Righ Sud par commune

3.1.2. Répartition de la population par commune :

La densité qui est un caractère dont l'étude est nécessaire donne une vision du cadre de découpage de l'espace des unités dans lequel ont été collectés ou peuvent être calculés les chiffres de la population. Nous constatons à travers les données de l'année 2008 que la densité moyenne est de l'ordre de **384.97 hab/km²**.

Tableau 35 : Répartition de la superficie, la population et la densité de la population par commune

<i>Commune</i>	<i>Population 2008</i>	<i>Superficie km²</i>	<i>Densité hab /km²</i>
Temacine	20011	300	66,70
Blidet Amor	14529	250	58,12
Touggourt	38877	216	179,99
Nezla	50595	132	383,30
Tebesbest	34866	26	1341,00
Zaouïa	20526	30	684,20
Megarine	13661	285	47,93
Sidi Slimane	7851	635	12,36
TOTAL	200916	1874	/

Nous avons établi une carte qui résume la répartition des communes dans la région d'étude et qui donne une idée globale sur la densité de la population.

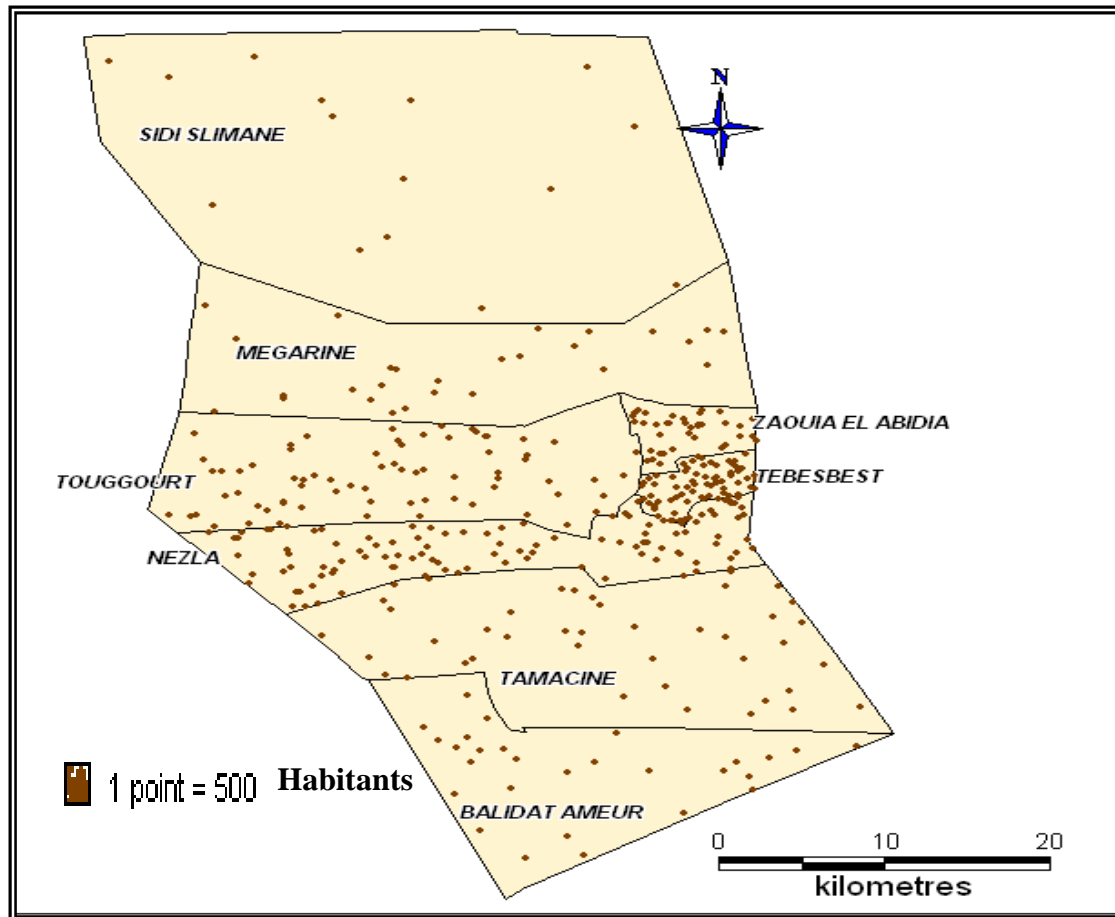


Fig.50 : la densité de la population dans la vallée d'oued Righ Sud

3.2. L'évolution du nombre des forages

Le nombre total des forages a progressé sur la vallée Sud d'Oued Righ au cours des années, il a passé de 180 en 1975 à 425 en 2004. Pour estimer le nombre des forages futurs dans la vallée Sud d'Oued Righ nous avons choisi la méthode de la régression et corrélation linéaire. Cette théorie constitué la base sur laquelle les estimations d'une variable dépendante peuvent être fait à partir de la connaissance des valeurs d'une ou de plusieurs variable indépendantes, donc l'objectif essentiel de l'analyse en régression est l'estimation de Y à partir de X par l'équation d'une droite : $y = a x + b$.

Le coefficient de corrélation **R** exprime le degré d'association entre une variable et une autre

Si $R=1$ dépendance fonctionnel direct.

Si $R= 0.8$ à 1 une bonne corrélation direct.

Si $R= 06$ à 08 une corrélation direct modérée.

Si R= 0 à 06 la corrélation est insuffisante.

Le nombre de forage est estimé par la régression linéaire entre les années et le nombre des forages cette régression nous a donné l'équation suivante : $Y=9.0065x-17626$

Où : y : le nombre de forages et x : les années.

R = 0.97 ce qui exprime par une bonne corrélation entre les années et le nombre de forages

Les résultats obtenus par cette équation montrent que le nombre de forages augmente d'une année à l'autre et atteint 747 forages en 2040. Le tableau donne le nombre des forages estimés.

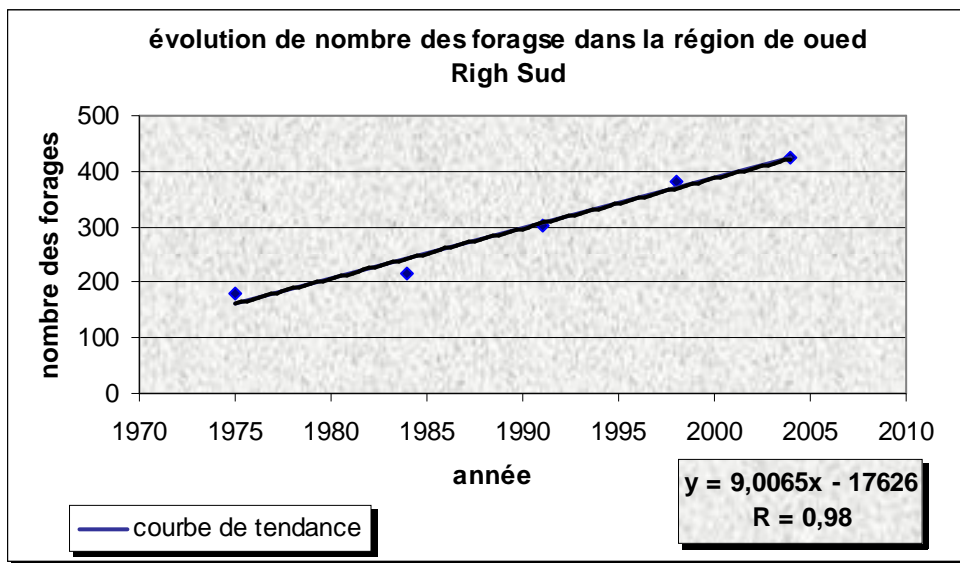


Fig.51 : la courbe d'évolution du nombre des forages dans la région d'Oued Righ Sud

Tableau 36 : Nombre de forages réels

Année	forages
1975	180
1984	216
1991	301
1998	380
2004	425

Tableau 37 : Nombre de forages estimés

Année	forages
2010	477
2020	567
2030	657
2040	747

3.3. Le développement agricole

Une véritable révolution agricole s'est développée au cours de ces dernières années, encouragée par les aides et les appuis de l'état, par des aides financières, directes à travers des dons, ou indirectes par une fourniture du matériel et équipements agricoles, des engrais... ;

La culture des palmiers est fondamentale dans la région d'Oued Righ et représente la part du lion. Elle est particulièrement adaptée au climat comme tout le bas Sahara, et correspond à des oasis de palmeraies utilisant seulement les eaux souterraines, donc les palmeraies ont sans doute, un rôle dans le maintien des groupes humaines au sein de cette zone aride.

La figure Montre clairement l'évolution du nombre des palmiers de 1998 à 2008 et les résultats obtenus par l'équation de la régression linéaire entre les années et le nombre des palmiers a montrée que le nombre des palmiers sera le double en 2050 et atteint 2.131 millions palmiers.

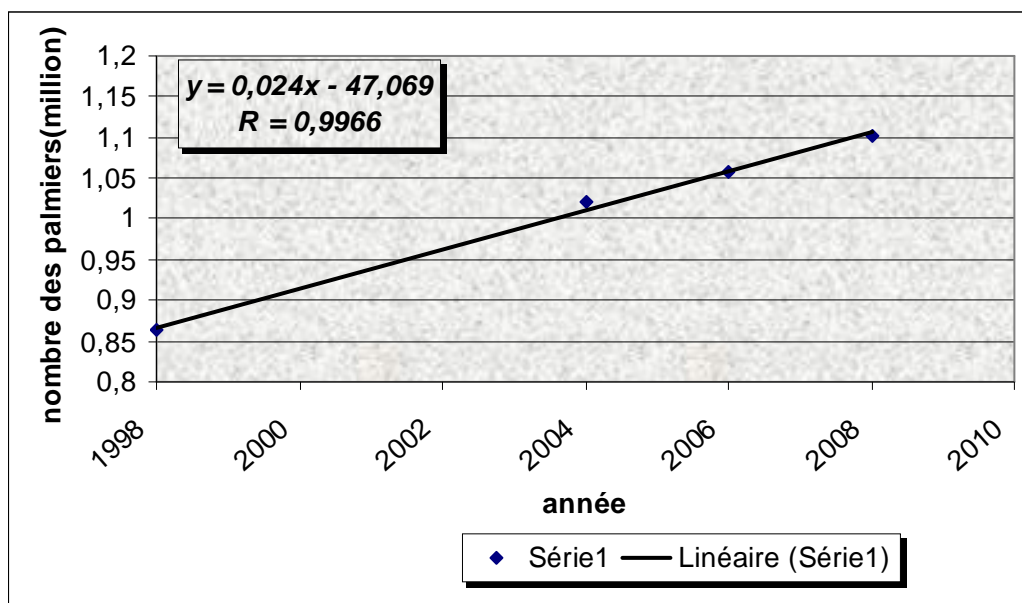


Fig.52 : la courbe d'évolution du nombre des palmiers dans la vallée d'Oued Righ Sud

Tableau 38 : Nombre des palmiers réels

Années	nombre des palmiers (million)
1998	0,864
2004	1,02
2006	1,058
2008	1,102

Tableau39 : Nombre des palmiers estimés

Années	nombre des palmiers (million)
2010	1,171
2020	1,411
2030	1,651
2040	1,891
2050	2,131

Cette situation s'interprétait par une augmentation persistante des besoins en eau, en conséquence, une mobilisation plus importante des ressources hydriques dans la région.

3.4. Les rejets des eaux usées

Le canal Oued Righ reçoit les eaux de drainage ainsi que les eaux usées, les volumes réutilisables ont été déterminés en tenant compte les volumes des eaux usées. En effet, ces derniers ont été soustraits des volumes totaux. De même, pour cette projection el sera tenu compte uniquement des débits provenant à partir de la limite territoriale de la wilaya d'el oued. de ce fait, le débit mesuré à sidi Amrane ne sera pas comptabilisé d'autant plus que ces eaux proviennent de la wilaya de Ouargla.

Fig. 53 : Les rejets des eaux usées dans le canal d'Oued Righ



Tableau 40 : la situation de l'assainissement et des rejets des eaux usées

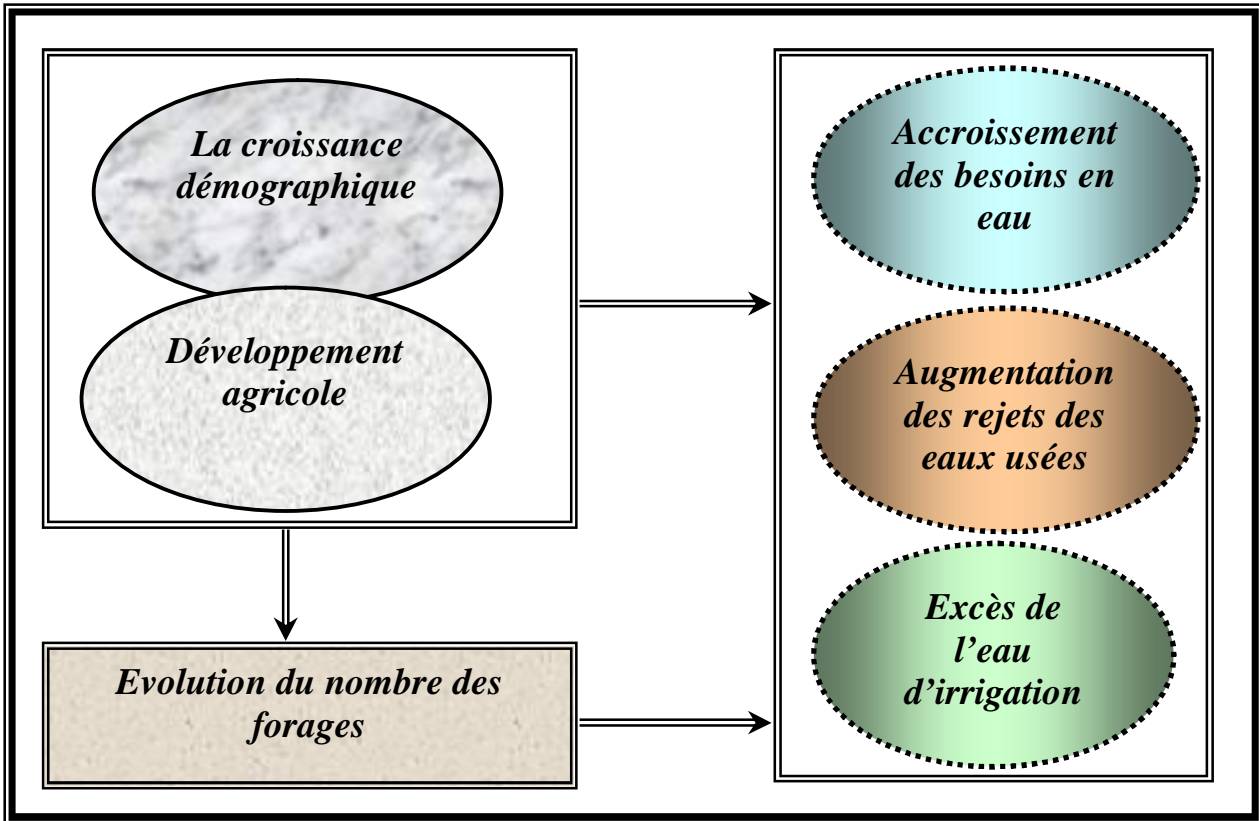
COMMUNES		DEBIT EAUX USEES (M ³ /J) Q _{moy}
SIDI AMRANE	CHEF LIEU	1895,07
	AIN CHOUCHA	455,78
	EL HORA	159,47
	TAMARNA EL DJADIDA	314,1
	ZAOUALIA	394,37
	CHEMORA	219,34
	HAÏ EL AMEL	158,21
	MANSOURA	140,82
TOTAL		3737,16
DJAMAA	CHEF LIEU	8462,5
	SIDI YAHIA	158,54
	MAZAR ZAOUIA	1304,18
	TIGUEDIDINE	1160
TOTAL		11085,22
TINDLA	CHEF LIEU	1219,46
	EL AGHIANE	363,22
	EL BARED	80,66
TOTAL		1663,34
SIDI KHLIL	CHEF LIEU	392,99
	KSAR KADIM	390,94
	AIN CHIKH	358
TOTAL		1141,93

4. Interaction entre les différents facteurs liés sur le secteur hydraulique :

La croissance démographique et le développement agricole sont les plus importants facteurs qui agît sur l'évolution du nombre des forages ; ce qui traduit par l'accroissement des besoins en eau, l'augmentation des rejets des eaux usées et l'excès de l'eau d'irrigation. Ces différents facteurs mènent à un état instable des ressources en eau, traduits par la remontée de la nappe phréatique, La chute de l'artésianisme, La dégradation du canal de Oued Righ et Le problème de salinité.

Par conséquent, ces différents problèmes sont accompagnés par des impacts négatifs sur le secteur sanitaire, agricole et environnemental.

