

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY  
UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة  
Année 2017

Faculté des Sciences de la Terre  
Département de géologie

**Thèse**

En vue de l'obtention du diplôme de

**DOCTORAT EN SCIENCES**

**THEME**

**Ressources en eau et gestion intégrée dans la vallée de Oued Righ  
(Sahara septentrional algérienne).**

**Option : Hydrogéologie**

**Par : BOUZNAD Imad Eddine**

**DIRECTEUR DE THESE: ZOUINI Deradji Pr Univ. Badji Mokhtar- Annaba**

**DEVANT LE JURY :**

<b>Président :</b>	KHERICI Nacer	Pr. Univ. Badji Mokhtar-Annaba
<b>Examineurs:</b>	DJORFI Saadane	MCA. Univ. Badji Mokhtar-Annaba
	Djidel Mohamed	Pr. Univ. Kasdi Merbah-Ouargla
	FEHDI Chemseddine	MCA. Univ -Tebessa
	Kachi Slimane	Pr. Univ. 8 mai 1945-Guelma

# Remerciements

*Au terme de ce travail, nous ne manquons d'adresser mes sincères remerciements à tous ce qui ont contribué de près ou de loin, à la réalisation de ce mémoire.*

*Ma premières reconnaissances sont adressées tout d'abord à mon promoteur, Monsieur Zouini Derradji, de part son suivi continu et ces conseils fructueux et judicieux. Il m'a permis d'élaborer cette thèse et qui sans aides, ce travail n'aurait point vu de jour.*

*Je voudrais également remercier les membres de jury, pour avoir bien voulu lire, commenter et débattre mon travail.*

*Je remercie toute l'équipe de l'ANRH de Touggourt particulièrement MR: Sayah Lambarek youcef, qui a met à notre disposition tous les documents nécessaires, constituant la base de ce travail. Ainsi que MR: ELALMI Foudil, Ben GuegaSalah et Senousi Salim.*

*Je remercie affectueusement MR NOURI Issam qui a déployé ses efforts, pour me faire profiter de ces vastes connaissances et qui m'a largement aidé au cours de la réalisation de ce travail.*

*Mes remerciements et mes reconnaissances s'adressent aussi à tous les enseignants de l'université de Djelfa, ceux du département des sciences de la terre et de l'univers en particulier, ainsi que tous les étudiants que j'ai encadré.*

*Enfin, je tiens à remercier tous les amis qui m'ont aidés et encouragés pour réaliser ce travail.*

# Dédicace

*Je dédie ce modeste travail à ceux qui me*

*Sont les plus chers au monde:*

*A la mémoire du plus chers du monde*

*Mon père qui nous a quitté pour toujours,*

*A ma très chère mère, qui a su m'élever,*

*Et m'orienter ve*

*rs le droit chemin,*

*C'est également l'exemple d'une mère généreuse qui s'est sacrifiée jour après jour*

*pour notre bonheur, qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde*

*reconnaissance.*

*A ma femme qui m'a soutenu à tout au long de la réalisation de ce travail,*

*Aussi à ma petite fille Mirale.*

*A mon grand frère Radouane, qui n'a jamais hésité de me présenter son immense*

*aide moral et financier.*

*A ma petite sœur Souhila l'unique de sa qualité et qu'elle m'a toujours porté dans*

*ces yeux et sur sa tête.*

**IMAD EDDINE**

## **RESUME**

La région d'Oued Righ est considérée comme région pauvre en matière de précipitations ; elle reçoit moins de 50 mm/an. L'utilisation intensive des eaux souterraines a engendré des problèmes de rejets des eaux usées et d'excès d'eau d'irrigation qui occasionnent un impact négatif sur l'environnement et la remontée de la nappe phréatique. En appliquant le logiciel WEAP « water evaluation and planning », ce travail vise à développer un système d'aide à la décision(SAD) pour modéliser les ressources en eau et les usages, évaluer l'équilibre de la balance besoins-ressources et analyser la situation future de l'eau selon différents scénarios. On constate que l'utilisation de l'eau est excessive ce qui traduit par une demande non satisfaite et des rejets importants dans le canal. La comparaison entre scénarios élaborés montre une diminution remarquable de la demande en eau et des débits de retour vers le canal d'oued Righ. L'application développée sous Arcgis a permis d'accéder facilement à l'information et proposer les solutions les plus adéquates pour satisfaire la demande tout en maîtrisant la gestion des rejets des eaux usées et des eaux d'irrigation.

**Mots clés :** WEAP, Nappe phréatique, Scénarios, modèle, Arcgis

**Abstract**

The region of Oued Righ is considered as a poor region in terms of precipitation, which it receives less than 50 mm / year. The intensive use of groundwater has led to many problems of wastewater discharges and an excess of irrigation water, which makes an adverse impact on the environment and the rise of the water table. Applying the WEAP software "water assessment and planning", this paper aims to develop a decision support system (DSS) to model the water resources and their uses, assessing the balance-equilibrium resources needs and analyze the future situation of the water according to different scenarios. It is observed that water use is excessive which reflected by an unmet demand and significant discharges into the canal. Otherwise, comparison between the scenarios elaborated shows a remarkable reduction in water demand and return flows to the river channel Righ. The application has been developed under Arcgis that provides an easy access to the information and offer the most suitable solutions to meet the demand and to properly manage the discharges from the wastewater and irrigation.

**Key-words:** WEAP, water table, Scenarios, model, ArcGIS

## ملخص

تعتبر منطقة واد ريغ منطقة فقيرة من حيث تساقط الأمطار. إذ تستقبل أقل من 50 مم/سنة. وقد أدى الاستخدام المكثف للمياه الجوفية إلى مشاكل في تصريف المياه المستعملة ومياه الري الزائدة ، التي تسبب تأثير سلبي على البيئة وعلى ارتفاع منسوب الطبقة السطحية.. من خلال تطبيق برنامج WEAP "تقييم المياه والتخطيط"، تهدف هذه الدراسة إلى تطوير نظام دعم القرار (DSS) لعمل نموذج للموارد المائية واستخداماتها، تقييم توازن الاحتياجات و الموارد و تحليل الوضع المستقبلي للمياه حسب سيناريوهات مختلفة. النتائج المتحصل عليها بينت الافراط في استخدام الماء مما يؤدي الى عدم تلبية الطلب و زيادة تدفق المياه المستعملة نحوالقناة. المقارنة بين السيناريوهات الموضوعه تظهر انخفاضا ملحوظا في الطلب على المياه و تدفق الماء المستعملة في اتجاه قناة واي ريغ. التطبيق المطور في برنامج ArcGIS يسمح بسهولة الوصول إلى المعلومات، وتقديم أنسب الحلول لتلبية الطلب و التسيير الأمثل في تصريف مياه الصرف الصحي ومياه الري.

**كلمات البحث:** WEAP، المياه السطحية، سيناريوهات، نموذج، ArcGIS

# Sommaire

<b><i>1<sup>er</sup> chapitre : Introduction générale</i></b>	
I. Gestion des ressources en eau	01
I.1. Principes de la GIRE	02
I.2. Difficultés liées à l'application des principes de la GIRE	02
I.3. Gestion par bassin versant	03
I.4. Gestion des Aquifères	03
I.5. Gestion Qualitative	03
II. Objectifs de la thèse	04
III. Organisation de la thèse	07
<b><i>2<sup>ème</sup> chapitre : Présentation de la zone et caractéristiques naturelles</i></b>	
I. Situation géographique de l'aire d'étude	09
I.2. Géomorphologie et Topographie	10
I.3. Climat et Végétation	10
I.4. Aperçu socio-économique	10
II. Cadre géologique régional	11
II.1. Les bassins sédimentaires de la plate forme saharienne	11
II.2. Cadre géologique local de Oued Righ	14
II.2.1 Cadre stratigraphique et paléontologique de la région d'étude	17
II.2.1.1. Les formations de l'ère secondaire	17
II.2.1.2. Les formations de l'ère Tertiaire	22
II.2.1.3. Les formations d'âge Quaternaire	25
II.3. Tectoniques	25
II.4. Paléogéographie	26
II.5. Pédologie	27
II.5.1. Caractérisation générale des sols	27
II.5.1.1. Premier profil	28
II.5.1.2. Deuxième profil	29
III. Aperçu climatique	30
III.1. Etude des paramètres climatiques	31
III.1.1. La répartition des pluies mensuelles, annuelles et saisonnières	31
III.1.1.1. Répartition moyenne mensuelle des précipitations	31
III.1.1.2. Répartitions saisonnières des précipitations	32
III.1.2. La répartition des températures mensuelles	33
III.2. Synthèse climatique	33
III.2.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN	34
III.2.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER	34
III.2.3. Indice d'aridité	35
III.2.4. Humidité relative de l'air	36
III.2.5. Vents	37

III.2.6.Durée d'insolation	37
III.3.Bilan hydrique	38
III.3.1.Estimation de l'ETP (Évapotranspiration potentielle)	39
III.3.1.1. Formule de Thornthwaite	39
III.3.1.2.Estimation de la RFU (Réserve Facilement Utilisable)	39
III.3.2.Estimation de l'ETR (Évapotranspiration réelle)	39
III.3.2.1.ETR selon la formule de Turc	39
III.3.2.2.L'ETR selon la Thornthwaite	40
IV. Potentialités en eau	41
IV.1. Bassins versants en Algérie	41
IV.2.Potentialités en eau dans la vallée de Oued Righ	42
IV.2.1. les eaux souterraines	43
IV.2.1.1.Nappe phréatique	44
IV.2.1.2.La nappe du complexe terminal (le Pontien CT)	44
IV.2.1.2.1.piézométrie de la nappe complexe termina	47
IV.2.1.3.Nappe du continental intercalaire (albienne CI)	48
IV.2.1.3.1.Piézométrie de la nappe continentale intercalaire	52
IV.2.1.4.Aperçu historique des études hydrogéologiques dans la région d'étude	53
IV.2.2.Eaux de surface	55
IV.2.2.1.Lacs	55
IV.2.2.2.Canal de Oued Righ	56
IV.2.3.Les Stations de mesure	59
IV.2.3.1.Paramètres hydrauliques	60
IV.2.3.2.Interprétation des résultats	61
IV.2.3.3.Evolution du débit du canal au niveau des stations hydrométriques	62
<b><i>3<sup>ème</sup> chapitre : Diagnostic de l'état actuel des ressources en eau</i></b>	
Introduction	64
I. Répartition de l'infrastructure hydraulique dans la région des Oued Righ	64
I.1. Forages	64
I.2. Réservoirs de stockage	65
I.3.Stations d'épuration	66
I.3.1.Données techniques de la station	67
I.3.2.Étapes de traitement	67
II. Problèmes posés par l'évolution hydraulique	68
II.1. Remontée des eaux	68
II.2. Chute de l'artesianisme	69
II.3. Dégradation du canal de Oued Righ	69
II.4.Problème de la salinité	70
III. Analyse des causes principales de l'indiquer	70
III.1. Croissance démographique	70
III.1.1.Répartition de la population par commune	71
III.2. Évolution du nombre de forages	73
III.3. Développement agricole	74
III.4. Rejets des eaux usées	75



IV. Mobilisation des ressources en eau dans la vallée de Oued Righ	76
V. Affectation des ressources en eau	78
V.1.1. Alimentation en eau potable (AEP)	81
V.1.12 Alimentation en eau pour l'agriculture (AEA)	83
V.1.2.1. Répartition des surfaces agricoles dans la vallée de Oued Righ	84
V.1.2.2. Répartition des palmiers dattiers dans la vallée de Oued Righ	85
V.1.2.3. Réseau d'irrigation	85
V.1.2.4. Réseau de drainage	86
V.1.3. Alimentation en eau industrielle (AEI)	87
<b>4<sup>ème</sup> chapitre : Approche qualitatif</b>	
Introduction	88
I. Interprétation des analyses chimiques de la nappe du continental intercalaire CI	88
I.1.Diagramme de Piper	88
I.2. Cartographie des éléments chimiques	89
I.2.1. les cations	89
I.2.2. Anions	91
I.3. Aptitude des eaux à l'irrigation	93
I.3.1. Diagramme de Richards (Riverside)	93
I.4. Potabilité des eaux de la nappe du continental intercalaire (CI)	94
II. Interprétation des analyses chimiques de la nappe du complexe terminal CT	95
II.1.Paramètres physiques	95
II.2.Diagramme de Piper	96
II.3.Cartographie des éléments chimiques	97
II.4.Aptitude des eaux à l'irrigation	101
II.5. Potabilité des eaux de la nappe du complexe terminal	102
III. Interprétation des analyses chimiques de la nappe phréatique	103
III.1.Paramètres physiques	103
III.2.Diagramme de Piper	106
III.3.Répartition des éléments chimiques	107
III.4. Aptitude des eaux à l'irrigation	110
III.5. Potabilité des eaux de la nappe phréatique	111
<b>5<sup>ème</sup> chapitre : Modélisation de la demande en eau par WEAP</b>	
Introduction	112
I. Logiciels d'aide à la décision en GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en Eaux)	112
II. Description des logiciels utilisés	117
II.1.Global Mapper 15.0	117
II.2.Visual Studio 12.0	117
II.3.Arc GIS	118
II.4.Description de WEAP	118
II.4.1.Création de la zone d'étude	118
II.4.2.Création des hypothèses clés et références	119
II.4.2.1.Hypothèses clés	119
II.4.2.2.Références	119
II.4.2.3.Proposition des Scénarii	119
II.4.3.Saisie des données	119
II.4.4. Présentation des résultats	119
III. Application du modèle WEAP dans la vallée de oued Righ	120

III.1.Cartographie	122
III.2.Réglage des paramètres généraux	123
III.3. Analyse et traitement des données nécessaires	124
III.3.1. Sites des demandes	124
III.3.2.Sites de l'offre et règles de liaisons	127
III.4. Création des hypothèses clés	129
III.4.1. Changement d'horizon de temps du secteur	129
III.5. Création des scénarii	130
III.5.1. Exécuter des Scénarios	131
III.5.1.1.Scénario de référence	131
III.5.1.2. Scenario 1 : Offre amélioré	131
III.5.1.3. Scenario 2 : Consommation rationnelle	132
III.5.1.4.Scenario 3 : Consommation optimale	132
III.6. Débits de retour	132
IV. Résultats et discussions	135
IV.1.Analyse sectorielle	135
IV.1.1. Secteur eau potable	135
IV.1.2. Secteur Agricole	137
IV.2. Analyse globale	138
IV.3. Comparaison entres scénarios	140
V. Application SIG développé	142
V.1. Modélisation par ArcGIS	143
V.2. Application développée IWRM (Integrated Water Resource Management)	146
V.2.2. Langage de programmation utilisé	146
V.3.Structuration de l'application "I.W.R.M"	146
V.3.1. Site de demande	147
V.3.1.1 Cadre Bâti (Agglomérations)	147
V.3.1.2. Sites agricoles	147
V.3.3. Consultation	148
V.3.4 Mise-a-jour	148
V.3.5. Sélection SQL	148
VI. Essai de gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée de Oued Righ	149
VI.1. Structure institutionnelle de la gestion des ressources en eau	149
VI.1. 1.Institutions du secteur public en Algérie	150
VI.2. Stratégie et vision de gestion des ressources en eau dans la vallée de Oued Righ	151
VI.2.1.Principales recommandations pour la mise en place d'une stratégie de la gestion de l'eau dans la vallée d'Oued Righ	152
VI.2.1.1. Stratégie pour l'eau potable	152
VI.2.1.2. Stratégie pour l'eau d'irrigation	152
VI.2.1.2.1. Techniques d'irrigation	153
VI.2.1.2.2. Réutilisation des eaux de drainage	153
VI.2.1.3. Stratégie pour les eaux usées	154
VI.2.1.4. Stratégie social	154
VI.2.1.5. Stratégie pour l'aménagement des eaux de surface	156
Conclusion generale	157

## *Liste des figures*

<i>N° de figure</i>	<i>Titre de figure</i>	<i>Page</i>
Figure n° 01 :	Facteurs de la gestion intégrée des ressources en eau.....	01
Figure n° 02 :	Interaction entre les différents secteurs liés à l'eau et leurs impacts sur la vallée de Oued Righ.....	05
Figure n° 03 :	Situation géographique de la zone d'étude.....	09
Figure n° 04 :	lac de Temacine.....	11
Figure n° 05 :	Carte des bassins sédimentaires.....	12
Figure n° 06 :	Coupe géologique du Sahara Septentrionale.....	14
Figure n° 07 :	carte géologique du Sahara orientale.....	16
Figure n° 08 :	Coupe géologique N-S passant par la cuvette Secondaire Saharienne et par la Vallée de Oued Righ.....	17
Figure n° 09 :	Carte d'emplacement des profiles des coupes géologiques de la nappe du continental intercalaire.....	19
Figure n° 10 :	Coupe géologique traversant la nappe Albiénne entre Hassi Messaoud, Khechem Errih et El Hadjira.....	20
Figure n° 11 :	Coupe Géologique traversant la nappe sénonienne entre Hassi Messaoud, Khechem Errih et El.....	21
Figure n° 12 :	Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt.....	23
Figure n° 13 :	Carte d'emplacement des profils des coupes géologiques de la nappe du complexe terminal.....	24
Figure n° 14 :	Coupe Géologique traversant la nappe du complexe terminal entre Hassi Messaoud, Khechem Errih et El Hadjira.....	25
Figure n° 15 :	Extrait de la carte des précipitations moyennes annuelles de l'Algérie.....	30
Figure n° 16 :	Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Station météorologique de Touggourt 1975-2012).....	31
Figure n° 17 :	Répartitions saisonnières des précipitations en % (Station météorologique de Touggourt 1975-2012).....	32
Figure n° 18 :	Histogramme des températures moyennes mensuelles .....	33
Figure n° 19 :	Diagramme Ombrothermique de Gaussen de la région de Touggourt (1975-2012)...	34
Figure n° 20 :	Climagramme d'EMBERGER.....	35
Figure n° 21 :	Répartition moyenne mensuelle interannuelle de l'humidité (Station météorologique de Touggourt 1975-2012).....	36
Figure n° 22 :	Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la vitesse des vents (Station météorologique de Touggourt 1975-2012).....	37
Figure n° 23 :	Répartition moyenne mensuelle d'insolation (Station météorologique de Touggourt, 1975-2012).....	38
Figure n° 24 :	Évapotranspiration potentielle (ETP) et Évapotranspiration réelle ETR.....	40
Figure n° 25 :	Répartition des ressources en eaux mobilisables en Algérie.....	42

Figure n° 26 : coupe hydrogéologique synthétique du sahara septentrional.....	43
Figure n° 27 : Carte des ressources en eaux souterraines (continental intercalaire et complexe terminal).....	44
Figure n° 28 : coupe hydrogéologique du complexe terminal de la région de Oued Righ.....	46
Figure n° 29 : Carte d'âge des eaux de la nappe du complexe terminal.....	46
Figure n° 30 : Carte piézométrique de la nappe du complexe terminal (Sass 2003).....	47
Figure n° 31 : Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique de la nappe du continental intercalaire.....	48
Figure n° 32 : Carte du profondeur du toit de la nappe Albienne.....	49
Figure n° 33 : Carte d'épaisseur de la nappe Albienne.....	51
Figure n° 34 : Carte piézométrique de la nappe du continental intercalaire.....	52
Figure n° 35 : Photo du lac de Temacine.....	56
Figure n° 36 : Photo du lac de Megarine.....	56
Figure n° 37 : Canal de Oued Righ.....	57
Figure n° 38 : Variation du débit en fonction de la longueur du canal.....	61
Figure n° 39 : Histogramme de l'évolution du débit du canal au à la station Ranou.....	62
Figure n° 40 : Histogramme de l'évolution du débit du canal à la station de Sidi Slimane.....	63
Figure n° 41 : Schéma récapitulatif du nombre de forages dans la région de Oued Righ.....	65
Figure n° 42 : Vue de la station d'épuration de Touggourt.....	66
Figure n° 43 : Remontée de la nappe phréatique dans la région de Touggourt (Tatawine).....	68
Figure n° 44 : Destruction des berges du canal en sable due aux turbulences à Boufeggoussa.....	69
Figure n° 45 : Salinité dans les palmeraies .....	70
Figure n° 46 : Palmeraies dégradées par la salinité.....	70
Figure n° 47 : Évolution de la population par commune de Oued.....	71
Figure n° 48 : Densité de la population dans la vallée de Oued Righ.....	72
Figure n° 49 : Courbe d'évolution du nombre de forages dans la région de Oued Righ.....	73
Figure n° 50 : Courbe d'évolution du nombre de palmiers dans la vallée de Oued Righ.....	74
Figure n° 51 : Rejets des eaux usées dans le canal de Oued Righ.....	76
Figure n° 52 : Taux de mobilisation des ressources en eaux souterraines dans la vallée de Oued Righ.....	77
Figure n° 53 : Schéma récapitulatif du potentiel hydrique dans la vallée de Oued Righ.....	78
Figure n° 54 : Structure de la demande en eau à usage domestique.....	79
Figure n° 55 : Structure de la demande en eau à usages collectifs et publics.....	79
Figure n° 56 : Structure de la demande en eau à usages Agricoles.....	80
Figure n° 57 : Structure de la demande en eau à usage industriels.....	80
Figure n° 58 : Affectation des ressources en eau dans la vallée de Oued Righ.....	81
Figure n° 59 : Évolution de la longueur du réseau d'irrigation dans la vallée de Oued Righ.....	86