Phase 01 : les causes principales de la problématique



Phase 02 : les problèmes posés

Phase 03 : les conséquences de ces problèmes

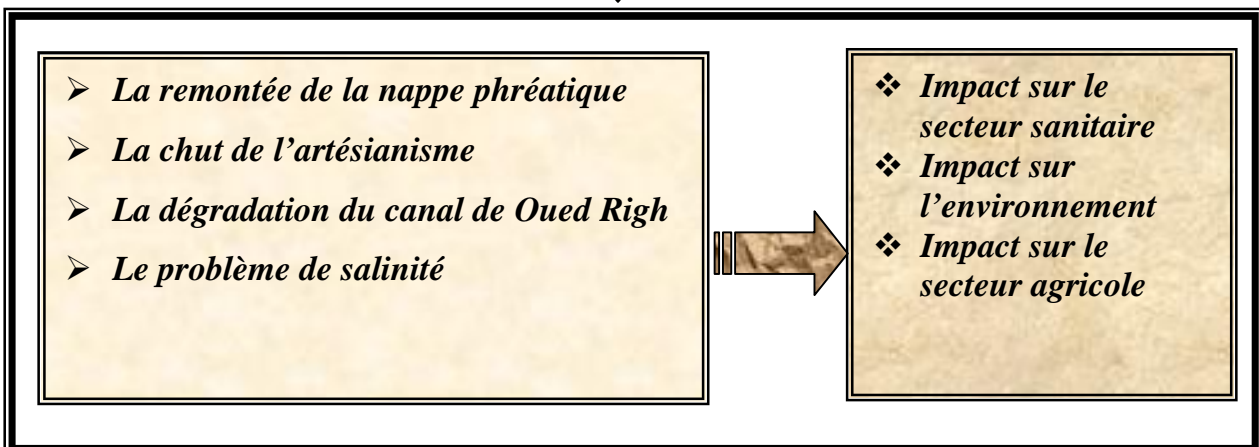


Fig.54 Interaction entre les différents secteurs liés à l'eau et leurs impacts sur la vallée Sud d'Oued Righ

Conclusion

Les eaux de surface de notre région sont présentées par :

Les lacs de Megarine et de Temacine qui se présentent en une dépression qui est a priori un exutoire naturel des eaux d'irrigation drainées salées à plus de 10 g/l de résidu sec, et ce à partir des palmeraies limitrophes.

Le canal de l'Oued Righ qui a été creusé en 1925 avec des méthodes traditionnelles et annuelles par la population de la région. L'analyse des paramètres hydrauliques qui ont été calculés a montré qu'il y a une nette augmentation du débit du canal entre la station de Sidi Slimane et celle de **Ranou** ce qui explique qu'il existe un apport important en eaux de drainage à partir des palmeraies.

Le canal joue le rôle de collecteur principale de ces eaux qu'il conduit jusqu'à l'Oued **Khoulouf** puis chott **Merouane** Avec un débit de 5000 l/s (un débit vraiment intéressant)

VI -Analyses des eaux du canal Oued Righ

VI-1-Introduction

Des échantillons d'eau ont été prélevés et dirigés pour analyses physico-chimiques à l'ANRH, les métaux lourds au niveau de la **SEAL** et enfin les analyses bactériologiques au niveau de l'hôpital de **Tougourt**, les résultats sont énumérés dans le tableau.

Tableau 41: Résultats d'analyses des eaux du canal Oued Righ

Désignation des paramètres physico-chimiques	Unités	Sidi Amrane	Djamâa (Zaouiet Riab)	Tindla (Sidi Abed)	Sidi Khelil	Conc. moyennes
Date de prélèvement	--	18/05/2009	18/05/2009	18/05/2009	18/05/2009	--
Heures de prélèvement	--	08h05	08h44	09h35	10h30	--
N° Laboratoire (ANRH)	--	440	439	441	442	--
Conductivité	µS/cm	23.800	21.400	21.100	21.400	21925
pH	--	7,40	7,60	7,40	7,60	7,50
Calcium (Ca ²⁺)	(mg/l)	715,00	730,00	755,00	601,00	700,25
Magnésium (Mg ²⁺)	(//)	620,00	595,00	595,00	189,00	499,75
Sodium (Na ⁺)	(//)	3.700	3.250	3.450	4.000	3.600
Potassium (K ⁺)	(//)	50,00	41,00	32,00	32,00	38,75
Chlorures (Cl ⁻)	(//)	7.500	6.500	6.900	5.580	6.620
Sulfates (SO ₄ ²⁻)	(//)	4.500	4.160	3.960	3.680	4.075
Bicarbonates (HCO ₃ ⁻)	(//)	282,00	484,00	255,00	331,00	338,00
Carbonates (CO ₃ ²⁻)	(//)	00,00	00,00	00,00	00,00	00,00
Résidu sec (105 °C)	(//)	20.328	16.670	17.016	16.265	17.570
Minéralisation	(//)	17.850	16.050	15.825	16.050	16.445
Silice (SiO ₂)	(//)	46,40	55,80	59,90	50,90	53,25
Dureté Totale (TH)	(°F)	437,00	439,00	437,00	229,00	385,50
Dureté Totale (TH)	(mg/l CaCO ₃)	4.370	4.390	7.370	2.290	3.855
Titre Alcalimétrique Complet (TAC), (Alcalinité)	(°F)	23,00	39,00	21,10	27,00	27,53
Titre Alcalimétrique Complet (TAC), (Alcalinité)	(mg/l CaCO ₃)	230,00	390,00	211,00	270,00	275,50
Désignation des paramètres de pollution	Unités	Sidi Amrane	Djamâa (Zaouiet Riab)	Tindla (Sidi Abed)	Sidi Khelil	Conc. moyennes
Ammonium (NH ₄ ⁺)	(mg/l)	> 2,00	> 2,00	> 2,00	> 2,00	> 2,00
Nitrites (NO ₂ ⁻)	(//)	0,154	0,199	0,199	0,199	0,190
Nitrates (NO ₃ ⁻)	(//)	1,80	3,60	5,70	8,50	4,90
O-Phosphates (O-PO ₄ ³⁻)	(//)	1,102	0,887	0,643	0,459	0,775
Matières organiques (M.O)	(//)	90,00	88,00	87,00	92,00	89,25
Désignation des éléments de trace (métaux lourds)	Unités	Sidi Amrane	Djamâa (Zaouiet Riab)	Tindla (Sidi Abed)	Sidi Khelil	Conc. moyennes
Chrome (Cr)	(mg/l)	0,206	0,157	0,204	0,206	0,195
Cadmium (Cd)	(//)	0,075	0,057	0,062	0,065	0,065
Cuivre (Cu)	(//)	0,057	0,049	0,052	0,052	0,055
Nickel (Ni)	(//)	0,078	0,283	0,088	0,276	0,180
Plomb (Pb)	(//)	0,847	0,791	0,732	0,780	0,800
Zinc (Zn)	(//)	0,048	< 0,02	0,035	0,042	0,040
Désignation des paramètres bactériologiques	Unités	Sidi Amrane	Djamâa (Zaouiet Riab)	Tindla (Sidi Abed)	Sidi Khelil	Conc. moyennes
Coliformes fécaux	(Ge / 100 ml)	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴
Coliformes totaux	(//)	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴
Entérocoques	(//)	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴	11 x 10 ⁴
Staphylocoques pathogènes	(Ge / ml)	Absence	Absence	Absence	Absence	Absence
Clostridium Sulfito-réducteurs	(Ge / 20ml)	IND	IND	IND	IND	IND

VI-2 -La salinité

Toutes les eaux analysées sont très fortement minéralisées, leurs taux de salinité oscillent entre 16,50 g/l et 17,85 g/l, soit 16,45 g/l en moyenne ; les principaux sels responsables de cette salinité sont les chlorures de sodium (Na Cl) en particulier, les sulfates de magnésium $MgSO_4$ ainsi que les sulfates de calcium ($Ca SO_4$) (voir figure 4). Les valeurs de la conductivité électrique enregistrées sont de 21400 $\mu S/cm$ à Djamaa, 23800 $\mu S/cm$ à **Sidi Amrane**, 21100 $\mu S/cm$ à **Tindla** et enfin 21400 à **Sidi Khelil**. Ces taux viennent le confirmer le risque salin très élevé (C4) des eaux analysées (se référer aux tableaux 2 et 12 en annexe).

Une valeur élevée de la salinité signifie une grande 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 comme c'est notre cas peut causer des brûlures racinaires. Une concentration en sels excessive dans le sol se traduit notamment, au niveau des plantes, par des retards ou des difficultés de germination et par une diminution de la croissance. La tolérance des plantes à la présence de sels varie selon les espèces voir (tableau 22) : Parmi les plantes sensibles figurent la plupart arbres fruitiers tels que : le poirier, pommier, oranger, prunier, amandier, abricotier, citronnier, ainsi que quelques cultures maraichères tels que : céleri, haricot, carotte, la laitue. De même certaines restrictions sont envisageables concernant les cultures fourragères telles que les trèfles.

Les résultats d'analyses des eaux montrent clairement le caractère pollué et salin des eaux. En effet, la minéralisation des eaux est de 16 g/l avec une conductivité électrique variant entre 21,4 et 23,8 mmhos/cm et un SAR élevé inclus entre 21,65 et 36,45. L'analyse bactériologique révèle également la présence de bactéries pathogènes (coliformes, entérocoques et des clostridium) et donc une pollution d'origine fécale. Ces résultats confirment les observations sur terrain puisque nous avons remarqué la présence de rejets d'eaux usées notamment dans la zone de Tindla.

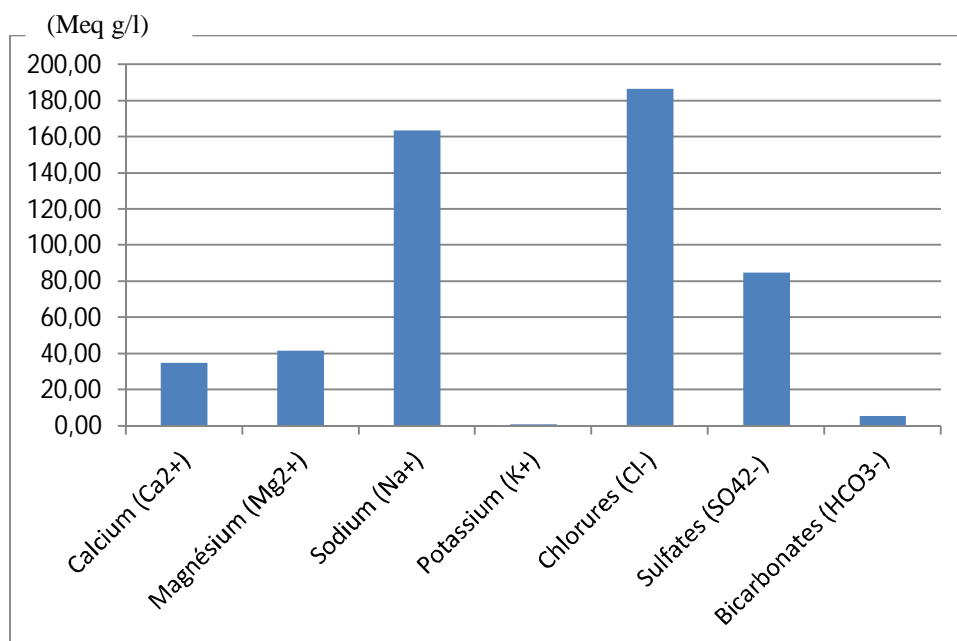


Fig.55: Représentation en barres des cations et anions.

Les analyses indiquent une présence excessive de sels, à prédominance chlorure de sodium. L'alcalinité, sous forme de bicarbonates est relativement faible, indiquant toutefois qu'il est nécessaire d'apporter de l'alcalinité carbonatée sous forme de soude si une précipitation chimique est envisagée, en plus de la chaux. Ce qui contribuera à élever la concentration du sodium (Na) dans l'eau. Les techniques de traitement à envisager pour les eaux de drainage, vu l'importance du taux de la salinité qui est de 16g/l (moitié de la salinité des eaux de la méditerranée), sont celles utilisées pour le dessalement des eaux de mer.

VI -3-Rapport d'adsorption du sodium (SAR)

Selon la concentration et le type d'ions présents dans l'eau pour apprécier les risques liés à une teneur relative excessive en sodium (risque alcalin) on compare celle en ions Na⁺ et celle en ions Ca⁺⁺ et Mg⁺⁺ qui eux sont des agents de floculation au moyen des paramètres

suivant :

$$S.A.R = \frac{Na^+}{\left(\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2} \right)^{0,5}}$$

Concernant les données relatives aux rapports d'adsorption du Sodium (SAR (Sodium Adsorption Ratio)), celles-ci sont élevées. En effet, le SAR est de 21,65 à **Djamaa**, 24,43 à **S.Amrane**, 22,79 à **Tindla** et enfin 36,45 à **Sidi Khelil**.

VI-4- Classification des eaux

Afin d'apprécier la qualité physico-chimique des eaux du canal d'l'Oued **Righ**, nous avons utilisé le diagramme de classification des eaux d'irrigation (D'après Saline and alkali soils). Ce diagramme fait intervenir la conductivité électrique (CE) ainsi que le SAR pour évaluer le risque de salinisation et le risque de sodisation. Dans la figure suivante sont classées les eaux échantillonnées respectivement à **Djamaa** (1), **Sidi Amrane** (2), **Tinedla** (3) et **Sidi Khelil** (4).

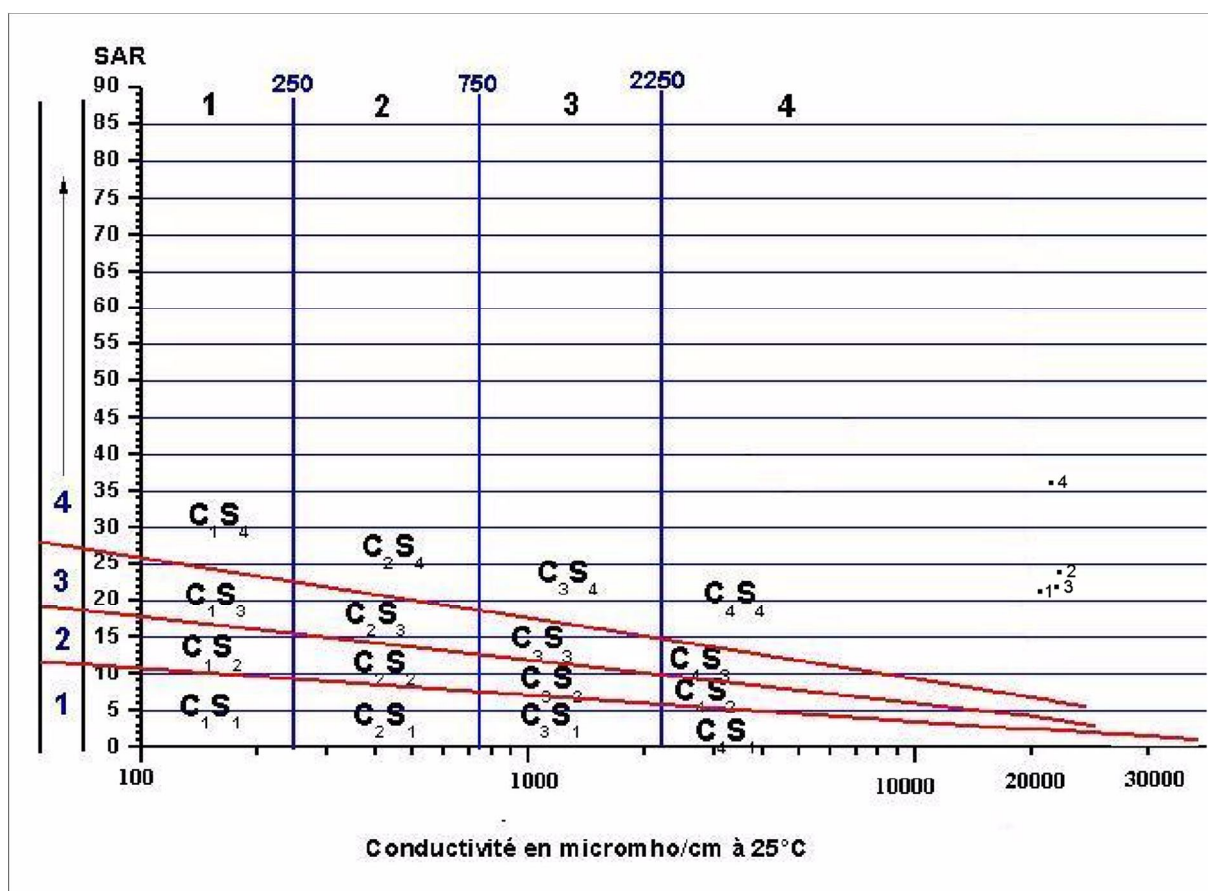


Fig.56: classifications des eaux du canal Oued Righ.

D'après la figure les eaux sont classées C₄-S₄ avec un risque de salinisation et sodisation très élevés

VI-5- Paramètres bactériologiques

Les eaux analysées présentent aussi une très mauvaise qualité bactériologique, du faite de la présence des coliformes totaux et fécaux, des entérocoques (11×10^4 Ge/100ml) et des Clostridium Sulfito-réducteurs (Non quantifiable) ; cette forte pollution microbienne d'origine fécale semble provenir des effluents déversés sans traitement par les localités déjà évoquées.