Figure n° 60 :	Évolution de la longueur du réseau d'irrigation dans la vallée de Oued Righ.....	87
Figure n° 61 :	Représentation du diagramme de Piper de la nappe CI.....	90
Figure n° 62 :	Carte d'iso teneurs du Ca <sup>++</sup> dans les eaux de la nappe CI.....	91
Figure n° 63 :	Carte d'iso teneurs du Mg <sup>++</sup> dans les eaux de la nappe CI.....	92
Figure n° 64 :	Carte d'iso teneurs du Na <sup>++</sup> k <sup>+</sup> dans les eaux de la nappe CI.....	92
Figure n° 65 :	Carte d'iso teneurs du Cl <sup>-</sup> dans les eaux de la nappe CI.....	93
Figure n° 66 :	Carte d'iso teneurs du So <sub>4</sub> <sup>--</sup> pour la nappe CI.....	94
Figure n° 67 :	Carte d'iso teneurs du Hco <sub>3</sub> <sup>-</sup> pour La nappe CI.....	94
Figure n° 68 :	Représentation du diagramme de Richards de la nappe CI.....	95
Figure n° 69 :	Histogramme de la variation de pH des eaux de la nappe CT.....	96
Figure n° 70 :	Carte d'iso teneurs du conductivité électrique des eaux de la nappe CT.....	97
Figure n° 71 :	Représentation du diagramme de Piper de la nappe CT.....	97
Figure n° 72 :	Carte d'iso teneurs du Ca <sup>++</sup> dans les eaux de la nappe CT.....	99
Figure n° 73 :	carte d'iso teneurs du Mg <sup>++</sup> dans les eaux de la nappe CT.....	100
Figure n° 74 :	Carte d'iso teneurs du Na <sup>++</sup> k dans les eaux de la nappe CT.....	100
Figure n° 75 :	Carte d'iso teneurs du Cl <sup>-</sup> dans la nappe CT.....	101
Figure n° 76 :	Carte d'iso teneurs du So <sub>4</sub> —dans la nappe CT.....	101
Figure n° 77 :	Carte d'iso teneurs du Hco <sub>3</sub> <sup>-</sup> dans les eaux de la nappe CT.....	102
Figure n° 78 :	Représentation du diagramme de Richards de la nappe CT.....	103
Figure n° 79 :	Histogramme du variation de pH dans la nappe libre.....	105
Figure n° 80 :	Histogramme de la variation de la Conductivité électrique dans la nappe libre.....	106
Figure n° 81 :	Représentation du diagramme de Piper de la nappe phréatique.....	108
Figure n° 82 :	Répartition des concentrations des cations dans la nappe libre.....	109
Figure n° 83 :	Répartition des concentrations des anions dans la nappe libre.....	111
Figure n° 84 :	Représentation du diagramme de Richards de la nappe phréatique.....	112
Figure n° 85 :	Evolution du nombre de publications sur WEAP entre 1990 et 2016.....	115
Figure n° 86 :	Organigramme du fonctionnement du logiciel WEAP.....	120
Figure n° 87 :	Institutions de gestion des eaux dans la vallée de Oued Righ.....	121
Figure n° 88 :	Schéma final du model WEAP et organigramme de travail.....	122
Figure n° 89 :	Carte du monde dans le logiciel WEAP.....	123
Figure n° 90 :	Carte de la zone d'étude sous WEAP.....	123
Figure n° 91 :	Sites de demandes dans les communes de la wilaya de Oued Righ.....	124
Figure n° 92 :	Niveau d'activité annuelle des sites des demandes domestiques.....	125
Figure n° 93 :	Niveau d'activité annuelle des sites des demandes Agricoles.....	126
Figure n° 94 :	Consommation annuelle des sites des demandes domestiques-Compte d'état actuel, 2008-.....	126

Figure n° 95 :	Sites de l'offre (forage du CT et CI) dans la vallée de Oued Righ.....	127
Figure n° 96 :	Liaisons entre sites de demande et sites de l'offre dans la vallée de l' Oued Righ.....	128
Figure n° 97 :	Horizon de calcul pour le scénario.....	129
Figure n° 98 :	Scénario de base.....	129
Figure n° 99 :	Schéma explicatif du système hydraulique de la région d'étude.....	132
Figure n° 100 :	Valeurs de calage du modèle.....	134
Figure n° 101 :	Evolution de la demande en eau globale des différents Scénarios.....	138
Figure n° 102 :	Evolution de la demande en eau non satisfaite global des différents Scénario.....	138
Figure n° 103 :	Evolution des débits de retours globaux des différents Scénarios.....	139
Figure n° 104 :	Ecart la demande en eau entre Scénario Consommation optimale et scénario Consommation rationnelle	140
Figure n° 105 :	Ecart entre la demande en eau non satisfaite pour le Scénario Consommation optimale et le scénario Consommation rationnelle.....	141
Figure n° 106 :	Volume des rejets AEP minimisé par l'application du scénario Consommation optimale par rapport au scénario Consommation rationnelle.....	141
Figure n° 107 :	Agglomérations de la zone d'étude.....	142
Figure n° 108 :	Surface agricole de la zone d'étude.....	142
Figure n° 109 :	Canal d'Oued Righ.....	143
Figure n° 110 :	Carte finale digitalisée de la zone d'étude.....	143
Figure n° 111 :	Organigramme de l'application SIG.....	144
Figure n° 112 :	Menu de l'application " IWRM ".....	145
Figure n° 113 :	Boutons de l'application IWRM.....	145
Figure n° 114 :	Base de données des Agglomérations.....	146
Figure n° 115 :	Bouton Consultation.....	147
Figure n° 116 :	Bouton Sélection SQL.....	147
Figure n° 117 :	Organisation du ministère des ressources en eaux en Algérie.....	149
Figure n° 118 :	Principe d'une station à filtres plantés de roseaux.....	153

# Liste Des Tableaux

<b>N° de tableau</b>	<b>Titre de tableau</b>	<b>Page</b>
Tableau n° 01 :	Répartition de la superficie et de la population par commune.....	10
Tableau n° 02 :	Étapes probables de la tectonique dans le Sahara algérien.....	26
Tableau n° 03 :	Résultat des analyses du sol pour le profile 01.....	28
Tableau n° 04 :	Résultat des analyses du sol pour le profile 02.....	29
Tableau n° 05 :	Coordonnées géographiques de la station de Touggourt.....	31
Tableau n° 06 :	Variations des précipitations moyennes mensuelles (Station météorologique de Touggourt, 1975-2012).....	31
Tableau n° 07 :	Répartitions saisonnières des précipitations (Station météorologique de Touggourt, 1975-2012).....	32
Tableau n° 08 :	Données des moyennes mensuelles des températures (Station météorologique de Touggourt, 1975-2012).....	33
Tableau n° 09 :	Répartition moyenne mensuelle de l'humidité aux stations de Touggourt (%) (1975-2012).....	36
Tableau n° 10 :	Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la vitesse des vents à la station de Touggourt V (m/s) (1975/2012).....	37
Tableau n° 11 :	Répartition moyenne mensuelle d'insolation à la station de Touggourt.....	38
Tableau n° 12 :	Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE.....	41
Tableau n° 13 :	Données générales sur la nappe du continental intercalaire.....	51
Tableau n° 14 :	Tableau récapitulatif du système hydrogéologique du bas Sahara.....	53
Tableau n° 15 :	Tableau récapitulatif des résultats obtenus par l'étude ERESS.....	54
Tableau n° 16 :	Coordonnées géographiques (GPS) et topographie des Stations.....	59
Tableau n° 17 :	Résultats des paramètres hydrauliques des stations de jaugeage.....	61
Tableau n° 18 :	Résultats des débits de chaque station (au moulinet).....	61
Tableau n° 19 :	Répartition du débit du canal à la Station Ranou.....	62
Tableau n° 20 :	Répartition du débit du canal à la Station Sidi Slimane.....	63
Tableau n° 21 :	Réservoirs de stockage et leurs capacités.....	66
Tableau n° 22 :	Suivi des sous produits de prétraitement.....	67
Tableau n° 23 :	Résultats de l'auto surveillance des entrées et des sorties dans la STEP.....	67
Tableau n° 24 :	Évolution de la population des communes de Oued Righ.....	71
Tableau n° 25 :	Répartition de la superficie, de la population et la densité de la population par commune.....	72
Tableau n° 26 :	Nombre de forages reels.....	74
Tableau n° 27 :	Nombre de forages estimés.....	74
Tableau n° 28 :	Nombre de palmiers réels et estimés.....	75
Tableau n° 29 :	Situation de l'assainissement et des rejets des eaux usées.....	75

Tableau n° 30 :	Potentiel hydrique global dans la vallée de Oued Righ.....	76
Tableau n° 31 :	Répartition de l'utilisation des eaux dans la vallée de Oued Righ.....	81
Tableau n° 32 :	Situation actuelle de l'alimentation en eau potable dans la région de Oued Righ.....	82
Tableau n° 33 :	Tableau récapitulatif des caractéristiques des forages destinés à l'AEP dans la région de Oued Righ.....	83
Tableau n° 34 :	État actuel de la superficie agricole à travers la vallée de Oued Righ.....	84
Tableau n° 35 :	Évolution du nombre de palmiers répartis dans la vallée de Oued Righ.....	85
Tableau n° 36 :	Longueur du réseau d'irrigation dans la vallée de Oued Righ.....	86
Tableau n° 37 :	Longueur du réseau de drainage dans la vallée de Oued Righ.....	87
Tableau n° 38 :	Comparaison entre la concentration des cations et les normes de l'OMS et norme algérienne eaux souterraines de la nappe CI.....	95
Tableau n° 39 :	Valeurs des pH dans la nappe CT.....	95
Tableau n° 40 :	Comparaison entre la concentration des cations et les normes de l'OMS et norme algérienne eaux souterraines de la nappe CT.....	102
Tableau n° 41 :	Valeurs des pH dans la nappe libre.....	103
Tableau n° 42 :	Valeurs de la Conductivité électrique dans la nappe libre.....	105
Tableau n° 43 :	Classification des eaux souterraines selon la dureté totale.....	106
Tableau n° 44 :	Valeurs du résidu sec dans la nappe libre.....	106
Tableau n° 45 :	Données de base des sites de demande pour le compte courant et les scénarios....	132
Tableau n° 46 :	Valeurs cibles.....	133
Tableau n° 47 :	Evolution de la demande en eau potable (DE) et de la demande non satisfaite (DNS) en Mm3 pour tous les scénarios.....	135
Tableau n° 48 :	Débits de retours des sites de demande en eau potable en Mm3 pour tous les Scénarios.....	135
Tableau n° 49 :	Evolution de la demande en eau agricole (DE) et de la demande non satisfaite..	137
Tableau n° 50 :	Débits de retours des sites de demande agricole en Mm3 pour tous les Scénarios..	137



## *Manifestations scientifiques*

### ➤ **Communications internationales:**

- ✓ 1er Colloque international de l'eau 25 – 27 Octobre 2010 à Annaba.  
« DIAGNOSTIQUE DES RESSOURCES EN EAU DANS LA VALLEE SUD D'OUED RIGH WILAYA DE OUARGLA ». (communication orale).
- ✓ 1er Colloque international sur la géologie du Sahara algérienne : ressources minérales, en hydrocarbures et en eau, du 05 au 07 Décembre 2010 à Ouargla.  
« ESSAI DE LA GESTION INTEGREE DES RESSOURCES EN EAU DANS LA VALEE D'OUED RIGH SUD WILAYA DE OUARGLA ». (communication orale).
- ✓ Séminaire international sur les ressources en eau au Sahara du 19 au 20 janvier 2011 à l'université de kasdi Merbah Ouargla.  
« BESOIN, UTILISATION ET DEMANDE EN EAU DANS LA VALEE D'OUED RIGH SUD WILAYA DE OUARGLA ». (communication orale).
- ✓ Le cinquième colloque Maghrebin de géophysique, Sous le thème : La géophysique au service de l'environnement. ALGER, les 12, 13 et 14 avril 2011  
« ETUDE GEOELECTRIQUE PAR SONDAGE ELECTRIQUE VERTICAL DANS LA REGION DE CHETMA WILAYA DE BISKRA ». (communication orale).
- ✓ Le premier Séminaire international sur l'hydrogéologie et l'environnement SIHE2013. Ouargla, les 05, 06 et 07 novembre 2013  
« MODELISATION DE LA DEMANDE EN EAU PAR LE LOGICIEL WEAP21 ET ESSAI DE LA GESTION INTERGREE DANS LA COMMUNE DE HAD SAHARY (WILAYA DE DJELFA) ».
- ✓ Troisième colloque international sur la géologie du Sahara : ressources minérales, énergétiques, hydrocarbures et eaux, ouargla, 09 et 10 Décembre 2015  
« L'ELABORATION D'UN SYSTEME D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE POUR IDENTIFIER LES ZONES AQUIFERES ET LES MEILLEURS EMPLACEMENT DES FORAGES SUR LA BASE DES SONDAGES ELECTRIQUES VERTICALS, CAS DE LA REGION DE AIN OUSSARA (W. DJELFA) »
- ✓ Le quatrième colloque international Terre et Eau, Annaba, 17 à 19 mai 2016  
« RESSOURCES EN EAU ET GESTION INTEGREE PAR UN SYSTEME D'AIDE A LA DECISION WEAP, CAS DE LA WILAYA DE DJELFA ».

### ➤ **Formation:**

- ✓ Participation au cours de formation sur « Caractérisation des interactions entre les eaux de surface et les eaux souterraines » organisé à Tunis par (JICA, INAT, ATCT) du 04 au 22 novembre 2013 dans le cadre de la coopération sud-sud.
- ✓ Participation à l'atelier sur la gestion intégrée des ressources en eau pour l'Afrique organisé à TUNIS par (JICA, INAT, ), DU 31 AOUT AU 04 SEPTEMBRE 2015.
- ✓ Participation à la formation de Géostatistique, organisé par l'OSS en partenariat avec l'IRA de Médenine dans le cadre du projet WAADIS-MAR financé par la commission européenne, du 23 au 26 mai 2016 à Zarzis (Tunisie).

- ✓ Participation à la formation de Geophysique, organisé par l'OSS en partenariat avec l'IRA de Médenine dans le cadre du projet WAADIS-MAR financé par la commission européenne, du 30 mai au 02 juin 2016 à Zarzis (Tunisie).



# 1<sup>er</sup> CHAPITRE

---

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

*La gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) est un processus d'attribution de fonctions à des systèmes d'eau, l'établissement de normes, la mise en vigueur (surveillance) et la gestion. Elle comprend la collecte de données, l'analyse de processus physiques et socioéconomiques, la considération des différents intérêts et la prise de décisions par rapport à la disponibilité, l'exploitation et l'usage des ressources en eau.*

*(Hofwegen et Jaspers, 1999).*

---

## I. Gestion des ressources en eau

La Gestion Intégrée des Ressources en Eau (GIRE) est un processus où toutes les différentes utilisations des ressources en eau sont prises en compte conjointement. Les attributions et les décisions de gestion de l'eau prennent en compte les effets de chaque utilisation sur les autres. Elles sont en mesure de tenir compte des objectifs sociaux et économiques globaux, y compris la réalisation du développement durable (global water partnership).

La GIRE vise donc à encourager la mise en valeur et la gestion coordonnée de l'eau, des terres et des ressources associées en vue de maximiser le bien-être économique et social qui en résulte d'une manière équitable, sans compromettre la durabilité d'écosystèmes vitaux (Partenariat Mondial de l'Eau, 2000).

D'une façon générique, la GIRE sous entend que les nombreuses et différentes utilisations des ressources en eau sont interdépendantes. De fortes demandes en irrigation et des « flots » de drainage fortement pollués signifient moins d'eau douce pour la boisson ou pour l'utilisation industrielle ; les eaux usées municipales et industrielles contaminées polluent les fleuves et menacent les écosystèmes.

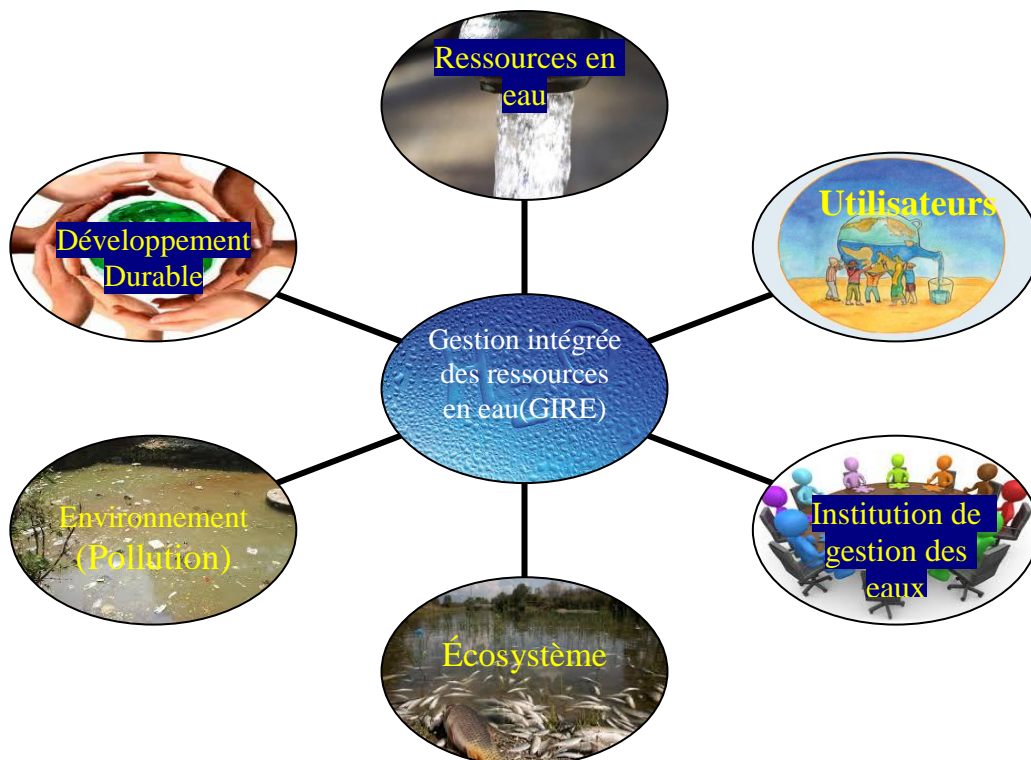


Fig.01 : Facteurs de la gestion intégrée des ressources en eau

**I.1. Les principes de la GIRE**

La réunion de Dublin en 1992-a donné naissance à quatre principes qui ont servi de base à une grande partie de la réforme du secteur de l'eau :

- la reconnaissance que l'eau est une ressource limitée et vulnérable indispensable à la vie, au développement et à l'environnement ;
- La nécessité de reconnaître l'eau comme un bien économique, qui ne peut être considéré comme étant perpétuellement disponible ;
- La nécessité d'une approche participative dans sa gestion impliquant de facto la consultation et l'association de tous les usagers ;
- La reconnaissance de l'importance du rôle de la femme dans la gestion de l'eau.

L'intégration des principes de la GIRE ne peut se faire de façon uniforme mais doit tenir compte des spécificités locales, notamment -la culture et les savoirs faire.

Lors du Sommet mondial pour le développement durable tenu à Johannesburg en 2002, il a été reconnu que les principes de la GIRE étaient fondamentaux pour atteindre les Objectifs du Millénaire pour le Développement (OMD).

**Principe 1 :** L'eau douce est une ressource limitée et vulnérable, essentielle au maintien de la vie, au développement et à l'environnement.

**Principe 2 :** La mise en valeur et la gestion de l'eau devraient se baser sur une approche participative, impliquant les utilisateurs, les planificateurs et les décideurs politiques à tous les niveaux.

**Principe 3 :** Les femmes jouent un rôle central dans l'approvisionnement, la gestion et la sauvegarde de l'eau. Le rôle central des femmes comme fournisseuses et utilisatrices de l'eau et comme gardiennes du cadre de vie a été rarement reflété dans les dispositions institutionnelles pour la mise en valeur et la gestion des ressources en eau.

**Principe 4 :** L'eau a une valeur économique dans toutes ses utilisations concurrentes et devrait être reconnue aussi bien comme bien économique que bien social. Dans ce principe, il est essentiel de reconnaître d'abord le droit fondamental de tous les êtres humains à avoir accès à l'eau potable et à l'assainissement à un prix accessible.

**I.2. Les difficultés liées à l'application des principes de la GIRE**

Les principaux problèmes liés à l'application des principes de la GIRE sont notamment :

- Le manque de conscientisation et d'éducation de la population sur les problèmes liés à l'eau ;
- Le manque de sensibilisation des populations sur les comportements néfastes comme les gaspillages, la pollution de l'eau et de l'environnement ;

-Le peu de transparence et de diffusion de l'information qui entoure les actions entreprises.  
Il importe de reconnaître que l'application des principes de la GIRE nécessite un changement de mentalités chez les usagers et les responsables ; mais aussi des réformes au niveau de l'organisation et du fonctionnement de tous les services en rapport avec l'eau.

### **I.3. Gestion par bassin versant**

La mise en œuvre de la gestion intégrée de l'eau par bassin versant constitue un engagement majeur de la Politique nationale de l'eau adoptée à l'automne 2002, et vise en premier lieu la réforme de la gouvernance de l'eau. Cette forme de gestion tient compte des enjeux tant locaux que régionaux, et elle a pour fondement une approche écosystémique de la gestion des eaux basée sur les bassins versants. Elle permet de mieux comprendre et d'expliquer les problèmes liés à la quantité et à la qualité de l'eau et des écosystèmes aquatiques puis de trouver des solutions s'inscrivant dans une perspective de développement durable. Cette approche de gestion permet également de mieux établir les priorités d'action en tenant compte des impacts cumulatifs sur le milieu aquatique.

La gestion intégrée des ressources en eau par bassins versants est un processus permanent basé sur la concertation de l'ensemble des décideurs, des usagers et de la société civile. Elle vise la planification et une meilleure harmonisation des mesures de protection et d'utilisation des ressources en eau dans une optique de développement durable.

### **I.4. Gestion des Aquifères**

La gestion des aquifères est l'ensemble des actions permettant une utilisation optimale de la ressource qu'ils renferment, afin de répondre aux besoins de la société. La gestion peut être quantitative mais aussi qualitative (hydrogéologie objet et méthode)

Différents modes de gestion des aquifères ont été mis en place et devraient permettre à terme une exploitation durable des ressources en eaux souterraines telles les difficultés risquant d'apparaître en période d'étiage. Ils peuvent également prévenir les éventuels conflits d'usage et assurer une gestion patrimoniale de la ressource comme pour la nappe fossile du continentale intercalaire.

### **I.5. Gestion Qualitative**

La qualité des rivières peut être dégradée en raison de pollutions industrielles importantes, de pollutions diffuses d'origine essentiellement agricoles et/ou d'un taux d'élimination de la pollution domestique encore insuffisant.

L'enjeu premier en matière de qualité des eaux est de préserver la santé humaine ; la préservation de la ressource en eau potable est à ce titre primordial. D'une façon générale, le

niveau de qualité recherché est apprécié en fonction des usages qui pèsent sur la ressource et de la richesse des écosystèmes qui y sont liés.

Les objectifs des pouvoirs publics en matière de gestion qualitative sont de deux ordres :

- ✓ Améliorer la surveillance et la connaissance de la qualité de l'eau,
- ✓ Engager des programmes de dépollution.

## **II. Objectifs de la thèse**

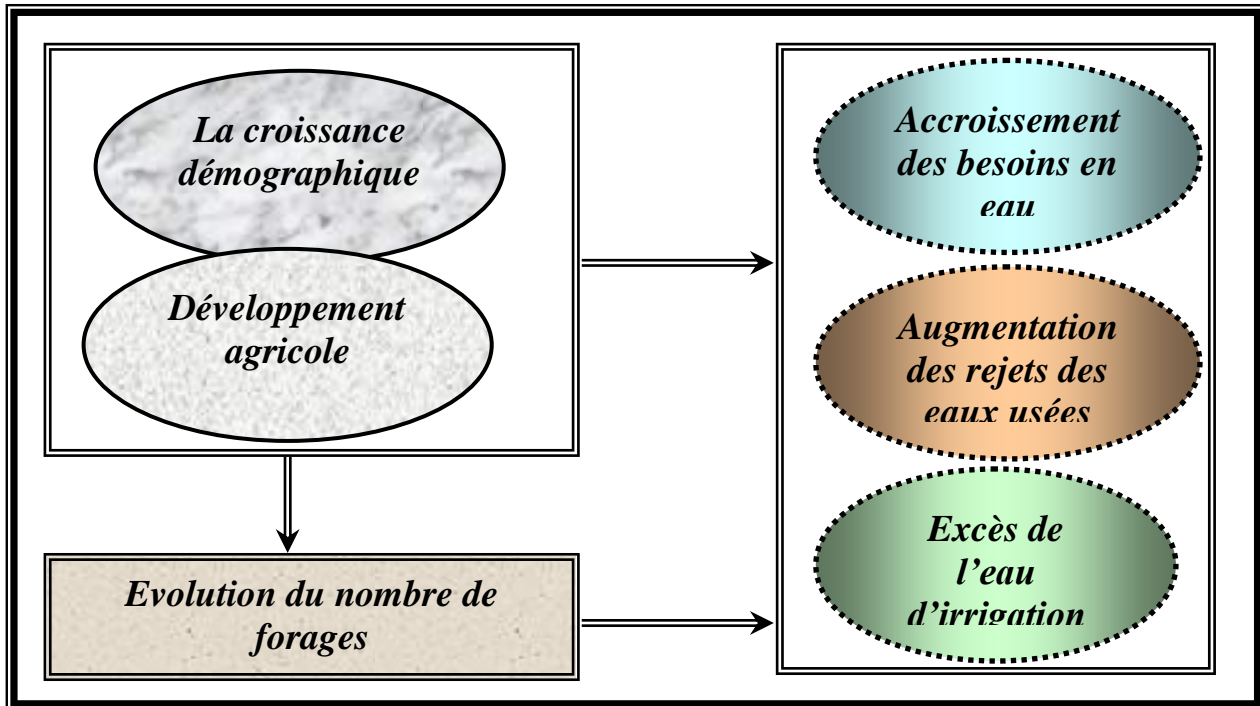
Dans le cadre de notre travail, nous avons essayé d'adapter le concept de la gestion intégrée des ressources en eau (GIRE) à notre zone d'étude. Cette dernière se caractérise par une particularité de son climat et de la qualité de ses eaux d'où le recours à l'utilisation du logiciel WEAP qui a la particularité de prendre en compte de nombreux paramètres permettant d'avoir un maximum d'informations devant aboutir à des résultats probants et à une gestion plus efficiente.

A l'instar de toutes les contrées du sud Algérien, caractérisées par une faiblesse des précipitations, la vallée d'Oued Righ, reçoit une pluviométrie moyenne annuelle très faible (42,49 mm) induisant inévitablement, le recours aux eaux souterraines (transfrontalières). A cet effet, la satisfaction des usagers de la ressource passe par le recours à la planification de son exploitation qui devra se faire en associant les gestionnaires et les décideurs en charge de la ressource.

La croissance démographique et le développement agricole sont les plus importants facteurs qui agissent -sur l'évolution du nombre de forages, ce qui s'exprime par un accroissement des besoins en eau, une augmentation des rejets des eaux usées et un excès de l'eau d'irrigation. Ces différents facteurs conduisent à une instabilité des ressources en eau, traduite par la remontée de la nappe phréatique, la chute de l'artésianisme, la dégradation du canal de Oued Righ et la problématique de la salinité.

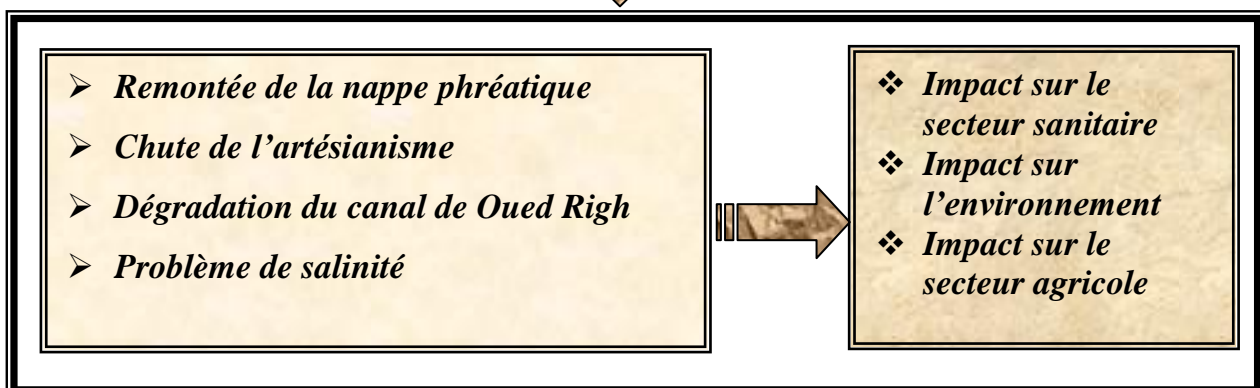
Par conséquent, ces différents problèmes sont accompagnés par des impacts négatifs sur le secteur sanitaire, agricole et environnemental, en particulier la remontée des eaux qui, en l'absence d'un réseau d'assainissement adéquat et fonctionnel, peut provoquer un mélange entre les eaux de bonne et de mauvaise qualité.

## Phase 01 : les causes principales de la problématique



## Phase 02 : les problèmes posés

## Phase 03 : les conséquences de ces problèmes



**Fig. 02: Interaction entre les différents secteurs liés à l'eau et leurs impacts sur la vallée de l'Oued Righ**

Les eaux souterraines utilisées proviennent des nappes fossiles et sont gérées conjointement par les trois pays que sont l'Algérie, la Tunisie et la Lybie. Les travaux réalisés par le SAS (Système du Sahara Septentrional), ont démontré que cette ressource était vulnérable du point quantitatif et qualitatif et pour essayer de la préserver, il faut proposer un modèle de gestion qui prend en compte cet important et crucial paramètre.

Au cours des vingt dernières années, de nombreux chercheurs ont étudié l'impact de la remontée des eaux sur l'environnement (Drouiche A. 2013), Les travaux réalisés par Hamed



(2015), portant sur les Oasis du SE Tunisien ont montré que la remontée des eaux est également présente dans ce pays.

Des études ont été menées également dans la région de Oued Righ par Bouguergoura L. et al. (2013) et Remini B. et al (2013) ont traité des problèmes qualitatifs des rejets des eaux usées et de l'allocation de l'eau potable.

L'étendue de la zone d'étude ainsi que la réalité du terrain conduisent à opter pour la modélisation afin de pouvoir proposer un modèle de gestion qui sera utilisé aisément par les responsables en charge du secteur de l'eau. Le premier corolaire considéré dans notre démarche est que le modèle se base sur l'utilisation de la ressource disponible dans la zone d'étude. Notre démarche de travail s'appuie sur l'utilisation du logiciel WEAP (Water Evaluation And Planning) qui a été développé par le « *Stockholm Environment Institute* » (SEI) ; son fonctionnement se base sur le principe de la comptabilité de l'équilibre de l'eau. L'utilisateur représente le système des sources d'approvisionnement (rivières, aquifères, réservoirs), le retrait, la demande en eau et les exigences de l'écosystème (Herve L. et al. 2003).

WEAP est une plate-forme de modélisation qui permet l'évaluation intégrée du climat d'un bassin versant, l'hydrologie, l'utilisation des terres, les infrastructures et les priorités de gestion de l'eau (Yates D. 2005).

Au cours de la dernière décennie, plusieurs outils ont connu une véritable révolution dans le domaine de la gestion des ressources en eau. Le logiciel WEAP a prouvé sa performance dans différentes approches. Bon nombre de chercheurs ont utilisé WEAP dans différents contextes (hydrologique, changement climatique, irrigation, hydro électrique, sociologique,....etc.). Les études réalisées par Ajay-Gajanan B. et al. (2014). Vishal-K. Mehta et al. (2012), ont appliqué le WEAP pour évaluer les effets potentiels du changement climatique sur la capacité de l'offre à répondre aux besoins par priorité.(Randall S-F et al. 2014) ont utilisé WEAP pour évaluer la vulnérabilité des centrales hydroélectriques (existantes et prévues) ainsi que la demande d'irrigation en amont du bassin du fleuve Zambèze en Afrique du Sud.

Si-J. Choi et al. (2012) ont développé un modèle pour calculer le budget de l'eau et proposer une politique d'atténuation de la pénurie d'eau optimale afin d'aider les décideurs à élaborer des stratégies de gestion des ressources en eau à long terme. Utilisant WEAP, Ghaleb F. et al. (2014) ont analysé l'impact de la guerre et des conflits sur l'environnement de l'eau dans les bassins fluviaux côtiers de la Syrie.

Hadded R et al. (2013) ont présenté un système d'aide à la décision (SAD) pour la gestion des eaux souterraines par un lien dynamique entre MODFLOW et WEAP, qui transfère les

résultats d'un modèle à l'autre. Le modèle restitue les variations spatiales et temporelles et permet de calculer l'équilibre de l'eau souterraine.

En Algérie, WEAP a été utilisé dans différentes régions sur les bassins versants de l'ouest du pays, pour évaluer et analyser l'équilibre actuel et prévisionnel –des scénarios futurs de gestion des ressources en eau en prenant en compte les différentes politiques et les facteurs opérationnels qui peuvent affecter la demande jusqu'à l'horizon 2030 (Hamlat A. et al. 2012). Un autre modèle a été développé pour simuler les bilans hydriques actuels et évaluer les stratégies de gestion de l'eau dans la région de Annaba (Aoun Sebaiti B. et al. 2013). R. Boukha-H et al. (2014) ont élaboré un modèle pour étudier la gestion des ressources en eau dans un cadre unifié prenant en compte à la fois l'évolution de la demande en eau des différents sites et les processus hydrologiques dans les bassins versants qui déterminent en grande partie le volume d'eau mobilisable.

Notre travail a pour finalité la mise en place d'un système d'aide à la décision (SAD) conçu sous Arcgis sur la base des résultats obtenus par le WEAP ; ce SAD permet d'accéder facilement à l'information voulue durant toute la période de simulation, pour aider les gestionnaires à prendre les décisions adéquates.

### **III. Organisation de la thèse**

Cette section donne un aperçu sur l'organisation de la thèse et la contribution de chaque chapitre dans la recherche.

- Le premier chapitre présente le contexte scientifique, le cadre de recherche, les objectifs poursuivis et la description sommaire des méthodes mises en œuvre.
- Le second chapitre a trait aux informations physiques et naturelles de la zone d'étude. Quatre sections forment ce chapitre. La première s'intéresse à la situation géographique et au fonctionnement socioéconomique de la région d'étude. La deuxième est consacrée aux informations géologiques et structurales. La troisième section est relative au climat de Oued Righ. La dernière section définit les potentialités hydrauliques de la région étudiée, tant souterraines que superficielles.
- Le troisième Chapitre s'articule autour de deux axes où le premier présente un diagnostic de l'état actuel des ressources en eaux (infrastructures et mobilisation des eaux). Le deuxième axe est consacré aux utilisateurs des eaux dans la région de Oued Righ (alimentation en eau potable, en eau agricole, en eau industrielle...).
- Le quatrième chapitre est réservé aux caractéristiques hydrochimiques des eaux souterraines pour donner un aperçu sur la qualité des eaux des trois nappes aquifères: la nappe phréatique, la nappe du complexe terminal et la nappe du continental intercalaire.

Le cinquième et dernier chapitre de cette thèse présente les principaux résultats, portant sur la méthodologie adoptée et sur la modélisation de la demande en eau. Des recommandations pour une bonne gestion des ressources en eau disponibles (amélioration de l'offre, déduction de la demande) font également partie de ce chapitre. La dernière section présente le développement de l'outil d'aide à la décision, conçu sous Arcgis sur la base des résultats obtenus par WEAP.

## 2<sup>ème</sup> CHAPITRE

# PRÉSENTATION DE LA ZONE ET CARACTÉRISTIQUES NATURELLES



*Dans une région, qui reçoit moins de 150 mm de pluies annuelles comme la région d'Oued Righ, alors qu'une culture pérenne des palmiers dattiers par exemple, nécessite de 1500 à 2000 mm d'arrosage, la question des ressources en eau conditionne toutes les autres.*

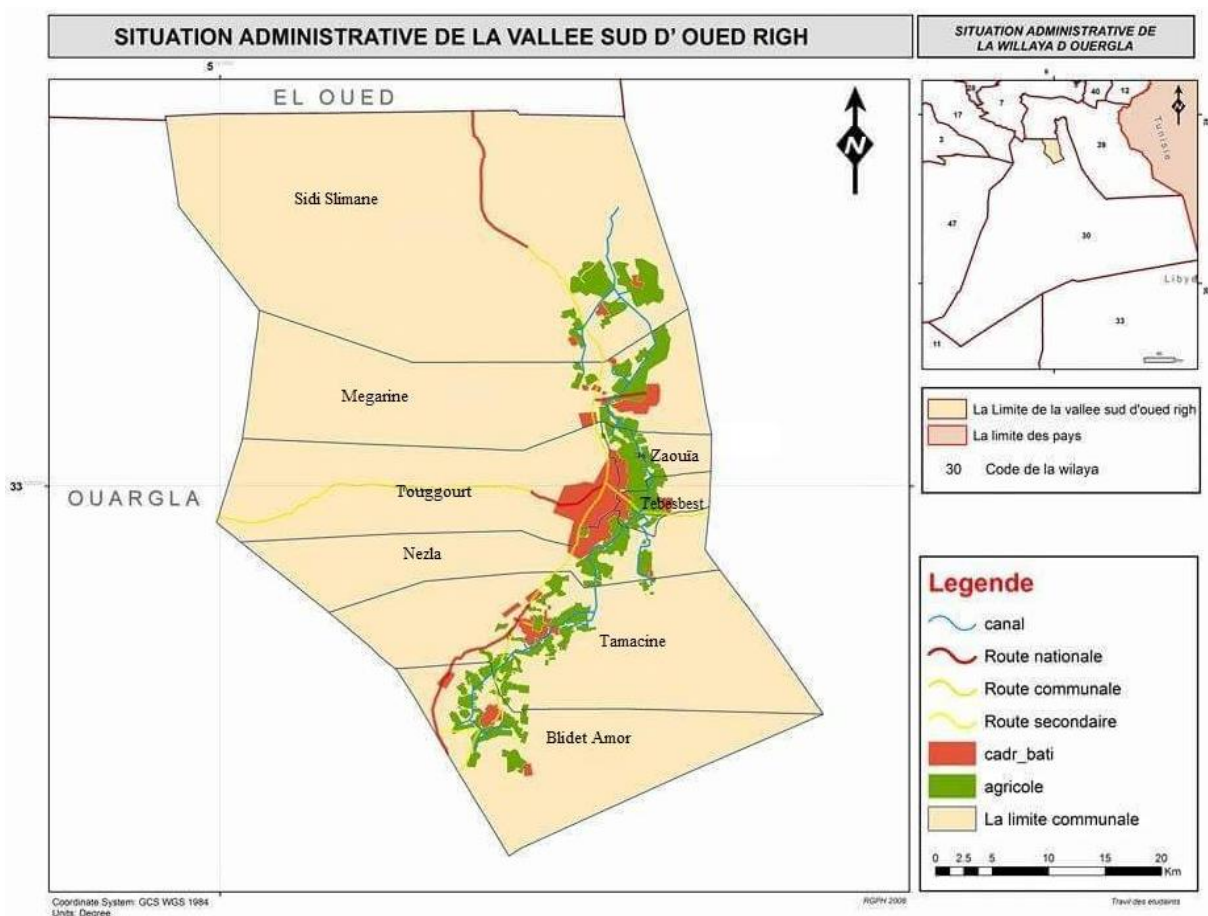
*(AGDFOUS, 1994)*

## I. Situation géographique de l'aire d'étude

La vallée de 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. Elle 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).

Administrativement la vallée de Oued Righ fait partie de deux wilayas : Ouargla et Oued Souf. A cause de la grande extension de la zone d'étude, seule la partie qui se trouve dans le territoire de la wilaya de Ouargla a été étudiée, autrement dit Oued Righ Sud qui englobe les daïra de Tamacine, Touggourt et Megarine (figure 03). Du point de vue géographique, la région d'étude n'est pas un bassin versant mais une unité de ressource en eau délimitée:

- Au Sud par les dunes de grand erg oriental de la wilaya de Ouargla.
- A l'Est par la wilaya de Oued Souf.
- Au Nord par les daïra de Djamaa et El Meghaïer appartenant à la wilaya de Oued Souf
- A l'Ouest par la wilaya de Ghardaïa.



**Fig.03 : Situation géographique de la zone d'étude**

La zone d'étude occupe une superficie de 1874 km<sup>2</sup> représentant administrativement huit (8) communes et comprend une population de 200916 âmes.

Tab. 01 : Répartition de la superficie et de la population par commune

<i>Commune</i>	<i>Population</i>	<i>Superficie (km<sup>2</sup>)</i>
Temacine	19994	300
Blidet Amor	15414	250
Touggourt	41699	216
Nezla	53467	132
Tebesbest	41294	26
Zaouia	21087	30
Megarine	13965	285
Sidi Slimane	8392	635
<b>TOTAL</b>	<b>215312</b>	<b>1874</b>

Source: ONS(office national de statistique), 2008

## I.2. Géomorphologie et Topographie

Cette région a une morphologie homogène et se présente sous forme de dépression orientée Sud-Nord.

La variation des côtes est remarquable ; Elle descend régulièrement de 90m à Goug pour atteindre 45 m à Djamaa.

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

## I.3. Climat et Végétation

Le climat est typiquement saharien, caractérisé par une forte aridité avec une pluviométrie aléatoire de l'ordre de 60 mm, ne favorisant guère le développement de la végétation. L'été se caractérise par une température très élevée et une humidité faible.

La culture du palmier dattier reste la principale activité dans la région occupant une superficie avoisinant les 10% à 15 % de la superficie de la région.