A la lumière des résultats précédents, le traitement des eaux s'avère indispensable afin de rendre possible la réutilisation de ces eaux pour l'irrigation. En effet, ces eaux doivent être épurés et déminéralisés. Pratiquement, il est très difficile d'épurer une eau saumâtre vu l'effet négatif de la salinité sur les microorganismes épurateurs (les boues) par conséquent, les eaux usées doivent être épurées avant d'être rejetées dans le canal.

Dans le cas des communes précitées, l'épuration des eaux usées sera prise en charge dans le cadre du projet d'étude du schéma directeur pour l'assainissement et le drainage des six communes. Les rejets de la ville de Touggourt doivent faire l'objet du même traitement au même titre que tous les autres rejets d'eaux usés le long de la vallée de Oued Righ.

Concernant les eaux de drainage, ces derniers subiront un dessalement afin de réduire le taux de sel.

VI-6- conclusion :

Les résultats d'analyses des eaux montrent clairement le caractère pollué et salin des eaux. En effet, la minéralisation des eaux est de 16 g/l avec une conductivité électrique variant entre 21,4 et 23,8 mmhos/cm et un SAR élevé inclus entre 21,65 et 36,45. L'analyse bactériologique révèle également la présence de bactéries pathogènes (coliformes, entérocoques et des clostridium) et donc une pollution d'origine fécale.

VII-1- Introduction :

Dans les paragraphes suivants nous allons décrire à titre indicatif les principaux procédés d'épurations et de dessalement. L'élimination des impuretés contenues dans les eaux usées est obtenue par les trois principaux procédés suivants :

- Procédés physiques ;
- Procédés physico-chimiques ;
- Procédés biologiques.

VII.1.1. Les Procédés Physiques :

Les traitements physiques visent essentiellement à conditionner l'eau en vue d'un traitement secondaire ou en vue d'un rejet dans le milieu naturel récepteur lorsque cela est toléré. Ces procédés regroupent :

- Les prétraitements : on distingue le dégrillage, le dessablage, le déshuilage-dégraissage
- Les traitements primaires : Le processus principal du traitement primaire se fait généralement par une technique de séparation liquide solide, basé sur le phénomène de sédimentation, mais peut se faire par flottation dans un décanteur. La décantation primaire permet ainsi d'éliminer jusqu'à 30 % à 35% de DBO et 60 % environ de matière en suspension de l'effluent prétraité.

On regroupe sous le vocabulaire de procédés **Physico-chimiques** tous les prétraitements chimiques, électrochimiques et même thermiques utilisés pour différentes opérations allant de la coagulation - floculation à la précipitation et l'absorption.

VII.1.2. Les Procédés Biologiques :

Les procédés biologiques permettent la transformation des éléments présents sous forme soluble ou colloïdale en éléments floculables permettant leur séparation de la phase liquide.

Le traitement biologique est un traitement secondaire des eaux usées. L'avantage du traitement biologique est basé sur l'anabolisme et le catabolisme bactérien, ayant pour but l'intensification et la reproduction des phénomènes d'autoépuration naturels à l'échelle d'un bassin d'aération artificiel par multiplication de la population bactérienne par unité de volume en maintenant une bonne alimentation en oxygène.

Pour assurer un bon mélange entre substrat et biomasse, on doit assurer un meilleur brassage des eaux.

Cette technique d'épuration est utilisée couramment dans le cas des effluents urbains caractérisés par une grande biodégradabilité.

Les principaux procédés d'épuration biologique rencontrés sont classés en deux types de cultures bactériennes libres et fixés.

Les procédés à culture fixe reproduisent industriellement l'effet épurateur du sol où la culture bactérienne (appelée aussi "biofilm", "film biologique" ou "biomasse") repose sur un support (caillou, plastique, milieu granulaire fin). Ils font généralement appel à deux (02) techniques répandues:

- Lits bactériens ;
- Disques biologiques.

Les procédés à cultures libres dans lesquelles la culture bactérienne est maintenue en suspension dans le courant des eaux usées à traiter sont :

- Le lagunage ;
- Les boues activées.

Dans le tableau suivant sont résumés les avantages et inconvénients des procédés de traitements :

Tableau 42 : Avantages et inconvénients des procédés d'épuration :

Procédé d'épuration	Avantages	Inconvénients
Lagunage	<p>L'oxygène est essentiellement assuré par l'activité photosynthétique des plantes ;</p> <p>Consommation d'énergie très réduite (acheminement des eaux par gravité) ;</p> <p>Elimination d'un grand pourcentage de pollution biodégradable ;</p> <p>Production minimale de boue en excès.</p>	<p>Contrôle et exploitation difficile du processus de fermentation ;</p> <p>Nécessité d'un grand espace (terrains vastes) et exige que ceux-ci soient éloignés des zones habitées ;</p> <p>Temps de séjour assez grand (jusqu'à 60 jours et plus) ;</p> <p>Dégagement de mauvaises odeurs (particulièrement pour les bassins anaérobies.</p> <p>Mauvaises odeurs, Moustiques</p>
<p>Conclusion : Le lagunage est un procédé ancien rarement utilisé actuellement et exige de très vastes espaces .Il est surtout utilisé pour les petites agglomérations.</p>		
Lits bactériens	<p>Faible entretien ;</p> <p>Exploitation facile ;</p> <p>Sensibilité relativement faible aux floculations de charge ;</p> <p>Economie d'énergie ;</p> <p>Rendement d'épuration très élevée (65-90%) ;</p> <p>Faible consommation d'énergie ;</p> <p>Bonne dilatabilité des boues ;</p> <p>Champ d'application moyenne et petite collectivité.</p>	<p>Colmatage facile ;</p> <p>Nécessite de prétraitement efficaces ;</p> <p>Décanteur primaire obligatoire ;</p> <p>Sensible au froid ;</p> <p>Cher à l'investissement surtout pour le graissage plastique ;</p> <p>Dégagement de mauvaise odeur, et développement de mouche.</p>
Disque biologique	<p>L'exploitation de ce procédé est relativement simple ne nécessitant pas de recyclage ;</p> <p>Dépense faible d'énergie ;</p> <p>Entretien facile.</p>	<p>Décanteur primaire nécessaire ;</p> <p>Ce procédé pose des problèmes dans la concentration et entretien et exige un personnel qualifié ;</p> <p>Il est aussi très sensible, grâce et à l'apport brutal de produits toxiques ;</p> <p>Dégagement de mauvaises odeurs à l'origine.</p>
<p>Conclusion : Ces stations sont surtout conçues pour les petites et moyennes agglomérations jusqu'à 5000 habitants.</p>		

Boues activées	<p>Sécurité en ce qui concerne le degré d'épuration des eaux traitées, du fait que les facteurs d'influence les plus importants, par exemple apport d'eau résiduaire, et de masse bactérienne (boue activée), sont contrôlables,</p> <p>ne plus grande efficacité, du fait que ce procédé est beaucoup moins dépendant de la température,</p> <p>une phase de démarrage plus courte (moins de deux semaines)</p> <p>absence totale d'odeurs et de mouches</p> <p>Forte concentration en biomasse ;</p> <p>Oxydation poussée de la matière organique ;</p> <p>Réglage de la concentration en biomasse par recyclage.</p> <p>Très grandes résistances aux variations de température ;</p> <p>Adaptée pour toute taille de collectivité (sauf les très petites) ;</p> <p>Bonne élimination de l'ensemble des paramètres de pollution (MES, DCO, DBO₅, N par nitrification et dénitrification) ;</p> <p>Adapté pour la protection de milieux récepteurs sensibles ;</p> <p>Boues bien stabilisées ;</p> <p>Facilité de mise en œuvre d'une déphosphatation simultanée.</p>	<p>Coût de construction élevé ;</p> <p>Coût d'exploitation élevé dû à une consommation d'énergie très importante ;</p> <p>Déshydratation difficile ;</p> <p>Nécessité de personnel qualifié et d'une surveillance régulière;</p> <p>Sensibilité aux surcharges hydrauliques pour la moyenne charge;</p> <p>Forte production de boues qu'il faut concentrer.</p>
Conclusion : C'est le procédé le plus utilisé actuellement.		

VII-2- Le Dessalement

Les technologies actuelles de dessalement des eaux sont classées en deux catégories, selon le principe appliqué :

- Les procédés thermiques faisant intervenir un changement de phases : la congélation et la distillation.
- Les procédés utilisant des membranes: l'ultrafiltration, la nanofiltration, l'osmose inverse et l'électrodialyse.

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés sur le marché mondial du dessalement. Les autres techniques n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent.

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagée, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes :

- une prise d'eau de mer avec une pompe et un dégrillage grossier,
- un prétraitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits anti-tarte, (protection des systèmes de dessalement)
- le procédé de dessalement lui-même,
- le post-traitement (désinfection si nécessaire).

A l'issue de ces 4 étapes, l'eau de mer est rendue potable ou utilisable industriellement, elle doit alors contenir moins de 0,5 g de sels par litre ou une dose convenant à son utilisation.

VII-2-1-Les Technologies Membranaires

Les technologies membranaires emploient une membrane comme barrière positive entre l'eau non traitée et l'eau filtrée qui a pénétré par les pores microscopiques de la membrane. Les capacités de filtration des membranes sont classifiées selon le spectre suivant (établi selon la taille des pores) :

- Microfiltration (MF)
- Ultrafiltration (UF)
- Nanofiltration (NF)
- Osmose inverse (OI)

Les membranes de NF et d'OI sont habituellement opérées selon un mode d'écoulement tangentiel, ayant une entrée pour l'eau brute, une sortie pour l'eau filtrée (perméat) et une autre pour le rejet (concentrât ou retentât). Plus récemment, des modes de filtration en circuits où le rejet est momentanément bloqué sont mis en œuvre afin de favoriser des taux de recouvrement plus élevés.

VII-2-1-1-La Microfiltration

Cette technologie est définie comme un procédé de séparation solide-liquide dont la plage de seuils de coupure varie entre 0,1 μm et 10 μm . La microfiltration permet de retenir les particules en suspension, les protozoaires (crysosporidium et giardia), les bactéries, les lipides et les graisses ainsi que certaines macromolécules. Elle est utilisée, entre autre, pour la production d'eau potable et pour le traitement des eaux usées.

VII-2-1-2-L'ultrafiltration

L'ultrafiltration permet une filtration plus fine que la microfiltration dans une plage de seuils de coupure de 0,01 μm à 0,1 μm . Elle permet de retenir l'ensemble des bactéries, des virus ainsi que la plupart des molécules telles les protéines et les polymères organiques de haut poids moléculaire. Elle est utilisée pour différentes applications comme la production d'eau potable, le traitement des eaux usées ainsi que le traitement des eaux de procédés (industries agro-alimentaire, bio-industrie, pétrochimie et secteur municipal).

VII-2-1-3-La Nanofiltration

En plus de ce qui est retenu par les membranes d'ultrafiltration, les membranes de nanofiltration retiennent les ions divalents, les métaux lourds, la matière organique dissoute et les sucres. Elle permet d'obtenir une déminéralisation partielle de l'eau pour la production d'eau potable à partir d'une eau légèrement saumâtre. Cette technologie permet aussi la production d'eau potable à partir d'eaux de surface colorée. Elle peut aussi être utilisée pour concentrer la sève (sucres) pour la production de sirop d'érable.

Cette technique peut être perçue comme une filtration membranaire de type osmose inverse et de piètre qualité. En effet, la nanofiltration utilise des membranes moins fines, la pression d'alimentation d'un système de nanofiltration est généralement faible comparée à celle d'une osmose inverse. De plus le taux d'encrassement est plus faible qu'un système d'osmose inverse.

VII-2-1-4-L'osmose inverse

Lorsque deux milieux aqueux de salinités différentes sont séparés par une membrane semi-perméable, l'eau se diffuse par osmose vers le liquide le plus concentré pour le diluer. En appliquant une pression suffisante sur le liquide concentré, la diffusion de l'eau est alors

inversée. On parvient donc mécaniquement à inverser l'écoulement et à séparer la solution concentrée de ses constituants (voir figure) : l'eau et les éléments dissous dans celle-ci. Une partie constitue alors le perméat ou le filtrant et l'autre, le rejet ou le concentré.

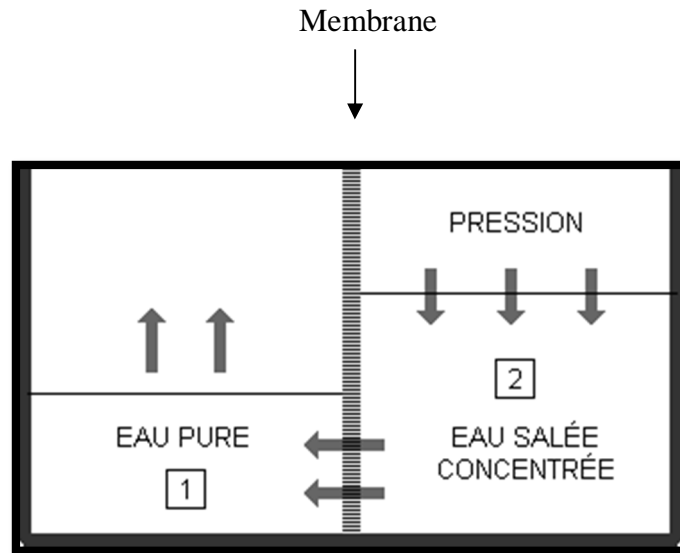


Fig. 57: schéma simplifié du principe de fonctionnement de l'osmose inverse.

L'osmose inverse est le type de filtration par lequel il est possible de séparer les éléments solides en suspension et les particules ioniques. Les membranes d'osmose inverse retiennent entre autres les sels aqueux, les rayons atomiques, les ions métalliques, etc. Ce procédé est utilisé principalement pour la déminéralisation ainsi que le dessalement. Globalement, ce dernier est effectué après trois étapes principales :

Le prétraitement, l'osmose inverse, le post-traitement. Celles-ci peuvent être subdivisées à leur tour suivant le schéma :

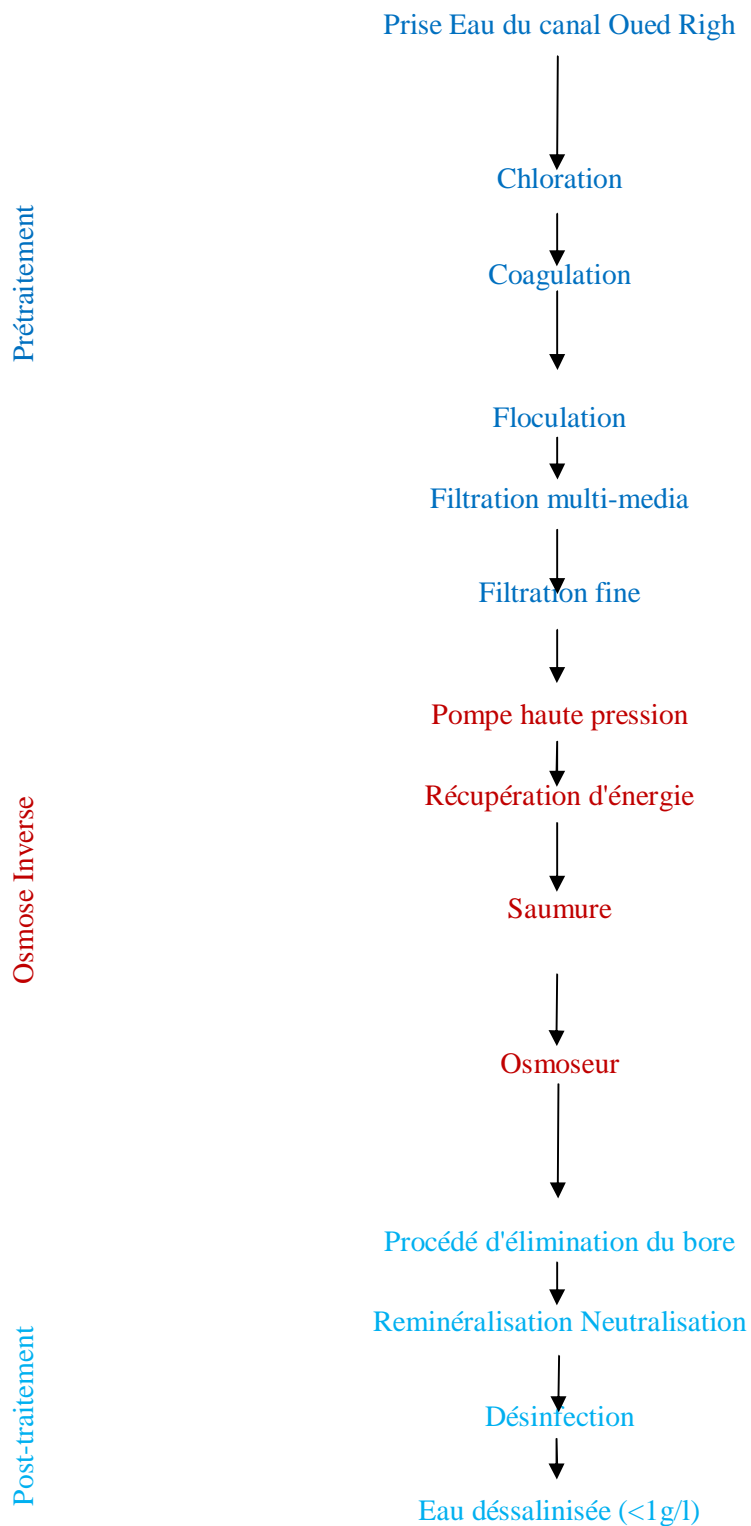


Fig. 58 : les différentes étapes de dessalement suivant l'osmose inverse.