## I.4. Aperçu socio-économique

Le domaine agricole qui était jadis la principale activité est un peu délaissé actuellement à cause du faible rendement des palmiers dû aux effets néfastes de la salinisation des eaux et des sols, de la remontée de la nappe phréatique, du vieillissement des palmiers »...etc.

Parmi les espèces cultivées, la variété « Deglat Nour » prédomine, suivie par « Ghars », et « Degla Bayda ». On note aussi l'existence d'élevage typique de la région (ovins et caprins).

Dans le domaine de l'industrie, il existe plusieurs petites usines, principalement des briqueteries implantées à proximité de la source de matière primaire, ainsi que des complexes

de transformations hydrocarbures (DTP), transformation des plastiques ; fabriques d'aluminium ainsi que des entreprises de conditionnement de dattes.

Le tourisme existe aussi, de part l'existence de quelques niches touristiques comme les oasis, le lac de Temacine, les anciennes Medinas, les tombeaux des rois, etc. Et surtout la Zaouïa Tidjania qui accueille de nombreux visiteurs chaque année.



**Fig. 04 : lac de Temacine**

## **II. Cadre géologique régional**

L'un des aspects essentiels de l'étude hydrogéologique est l'identification des aquifères, définis dans un espace fini et continu appelé réservoirs. Ces derniers sont caractérisés par leur lithologie, leur localisation dans le sous-sol et leur structure et géométrie.

### **II.1. Les bassins sédimentaires de la plate forme saharienne**

La plate forme saharienne est située au Sud de l'Atlas saharien appartenant 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 :

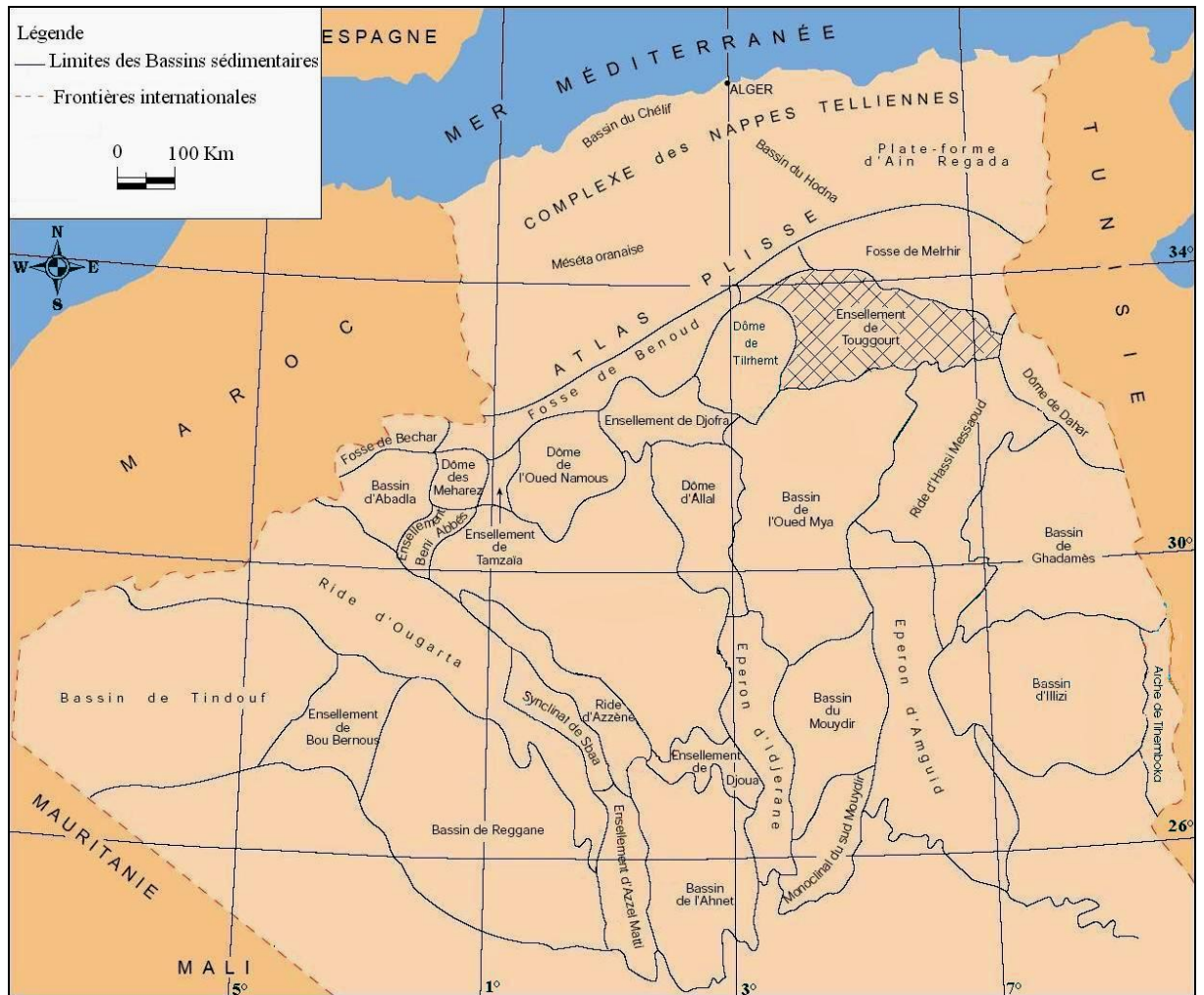


Fig. 05 : Carte des bassins sédimentaires (Source : Sonatrach, 2006)

❖ **Bassin Tindouf et Reggane**

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

❖ **Bassin de Bechar**

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

❖ **Bassin de l'Ahnet-Timimoun**

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



**❖ Bassin de Mouydir et de l'Aguemour-Oued Mya**

Ils sont limités à l'Ouest par la dorsale d'Idjerane-Mzab 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.

**❖ La synéclise d'Illizi-Ghadames**

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

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

C'est cette dernière qui englobe le bas Sahara, qui fait l'objet de notre étude. Située dans la partie septentrionale de la plateforme 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.
- Le môle de Dahar.

Ces éléments sont séparés par des dépressions (Oued Mya), où 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, caractérisée par une importante formation évaporitique.

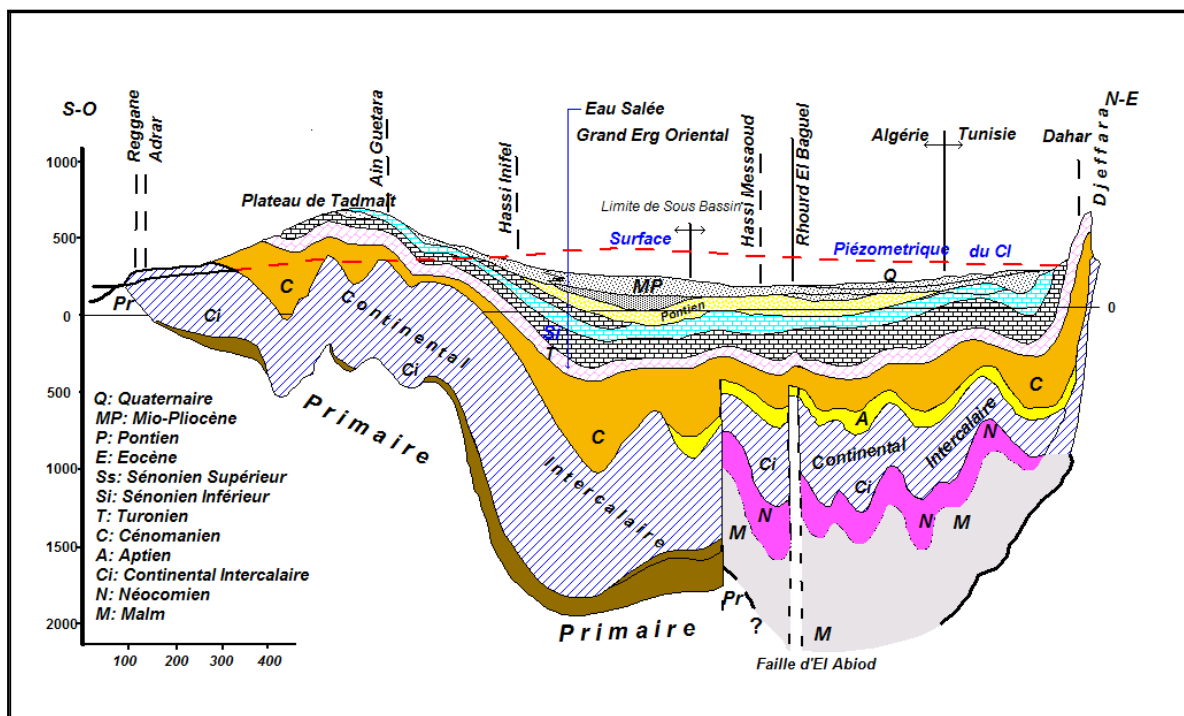


Fig. 06 : Coupe géologique du Sahara Septentrionale (UNESCO 1972)

C'est donc entre la bordure septentrionale du Hoggar et la bordure méridionale de l'Atlas Saharien que se situe le grand bassin sédimentaire du Bas Sahara (vaste synclinal) avec plus de 600 km de diamètre ; il couvre 72000 km<sup>2</sup> de superficie et s'étend des pieds des Aurès au Nord jusqu'aux Tassilis au Sud. Une grande partie du bassin est recouverte par le Grand Erg Oriental (environ 125000 km<sup>2</sup>) dont fait partie notre région.

Mis à part le côté Nord, les autres bordures sont de hauteurs modestes et s'inclinent en pente douce vers la partie déprimée, matérialisée par l'axe SSW-NNE et parcourues par les oueds Mya et Righ. Au Nord on se dresse une haute barrière composée des monts des Ouled Nail, des Aurès et des Nemamcha, bordant une dépression longitudinale occupée par des chotts, et dont le fond est au dessous du niveau de la mer.

Tous les terrains, depuis le Cambrien jusqu'au Tertiaire sont dissimulés en grand partie par le Grand Erg Oriental

## II.2. Cadre géologique local de Oued Righ

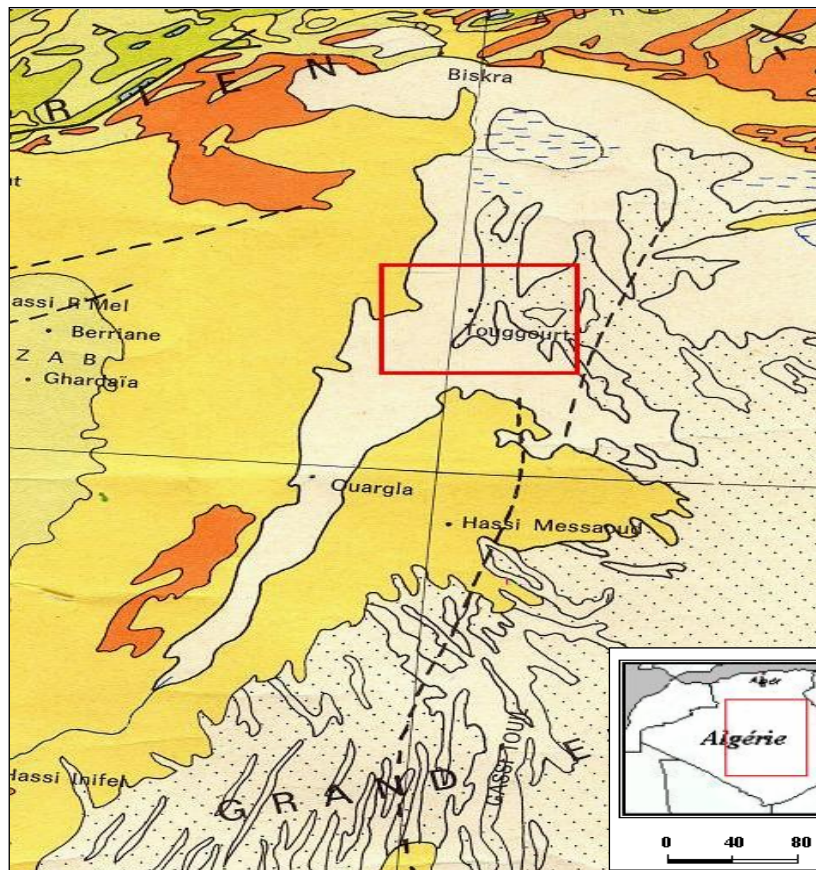
Pour étudier la géologie de la zone d'étude, nous étendrons le champ d'investigation à tout le Bas-Sahara, en raison de l'ampleur des phénomènes géologiques, stratigraphiques et tectoniques caractérisant la région.

Nous distinguant de bas en haut trois ensembles :

- Les terrains Paléozoïques affleurent au Sud entre les plateaux de Tadmait et Tinghert et le massif du Hoggar.
- Les terrains du Mésozoïques et Cénozoïques constituent l'essentiel des affleurements des bordures du Bas Sahara.
- Des dépôts continentaux de la fin de Tertiaire et du Quaternaire, occupent le centre de la cuvette.






La prospection géophysique et les sondages pétroliers ont précisé la profondeur du socle Précambrien (Furon, 1968) qui se situe 3000 et 5000 m ; il s'ensuit que les dépôts sédimentaires sont estimés à 4500 m d'épaisseur.

Dans cette étude, nous nous intéressons surtout à la couverture sédimentaire Post Paléozoïque, qui renferme les principaux aquifères du Sahara.



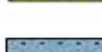






Légende

**QUATERNAIRE CENOZOÏQUE**

-  QUATERNAIRE.
-  Sebka, lacs.
-  Dunes.
-  Néogène + Oligocène.
-  Eocène.

**MESOZOÏQUE**

-  Crétacé indifférencié.
-  Crétacé supérieur et moyen.
-  Crétacé inférieur.
-  Jurassique indifférencié.
-  Jurassique supérieur et moy.
-  Jurassique inférieur.
-  Trias ou Permo-Trias.

**PALEOZOÏQUE**





-  Carbonifère indifférencié.
-  Carbonifère supérieur et Permien.
-  Carbonifère inférieur.
-  Dévonien indifférencié.
-  Dévonien supérieur et moyen.
-  Dévonien inférieur.
-  Silurien.
-  Ordovicien.
-  Cambrien.
-  Primaire indifférencié.
-  Champ de dykes.
-  Contour, limite d'affleurement.
-  Faille, décrochement.
-  Front de chevauchement.

Fig.07 : Carte géologique du Sahara orientale 1/1000 000 (Extrait de la carte géologique Nord Ouest de l'Afrique, 1976).

### II.2.1 Cadre stratigraphique et paléontologique de la région d'étude

Les formations géologiques sont décrites de la plus ancienne à la plus récente :

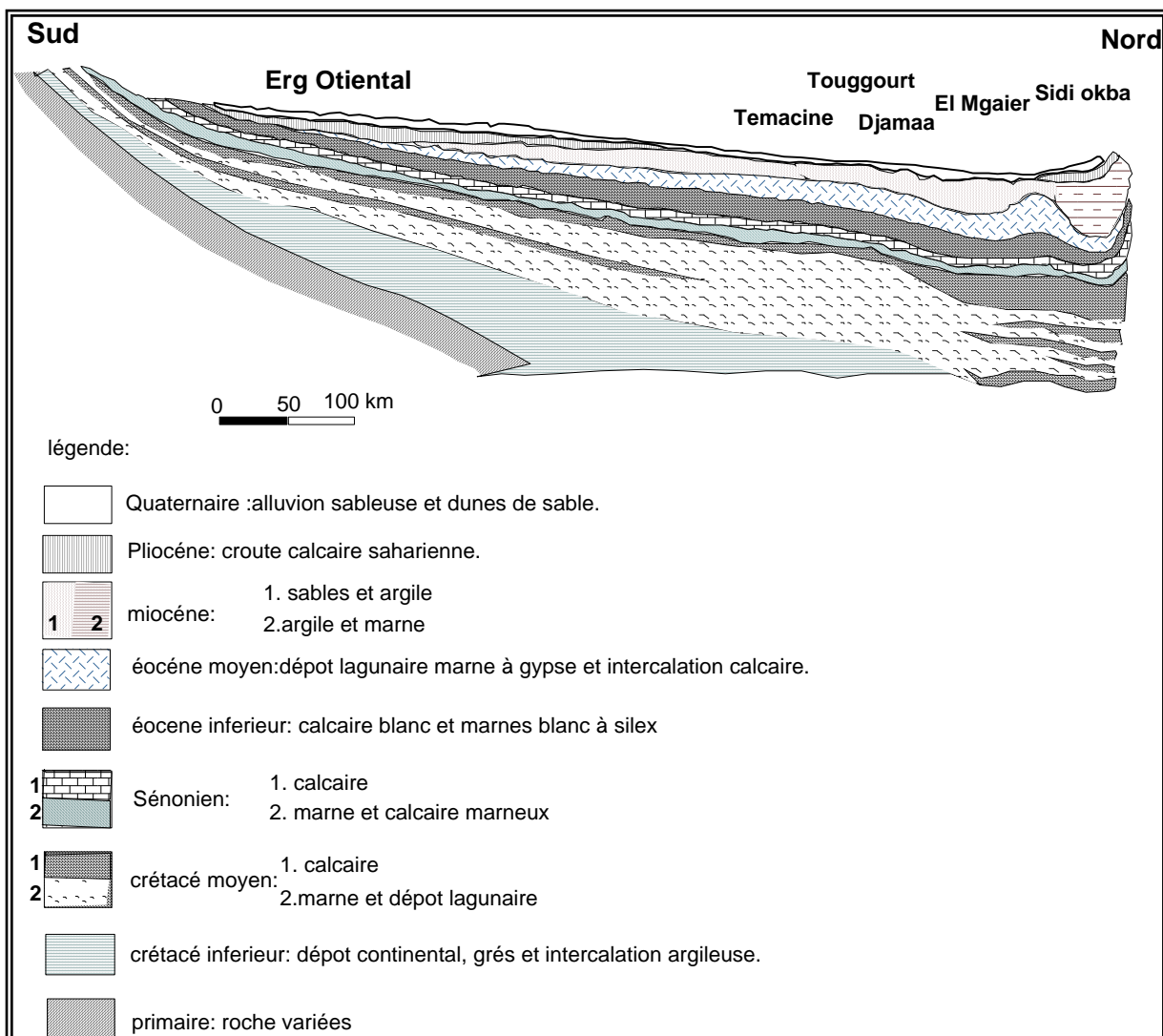
#### II.2.1.1. Les formations de l'ère secondaire

##### ❖ Crétacé

Cette époque géologique est intéressante pour deux raisons :

-D'une part, le Crétacé qui affleure sur les bords du Bas Sahara (Karpoff, 1952) repose sur le socle primaire composé des roches variées : schistes, grès et calcaire.

-D'autre part, l'étendue des affleurements crétacés est très importante en Algérie Orientale. Ce Crétacé est une série en grande partie continentale formée d'une alternance de couches gréseuses et argileuses.



**Fig.08 : Coupe géologique N-S passant par la cuvette Secondaire Saharienne et par la Vallée de Oued Righ (Cornet A. 1962) carte modifiée.**

➤ **Néocomien**

Se subdivise en deux séries :

○ **La série inférieure**

A prédominance argileuse, elle est représentée par des argiles grises et vertes, plus au moins pélitiques où sont intercalées des dolomies microcristallines et cristallines.

○ **La série supérieure**

On distingue deux ensembles :

-L'ensemble supérieur, constitué de dolomies et de calcaires microcristallins avec des intercalations d'argiles, de pélites et de marnes blanches et grises.

-L'ensemble inférieur, surtout anhydritique avec intercalations d'argiles plus au moins, grises, vertes et rouges. Ces argiles passent à des marnes avec lits dolomitiques.

L'épaisseur du Néocomien est de 350 m.

➤ **Le Barrémien**

Son épaisseur varie entre 150 et 200 m. le Barrémien est constitué de grès fins à moyens à ciment argileux, avec des passes de dragées de quartz blanc laiteux, des intercalations de sables et de grès arkosiques, plus au moins grossiers.

Cette épaisse série détritique poreuse du Barrémien constitue un important aquifère du Complexe Intercalaire.

➤ **L'Aptien**

L'Aptien est constitué de dolomies microcristallines à cristallines, parfois blanches, crayeuses et tendres, contenant des débris de mollusques et entrecoupés de marnes grises dolomitiques. L'Aptien présente les caractéristiques d'un terrain semi-perméable d'épaisseur variant de 28 à 31 m.

➤ **L'Albien**

Il est essentiellement constitué de grès friables à ciment argileux et d'argiles sableuses. Les grès et les sables sont fins à très fins passant parfois à des pélites ; les argiles souvent pélitiques sont de couleur grise ou verdâtre. Cette formation albienne présente les caractéristiques suivantes :

- Épaisseur croissant d'Est en Ouest,
- Teneurs élevées en éléments clastiques,
- Les teneurs en carbonates décroissants d'Est en Ouest depuis les valeurs supérieures à 10 % jusqu'à des valeurs proches de zéro.
- L'Albien se présente comme une série très épaisse (200-300m).

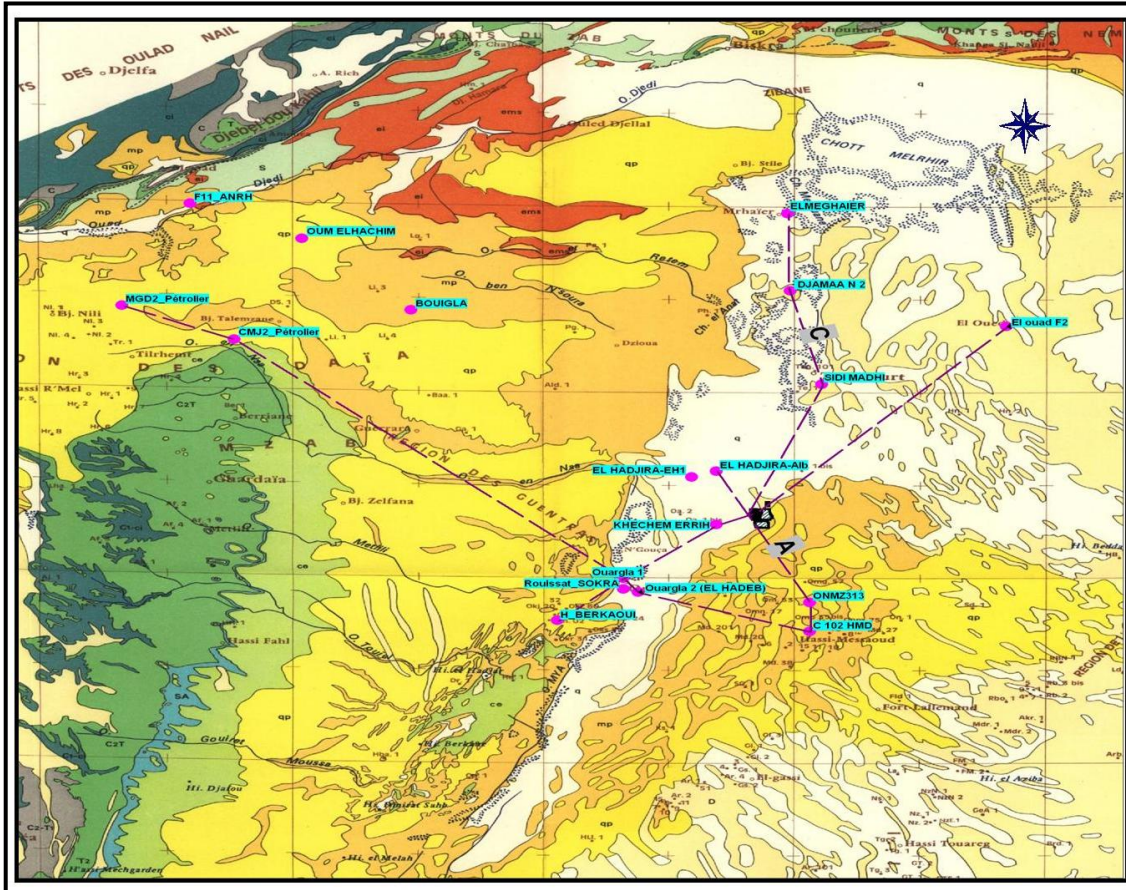
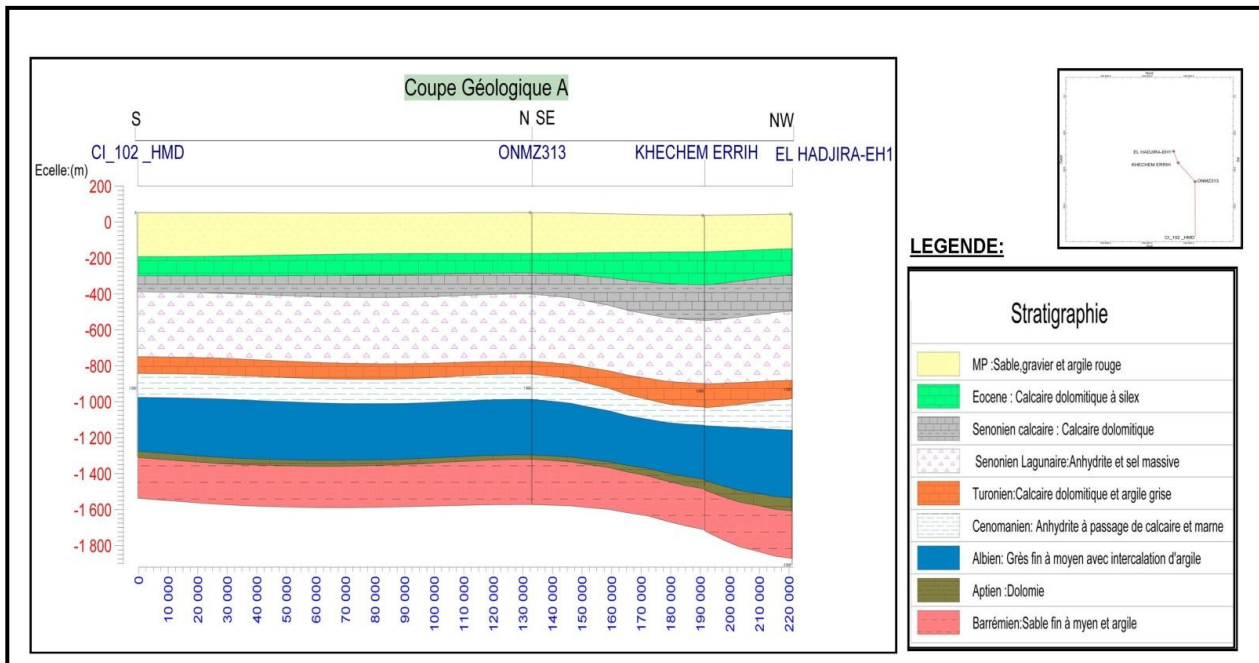


Fig.09 : Carte d'emplacement des profils des coupes géologiques de la nappe du continental intercalaire (Extrait de la carte géologique du Busson 1/2000.000)

✓ Coupe Géologique A : S- N :

La coupe géologique décrit en général l'évolution de la formation de la nappe du continental intercalaire entre Hassi Messaoud, Khechem Errih et El Hadjira ; dans l'ensemble, on remarque un approfondissement du toit de la formation vers le nord principalement entre le forage ONMZ313 et le forage albien d'El Hidjira.



**Fig. 10 : Coupe géologique traversant la nappe Albiénne entre Hassi Messaoud, Khechem Errih et El Hadjira (DRE Ouargla)**

➤ **Le Vraconien**

Il est constitué d'une alternance irrégulière de niveaux argileux et dolomitiques, d'argiles sableuses et plus rarement des grès à ciment calcaire. Le Vraconien est imperméable et son épaisseur est de 110 m environ.

➤ **Le Cénomanién**

Le Cénomanién, formation imperméable d'épaisseur de l'ordre de 200-250 m est constitué par une alternance de dolomies, de calcaires et marnes dolomitiques, d'argiles, d'anhydrites et des sels.

➤ **Le Turonien**

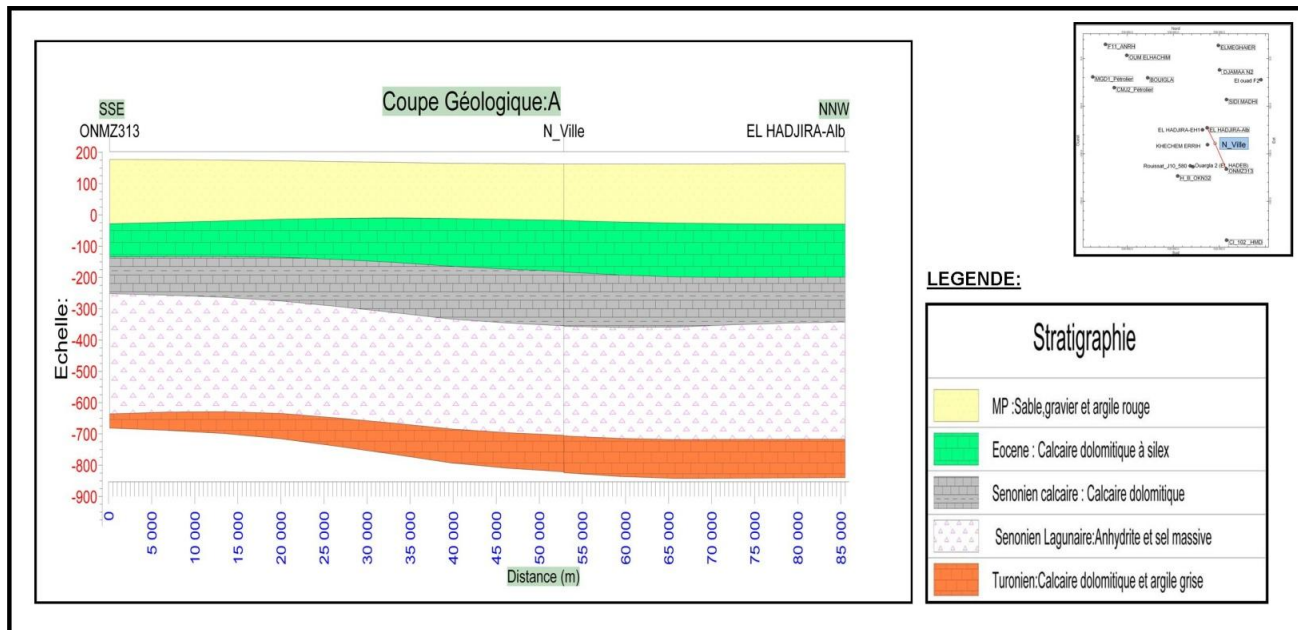
Au Turonien, le régime marin persiste dans le Bas Sahara, et la mer présente le maximum d'extension. Dans l'ensemble, le Turonien est calcaire et dolomitique, marneux à la base, et dolomitique ou calcaire au sommet. Son épaisseur est d'environ 90 à 100 m.

➤ **Le Sénonien**

Dans tout le Bas Sahara, le sénonien est formé de deux ensembles très différents du point de vue lithologique :

- Le Sénonien lagunaire, à la base.





**Fig. 11 : Coupe Géologique traversant la nappe sénonienne entre Hassi Messaoud, Khechem Errih et El Hadjira (DRE Ouargla)**

#### ○ Le Sénonien lagunaire

La limite inférieure du sénonien lagunaire est généralement nette. En effet, les évaporites et argiles Sénoniens sont aisément différenciables des calcaires et dolomies du Turonien. Le passage est beaucoup moins net entre Sénonien lagunaire et Sénonien carbonaté.

Du point de vue lithologique, le Sénonien lagunaire est constitué par une alternance de bancs d'anhydrites, de dolomies, d'argiles et de sels.

Le Sénonien lagunaire est imperméable. Du point de vue hydrogéologique, ce niveau joue le rôle d'imperméable de base.

#### ○ Le Sénonien carbonaté

Le Sénonien supérieur est carbonaté et il est essentiellement constitué de dolomies et de calcaires micro-fissurés avec des intercalations de marnes, d'argiles et plus rarement d'anhydrites. L'ensemble ayant une épaisseur de 800-900m .

La limite supérieure de ce niveau est encore plus floue ; en effet, il y a pratiquement continuité lithologique entre le Sénonien et l'Eocène carbonaté. Les deux niveaux sont formés de calcaires de même nature ; seule la présence de nummulites permet d'identifier l'Eocène.

### **II.2.1.2. Les formations de l'ère Tertiaire**

#### **❖ L'Eocène**

Comme pour le Sénonien, on distingue dans l'Eocène deux ensembles lithologiques :

-L'Eocène carbonaté à la base.

-L'Eocène évaporitique au dessus.

#### **➤ L'Eocène inférieur carbonaté**

Il est composé de bancs de dolomies, de calcaire dolomitique, de calcaire à Nummulites et à rognons de silex. Il garde le même caractère lithologique, dans la vallée de Oued Righ ; son épaisseur à Sidi Slimane est d'environ 100 m.

Avant la fin de l'Eocène carbonaté, la mer quitte définitivement le Sahara qui ne connaîtra plus qu'un régime continental, puis désertique et ce jusqu'à nos jours.

#### **➤ L'Eocène moyen évaporitique**

Au dessus de l'Eocène carbonaté, on rencontre une formation constituée par une alternance de calcaires, d'argiles, de marnes et d'anhydrites. Elle renferme une faune d'âge Eocène à Nummulites et Globigérines. C'est cette formation que l'on désigne dans le bas Sahara sous le nom d'Eocène évaporitique. Elle existe dans la vallée de Oued Righ et son épaisseur est de l'ordre de 100 m. Les bancs carbonatés sont suffisamment importants pour constituer des niveaux aquifères.

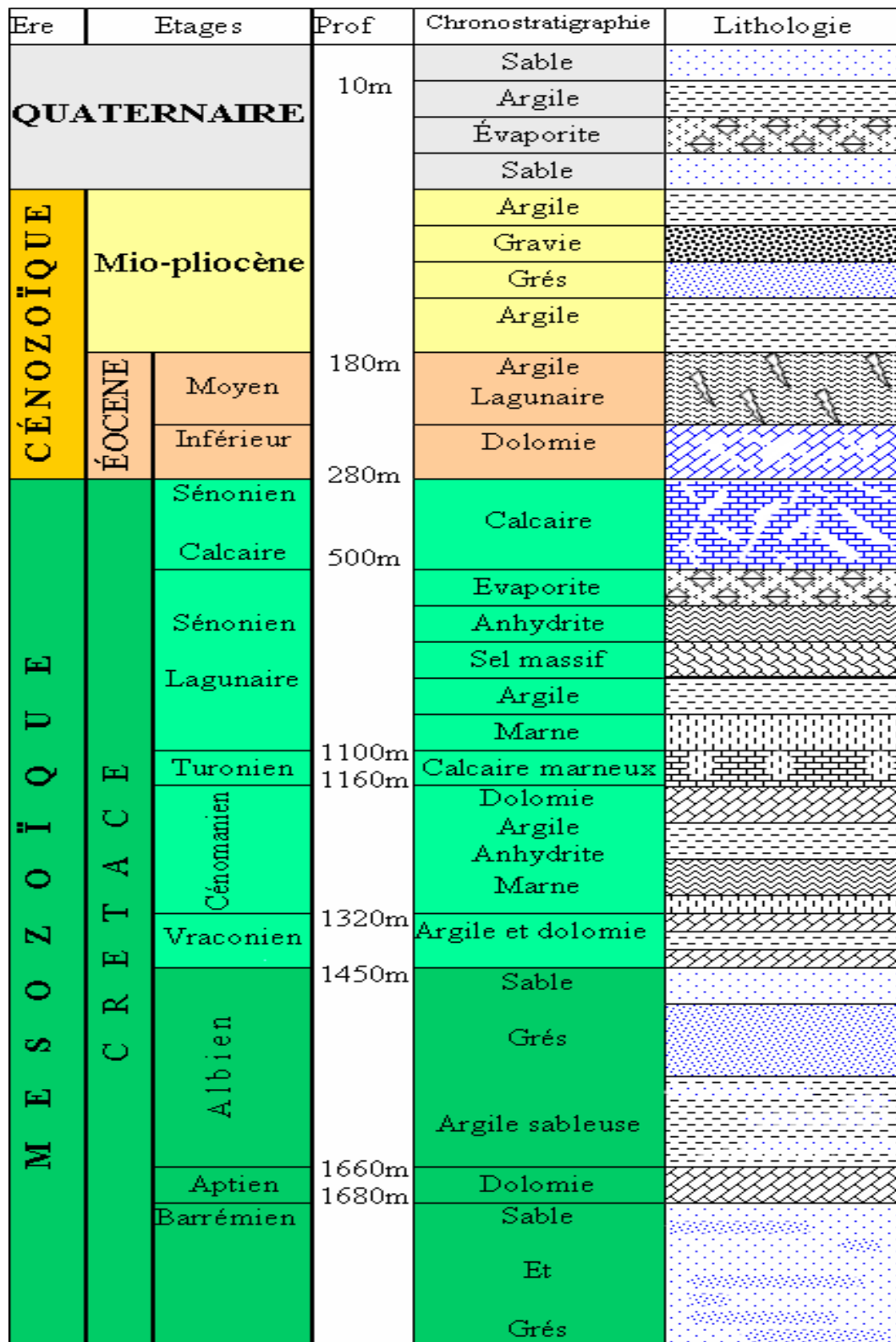
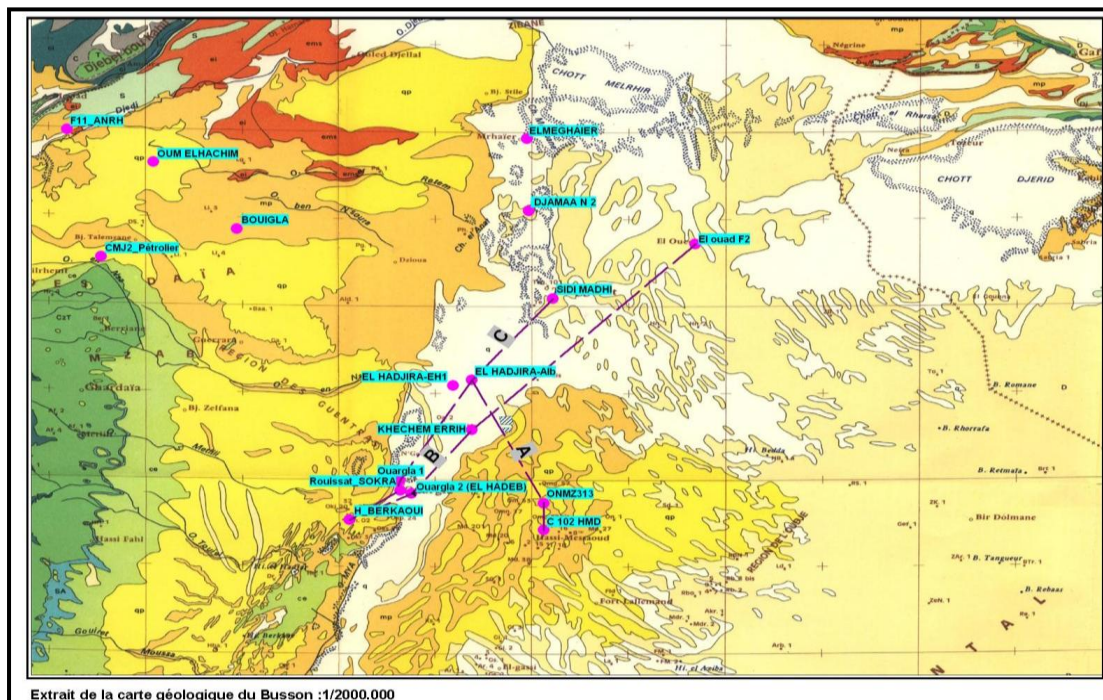


Fig.12: Log stratigraphique synthétique de la région de Touggourt (Sonatrach)

### ❖ Le Mio Pliocène

Il correspond au Complexe Terminal. C'est un puissant ensemble de sables et d'argiles qui s'étend sur tout le Sahara et qui repose en discordance, indifféremment sur le Primaire et le Crétacé inférieure : le Turonien, Cénomaniens, Sénonien et l'Eocène. Son épaisseur varie entre 140 m au Sud et 280 m au Nord.

Bel et Demargne (1966) distinguent de bas en haut quatre niveaux dans ces dépôts lenticulaires :



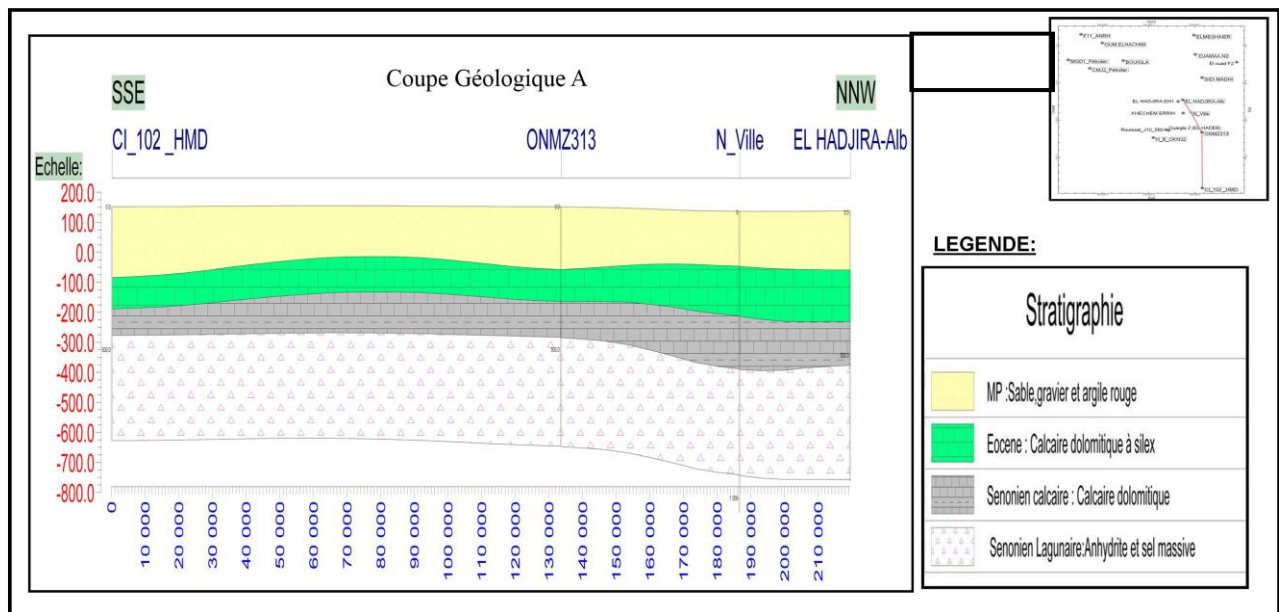
**Fig. 13: Carte d'emplacement des profils des coupes géologiques de la nappe du complexe terminal ((Extrait de la carte géologique du Busson 1/2000.000)**

-**Niveau 01** : argileux et peu épais, il existe uniquement dans la zone centrale du Sahara Oriental suivant une bande Nord-Sud. Ces argiles constituent une barrière très peu perméable entre la nappe du Sénonien et de l'Eocène carbonaté et celle des sables de niveau 02.