Principe de fonctionnement :

C'est un procédé de séparation de l'eau et des sels dissous au moyen de membranes semi-perméables sous l'action d'une pression (54 à 80 bars pour le dessalement d'eau de mer). Les membranes polymères utilisées laissent passer les molécules d'eau et empêchent le passage des sels dissous et des molécules organiques d'une taille supérieure à 10^{-7} mm.

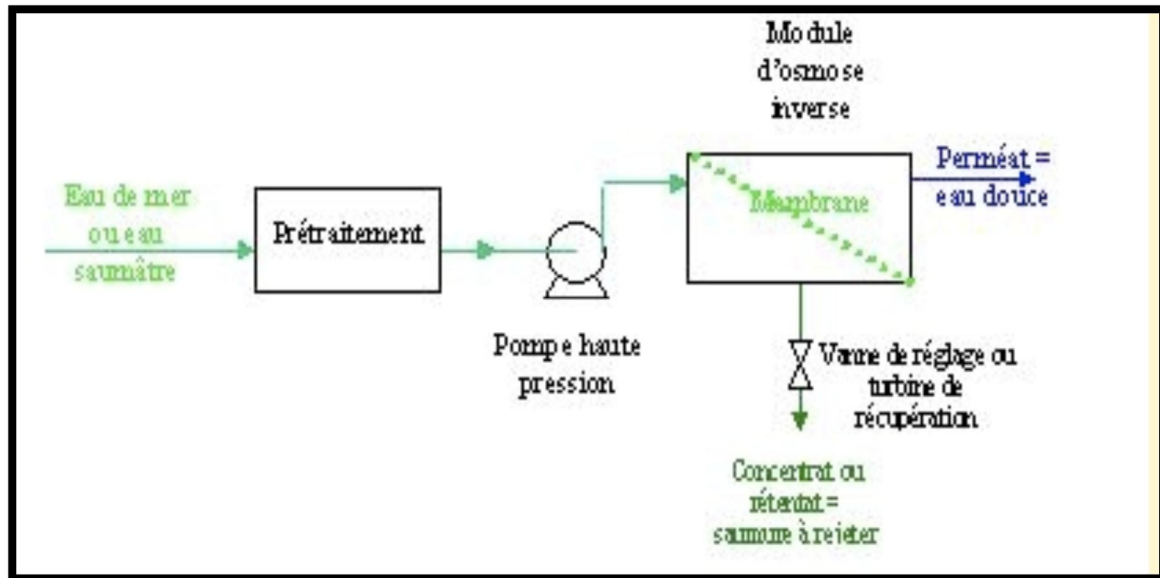


Fig.59 : Eléments constitutifs d'une unité d'osmose inverse

Le traitement par osmose inverse nécessite un pré - traitement très poussé pour éviter les dépôts sur les membranes qui entraîneraient rapidement une diminution de leur production. Il est nécessaire d'éliminer toutes les particules d'une taille supérieure à 5μ .

Ceci est réalisé l'aide d'une pré-filtration grossière, d'une filtration sur sable ou multicouches (éventuellement précédée d'une clarification avec ou sans floculation) et d'une filtration de finition sur cartouches (microfiltration à adsorption de surface), voire ultrafiltration. Il faut ensuite effectuer des traitements biocides et anti tartres (par acidification et/ou traitement par séquestrant³) pour éviter le développement de microorganismes sur les membranes et éviter la précipitation des carbonates.

La pompe haute pression permet ensuite d'injecter l'eau de canal dans le module d'osmose inverse dans lequel se trouvent les membranes.

Au cours du fonctionnement les molécules étant retenues d'un seul côté de la membrane, la pression à appliquer doit s'intensifier ; pour éviter cela on balaye la membrane du côté de la solution salée par un flux d'eau continu. Toute l'eau n'est pas filtrée car une partie sert à nettoyer la membrane.

L'eau rejetée est appelée retentât et l'eau ayant traversée la membrane est le perméat. Le rapport volume d'eau traitée / volume d'eau brute pompée, représente le taux de conversion, il est de l'ordre de 45 % dans les unités de dessalement récentes.

Afin de diminuer la consommation en énergie du procédé on récupère généralement une partie de l'énergie contenue dans le rétentat sous pression à l'aide d'une turbine.

Les membranes les plus couramment utilisées actuellement sont les membranes spiralées en polyamides (dites TFC).

Les avantages et inconvénients des usines d'osmose inverse :

Le dessalement par osmose inverse présente l'avantage d'être le moins coûteux comparé aux autres procédés notamment l'évaporation par distillation. De même, l'opération de dessalement se déroule à température ambiante ce qui évite la dégradation des molécules fragiles dans le domaine de l'agro-alimentaire. Le non utilisation de réactifs chimiques comme agent d'extraction qui sont source de pollution. Néanmoins, certains inconvénients existent :

- baisse de la perméabilité et modification de la sélectivité en cas de colmatage des membranes.
- Durée de vie limitée des membranes soit par perte de résistance mécanique soit par suite d'une mauvaise tenue aux réactifs utilisés pour le nettoyage.

VII-3- Les Procédés De Distillation

Dans les procédés de distillation, il s'agit de chauffer l'eau de mer ou l'eau saumâtre pour en vaporiser une partie. La vapeur ainsi produite ne contient pas de sels, il suffit alors de condenser cette vapeur pour obtenir de l'eau douce liquide. Il s'agit en fait d'accélérer le cycle naturel de l'eau. En effet l'eau s'évapore naturellement des océans et des cours d'eau, la vapeur

s'accumule dans les nuages puis l'eau douce retombe sur terre par les précipitations. Ce principe de dessalement très simple a été utilisé dès l'Antiquité pour produire de très faibles quantités d'eau douce sur les bateaux.

L'inconvénient majeur des procédés de distillation est leur consommation énergétique importante liée à la chaleur latente de vaporisation de l'eau. En effet pour transformer un kg d'eau liquide en 1 kg d'eau vapeur à la même température il faut environ 2250 kilojoules (si le changement d'état se fait à 100°C). Afin de réduire la consommation d'énergie des procédés industriels, des procédés multiples effets qui permettent de réutiliser l'énergie libérée lors de la condensation ont été mis au point.

Deux procédés se partagent le marché du dessalement thermique : le procédé de distillation à détente étagée (Multi-Stage Flash distillation MSF) et le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED).

VII-3-1 Le Procède De Distillation A Détentes Étagées (Multi-Stage Flash Distillation) (MSF)

Ce procédé dit Flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant toute la durée du chauffage ; lorsqu'elle atteint une température de l'ordre de 120°C, elle est introduite dans une enceinte (ou étage) où règne une pression réduite. Il en résulte une vaporisation instantanée par détente appelée Flash. Une fraction de l'eau s'évapore (voir figure 3) puis va se condenser sur les tubes condenseurs placés en haut de l'enceinte, et l'eau liquide est recueillie dans des réceptacles en dessous des tubes. C'est l'eau de mer chaude qui se refroidit pour fournir la chaleur de vaporisation, l'ébullition s'arrête quand l'eau de mer a atteint la température d'ébullition correspondant à la pression régnant dans l'étage considéré. Le phénomène de flash est reproduit ensuite dans un deuxième étage où règne une pression encore plus faible. La vaporisation de l'eau est ainsi réalisée par détente successives dans une série d'étages où règnent des pressions de plus en plus réduites. On peut trouver jusqu'à 40 étages successifs dans une unité MSF industrielle.

Pour chauffer la saumure ou l'eau de mer jusqu'à 120°C. Elle circule d'abord dans les tubes des condenseurs des différents étages en commençant d'abord par le dernier étage où la température est la plus faible, elle est alors préchauffée en récupérant la chaleur de condensation de la vapeur d'eau. Elle est finalement portée à 120 °C grâce à de la vapeur à une température supérieure à 120°C produite par une chaudière ou provenant d'une centrale de production d'électricité.

On remarque lors du phénomène de flash que des gouttelettes d'eau salée peuvent être entraînées avec la vapeur, elles sont séparées grâce à un dévésiculateur constitué par une sorte de grillage qui limite le passage des gouttelettes qui retombent alors au fond de l'enceinte.

L'avantage principal du procédé MSF est que l'évaporation de l'eau de mer ne se produit pas autour des tubes de chauffe puisque le liquide « flashe » ceci limite les risques d'entartrage.

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière, cette énergie peut être peu coûteuse si on récupère de la vapeur basse pression à la sortie d'une turbine de centrale électrique. Il faut également fournir de l'énergie électrique pour les pompes de circulation de l'eau de mer.

Le procédé MSF ne permet pas une flexibilité d'exploitation. Aucune variation de production n'est tolérée, c'est pourquoi ce procédé est surtout utilisé pour les très grandes capacités de plusieurs centaines de milliers de m³ d'eau dessalée par jour.

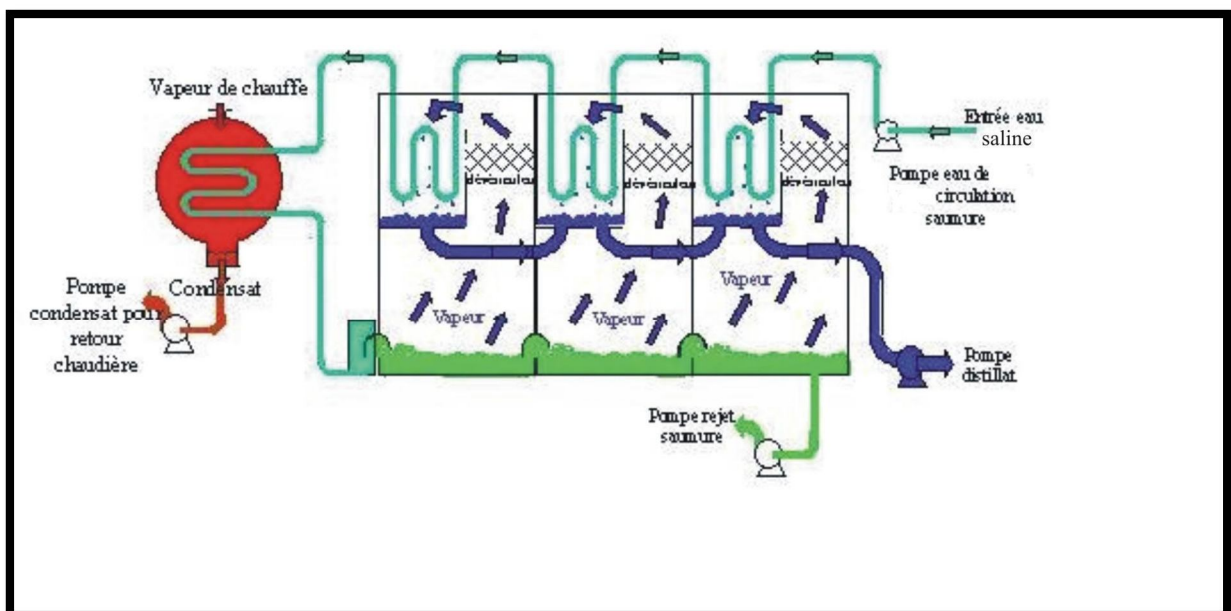


Fig.60: Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF) à 3 étages

VII-3- 2 Le procédé de distillation à multiples effets (Multi-Effect distillation MED)

Ce procédé est basé sur le principe de l'évaporation, sous pression réduite, d'une partie de l'eau de mer préchauffée à une température variant entre 70 et 80°C. L'évaporation de l'eau a lieu sur une surface d'échange, contrairement au cas du procédé précédent, où elle est assurée par détente au sein des étages successifs. La chaleur transférée au travers de cette surface est apportée soit par une vapeur produite par une chaudière, soit par une eau chaude provenant d'un récupérateur de chaleur. La vapeur ainsi produite dans le 1^{er} effet est condensée pour produire de l'eau douce dans le 2^{ème} effet où règne une pression inférieure, ainsi la chaleur de condensation qu'elle cède permet d'évaporer une partie de l'eau de mer contenue dans le 2^{ème} effet et ainsi de suite (voir figure 4). Ainsi seule l'énergie nécessaire à l'évaporation dans le premier effet est d'origine externe. La multiplication du nombre d'effets permet donc de réduire la consommation spécifique (énergie/m³ d'eau douce produite).

Plusieurs technologies d'évaporateurs multiples effets existent :

- Les évaporateurs multiples effets à tubes horizontaux arrosés sont les appareils les plus utilisés actuellement. Dans ces appareils le fluide de chauffage s'écoule dans les tubes horizontaux tandis que l'eau de mer à évaporer est arrosée de façon à s'écouler sous forme de film le plus uniforme possible sur l'extérieur des tubes. La vapeur produite dans la calandre (enceinte cylindrique qui contient le faisceau de tubes) est ensuite envoyée dans les tubes de l'effet suivant où elle cédera son énergie de condensation. Ces évaporateurs présentent un très bon coefficient d'échange grâce à l'écoulement en film de l'eau de mer. C'est la raison pour laquelle ils remplacent actuellement les plus anciens évaporateurs à faisceau de tubes noyés dans lesquels les tubes étaient plongés dans l'eau de mer.

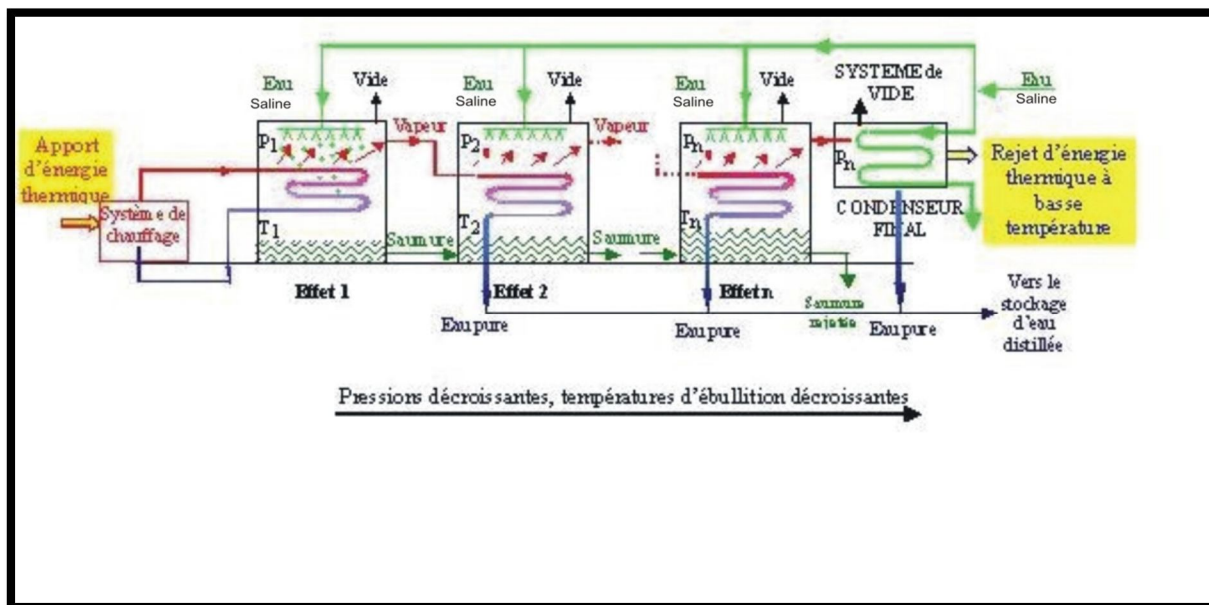


Fig.61: Schéma de principe d'un système d'évaporateurs multiples effets (MED)

Des évaporateurs multiples effets à plaques sont également en cours de développement. L'eau de mer à évaporer s'écoule alors sous forme de film mince le long d'une mince plaque métallique chauffée par la vapeur provenant de l'effet précédent qui s'écoule le long de l'autre face de la plaque métallique. De nombreuses plaques entre lesquelles s'écoulent alternativement l'eau de mer et la vapeur de chauffage sont associées en parallèle pour constituer un effet. La vapeur produite est recueillie dans une calandre cylindrique dans laquelle sont placées les plaques. Cette vapeur est ensuite envoyée entre les plaques situées dans une calandre qui constitue le deuxième effet et ainsi de suite.

Un système compact à bases de plaques EasyMED constitué de cellules élémentaires comprenant une zone d'évaporation et une zone de condensation brevetée en 1998 est également en cours de développement. L'agencement judicieux de cellules élémentaires pour que chaque zone d'évaporation se situe entre deux zones de condensation de l'effet précédent permet d'obtenir un appareil plus compact puisqu'il ne nécessite pas une volumineuse calandre pour chaque effet.