-**Niveau 02** : grésosableux ; c'est le niveau le plus épais et le plus constant à sa base. On trouve parfois des graviers, alors que le sommet se charge progressivement en argiles pour passer au niveau 03. Il atteint 400 m au Sud de Gassi Touil. Le niveau 02 est le principal horizon aquifère du Mio-Pliocène.

-**Niveau 03** : C'est une formation argilo sableuse dont les limites inférieures et supérieures sont assez mal définies. Cette couche imperméable n'existe que dans certaines zones ; elle n'est épaisse et constante que dans la région des chotts.

-Niveau 04 : C'est le deuxième niveau sableux du Mio-Pliocène, parfois en continuité avec le niveau 02. Le sommet de niveau 04 affleurant sur de grandes surfaces est souvent constitué par une croûte de calcaire gréseux (croûte hamadienne). L'épaisseur de cet horizon est de l'ordre de 300 m.



**Fig.14: Coupe Géologique traversant la nappe du complexe terminal entre Hassi Messaoud, Khechem Errih et El Hadjira (DRE Ouargla).**

### II.2.1.3. Les formations d'âge Quaternaire

Le Quaternaire est constitué de sables éoliens et sables argileux, résultat de la destruction des falaises Mio-Pliocène au Sud et à l'Ouest de la vallée de Oued Righ ; ils sont localement intercalés de lentilles d'argiles sableuse et gypseuses. Ces sables forment d'énormes accumulations dans le Grand Erg Oriental. C'est à ce niveau que l'on rencontre la nappe phréatique. Son épaisseur est variable et peut atteindre localement une dizaine de mètres.

### II.3. Tectoniques

La géométrie actuelle des formations du Continental Intercalaire et du Complexe Terminal du Sahara est caractérisée par l'absence de déformations tectoniques importantes.

La chaîne des Maghrébides qui a subi plusieurs phases orogéniques au Tertiaire, va avoir des contre coups sur la Plate forme saharienne :

Les mouvements de l'Eocène moyen à supérieur sont bien nets et la phase du Miocène inférieur lui succède et donne naissance au Tell et aux Aurès.

Enfin, la phase Plio-Quaternaire qui s'insert avec les précédentes dans la phase Alpine, d'où l'apparition de fractures de direction Est-Ouest formant la surrection du massif des Aurès et

l'affaissement de la partie Sud « Sillon Sud Aurèsien » ; ces fractures régissent l'écoulement des eaux souterraines d'où la naissance des chotts tels que chott Merouane et chott Melguig. La flexure Sud Atlasique de direction Est-Ouest sépare deux domaines distincts ; c'est ainsi qu'on peut avoir au Nord des points culminants « Monts des Aurès » et au Sud des points plus affaissés.

**Tab. 02: Étapes probables de la tectonique dans le Sahara algérien (Karpoff R, 1952)**

Age	Style
<b>1-Antecambrien</b>	<b>Plis très aigus, failles.</b>
<b>2-Paléozoïque</b>	<b>Mouvements amples d'axes est-ouest Formations de chaînes orientées N-S, NNE-SSW ou NW-SE sur des axes antécambriens</b>
<b>3-Poste Eocène et Ante Miocène</b>	<b>des structures hercyniennes avec leur orientation ancienne</b>
<b>4-Post-Miocène</b>	<b>Premiers plis d'axe NW-SE</b>
<b>5-Post Pliocène</b>	<b>Mouvements possibles dans la région Nord seule Plis en genoux de l'Aurès d'axe E-W</b>
<b>6-Fini Quaternaire Ancien</b>	<b>Plis affectant le Mio- Pliocène seul ou accompagné du Quaternaire ancien, suivant deux axes orthogonaux selon l'axe principal NW-SE</b>
<b>7-Neolithique</b>	<b>Mouvements de grande amplitude à plis faibles et localisés.</b>

**II.4.Paléogéographie**

Le Cénomaniens est caractérisé par l'importante influence marine traduite par un milieu tantôt franc, tantôt lagunaire (le Turonien supérieur et le Sénonien inférieur paraissent régressifs). Au cours de cette époque, un affaissement marque l'effondrement progressif de la partie centrale de la zone saharienne (dépôt lagunaire) suivi d'une période d'arrêt au cours du Sénonien supérieur et de l'Eocène inférieur et une réapparition d'un dépôt lagunaire qui comble définitivement la dépression de la cuvette saharienne.

Une élévation de l'ensemble suivi d'un nouvel affaissement selon l'axe de Oued Righ, permet d'expliquer l'absence de l'Oligocène dans le Sahara et la présence de la région actuelle des chotts.

Les cours d'eau venant de l'Ouest et du Sud entaillent de larges et profondes vallées dans la couverture Mio- Pliocène.

Oued Righ et Oued Igharghar formaient probablement alors un seul grand Oued avec Oued Mya comme affluent.

Les caractéristiques paléogéographiques du Sahara Oriental, du mésozoïque à l'actuel sont :

-l'existence d'une plateforme très régulière, sur laquelle toute variation du niveau de la mer, provoque des changements remarquables dans la sédimentation.

L'existence d'une mer peu profonde à partir de laquelle se produisent plusieurs transgressions dont une des plus importantes est celle du Cénomanién.

-la régression définitive de la mer à la fin de l'Eocène qui s'accompagne de l'érosion d'une partie des calcaires de l'Eocène et du régime continental qui a remplacé le régime marin.

## **II.5. Pédologie**

Les sols que nous rencontrons dans le sud algérien présentent un certain nombre de caractères communs à ceux d'autres régions arides. Le milieu est en effet, caractérisé par des pluies très faibles, très irrégulières et une évaporation très forte.

Placés dans des conditions aussi sévères, les sols ont une évolution faible ; leur structure est généralement définie ainsi: les éléments minéraux sont en général assez altérés et les éléments solubles se trouvent concentrés en surface et accumulés à un niveau ou un autre du profil jusqu'à donner naissance à des nodules ou à des croûtes calcaires gypseuses.

Une coupe transversale fait apparaître dans la partie supérieure, un niveau quaternaire ancien constitué par une croûte gypso-calcaire recouverte de formations dunaires (Erg). Ce niveau est également représenté dans la vallée par quelques petites buttes témoins.

Le fond de la vallée est comblé de sédiments sableux entrecoupés de lentilles d'argile salifère. La dénivelée entre le haut et le bas est de quelques mètres seulement avec un relief est peu marqué.

### **II.5.1. Caractérisation générale des sols**

En vue d'avoir une idée plus précise 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).

**II.5.1.1. Premier profil**

- Classe : sols peu évolués
- S /classe : non climatiques
- Groupe : d'apport éolien et anthropique
- S/groupe : hydromorphes
- Famille : gypseux et légèrement salés
- Série : profonds

**-Description morphologique**

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

30-70 cm : idem 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.

**Tab.03 : Résultat des analyses du sol pour le profil 01**

Horizon (cm)			
Analyses	0 - 30	30 - 70	70 - 120
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	0,87	0,7	0,32
Carbone %0	5,1	4,5	1,9
Azote %0	0,35	0,39	-
C/N	15	12	-
Phosphore T %0	1,03	0,9	-
Phosphore ASS %0	326	290	-
Potasse T %0	0,97	0,85	-
Potasse ASS %0 mg	11	11	-
PH	7,8	7,72	7,8
Conductivité Elect mmhos/cm	6,65	7,02	7,02

(ABHS Ouargla)



**II.5.1.2. Deuxième profil**

- classe : sols hydromorphes
- S/ classe : peu humifères
- groupe : à remise en mouvement de gypse
- s/groupe : halomorphes
- famille : très salés
- série : nappe à 60 cm.

**-Description morphologique**

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

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

**Tab.04 : Résultat des analyses du sol pour le profil 02**

Horizon (cm)		
Analyses	0 - 25	25 - 60
Argile %	0	0
Limon fin %	18	8
Limon grossier %	5	5
Sable fin %	42	47
Sable grossier %	22	25
Matières organiques %0	0,87	0,2
Carbone %0	4,1	3,5
Azote %0	0,3	0,14
C/N	10	22
Phosphore T %0	0,6	0,59
Phosphore ASS %0	73	130
Potasse T %0	1,93	1,21
Potasse ASS %0 mg	75	18
PH	8,2	8,12
Conductivité Elect mmhos/cm	46,84	12,77

(ABHS Ouargla)

### III. Aperçu climatique

Le climat de l'Algérie est connu pour sa diversité géographique et sa grande variabilité pluviométrique interannuelle. Deux éléments sont à distinguer : une variabilité en termes de pluviométrie entre l'ouest (350 mm de pluie en moyenne), l'Est (1000 mm) et les reliefs élevés (2000 mm). Cette pluviométrie devient quasi inexistante à partir du Sahara (inférieur à 100 mm) et une concentration des précipitations dans le temps de décembre à avril où l'évaporation sont les plus faibles (Morgan M et al. 2013).

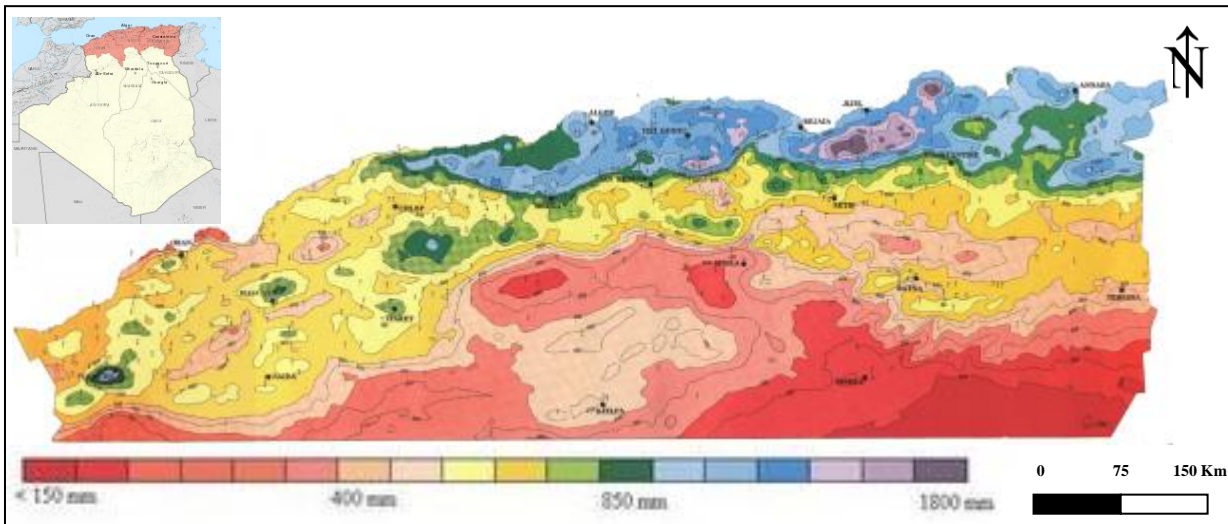


Fig. 15: Extrait de la carte des précipitations moyennes annuelles de l'Algérie

Plus que d'autres paramètres, le climat est le facteur le plus déterminant des ressources en eau.

Ainsi, les mesures de la hauteur des précipitations sont indispensables pour connaître les ressources en eau et les besoins en irrigation. Les mesures des températures sont nécessaires, pour la détermination des cultures à pratiquer.

Le climat du Sahara proprement dit est bien connu pour ses températures maximales très élevées, son caractère continental, sa grande sécheresse qui font que l'Algérie est classifiée dans la catégorie région chaude.

Les caractéristiques climatiques de la zone d'étude sont obtenues à partir des données de la Station météorologique de Touggourt sur une période s'étalant de 1975 à 2012.

Tab. 05 : Coordonnées géographiques de la station de Touggourt.

Station	X (m)	Y (m)	Z (m)
Touggourt	33°04'N	06°05'E	85

### III.1. Etude des paramètres climatiques

#### III.1.1. La répartition des pluies mensuelles, annuelles et saisonnières

La répartition mensuelle des précipitations dans l'année et ses variations conditionne le régime d'écoulement, ainsi que celui des nappes aquifères. La connaissance des précipitations saisonnières fait ressortir les saisons pluvieuse et non pluvieuse.

##### III.1.1.1. Répartition moyenne mensuelle des précipitations

Notre région d'étude fait partie du bas Sahara où la faiblesse de la pluviosité est le caractère fondamental. Le tableau n°06 et la figure n°10 ci-dessous montrent la répartition des hauteurs moyennes mensuelles de la précipitation.

Tab. 06 : Variations des précipitations moyennes mensuelles (Station météorologique de Touggourt, 1975-2012)

Mois	Sep	Oct	nov	déc	jan	fév	mars	avril	mai	juin	juillet	aout
P(mm)	3.2	3.1	3.31	2.07	7	2.93	7.55	6.3	4.04	0.85	0.48	2.06

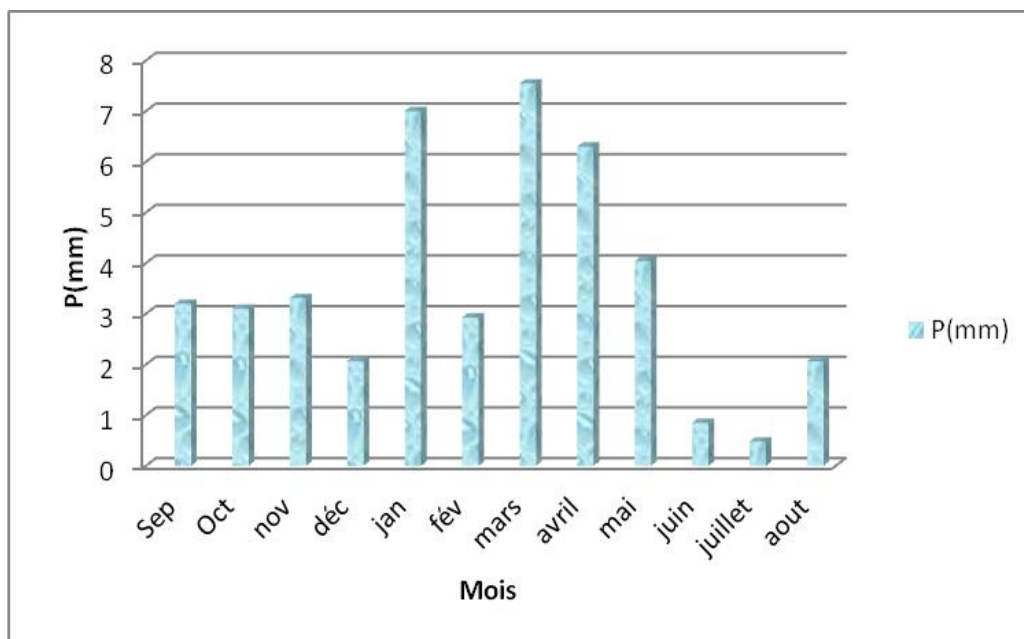


Fig. 16 : Histogramme des précipitations moyennes mensuelles (Station météorologique de Touggourt 1975-2012)

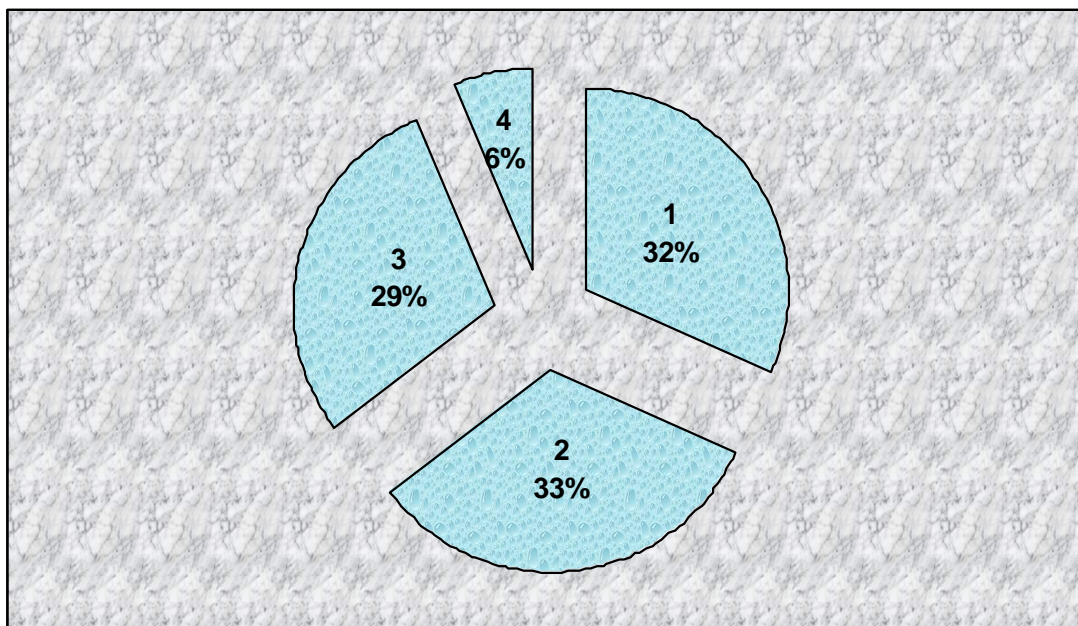
D’après l’histogramme, on observe que le mois le plus pluvieux est le mois de janvier avec une valeur de 14.4 mm tandis que le mois le plus sec est celui de Juillet avec 0.93 mm.

**III.1.1.2.Répartitions saisonnières des précipitations**

Pour distinguer les pluies saisonnières survenant dans des conditions de températures différentes, nous avons calculé le pourcentage des précipitations de chaque saison par rapport au total annuel.

**Tab. 07: Répartitions saisonnières des précipitations (Station météorologique de Touggourt, 1975-2012)**

Saison	Automne			Hiver			Printemps			Été		
	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A
P (mm)	8.39			8.76			7.60			1.7		
P (%)	32			33			29			6		



**Fig.17 : Répartitions saisonnières des précipitations en % (Station météorologique de Touggourt 1975-2012)**

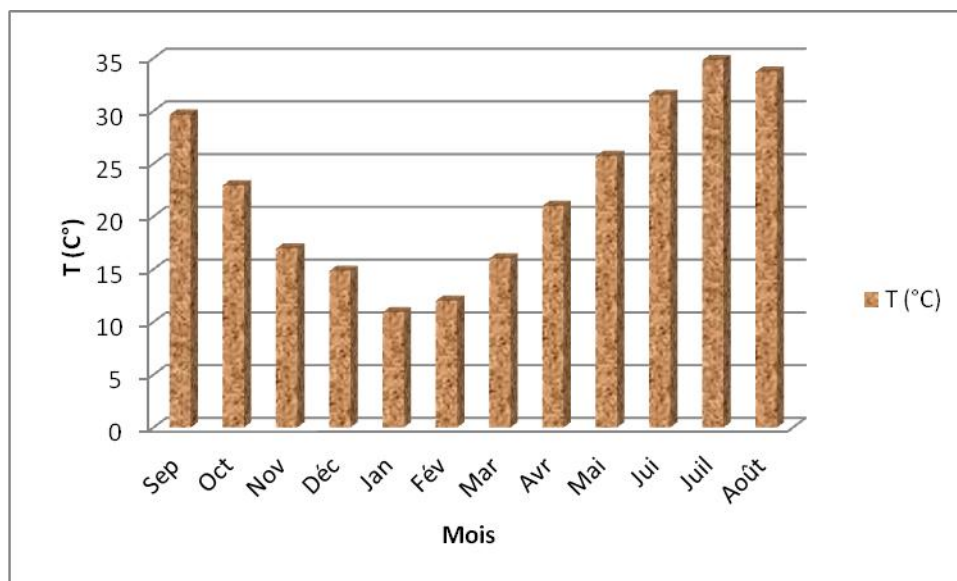
La représentation saisonnière dans la figure 17 montre une variation spéciale des précipitations entre les quatre saisons avec une saison pluvieuse (automne) et une saison sèche (été).

### III.1.2. La répartition des températures mensuelles

La température est le second facteur après les précipitations qui conditionne le climat d'une région. Elle permet aussi d'estimer le déficit d'écoulement.

**Tableau 08 : Données des moyennes mensuelles des températures (Station météorologique de Touggourt, 1975-2012)**

Mois	Sep	Oct	Nov	Déc	Jan	Fév	Mar	Avr	Mai	Jui	Juil	Août
T (°C)	29.63	22.94	16.94	14.82	10.9	12	16	21	25.71	31.5	34.8	33.7



**Fig. 18 : Histogramme des températures moyennes mensuelles (Station météorologique de Touggourt 1975-2012)**

Les données observées pendant une période de 37 ans à la station de Touggourt font ressortir que les températures moyennes enregistrées prennent en général des valeurs élevées avec un maximum enregistré au mois de Juillet (33°C) et un minimum pendant le mois de Janvier (11.8 °C).