L'énergie requise est principalement l'énergie thermique à fournir à la chaudière produisant le fluide de chauffage pour le premier effet. On peut cependant utiliser des chaleurs résiduelles en couplant le procédé MED à des usines de production d'électricité ou des usines rejetant produisant les eaux résiduelles à des températures de l'ordre de 80°C . Il faut également de l'énergie électrique pour les pompes de circulation et la production de vide.

Afin de limiter la consommation d'énergie thermique, il est aussi possible d'utiliser la compression mécanique de vapeur. Ceci est possible dans le cas de l'évaporation simple ou multiple effet. La vapeur produite dans le dernier effet ou dans l'effet unique (pour de petites unités) est aspirée par un compresseur. Après compression, la température de saturation de la vapeur haute pression est augmentée. Cette vapeur peut donc être utilisée (elle est envoyée dans les tubes du faisceau tubulaire) pour porter à ébullition l'eau de mer dans l'évaporateur où règne une pression plus faible. La vapeur haute pression est ainsi condensée et se transforme en eau distillée liquide et le cycle se reproduit avec la vapeur produite par l'évaporation partielle de l'eau de mer.

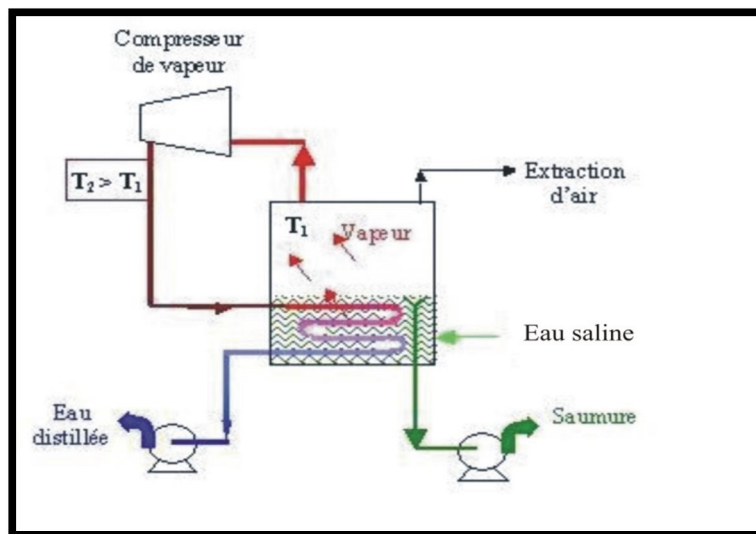


Fig.62: Schéma de principe d'une unité d'évaporation simple-effet avec compression de vapeur

Dans le procédé MED, l'ébullition de l'eau saumâtre au sein de chaque cellule (effet) se fait au contact de la surface d'échange de chaleur, il y a des risques d'entartrage dû à la précipitation de sels tels que CaSO_4 ou CaCO_3 dont la solubilité diminue quand la température augmente. Pour limiter ces risques, il faut donc utiliser un traitement à l'acide et limiter la température de tête (du 1er effet ou étage) à moins de 70°C .

A titre d'information, pour comprendre la nécessité de réduire la pression dans les systèmes multiples-effets ou à détente étagées, la figure 6 donne l'évolution de la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression.

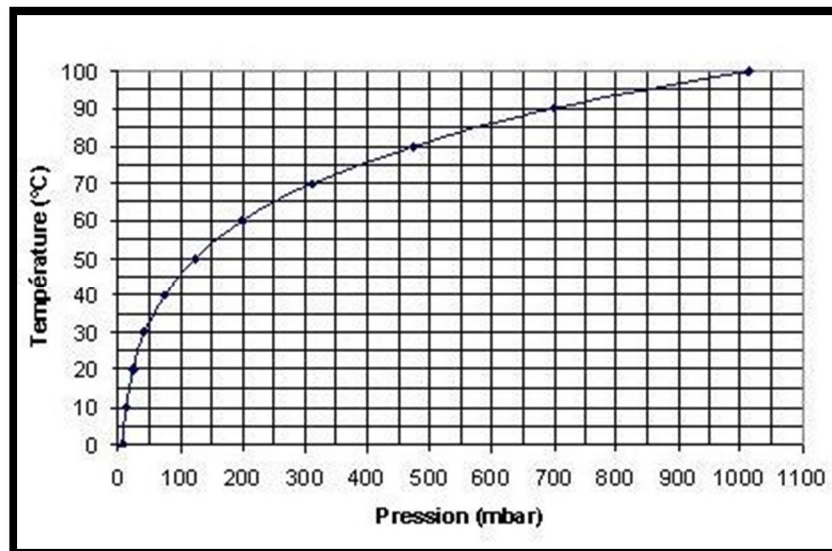


Fig.63: Evolution de la température d'ébullition de l'eau en fonction de la pression

Avantages du procédé :

- L'avantage principal du procédé flash est que l'évaporation de l'eau de canal ne se produisant pas autour des tubes de chauffe, les risques d'entartrage sont réduits.

Inconvénients :

- Le principal inconvénient du procédé est qu'il ne permet aucune flexibilité d'exploitation, aucune variation de production. Si une avarie provient dans un étage de production, toute l'unité est arrêtée. L'unité devant être arrêtée lors des périodes d'entretien.

- Une corrosion entraînant des fuites sur les tubes des condenseurs va permettre l'introduction d'eau de mer dans le circuit d'eau dessalée rendant celui-ci totalement inutilisable.

VII-3-3 L'électrodialyse (avec membrane constituée de résines échangeuses d'ions)

L'électrodialyse est un procédé de nature électrochimique. Il permet d'extraire en partie ou en totalité les ions contenus dans une solution, en conservant des substances pas ou très peu ionisées.

Un électrodialyseur fonctionne de la manière suivante (voir schéma ci-dessous): deux compartiments (1) et (2) sont séparés par des membranes alternativement anioniques et cationiques. Comme leur nom l'indique, sous l'action d'un champ électrique, les premières ne se laissent franchir que par des anions, les secondes par des cations.

Les cations migrent dans le sens du courant électrique. Ils peuvent sortir du compartiment en traversant la membrane cationique, mais ils ne peuvent pas sortir du compartiment (2), car ils trouvent sur leur chemin une membrane anionique.

Les anions migrent dans le sens inverse du courant électrique. Ils peuvent eux aussi sortir du compartiment (1) en traversant la membrane anionique, mais ils ne peuvent pas sortir du compartiment (2) car la membrane cationique les en empêche.

En conséquence, le compartiment (1) s'appauvrit en sel dissous: on l'appelle compartiment de dilution. Le compartiment (2) s'enrichit en sels dissous: on l'appelle compartiment de concentration. La concentration des substances dissoutes non ionisées n'est pas modifiée.

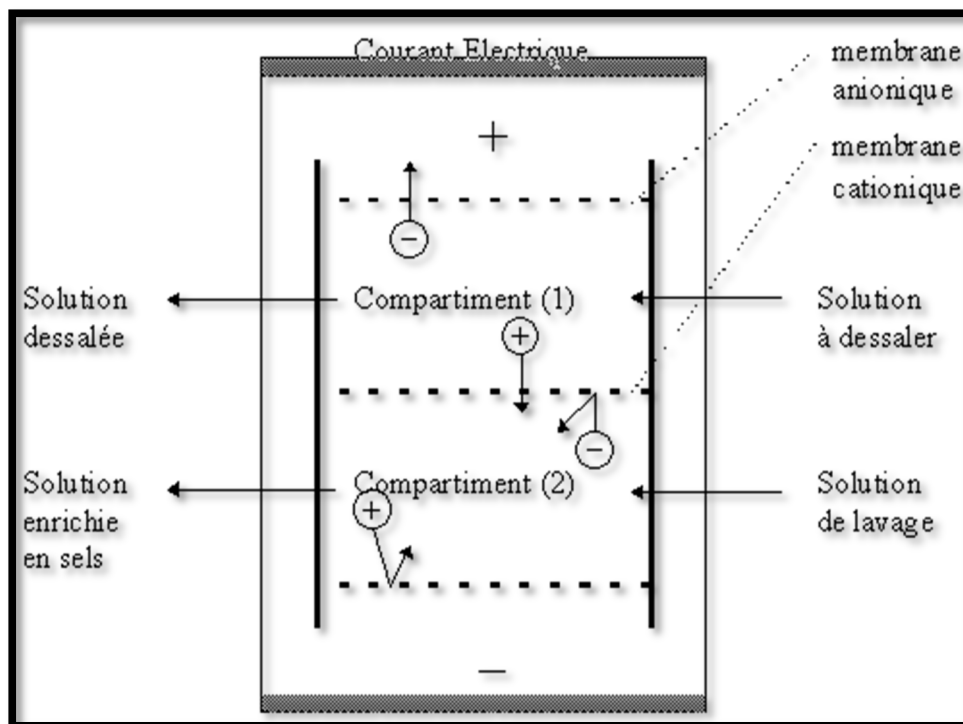


Fig.64: Principe de fonctionnement de l'électrodialyse

Un électrodialyseur est constitué d'un grand nombre de compartiments alimentés en série du point de vue électrique, et en série ou en parallèle du point de vue hydraulique. Un compartiment sur deux est en dilution, un sur deux en concentration.

Aux deux extrémités de l'appareil, se trouvent les électrodes, qui permettent le passage du courant électrique. Les membranes délimitant les compartiments sont alternativement anioniques et cationiques.

L'électrodialyse est employée soit en déminéralisation (dessalement), soit en concentration ionique de solutions ionisées. En galvanoplastie, elle sert au traitement d'effluents (eau de rinçage) afin d'enrichir, en les concentrant, les bains de dépôt et de les recycler.

L'électrodialyse ne doit être appliquée qu'aux composants ioniques entre les deux seuils de concentration minimum et maximum, pour éviter la cristallisation ou une trop grande résistance ohmique. Il ne faut pas essayer de dépasser la valeur des courants limites : des phénomènes secondaires peuvent créer des évolutions irréversibles sur les membranes et dans la solution (création de composés parasites par électrolyse). Les rendements d'élimination des sels étant au mieux de 44 à 46 % par passe (Degrémont), une utilisation en plusieurs passes est souvent nécessaire.

L'emploi de cette technique avoisine celui des résines échangeuses d'ions avec en particulier une sensibilité aux oxydants et des risques d'empoisonnement irréversible.

L'intérêt économique de l'électrodialyse dépend de ses besoins en énergie. De plus de l'énergie nécessaire à l'écoulement des solutions dans les modules, il faut fournir :

- l'énergie du transport des espèces ioniques,
- l'énergie dissipée par effet joule.

L'investissement est de l'ordre de 1500 € par m² de membrane installée.

Avantages du procédé :

- L'électrodialyse ne nécessite pas de prétraitements aussi soignés que l'osmose inverse.

Une élimination des matières en suspension > 1 mm est suffisante pour empêcher le colmatage des membranes. Le prétraitement se limitera à une filtration sur filtre à sable, à l'élimination des matières organiques et des carbonates pour éviter l'entartrage.

- Il nécessite moins de 1,5 m³ d'eau brute par m³ d'eau produite, contre 2 pour l'osmose inverse.

- Comme les particules qui ne portent pas de charges électriques ne sont pas éliminées, l'eau conserve, à part le sel une grande quantité des substances qui s'y trouvent, ce qui ne nécessite pas de re-minéralisation avant utilisation.

Inconvénients :

- La consommation électrique dans ce procédé étant proportionnelle à la concentration en ions, il s'applique bien au dessalement des eaux saumâtres comportant une salinité inférieure à 1g/l, au delà de 10g/l l'osmose inverse devient plus intéressante.

VII-3-3-1- Caractéristiques techniques :

La technologie requise pour ce procédé réside essentiellement dans l'emploi de membranes. Les membranes sont constituées de résines échangeuses d'ions. On en distingue 3 types:

- Les membranes anioniques :

Elles contiennent des résines à groupes cationiques fixes. Ces groupes sont neutralisés par des anions situés dans les interstices de la résine. Quand cette membrane est mise dans une solution d'électrolyte, les anions en solution peuvent pénétrer dans la membrane et remplacer les anions présents initialement, alors que les cations sont repoussés par les cations fixés sur la résine.

- Les membranes cationiques :

Le principe est identique ; elles contiennent des groupes anioniques fixes qui permettent la pénétration des cations et repoussent les anions.

Les membranes industrielles possèdent des groupements fonctionnels qui sont en général un groupement sulfonique pour les membranes cationiques et un regroupement ammonium quaternaire pour les membranes anioniques.

- Les membranes bipolaires :

Elles consistent en la juxtaposition d'une cationique et d'une anionique. Elles permettent de régénérer l'acide et la base à partir du sel et de les séparer simultanément. (Les membranes monopolaires réalisent une concentration/dilution).

La technique de l'électrodialyse a deux types d'applications principales :

- Dessalement des eaux saumâtres

Dont le taux de salinité est inférieur à 500 mg/l (au dessous de ce taux, l'osmose inverse est plus intéressante). De nombreux gisements d'eaux saumâtres de ce type existent précisément dans le monde (Moyen-Orient, Afrique du Nord, Sud des Etats-Unis) et l'électrodialyse y a trouvé un vaste champ d'application. Les ions les plus fréquemment extraits sont les cations Na^+ et Ca^{++} , les anions Cl^- , SO_4^{--} et HCO_3^- . Côté dépenses d'énergie, il faut 1,8 kWh/m³ pour amener une solution de 1,5 à 0,5 g/l, 2,6 à 4 kWh/m³ pour amener une solution de 2,5 à 0,5 g/l, 3,2 à 4,5 kWh/m³ pour amener une solution de 1,5 à 0,5 g/l.

- Traitement des sous-produits de l'industrie laitière :

les principaux produits concernés sont les lactosérums, résultant de la production de fromage et de caséine. Les lactosérums ont une forte DCO ce qui en fait un important polluant potentiel. Contenant des constituants de haute valeur nutritive, ceux-ci peuvent être traités grâce à l'électrodialyse pour donner des produits consommables, débarrassés de produits gênants (sels minéraux, acides lactique, hydrique, sulfurique). Pour la déminéralisation de lactosérum, on note une consommation spécifique de 0,056 kW par kg de poudre déminéralisé à 50% et 0,215 kW par kg de poudre déminéralisé à 90%.

VII-4-Conclusion

L'analyse physico-chimique et bactériologique des eaux du canal Oued Righ a montré que ces eaux sont inutilisables sans être préalablement traitées :

De ce fait les mesures qui sont préconisées se résument par :

- Eliminer les rejets d'eaux usées directement dans le canal sans qu'elles soient épurées
- Le procéder au dessalement des eaux du canal par la méthode de l'osmose inverse.

Introduction :

Dans ce qui suit, il sera procédé à une tentative d'évaluation des coûts de revient de production du m³ d'eau. Pour ce faire, nous allons nous inspirer des stations de dessalement de l'eau de mer dont la concentration est de 35g/l réalisé dans notre pays. Ce choix s'explique par le fait que la déminéralisation des eaux entrainera un reflux plus concentré comme on le verra plus loin, ce qui implique que d'amont en aval la concentration en sels des eaux augmentera suivant l'implantation des stations.

La station de dessalement des eaux de mer d'Alger inaugurée le 24 Février 2008 par le président de la république, d'une capacité de 200.000 m³/j et extensible à 500.000 m³/j, a coûté 250 millions de dollars (US)¹, ce qui donne un coût d'investissement au mètre cube de 1250 US\$. Elle fonctionne selon le procédé de l'osmose inverse.

Autre projet d'envergure lancé par l'état Algérien, la station de dessalement d'eau de mer à Magtaa (commune de Mers El Hadjadj, wilaya d'Oran) dans l'ouest de l'Algérie. Cette station sera implantée sur 18 hectares et aura une capacité de production par osmose inverse, de 500.000 m³/jour à l'horizon 2011. Destinée à répondre aux besoins en eau potable de la wilaya d'Oran, cette capacité est la plus importante en Algérie et même dans le monde. La réalisation de cette station a été confiée à un groupe de Singapour pour un montant de 468 millions de dollars US (US\$)¹ ramenant ainsi le coût d'investissement par mètre cube à 936 US\$. Le prix de vente du mètre cube traité devrait se situer à 0,5577 US\$, soit 40,15 DA.

La comparaison entre les coûts d'investissement des deux stations confirme la tendance à la baisse des coûts d'investissement pour ce genre d'usine et technologie de traitement des eaux de mer et eaux saumâtres. Pour les simulations des couts concernant la zone d'étude le cout d'investissement sera de 900 US\$ plus une majoration de zone de 2% ce qui donnera un prix de 918 US\$, donnant en euro 734,4 Euros, ce coût concerne les couts fixes (investissements, réalisation). Pour les coûts variables liés à l'exploitation qui sont donnés en fonction de la technologie considérée, les niveaux de coûts considérés sont relativement approximatifs.

VIII-1-Estimation des coûts des stations des différentes technologies

Il a été procédé dans ce qui suit à des calculs d'évaluation des coûts de la station de dessalement afin de ramener la concentration de l'eau dans l'oued à 1g/l en utilisant les trois technologies considérées, à savoir l'électrodialyse, la distillation thermique et l'osmose inverse et en considérant un débit moyen de 60 000 m³/J. En considérant la durée de

l'investissement 20 ans et un taux d'intérêt de 3%. La valeur de l'amortissement est quelques peu surévaluée

VIII-1-1-L'Electrodialyse

Dans le tableau suivant sont fournis les différents frais liés à l'investissement ainsi que l'exploitation.