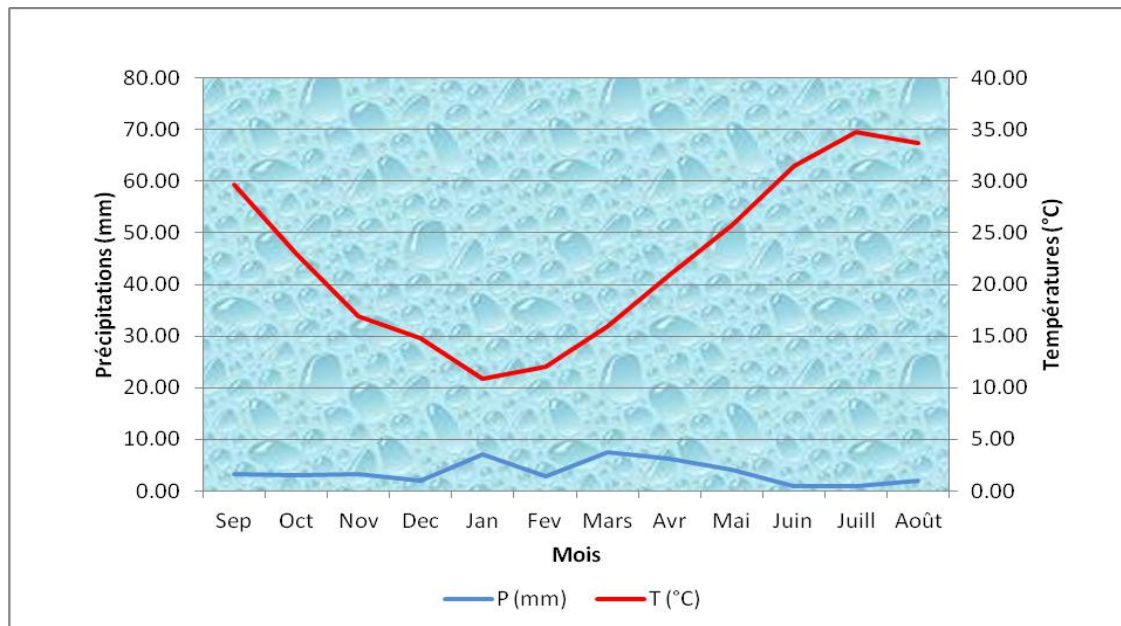
### III.2. Synthèse climatique

La combinaison des données des précipitations et celles des températures permet de mettre en évidence :

- Les périodes sèches et humides au cours de l'année grâce au diagramme pluviométrique de Gaussen.
- Le domaine climatique ou le type de climat suivant la méthode d'Emberger (climagramme d'Emberger) et/ou le calcul de l'indice d'aridité.

### III.2.1. Diagramme ombrothermique de GAUSSEN

Il consiste à placer en abscisses les mois de l'année et en ordonnées les températures (à gauche) et les précipitations (à droite) avec l'échelle  $1^{\circ}\text{C}=2 \text{ mm}$  de précipitations. L'aire comprise entre les deux courbes représente la période sèche dans la région de Oued Righ ; cette période s'étale sur toute l'année.



**Fig.19. Diagramme Ombrothermique de GausSEN de la région de Touggourt (1975-2012).**

### III.2.2. Quotient pluviométrique d'EMBERGER

Pour qu'on puisse déterminer le climat de la région, le climagramme d'EMBERGER a été utilisé. Il permet de connaître l'étage bioclimatique de la région d'étude. On reporte en abscisses la moyenne des minima du mois le plus froid et en ordonnées le quotient pluviométrique ( $Q_2$ ) d'EMBERGER; Nous avons utilisé la formule de STEWART (1969) adaptée pour l'Algérie et qui se présente comme suit:

$$Q_2 = 3.43 P / (M - m)$$

**P:** pluviométrie moyenne annuelle (en mm).

**M:** moyenne des maxima du mois le plus chaud.

**m:** moyenne des minima du mois le plus froid.

L'indice  $Q_2$  calculé par cette formule est égal à **7.58**.

Le climagramme considère qu'une région est d'autant plus sèche lorsque le quotient est plus petit. L'emplacement de cet indice sur le climagramme d'EMBERGER nous a permis de situer Touggourt dans l'étage bioclimatique Saharien aux hivers doux (Fig.20 ).

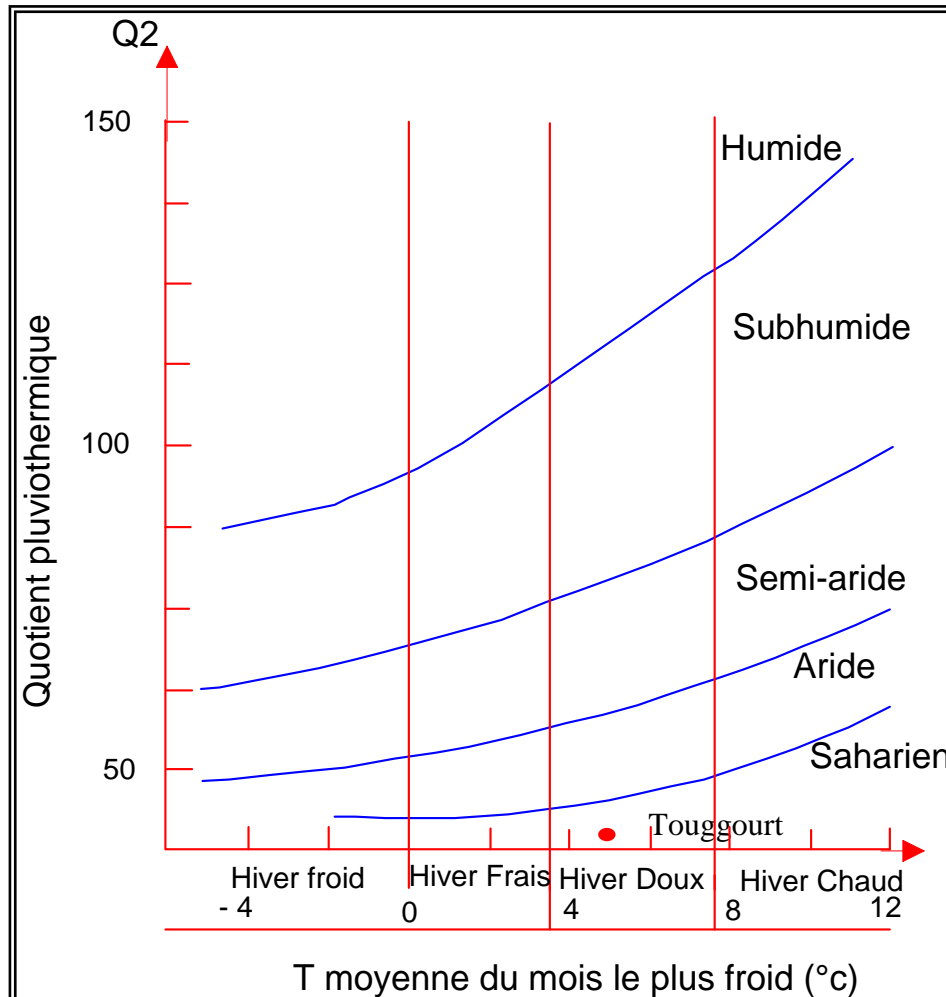


Fig. 20 : Climagramme d'EMBERGER

### III.2.3.Indice d'aridité

Cet indice dépend essentiellement des précipitations moyennes mensuelles en (mm) et la température annuelle en (°C), en appliquant la formule suivante :

$$I = P / T + 10$$

I : Indice d'aridité

P : Précipitation moyenne mensuelle (mm) : 42.89

T : Température moyenne annuelle (°C) : 21.6

$$P = 80.09 \text{ mm} ; T = 21.6 \text{ °C} \text{ donc } I = 80.09 / 21.6 + 10 = 2.53 \text{ mm/°C}$$

Sur la base des fourchettes de l'indice d'aridité fixées par De Martone, nous pouvons distinguer le type de climat de notre région d'étude.

- I < 5.....Climat hyper -aride
- 5 % < I < 7.5.....Climat désertique
- 7.5 % < I < 10.....Climat steppique
- 10 % < I < 20.....Climat semi-aride
- 20 % < I < 30.....Climat tempéré

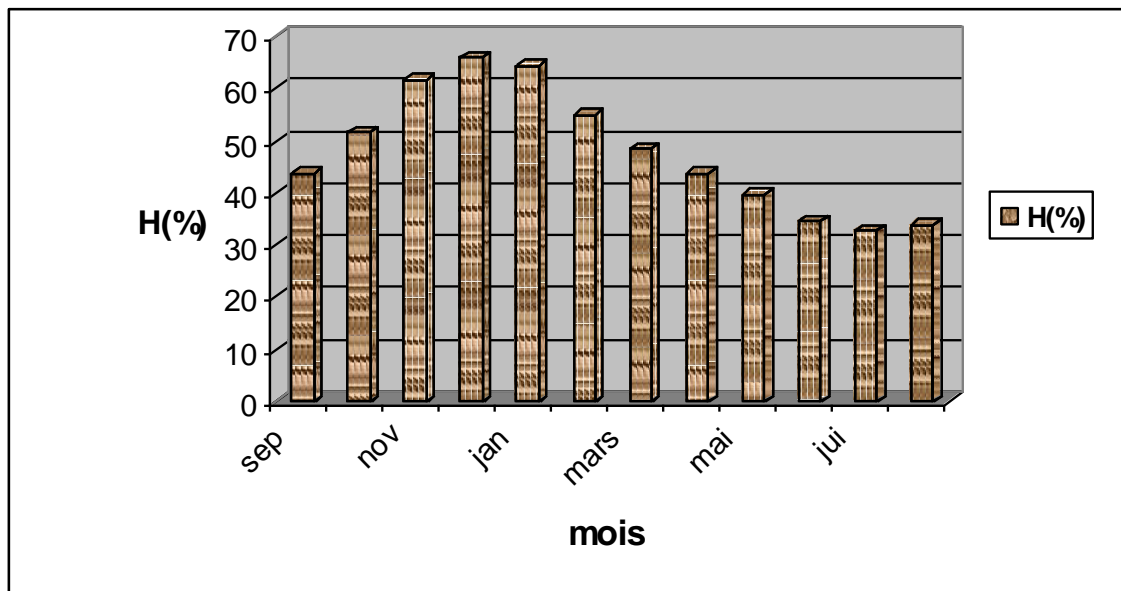
Ce qui confirme que notre région est caractérisée par un climat hyper aride.

### III.2.4.Humidité relative de l'air

L'humidité relative de l'air est plus élevée en hiver qu'en été. Ceci s'explique par l'effet de la température qui est élevée en été et basse en hiver; Les valeurs les plus importantes sont enregistrées en hiver (65.96%) ; celles-ci chutent presque de moitié en été (32.75%). Le maximum de l'humidité relative correspond au mois le plus froid avec une moyenne annuelle de l'ordre de 48%.

**Tab.09: Répartition moyenne mensuelle de l'humidité aux stations de Touggourt (%) (1975-2012)**

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mars	av	mai	ju	jui	aout
H(%)	43,75	51,53	61,81	65,96	64,41	54,93	48,5	43,83	39,69	34,51	32,75	33,93



**Fig. 21: Répartition moyenne mensuelle interannuelle de l'humidité (Station météorologique de Touggourt 1975-2012)**



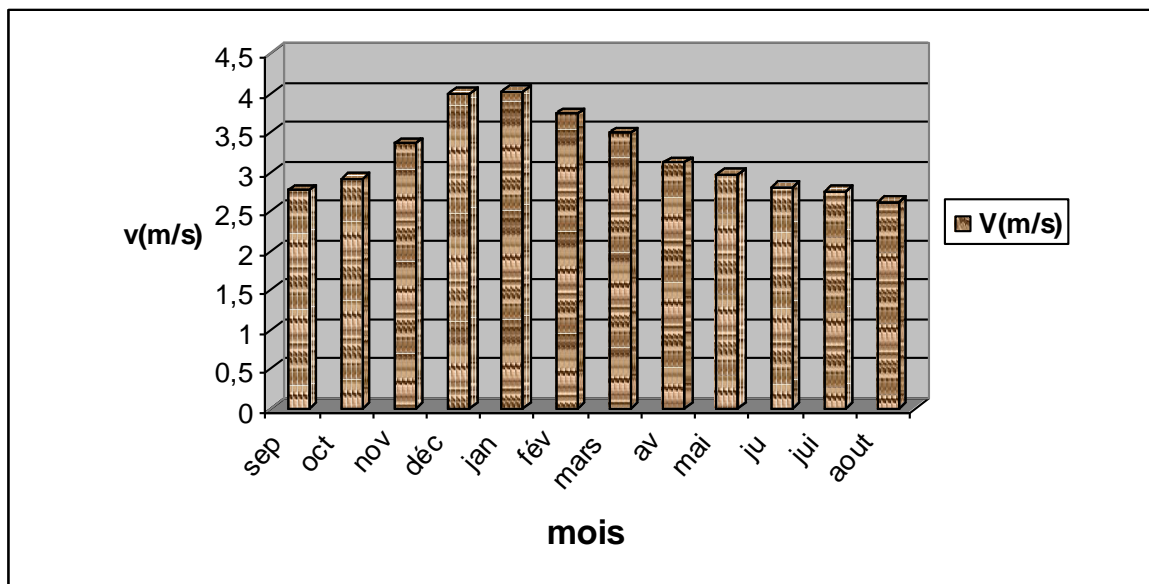
**III.2.5. Vents**

Dans les régions arides, les vents sont les principaux facteurs de l'édification des reliefs (dunes) et dans la dégradation des sols (vannages).

Les vents sont relativement fréquents au printemps et en été. Le Sirocco est un vent chaud et sec qui souffle en été et accélère l'évapotranspiration. Les vents de sable sont fréquents surtout au printemps et en été.

**Tab.10 : Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la vitesse des vents à la station de Touggourt V (m/s) (1975/2012)**

Mois	sep	oct	nov	déc	jan	fév	mars	avr	mai	ju	Jui	aout
V(m/s)	2,76	2,92	3,36	3,99	4,02	3,74	3,49	3,11	2,97	2,81	2,75	2,61



**Fig. 22 : Répartition moyenne mensuelle interannuelle de la vitesse des vents (Station météorologique de Touggourt 1975-2012)**

**III.2.6. Durée d'insolation**

La répartition des moyennes mensuelles d'insolation nous permet de constater que la brillance du soleil est maximum au cours du mois de juillet avec une moyenne de 358.6 heures, et le minimum est enregistré pendant le mois de février avec une moyenne de 227.48heures.

Dans la région, le rayonnement solaire est excessif (le moyen annuel est de 3363.8 h/ans), ce qui se traduit par un pouvoir évaporant élevé.

Tab.11 : Répartition moyenne mensuelle d’insolation à la station de Touggourt

Mois	sep	oct	Nov	dec	jan	Fév	Mars	avril	mai	juin	juillet	aout
<b>DI (h)</b>	280,98	266,58	238,8	233,85	229,9	227,84	262,64	285,07	314,04	330,69	358,6	334,82

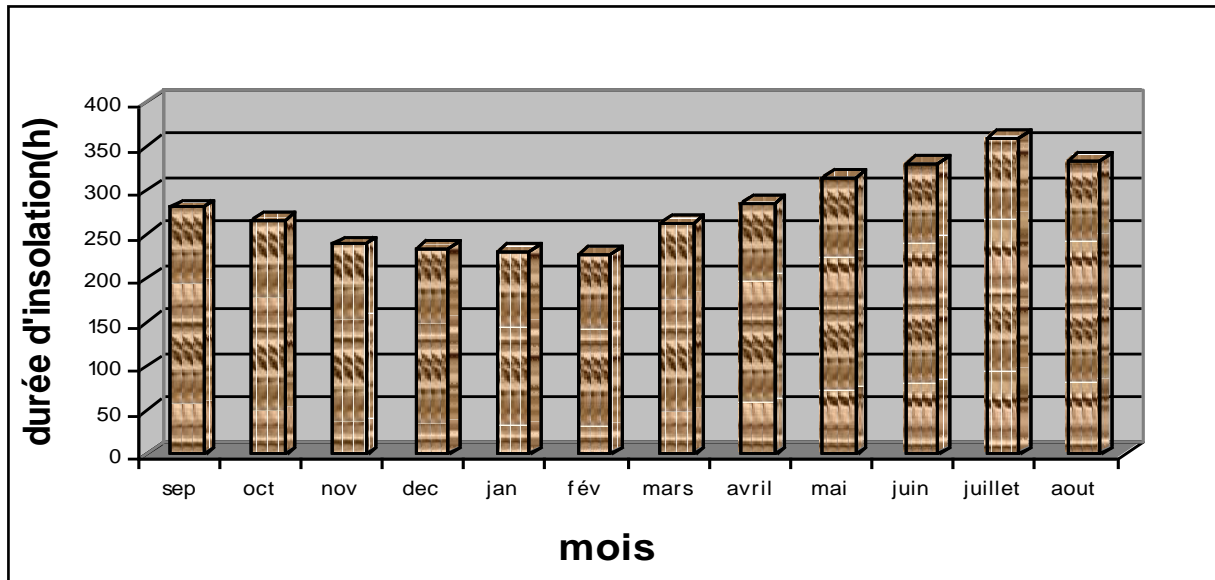


Fig.23 : Répartition moyenne mensuelle d’insolation (Station météorologique de Touggourt, 1975-2012)

### III.3.Bilan hydrique

Dans cette étude nous allons évaluer la répartition des précipitations entre les différentes composantes du bilan hydrique, à savoir l’écoulement, l’infiltration et l’évapotranspiration ; ce dernier paramètre englobe l’ensemble des phénomènes d’évaporation physique et biologique et conditionne l’abondance ou le déficit de l’eau pour la végétation. Il est utile de distinguer entre la notion d’évapotranspiration potentielle (ETP) qui est employée lorsque la surface est convenablement alimentée en eau et la notion d’évapotranspiration réelle (ETR) qui distingue la quantité en eau perdue réellement par l’évapotranspiration.

### III.3.1. Estimation de l'ETP (Évapotranspiration potentielle)

#### III.3.1.1. Formule de Thornthwaite

En 1948, Thornthwaite a proposé une formule basée essentiellement sur la température de l'air:

$$\text{ETP} = 16[10t/I]^a k$$

avec :

$$i = (t/5)^{1.514} \quad I = \sum_{i=1}^{12} i \quad a = 1.6 * I / 100 + 0.5 = 1.83$$

**ETP:** évapotranspiration potentielle moyenne mensuelle (mm).

**i :** Indice thermique mensuel.

**a:** paramètre arbitraire lié à la température.

**I:** Somme des indices thermiques mensuels.

**t:** Température moyenne mensuelle (°C).

**K:** coefficient d'ajustement mensuel.

#### III.3.1.2. Estimation de la RFU (Réserve Facilement Utilisable)

Selon Gastanoy G (année ?), lorsque les quantités d'eau provenant des pluies dépassent celles perdues par l'évapotranspiration, le surplus est stocké et constitue ce qu'on appelle Réserve Facilement Utilisable (RFU).

$$\text{RFU} = (P - \text{ETP}) + \text{RFU} (\text{mois précédent})$$

### III.3.2. Estimation de l'ETR (Évapotranspiration réelle)

#### III.3.2.1. ETR selon la formule de Turc

$$\text{ETR} = P / \sqrt{0.9 + \frac{P^2}{L^2}}$$

Avec :  $L = 300 + 25 T + 0.05 T^3$  ;

**ETR :** évapotranspiration réelle (mm).

**P :** précipitation moyenne annuelle (mm).

**L :** paramètre arbitraire lié à la température.

**T :** température moyenne annuelle (°C).

III.3.2.2.L'ETR selon la Thornthwaite

On obtient l'ETR pour l'un des cas suivants :

- Si  $-P < ETP \implies$  (1) suffisant  $\implies ETR = ETP$
- (2) insuffisant égale à (0)  $ETR = P + RFU$  (mois précédent)
- Si  $-P > ETP \implies ETR = ETP$

Les valeurs de l'Evapotranspiration potentielle (ETP) et de l'évapotranspiration réelle ETR, sont répertoriées dans la **Figure 24**.