Tableau 43: Coût d'investissement et d'exploitation suivant l'électrodialyse

Procédé	Prix unitaire	Quantité	Montant total	Montant total
	(€)	U	(€)	(DA)
Coût d'investissement (€/m³ de capacité)	1 000,00	60 000,00	60 000 000,00	6 900 000 000,00
Consommation spécifique (KWh/m³)	2,5	60 000	/	/
Prix de l'énergie (€/KWh)	0,05	150000	7 500,00	862 500,00
Autres frais exploitation (€/m³)	0,3	/	/	/
Amortissement (€/m³)	0,25	18750	/	/
Coût total (€/m³)	0,6	21 900 000,00	13 140 000,00	1 511 100 000,00

Tableau 44: Evaluation du coût du m³ suivant l'électrodialyse

	Valeur présente	Valeur après 20ans	remboursement annuel	Coût du m ³
Euro	60 000 000,00	108 366 674,10	13 140 000,00	0,6
Dinars	6 900 000 000,00	12 462 167 519,00	1 511 100 000,00	69
Amortissement	5 475 000,00	109 500 000,00		

VIII-1-2-Distillation thermique

Les frais liés à l'investissement et l'exploitation sont donnés dans le tableau suivant.

Tableau 45: Coût d'investissement et d'exploitation suivant la distillation thermique

Procédé	Prix unitaire (€)	Quantité U	Montant total (€)	Montant total (DA)
Coût d'investissement	1 300,00	60 000	78 000 000,00	8 970 000 000,00
Consommation spécifique (KWh/m³)	50	60 000	/	/
Prix de l'énergie (€KWh)	0,05	3 000 000,00	150 000,00	17 250 000,00
Autres frais exploitation (€m³)	0,45	/	/	/
Amortissement (€m³)	0,32	19200	/	/
Coût total (€m³)	0,82	21 900 000,00	17 958 000,00	2 065 170 000,00

Dans le tableau suivant est représenté le coût du m³ suivant la distillation thermique

Tableau 46 : Evaluation du coût du m³ suivant la distillation thermique

	Valeur présente	Valeur après 20	remboursement annuel	Coût du m ³
Euro	97 500 000,00	176 095 845,40	22 447 500,00	0,82
Dinars	11 212 500 000,00	20 251 022 218,70	2 581 462 500,00	94,3
Amortissement	8 760 000,00	175 200 000,00		

VIII-1-3-Osmose Inverse

Tableau 47 : Coût d'investissement et d'exploitation suivant l'osmose inverse

Procédé	Prix unitaire	Quantité	Montant total	Montant total
	(€)		(€)	(DA)
Coût d'investissement	734,4	60 000	44 064 000,00	6 067 360 000,00
Consommation spécifique (KWh/m³)	3	60 000	/	/
Prix de l'énergie (€/KWh)	0,05	180 000,00		
Autres frais exploitation (€/m³)	0,23	/	/	/
Amortissement (€/m³)	0,182	10920	/	/
Coût total m³	0,462	21 900 000,00	10 117 800,00	1 163 547 000,00

Tableau 48 : Evaluation du coût du m³ suivant l'osmose inverse

	Valeur présente	Valeur après 20 ans	remboursement annuel	Coût du m ³
Euro	44 064 000,00	79 584 485,40	10 117 800,00	0,46
Dinars	5 067 360 000,00	9 152 215 826,10	1 163 547 000,00	53,13
Amortissement	3 985 800,00	79 716 000,00		

Une estimation du coût du m³ a été faite pour les trois procédés électrodialyse, distillation thermique et osmose inverse. Dans le tableau 11 sont récapitulés ces coûts selon les procédés respectifs.

Tableau 49 : Récapitulatif du prix de revient du m³ d'eau dessalé

Procédés	Cout du m ³ en	Cout du m ³ en	Cout du m ³
	Euros	US\$	Dinars
Electrodialyse	0,6	0,75	69
Distillation Thermique	0,82	1,025	94,3
Osmose inverse	0,46	0,58	53,13

Il ressort du tableau récapitulatif que le système d'osmose inverse est le moins couteux soit en termes d'investissement ou en termes d'exploitation. Les valeurs du tableau récapitulatif sont indicatives, une majoration de 30 à 50% est à ajouter pour prendre en charge les surcoûts. Toutefois, le niveau de salinité des eaux brutes (moitié de la salinité des eaux de mer) favorise une diminution des couts d'exploitation en termes de consommation énergétique, longévité des membranes etc. Il faut souligner, nonobstant, que les couts d'exploitation sont équivalents ou supérieurs à l'amortissement, surtout pour le système de la distillation thermique qui sont nettement supérieurs. Il faut toutefois remarquer que ces valeurs doivent être prises avec beaucoup de réserves vu que les coûts d'exploitation en Algérie ne sont pas bien connus. L'installation d'osmose inverse peut être accompagnée d'une centrale électrique à énergie solaire qui favorisera au long terme l'investissement.

Il faut rappeler aussi que tout système membranaire nécessite une certaine forme de prétraitement dont l'objectif est l'élimination de la matière en suspension, les matières colloïdales et les microorganismes ainsi que le contrôle du PH, de la température, la formation de précipités etc. La complexité et le degré de traitement sont certainement fonction de nature et du niveau de pollution à éliminer dans ce dernier.

A titre comparatif, sont donnés dans le tableau 12 les coûts d'un mètre cube suivant le procédé de dessalement :

Tableau 50: Estimation des coûts de dessalement des eaux saumâtre et marines

Eau	Technologie	Coût (€/m ³)
Saumâtre	Osiose Inverse	0,17 – 0,37
	Electrodialyse	0,19 – 0,35
Marine	Distillation à détentés étagées (multi-stage Flash distillation MSF)	0,73 – 1,07
	Electrodialyse	0,51 – 0,70
	Osiose inverse	0,38 – 0,78

Source : Bulletin des nations unies pour l'environnement

D'autre part, le comité FAO d'agriculture a conclu lors de la Dix neuvième session (Avril 2005) concernant le dessalement des eaux à des fins agricoles :

- La principale application du dessalement de l'eau consiste en la fourniture d'eau potable.

- En règle générale, l'application de la technologie du dessalement de l'eau à l'agriculture n'est pas rentable; actuellement, le dessalement de l'eau est bien moins économique que la réutilisation des eaux résiduelles traitées à des fins agricoles.
- L'application du dessalement de l'eau à l'agriculture est encore aujourd'hui limitée à certaines zones; cette technologie n'est utilisée de façon efficace que pour certaines cultures à fort rapport économique et lorsque les investissements sont subventionnés par l'État.

VIII-2-Projection des stations de dessalement

Le canal Oued Righ reçoit les eaux de drainage ainsi que les eaux usées. Afin de projeter les stations et à la demande de la DHW, volumes réutilisables ont été déterminés en tenant compte des volumes d'eaux usées (voir tableau 5). En effet, ces derniers ont été soustraits des volumes totaux. De même, pour cette projection il sera tenu compte uniquement du débit provenant à partir de la limite territoriale de la wilaya d'el Oued. De ce fait, le débit mesuré à Sidi Amrane ne sera pas comptabilisé d'autant plus que ces eaux proviennent de la wilaya d'Ouargla.

Tableau 51: Débits des eaux usées année 2008

Communes		Débit Eaux Usées (m ³ /j) Q _{mov}
Sidi Amrane	Chef lieu	1895,07
	Ain Choucha	455,78
	El Hora	159,47
	Tamarna El Djadida	314,1
	Zaoualia	394,37
	Chemora	219,34
	Hai El Amel	158,21
	Mansoura	140,82
Total		3737,16
Djamaa	Chef lieu	8462,5
	Sidi Yahia	158,54
	Mazar Zaouia	1304,18
	Tiguedidine	1160
Total		11085,22
Tindla	chef lieu	1219,46
	El Aghiane	363,22
	El Bared	80,66
Total		1663,34
Sidi Khlil	Chef lieu	392,99
	Ksar kadim	390,94
	Ain Cheikh	358
Total		1141,93

Les débits illustrés dans le tableau 13 proviennent de l'étude du schéma directeur d'assainissement et de drainage des quatre communes. En tenant compte des données précitées les débits disponibles :

Tableau 52 : volumes d'eau disponibles

	Débit	Débit	Débit généré par la région (m ³ /j)	Débit	Volume disponible (m ³ /j)
	(Q m ³ /s)	(m ³ /j)		Eaux Usées (m ³ /j)	
Sidi Amrane	1,54	133 056		3737,16	-
Djamaa (mazer zaouiat)	2,42	209 088	76 032	11085,22	61 210
Tindla (Sidi Abed)	2,74	236 736	27 648	1663,34	36 194
Sidi Khelil (oued Khrouf)	5	432 000	195 264	1663,34	240 244

Sur la base des conditions précitées, il a été considéré deux variantes. La première consiste en la projection de trois stations de dessalement localisées à Djamaa, Tindla et Sidi Khelil avec les capacités de 60 000, 35 000 et 185 000m³/j respectivement. L'eau dessalée sera réutilisée pour irriguer les palmeraies des communes précitées.

La seconde variante consiste en la projection d'une seule station de dessalement d'une grande capacité à savoir 280 000m³/j à Sidi Khelil plus exactement à Oued Khrouf. L'eau dessalinisée servira pour irriguer les palmeraies dans les communes de Sidi khelil et Tindla.

VIII-2-1-Première variante

Dans ce cas, il est prévu trois stations de déminéralisation et auront une capacité respective 60,000, 35,000 et 185,000 m³/j ce choix se justifie par le débit disponible ainsi que la concentration de l'eau dans le canal qui augmente d'une station à une autre sous l'effet du reflux. En effet, pour chaque station 85% de sa capacité est réutilisable alors 15 % sont rejetés dans le canal avec une concentration en sel plus importante (reflux).

Tableau 53: Volume d'eau disponible après dessalement et surfaces irrigables (variante 1)

Zone	Capacité de la station	Concentration dans le canal	Débit réutilisable (m ³ /j)	Débit des reflux (m ³ /j)	Volume annuel réutilisable (m ³)	Surface Irrigable
		(Kg/m ³)				(ha)
Djamaa (Mazer zaouia)	60 000	18	51 000	9000	18 615 000	689
Tinedla (Sidi Abed)	35 000	29,03	29 750	5250	10 858 750	402
Sidi Khelil (Oued Khrouf)	185 000	4,24	72 250	12 750	57 396 250	2126

D'après les volumes consignés dans le tableau et en considérant les besoins annuels en eau qui sont 27000 m³/ha, la superficie irrigable est respectivement de 689, 402 et 2126 ha pour les trois stations, soit un total de 3217 ha pour toute la région d'étude.

VIII-2-2-Deuxième variante

Concernant cette variante, il est prévu une seule station de dessalement. La station sera projetée au niveau d'Oued Khrouf et dont la capacité sera de 280 000 m³/j voir tableau 17. Dans ce cas aussi, nous avons préféré gardés les mêmes coûts unitaires bien que dans le cas de station à grande capacité les coûts tendent à diminuer en réduisant le nombre de stations.

Tableau 1 54: Volume d'eau disponible après dessalement (variante 2)

	Débit (Q m ³ /s)	Débit (m ³ /j)	Débit Eaux Usées (m ³ /j)	Volume disponible (m ³ /j)
	Sidi Amrane	1,54	133 056	3737,16
Djamaa (mazer zaouiat)	2,42	209 088	11085,22	-
Tindla (Sidi Abed)	2,74	236 736	1663,34	-
Sidi Khelil (oued Khrouf)	5	432 000	1141,93	281 316

Tableau 2 55: Volume d'eau disponible après dessalement et surface irrigable (variante 2)

Zone	Capacité de la station	Concentration dans le canal	Débit réutilisable (m ³ /j)	Débit des reflux (m ³ /j)	Volume annuel réutilisable (m ³)	Surface
	m ³ /j	(Kg/m ³)				Irrigable (ha)
Sidi Khelil (Oued Khrouf)	280 000	18	238 000	42 000	86 870 000	3217

VIII-3-PRESENTATION DES VARIANTES D'ADDUCTION

Dans ce qui suit nous allons développer des variantes d'adduction de l'Oued vers la tête du périmètre. Pratiquement l'adduction se fera en tenant compte de la projection des stations de dessalement c'est-à-dire dans un premier temps nous allons estimer les coûts de l'adduction des trois stations de dessalement vers les têtes de périmètres respectifs (Djamaa, Tindla et Sidi Amrane) ensuite l'évaluation sera faite pour la deuxième variante à savoir une station de dessalement à grand débit à Sidi Khelil pour irriguer les palmeraies de Sidi amrane et celle de Tindla.

VIII-3-1-Description de la première variante

Dans ce cas trois stations de dessalement seront prévues, au niveau de chacune l'eau est acheminée gravitairement moyennant un déversoir. L'eau est dessalinisée puis refoulée vers le point plus haut dans un réservoir, grâce à un pompage. L'eau est par la suite acheminée vers la tête du périmètre gravitairement.

VIII-3-1-1-Commune de Djamaa

Concernant cette commune les caractéristiques techniques de l'adduction sont résumées dans ce qui suit et selon la figure 8 :

- ❖ Station de dessalement (SD2, Q de 60 000 m³/j) – Réservoir (R1, V_{total} =15 000m³)
- ❖ Ø optimum= 700mm, le linéaire du refoulement L1= 2690 m
- ❖ Station de pompage SP1 = 2 pompes (2930 tr/min) + 1 de secours
- ❖ HMT= 28 m
- ❖ Conduite gravitaire Ø 800 béton fretté Pr 10 bars, L = 1000m

Tableau 56 : Coût d'investissement des ouvrages station Djamaa

Ouvrage	Coût d'investissement (DA)
Conduite refoulement (\varnothing 700, L=2690m)	37 170 420
Station de pompage	36 848 752
Réservoir R1, $V_{\text{tot}} = V1$ 15 000m ³	300 000 000,00
Conduite gravitaire (\varnothing 800, L=1000m)	16 007 218,00
Total	390 026 390,00

D'après le tableau le coût d'investissement concernant l'adduction de celle-ci vers le périmètre dans la commune de Djamaa serait de 390 026 390,00 DA en hors taxe.

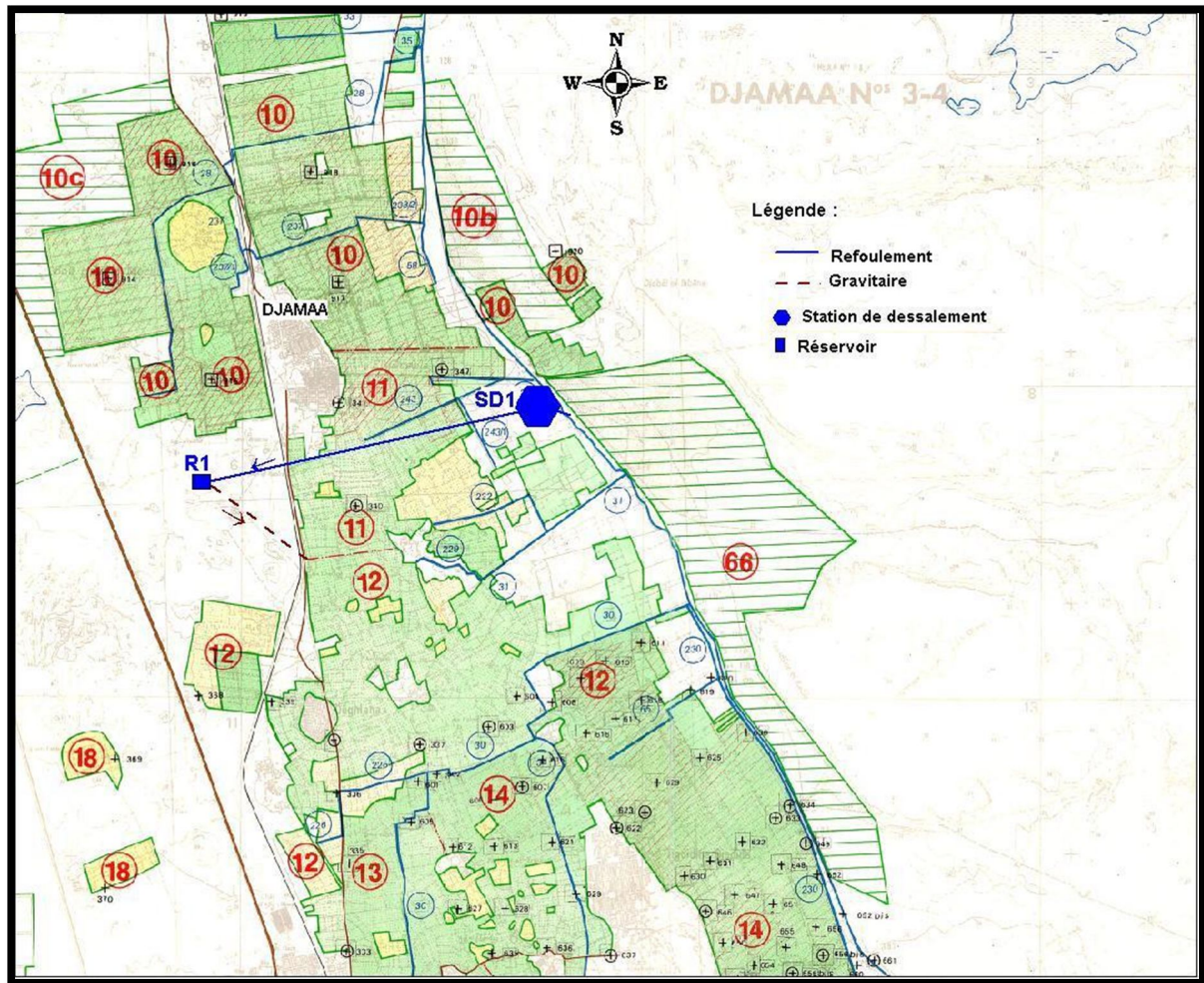


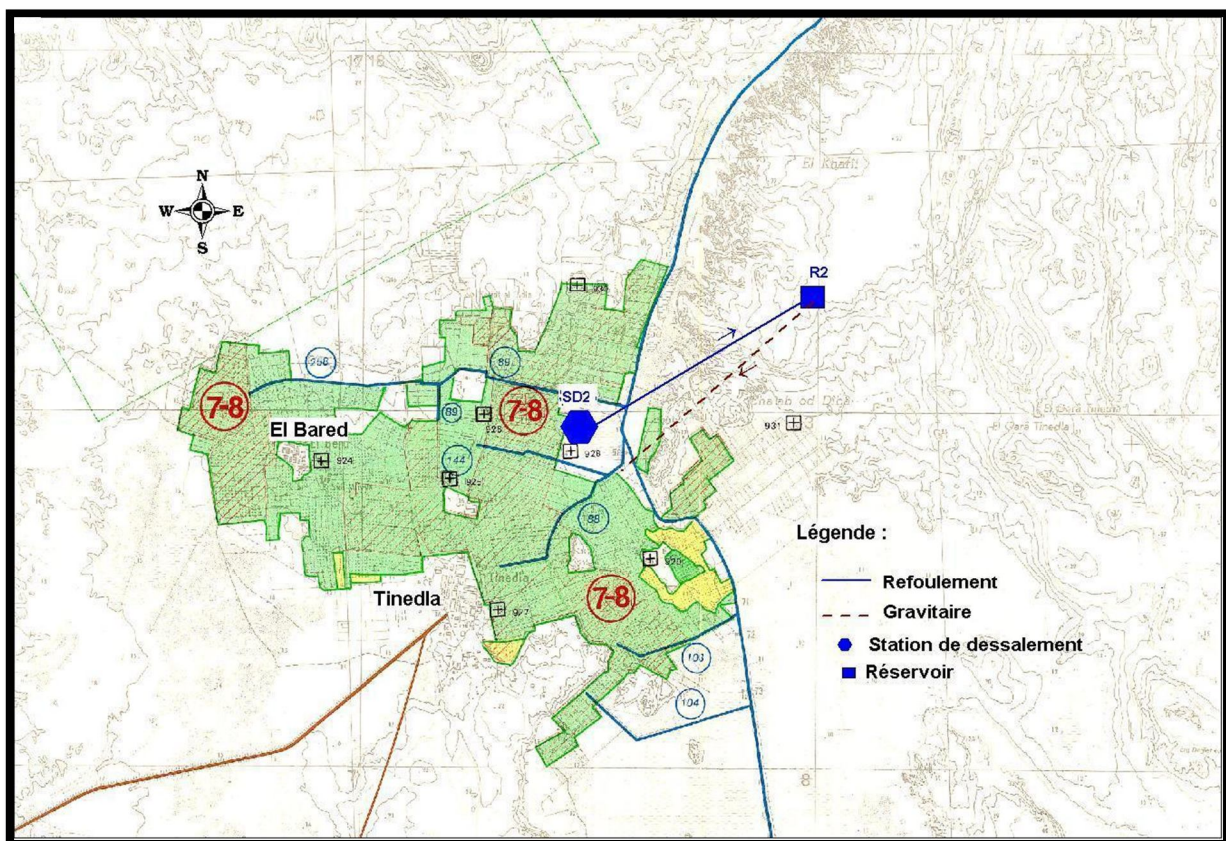
Fig.65: Schéma de la variante 1 pour l'irrigation de la palmeraie de Djamaa

VIII-3-1-2-Commune de Tindla

- ❖ Concernant cette commune les caractéristiques sont comme suit et selon la figure 9 :
- ❖ Station de dessalement (SD2, Q de 35 000 m³/j) – Réservoir (R2, V_{total} =10 000m³)
- ❖ Ø optimum= 500mm, le linéaire du refoulement L₂= 1830 m
- ❖ Station de pompage SP2 = 1 pompes (2900 tr/min) + 1 de secours
- ❖ HMT= 24 m
- ❖ Conduite gravitaire Ø 700 béton fretté, L = 1790m

Tableau 573: Coût d'investissement des ouvrages station Tindla

Ouvrage	Coût d'investissement (DA)
Conduite refoulement (\varnothing 500, L=1830m)	15 790 394,00
Station de pompage	18 264 548,00
Réservoir R2, $V_{\text{tot}} =$ $V10\ 000\text{m}^3$	200 000 000,00
Conduite gravitaire (\varnothing 700, L= 1790m)	24 735 046,00
Total	258 789 988,00

**Fig.66:** Schéma de la variante 1 pour l'irrigation de la palmeraie de Tindla

VIII-3-1-3-Commune de Sidi- Khelil

Les caractéristiques sont résumées dans ce qui suit et selon la figure 10:

- ❖ Station de dessalement (SD4, Q de 185 000 m³/j) – Réservoir (R1, V_{total}=42 000m³)
- ❖ Ø optimum= 1100mm, le linéaire du refoulement L1= 9700 m
- ❖ Station de pompage SP3 = 5 pompes (1450 tr/min) + 1 de secours
- ❖ HMT= 54 m
- ❖ Conduite gravitaire Ø 1500 béton fretté, L = 1780m

Tableau 58 : Coût d'investissement des ouvrages station Sidi khelil

Ouvrage	Coût d'investissement (DA)
Conduite refoulement (Ø 1100, L=9700m)	260 369 578,00
Station de pompage	246 525 013,00
Réservoir R3, V _{tot} = 42 000m ³	840 000 000,00
Conduite gravitaire Ø 1500 L= 1780m	64 613 021,00
Total	1 411 507 612,00

En reprenant les coûts d'investissement concernant les trois palmeraies le total des coûts d'investissement pour la présente variante serait de l'ordre de 2 060 323 990,00 Da. En rajoutant au coût d'investissement les charges d'exploitation, l'actualisation des charges annuelles ainsi que le coût du m³ à la station qui est de l'ordre de 53 Da, le coût total chez l'agriculteur serait de l'ordre 58 DA.

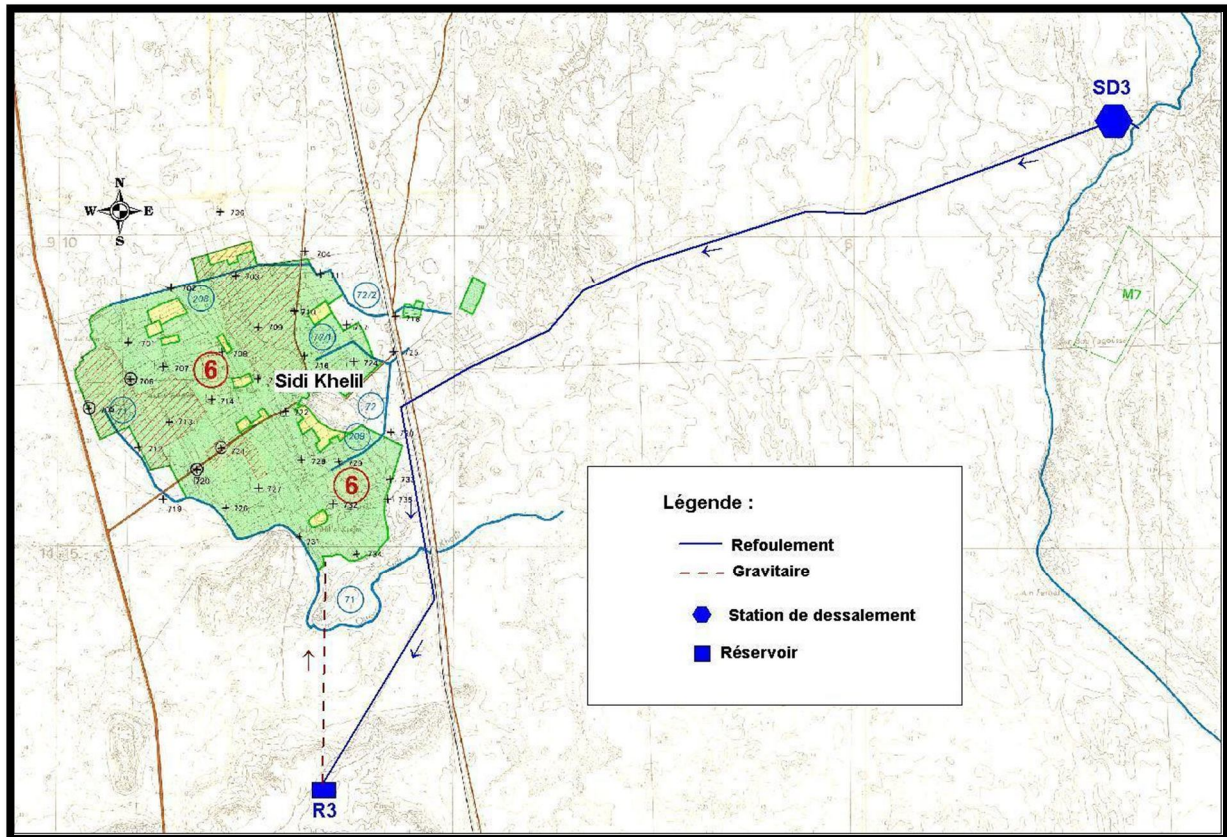


Fig.67: Schéma de la variante 1 en vue d'irriguer la palmeraie de Sidi Khelil

VIII-3-2-Description de la seconde variante :

Dans ce cas une seule station de dessalement est prévue. Elle est prévue à Sidi Khelil avec une capacité de 280 000 m³/j. L'eau dessalinisée sera destinée à l'irrigation de 3217 ha dans les communes de Sidi Amrane et Tindla répartis respectivement 1662 ha et 1555 ha (voir tableau 21).

Le système est composé de deux refoulement le premier commence à partir de la station de dessalement avec la cote terrain -3 m vers le réservoir R4 à la cote 36 m sur une distance de 9710 m. A partir de ce dernier la desserte est faite gravitairement sur 1782 m pour l'irrigation de la palmeraie de Sidi Khelil. Le deuxième refoulement est prévu à partir de la même station de dessalement (cote terrain -3m) pour alimenter le réservoir R5 à la cote 32m avec un linéaire de 25 610 m. A partir du réservoir R5 l'eau sera acheminée gravitairement sur un linéaire de 4650 m afin d'irriguer la palmeraie de Tindla.

Tableau 59 : Volume d'eau réutilisable et surfaces à irriguer (variante 2)

Zone	Capacité de la station	Débit des reflux (m ³ /j)	Débit réutilisable (m ³ /j)	Volume annuel réutilisable (m ³)	Surface
	m ³ /j				Irrigable (ha)
Sidi Khelil (Oued Khrouf)	280 000	42000	123 000	44 895 000	1662
Tindla (Sidi Abed)	-	-	115 000	41 975 000	1555

Dans le tableau 22 sont résumés les résultats du calcul hydraulique des deux refoulements et les dessertes gravitaires ainsi que leur coûts respectifs.

Tableau 604: Coûts d'investissement pour l'irrigation des palmeraies des Sidi Khelil et Tindla suivant la (variante 2)

Ouvrage	Coût d'investissement (DA)
Conduite refoulement 1 (Ø 1100, L=9 710m) (Sidi Khelil)	260 369 578,00
Station de pompage (Sidi Khelil) 5 pompes (2940 tr/min) + 1 de secours	185 204 416,00
Réservoir R4, V _{tot} = V1=35 000m ³	700 000 000
Conduite gravitaire Ø 1250 L= 1780 m	61 278 928
Conduite refoulement Tindla (Ø 1100, L= 25 610 m)	686 721 411,00
Station de pompage Tindla 5 pompes (2950 tr/min) + 1 de secours	250 759 088,00
Réservoir R5, V _{tot} = V1=35 000m ³	700 000 000
Conduite gravitaire Ø 1200 L1= 4650m	146 940 930
Total	2 991 274 352

En reprenant le coût de la variante 2 pour l'irrigation des deux communes (Sidi Khelil et Tindla) le coût total serait de l'ordre 2 991 274 351,00 Da.

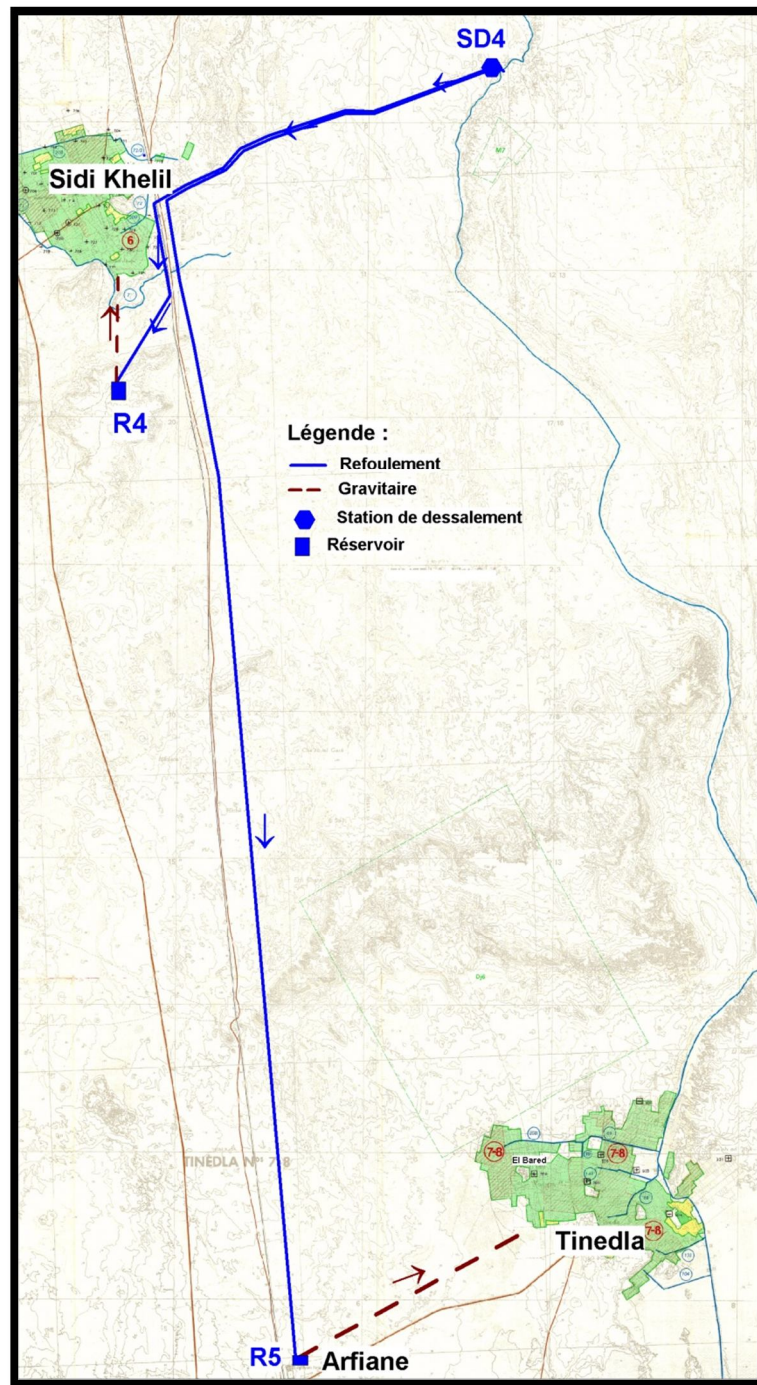


Fig.68 : Schéma de la variante 2 en vue d'irriguer les palmeraies de Sidi Khelil et Tindla

VIII-4-ESTIMATION DU COUT DE L'ADDUCTION

VIII-4-1- Base de calcul économique

VIII-4-1-1-Coût de l'investissement :

Les investissements ont été ramenés à des annuités sur la base des hypothèses suivantes :

- ❖ Taux d'actualisation : 8 à 10 %
- ❖ Durée d'amortissement :
 - ✓ 30 ans pour les conduites ;
 - ✓ 15 ans pour les équipements hydro- mécaniques et électriques;
 - ✓ 40 ans pour le génie- civil.

Tableau 61: présente les facteurs utilisés pour convertir, les investissements en annuités résultant de l'amortissement et de renouvellement.

Durée d'amortissement ou Période de renouvellement	Facteur de conversion entre investissement initiale et annuité résultant de l'amortissement		Facteur de conversion entre Investissement et annuité résultant d'un renouvellement	
15 ans	0,11683	0,13147	0,03683	0,03147
30 ans	0,08883	0,10608	0,00883	0,00608
40 ans	0,08386	0,10226	0,00386	0,00226
Taux	8%	10%	8%	10%

VIII-4-1-2-Stations de pompage

Le coût des stations de pompage a été décomposé, l'un lié au génie civil, l'autre aux équipements hydromécaniques et électriques.

Ces coûts ont été définis sur la base d'estimation des travaux de réalisation de station de pompage. Le Génie civil représente 34 % de l'investissement et la partie équipement représente 66 % d'investissement.

Les résultats des calculs économiques pour la variante 1 sont rapportés dans le tableau 23 et 24 ; ceux de la variante 2 dans le tableau 24 et 25 :

Tableau 5: Coût de l'adduction suivant la variante 1

ENTITE	COUT D'INVESTISSEMENT				CHARGE D'EXPLOITATION					ACTUALISATION 10%			ACTUALISATION 8%		
	ST. POMP.(KDA)			TOTAL KDA	CONDUIT. KDA	ST.POMPAGE (KDA)			TOTAL KDA	CHARGE ANNUELLES TOTALES(KDA)			CHARGE ANNUELLES TOTALES(KDA)		
	CONDUIT. KDA	GENIE CIVIL KDA	EQUIP. KDA			G.CIVIL KDA	EQUIP. KDA	POMP. KDA		CONDUIT. KDA	STATION POMP. KDA	TOTAL KDA	CONDUIT. KDA	STATION POMP. KDA	TOTAL KDA
Djamaa	37 172	312 529	24 320	374 020	1 524	3 750	1 946	8 106	15 326	5 693	49 724	55 417	5 154	43 747	48 902
Tindla	20 142	204 941	9 591	234 673	826	2 459	767	3 196	7 249	3 085	28 943	32 028	2 793	25 083	27 876
Sidi-Khelil	260 101	923 819	162 707	1 346 626	10 664	11 086	13 017	54 229	88 995	39 837	199 312	239 149	36 066	180 804	216 870
Total	317 415	1 441 288	196 617	1 955 320	13 014	17 295	15 729	65 531	111 570	48 615	277 979	326 594	44 013	249 635	293 647

En tenant compte de la surface à irriguer (3217 ha) et les besoin en eau annuelle à l'hectare qui sont de 27 000 m³, le cout de l'adduction est estimé à 4 DA (voir tableau ci-dessous). En rajoutant le coût au droit de la station, le coût total du mètre cube serait de 57 DA environ.

Tableau 636: Prix du mètre cube suivant la variante 1

Besoins annuels (m3)	Coût de l'adduction		coût du m3 à la station	Prix de m3 (DA)
	ACTUALISATION 10% (DA)	ACTUALISATION 8% (DA)		
86 859 000	3,76	3,38	53	57

Tableau 7: Coût de l'adduction suivant la variante 2

ENTITE	COUT D'INVESTISSEMENT				CHARGE D'EXPLOITATION					ACTUALISATION 10%			ACTUALISATION 8%		
	CONDUIT.	ST. POMP.(KDA)		TOTAL	CONDUIT.	ST.POMPAGE (KDA)			TOTAL	CHARGE ANNUELLES TOTALES(KDA)			CHARGE ANNUELLES TOTALES(KDA)		
		GENIE CIVIL	EQUIP.			G.CIVIL	EQUIP.	POMP.		CONDUIT.	STATION POMP.	TOTAL	CONDUIT	STATION POMP.	TOTAL
	KDA	KDA	KDA	KDA	KDA	KDA	KDA	KDA	KDA	KDA	KDA	KDA	KDA	KDA	KDA
Tindla	260 101	756 666	109 998	1 126 766	10 664	9 080	8 800	8 106	36 650	39 837	121 285	161 123	36 066	106 342	142 408
Sidi Khelil	686 453	765 983	128 084	1 580 521	28 145	9 192	10 247	54 229	101 812	105 137	172 867	278 004	95 184	157 584	252 768
TOTAL	946 555	1 522 649	238 083	2 707 286	38 809	18 272	19 047	62 335	138 462	144 974	294 152	439 127	131 249	263 926	395 176

En tenant compte de la surface à irriguer (3217 ha) et les besoin en eau annuelle à l'hectare qui sont de 27 000 m³, le cout de l'adduction est estimé à 5 DA (voir tableau ci-dessous). En rajoutant le coût au droit de la station, le coût total du mètre cube serait de 58 DA environ.

Besoins annuels (m3)	Coût de l'adduction		coût du m3 à la station	Prix de m3 (DA)
	ACTUALISATION 10% (DA)	ACTUALISATION 8% (DA)		
86 859 000	5,06	4,55	53	58

VIII-4-1-3-Comparaison des coûts des variantes :

Dans le tableau suivant, sont récapitulés les coûts totaux des variantes d'adduction 1 et 2 en hors taxes.

Tableau 65: Comparaison des coûts d'investissement de variantes 1 et 2 d'adduction

	Djamaa		Tindla		Sidi khelil		Total Coût d'investissement (DA)
	Ouvrage	Coût d'investissement (DA)	Ouvrage	Coût d'investissement (DA)	Ouvrage	Coût d'investissement (DA)	
Variante 1	Conduite refoulement (Ø 700, L=2690m)	37 170 420,00	Conduite refoulement (Ø 500, L=1830m)	15 790 394,00	Conduite refoulement (Ø 1100, L=9700m)	260 369 578,00	313 330 392,00
	Station de pompage	36 848 752,00	Station de pompage	18 264 548,00	Station de pompage	246 525 013,00	301 638 313,00
	Réservoir R1, V = 15 000m ³	300 000 000,00	Réservoir R2, V = 10 000m ³	200 000 000,00	Réservoir R3, V = 42 000m ³	840 000 000,00	1 340 000 000,00
	Conduite gravitaire Ø 800, L= 1000m	16 007 218,00	Conduite gravitaire Ø 700, L= 1790m	24 735 046,00	Conduite gravitaire Ø 1500 L= 1780m	64 613 021,00	105 355 285,00
	Total	390 026 390,00		258 789 988,00		1 411 507 612,00	2 060 323 990,00

	Sidi Khelil		Tindla		Total Coût d'investissement (DA)
	Ouvrage	Coût d'investissement (DA)	Ouvrage	Coût d'investissement (DA)	
Variante 2	Conduite refoulement (Ø 1100, L=9710m)	260 369 578,00	Conduite refoulement (Ø 1100, L=25 610m)	686 721 411,00	947 090 989,00
	Station de pompage	185 204 416,00	Station de pompage	250 759 088,00	435 963 504,00
	Réservoir R3, V = 35 000m ³	700 000 000,00	Réservoir R4, V = 35 000m ³	700 000 000,00	1 400 000 000,00
	Conduite gravitaire Ø 1250, L= 1780m	61 278 928,00	Conduite gravitaire Ø 1200, L= 4650m	146 940 930,00	208 219 858,00
	Total	1 206 852 922,00		1 784 421 429,00	2 991 274 351,00

VIII-4-2- Mélange de l'eau traitée aux eaux non traitées

Afin de diminuer les coûts du m³ une technique peut être utilisée qui consiste à mélanger l'eau dessalinisée à une eau non traitée. Deux cas peuvent se présenter alors : le premier c'est le mélange des eaux appartenant au canal Oued Righ (dessalinisée et non dessalinisée) suivant la figure 14, le second consiste à mélanger l'eau brute (sans dessalement) avec une eau de forage ayant une salinité moins importante situé dans la zone d'étude (voir figure 15).

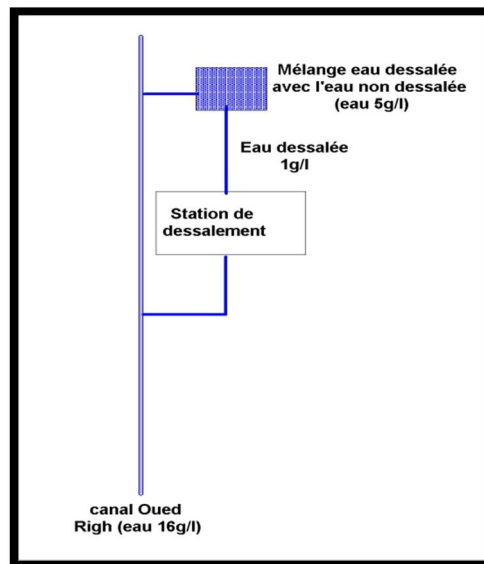


Fig.69: Schéma de principe pour un mélange eau dessalé et eau brut du canal Oued Righ

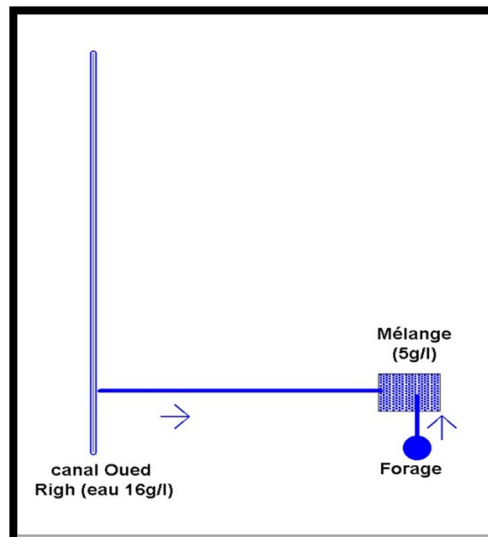


Fig.70: Schéma de principe pour un mélange eau brut du canal Oued Righ à l'eau d'un forage

VIII-4-2-1- Mélange à partir du canal Oued Righ

Un calcul basé sur une simulation moyennant le logiciel « Rosa » est effectué et ce en utilisant comme exemple la station de Mazer Zaouia (Djamaa). En acceptant une concentration de 5 g/l à la sortie, les caractéristiques du mélange sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau 66 : proportions du mélange et prix de reviens des eaux de Oued Righ

Débit traité m3/j	Taux de recouvrement	Débit à sortie de la station m3	Débit d'eau non traité m3/j	Débit du mélange m3/j	Concentration du mélange (g/l)	Prix m3
40 000	75%	30 000	15 000	45 000	5	35 Da

VIII-4-2-2- Mélange à partir d'un forage

Un essai est effectué en procédant au mélange des eaux du forage Ain Guadjout Tigdidine (Djamaa) avec les eaux du canal Oued Righ sans dessalement. Evidemment ces eaux doivent subir un prétraitement destiné à enlever les matières en suspension. Les caractéristiques physico-chimiques du forage sont présentées ci-dessous :

- ✚ Localité : Tigdidine
- ✚ Commune : **Djamaa**
- ✚ Wilaya : El Oued
- ✚ X : 06° 01' 07'', Y : 33° 32' 53'' Z : 34
- ✚ Débit : 40 l/s

Tableau 678 : caractéristique chimique du forage Ain Gadjout (Tigdidine)

Eléments	Teneur (mg/l)
Ca ⁺⁺	456,7
Mg ⁺⁺	429,5
Na ⁺	725
K ⁺	44,5
Cl ⁻	1047
SO ₄ ⁻⁻	2600
HCO ₃ ⁻	4
CO ₃ ⁻⁻	0
NO ₃ ⁻	0,3
Dureté total (°F)	2931
Résidu sec à 110°C(mg/l)	4237
Minéralisation (mg/l)	4197
Conductivité (ms/cm)	6,76
pH	7,73

La concentration du mélange est obtenue selon la relation suivante :

$$(Q_t \times C_t) = (Q_p \times C_p) + (Q_b \times C_b) \text{ et } Q_t = Q_p + Q_b \text{ tel que :}$$

- Q_t : le débit total après dilution (mélange)
- C_t : la concentration de l'eau après dilution qui est prise dans notre cas égale à 5g/l
- Q_p : débit de l'eau dessalé
- C_p : Concentration de l'eau dessalée
- Q_b : Débit de l'eau du forage
- C_b : Concentration de l'eau du forage.

Sur la base des caractéristiques chimique de l'eau du forage et en fixant la concentration du mélange à 5g/l les proportions ce dernier sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau 68: concentration et proportion du mélange

	FORAGE Ain Gadjout	Canal Oued Righ	mélange
Débit (m ³ /j)	3628,8	371,2	4000
Concentration (g/l)	4,2	16	5

D'après le tableau ci-dessus pour obtenir un mélange d'une concentration de 5g/l les proportions sont de l'ordre de 1/10 rapport eau du canal Oued Righ/ forage. Ce rapport montre une réutilisation insignifiante des eaux du canal qui s'explique par la concentration déjà élevée de l'eau du forage (4,2g/l). D'ailleurs, dans la zone étudiée, la minéralisation des eaux des forages indique une salinité élevée (≥ 4 g/l), ce qui exclue le développement de cette solution.

VIII-5-Conclusion

Afin de réduire le taux de salinité, un dessalement moyennant l'osmose inverse semble être le plus indiqué, le coût du mètre cube au droit de la station serait de l'ordre de **53 DA**.

La comparaison technico-économique entre les variantes de desserte des palmeraies montre que l'adduction à partir des trois stations est la plus économique puisque les coûts d'investissement sont estimés à 2,06 milliards de Dinars dans le cas de la première variante (trois stations) et environs 3 milliards de Dinars pour la deuxième variante. De même, le coût du mètre cube reviendrait à l'agriculteur 58 DA pour la première variante alors qu'il est de 60 DA pour la seconde variante. Cette différence s'explique par la réduction linéaire de la conduite de refoulement dans la première variante.

Pour ce qui est l'éventualité de réduire le coût du mètre cube en acceptant une eau d'une concentration 5g/l, un mélange d'eau dessalinisée à une eau brute non dessalinisée est effectué. Pour ce faire, un rapport $\frac{1}{2}$ (eau brute/eau dessalinisée) est nécessaire. Le coût du mètre cube est estimé à 35 DA au droit de la station soit une réduction de 18 DA par rapport à une eau totalement dessalinisée (1g/l).

La dilution de l'eau du canal en utilisant l'eau de forage pour obtenir une eau à 5g/l de concentration doit être effectuée dans un rapport 1/10 eau du canal /eau du forage. Cette proposition est exclue du fait que le volume de réutilisation d'eau du canal reste insignifiant.

En conclusion la faisabilité de ce projet dépend de la mise en place d'un système de contrôle et de suivie rigoureux pour éviter l'obturation du système de dessalement proposé. A cet effet, l'ouvrage de by-pass des stations de dessalement est à prévoir en cas où un problème d'épuration des eaux surgie. Grace au by-pass le bouchage et la détérioration des membranes de filtration sera évitée.

CONCLUSION GENERALE

En conclusion du présent mémoire, nous pouvons déduire que la réutilisation des eaux du canal collecteur de la vallée de l'oued Righ est bénéfique à plus d'un titre, d'une part elle permet le développement économique de la région, d'autre part elle contribue à la protection l'environnement particulièrement pour parer à l'alimentation des nappes phréatiques qui causent des remontées des eaux très néfaste pour la zone.

Toute fois il est recommandé de développer les techniques de réutilisation des eaux non conventionnelles (de drainage) pour baisser au maximum les couts d'investissement et d'exploitation a fin que les technologies soient accessibles à un niveau le plus large possible.

Dans notre cas, on a utilisé la technique de l'osmose inverse pour diminuer la salinité des eaux à un seuil tolérable le choix de cette technique est arrêtée par le fait qu'elle est déjà utilisée dans cette région pour l'alimentation en potable.

Il est préconisé que le traitement des eaux usées qui se déversent actuellement dans le canal soient prises en charge par la projection des stations d'épuration.

Bibliographie :

- INRAA de sidi Mehdi (Touggourt) : archive
- INRAA de sidi Mehdi (Touggourt) : bilan des eaux phréatiques d'irrigation et de drainage.
- FAO (Algérie) : projet de réaménagement des oasis de L'oued Righ
- ONID : office national de l'irrigation et de drainage (archive).
- ANRH : Agence Nationale Des Ressources Hydriques (Touggourt) : archive
- F. Amour et y. touil (2007) : étude de la réutilisation des eaux de drainage dans la cuvette de Ouargla.
- Hafouda lamine : caractérisation et quantification de la salinité du sol et de la nappe dans la vallée de Oued Righ.
- DEBBA Waffa et FENACH Imane (2003-2004) : le comportement hydrodynamique des nappes dans la région de l'oued Righ (w. Touggourt et l'Oued).
- Rachid ZAGAIT (ENSH, 2009) : contribution a l'étude de drainage agricole du la cuvette de Ouargla.
- Yacine BRADAI : thèse
- Amina REZIG (ENSH, 2009) : comparaison technico-économique entre l'osmose inverse et l'électrodialyse dans la déminéralisation des eaux saumâtres.
- Les pliantes représentatifs de l'ONID. (2007,2008, 2010,2011).

Sitographie :

www.FAO.com

[www.riob.org/diverse/sahar.](http://www.riob.org/diverse/sahar)

www.Google.fr

www.rove.com