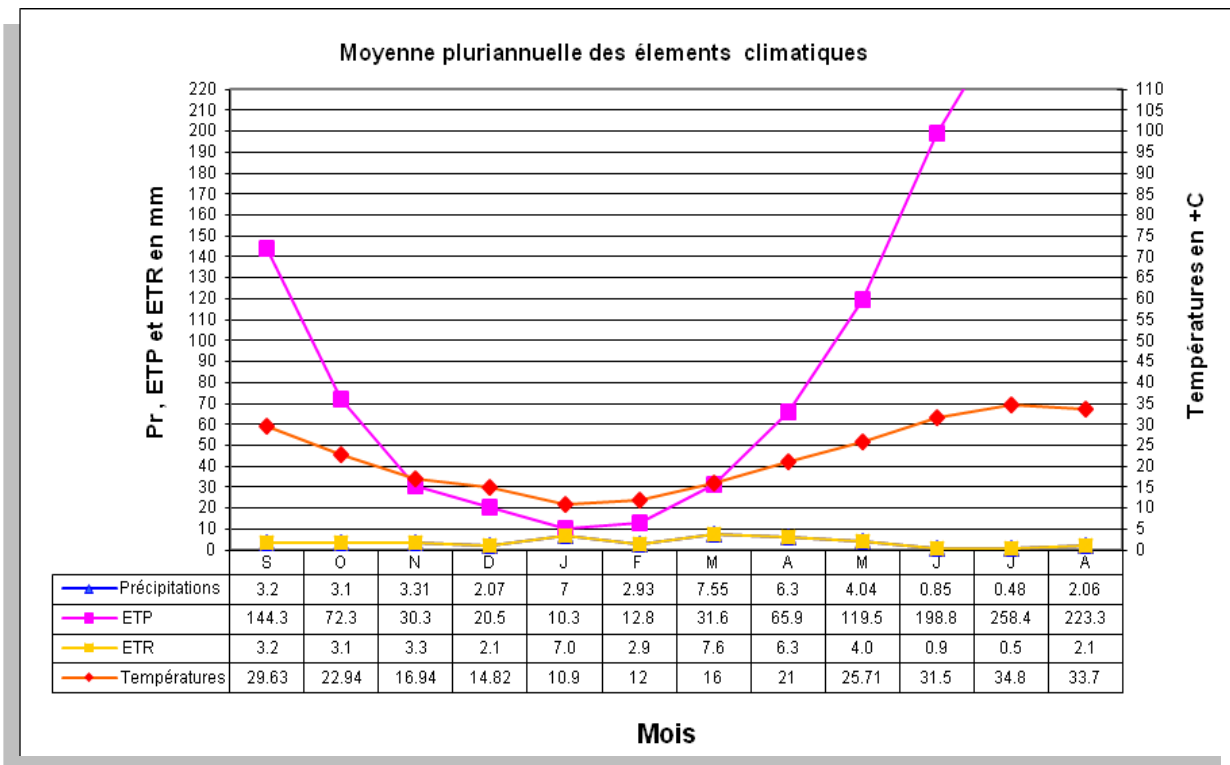


Fig.24 : Évapotranspiration potentielle (ETP) et Évapotranspiration réelle ETR.

Le déficit annuel est de l'ordre de 1145,3 mm (1975-2012) et atteint son maximum au mois de Juillet avec 257,9 mm (Tableau 12). Cet indice est l'expression d'une approximation des besoins en eau d'irrigation des cultures, étant donné que la formule de Thornthwaite a tendance à sous-estimer les fortes ETP, particulièrement en zone aride et semi-aride, où elle ne tient pas compte de l'accentuation de l'ETP due aux phénomènes adventifs.

Tab.12 : Bilan hydrique selon la méthode de THORNTHWAITE.

	<b>Tp</b>	<b>IT</b>	<b>CL</b>	<b>ETPC</b>	<b>Pr</b>	<b>BH</b>	<b>CH</b>	<b>VR</b>	<b>RU</b>	<b>ETPR</b>	<b>Def</b>	<b>Exc</b>
<b>S</b>	29,6	14,8	1,03	144,3	3,2	-141,1	-1,0	0,0	0,0	3,2	141,1	0,0
<b>O</b>	22,9	10,0	0,97	72,3	3,1	-69,2	-1,0	0,0	0,0	3,1	69,2	0,0
<b>N</b>	16,9	6,3	0,86	30,3	3,31	-27,0	-0,9	0,0	0,0	3,3	27,0	0,0
<b>D</b>	14,8	5,2	0,81	20,5	2,07	-18,5	-0,9	0,0	0,0	2,1	18,5	0,0
<b>J</b>	10,9	3,3	0,87	10,3	7	-3,3	-0,3	0,0	0,0	7,0	3,3	0,0
<b>F</b>	12	3,8	0,85	12,8	2,93	-9,9	-0,8	0,0	0,0	2,9	9,9	0,0
<b>M</b>	16	5,8	1,03	31,6	7,55	-24,0	-0,8	0,0	0,0	7,6	24,0	0,0
<b>A</b>	21	8,8	1,10	65,9	6,3	-59,6	-0,9	0,0	0,0	6,3	59,6	0,0
<b>M</b>	25,7	11,9	1,21	119,5	4,04	-115,4	-1,0	0,0	0,0	4,0	115,4	0,0
<b>J</b>	31,5	16,2	1,22	198,8	0,85	-198,0	-1,0	0,0	0,0	0,9	198,0	0,0
<b>J</b>	34,8	18,9	1,24	258,4	0,48	-257,9	-1,0	0,0	0,0	0,5	257,9	0,0
<b>A</b>	33,7	18,0	1,16	223,3	2,06	-221,3	-1,0	0,0	0,0	2,1	221,3	0,0
<b>Annual</b>	<b>22,5</b>	<b>123,0</b>		<b>1188,2</b>	<b>42,9</b>	<b>-1145,3</b>				<b>42,9</b>	<b>1145,3</b>	<b>0,0</b>

#### IV. Potentialités en eau

Le potentiel des ressources en eau renouvelables est localisé dans le Nord de l'Algérie qui englobe les bassins tributaires de la Méditerranée et les bassins fermés des Hauts Plateaux.

Les ressources hydriques disponibles et mobilisables en Algérie sont estimées à 17,2 milliards de m<sup>3</sup>, dont 10 milliards de ressources superficielles et 2 milliards de ressources souterraines dans le Nord et 5,2 milliards de m<sup>3</sup> dans le Sud (superficielles et souterraines).

##### IV.1. Bassins versants en Algérie

Dés 1996, l'Algérie a engagé une nouvelle politique de l'eau, à savoir la « Gestion intégrée des ressources en eau » pour garantir leur valorisation et leur durabilité. Cette nouvelle politique est fondée sur un ensemble de réformes institutionnelles et de nouveaux instruments qui sont les Agences de bassin et les Comités de Bassin.

Le territoire algérien a été subdivisé en 5 grands bassins versants créant dans chacun d'eux, des organismes de bassin: Agences de Bassin hydrographique et Comités de bassin hydrographique.

Le territoire de l'Algérie a été divisé en 5 bassins hydrographiques :

- Constantinois - Seybouse- Mellègue.
- Algérois- Hodna - Soumam.
- Cheliff - Zahrez.
- Oranie - Chott - Chergui .
- Sahara.

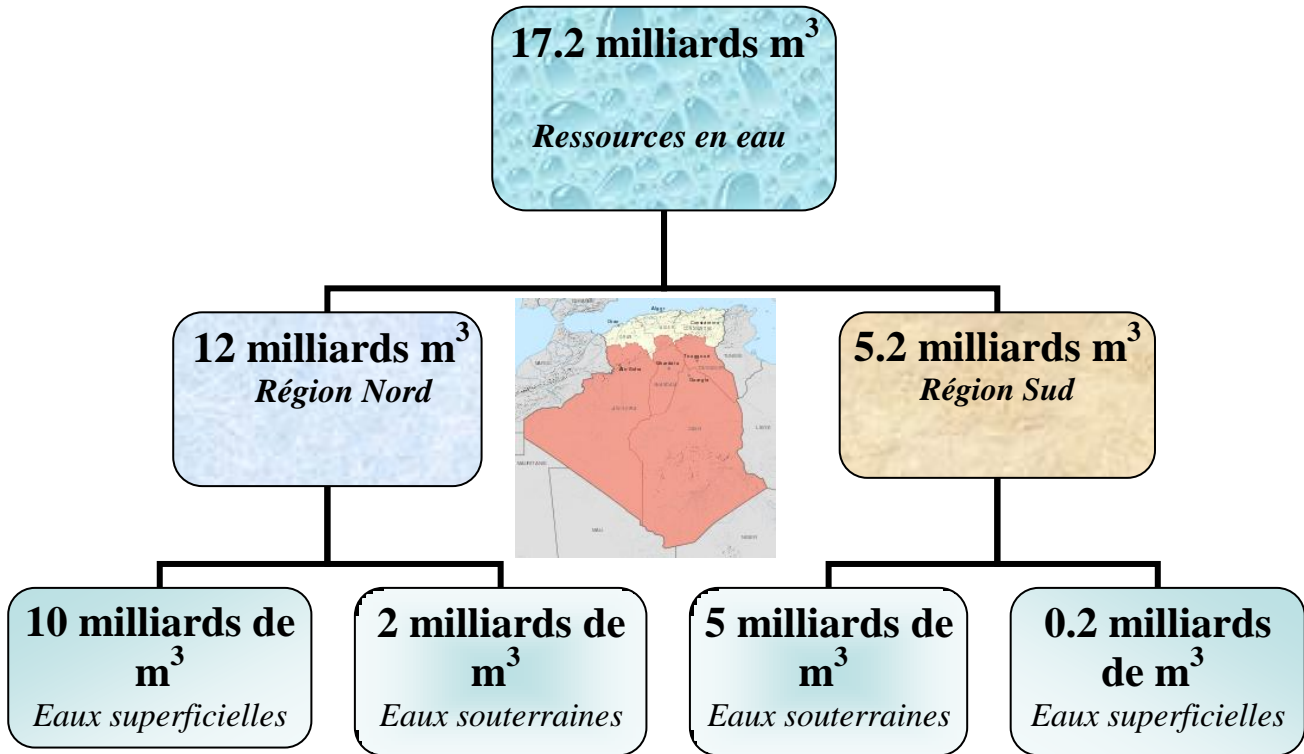


Fig. 25: Répartition des ressources en eaux mobilisables en Algérie

#### IV.2.Potentialités en eau dans la vallée de Oued Righ

Les réserves théoriques des deux grands aquifères sahariens sont estimées à près de 60. 000 milliards de m<sup>3</sup>. Etant donné l'importance des réserves, il n'est pas logique de limiter l'exploitation aux seuls volumes renouvelables. Si l'on se contentait d'en exploiter seulement le dixième, on obtiendrait un débit fictif continu de 100 m<sup>3</sup>/s pendant 2000 ans. Cependant, sur le plan pratique, les nappes subiront des rabattements continus, mais ceux-ci seront très variables suivant les endroits. Cet abaissement continu des niveaux se traduira sur le plan économique par :

- 1- un accroissement des investissements avec le temps
- 2 –une augmentation du nombre de forages et des frais de pompage
- 3 -un accroissement du coût du mètre cube d'eau,
- 4 -une dégradation de la qualité des eaux par endroits (salinisation).

La définition des ressources en eau de ces régions ne peut donc être que de nature économique : c'est le débit correspondant à une valeur et à un accroissement admissible des investissements et des coûts de fonctionnement pour une répartition géographique donnée et ce, pour des prélèvements actuels et futurs.

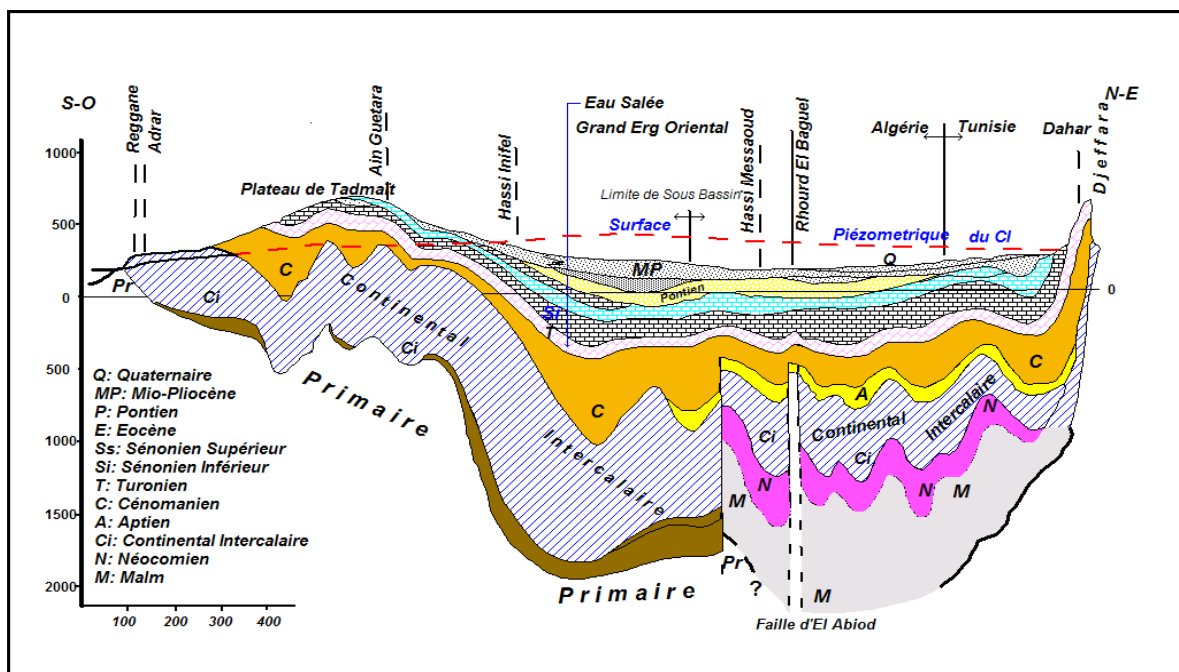
**IV.2.1. les eaux souterraines**

La zone étudiée appartient au Bas Sahara. Cet environnement socio-économique se situe dans un contexte climatique de type désertique hyperaride. Les précipitations très faibles et irrégulières ne jouent qu'un rôle limité dans la recharge des nappes. L'agriculture est la principale activité dans ce territoire.

Les ressources en eau souterraine du Sahara sont constituées essentiellement de ressources non renouvelables représentées par les deux grands aquifères :

- Continental Intercalaire.
- Complexe Terminal.

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

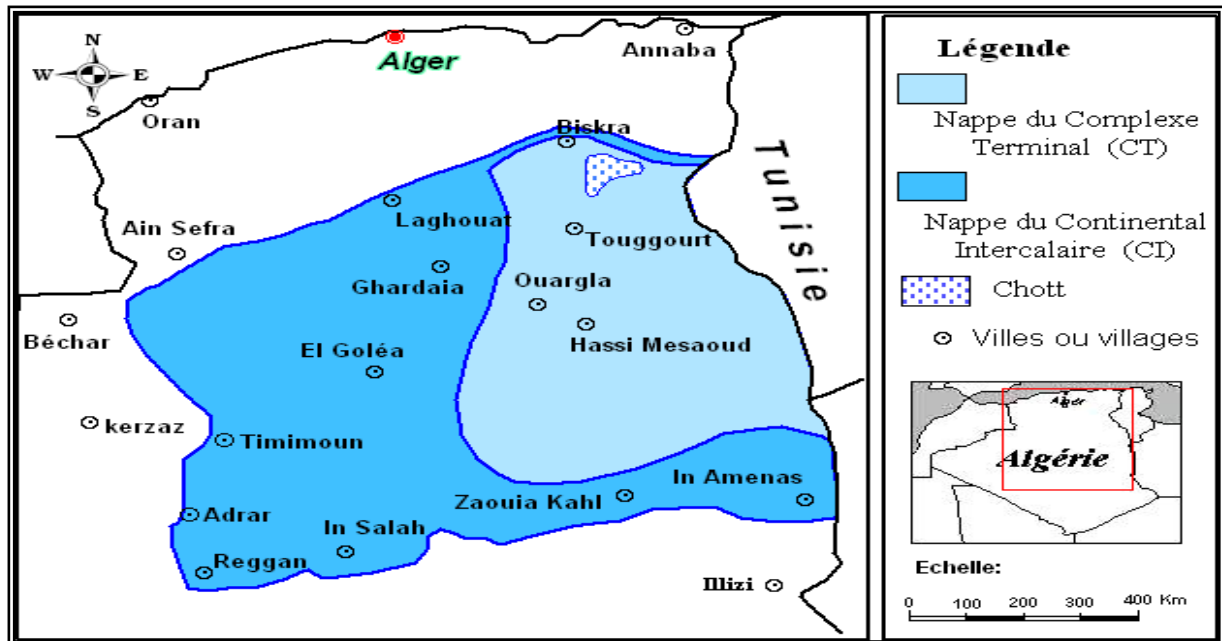


Source : UNESCO, 1972

**Fig.26: Coupe hydrogéologique synthétique du Sahara septentrional.**

Le bassin sédimentaire du Sahara Septentrional constitue un vaste bassin hydrogéologique d'une superficie de 780000 km<sup>2</sup>. On distingue deux grands ensembles Post-Paléozoïques,

constituant deux systèmes aquifères séparés par d'épaisses séries argileuses ou évaporitiques de la base du Crétacé Sud.



Source : extrait de recueil des communications, 2002.

**Fig. 27 : Carte des ressources en eaux souterraines (Continental Intercalaire et Complexe Terminal)**

#### IV.2.1.1. Nappe phréatique

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

La nappe phréatique est présente dans toutes les oasis de la vallée. Elle est contenue dans les sables fins à moyens, d'âge quaternaire, contenant des cristaux de gypse. Elle s'épaissit du Sud vers le Nord.

Elle est caractérisée par des eaux de fortes salinités ; la conductivité électrique y est de l'ordre de 4.91ms/cm à 13.44 ms/cm.

La nappe phréatique est gonflée par l'excès de l'eau d'irrigation, des pompages du CI et du CT ainsi que par les eaux d'assainissement. C'est pour drainer cet excès que le réseau de drainage artificiel a été réalisé dans la dépression de Oued Righ

#### IV.2.1.2. La nappe du complexe terminal (le Pontien CT)

Le Complexe Terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène (Busson, 1970; Fabre, 1976).



Le terme de nappes du Complexe Terminal qui groupe sous une même dénomination plusieurs aquifères situés dans des formations géologiques différentes, a été retenu car ces nappes font partie d'un même ensemble hydraulique.

### ❖ *La première nappe des sables CT1*

Hormis la nappe phréatique, cette nappe est la moins profonde. Elle est constituée de sables fins à moyens, de sables argileux et de grès, d'âge Mio -Pliocène. Le faciès sableux varie largement et latéralement. Un niveau d'argile constitue son substratum, et son toit est constitué par des argiles et des évaporites. C'est une nappe captive et était jadis très exploitée avec des débits faibles à moyens, de l'ordre de 20 à 40 l/s ; cependant, à cause de la salinité élevée de l'eau, les forages qui la captent sont actuellement moins utilisés.

### ❖ *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 graviers et de sables avec la présence de quelques lentilles argileuses. D'épaisseur ~~est de~~ 20 à 36m, elle est surexploitée 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 des argiles sableuses constituent son toit.

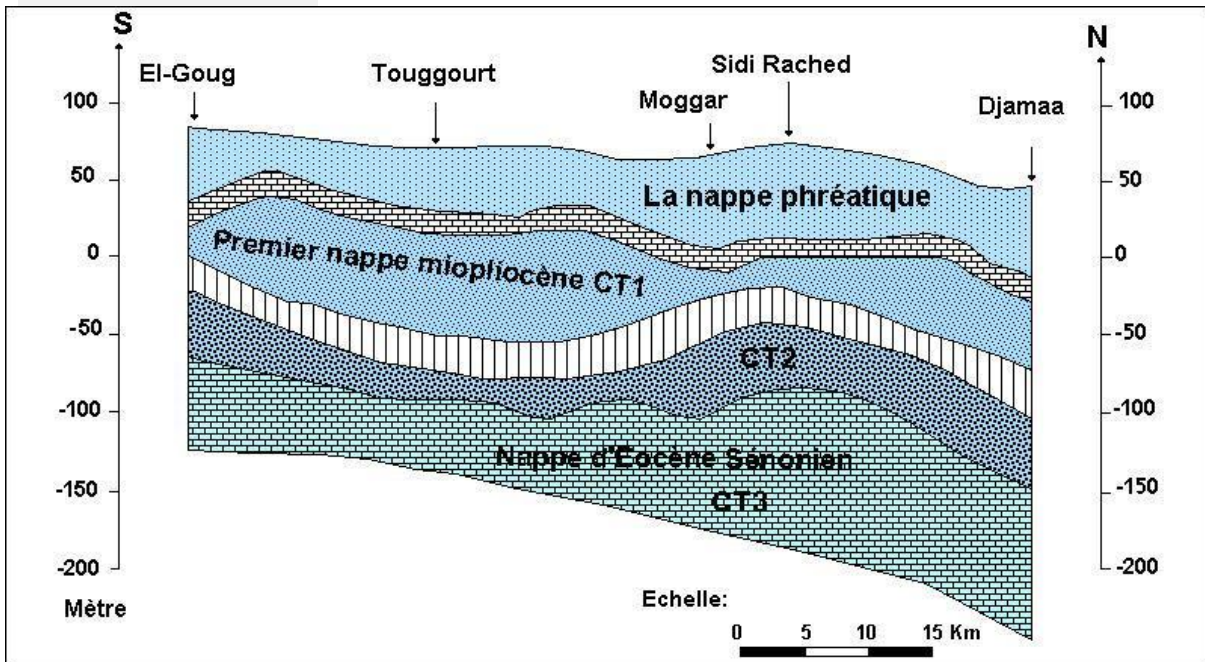
-Ces deux nappes sont alimentées localement par les rares précipitations, les infiltrations d'eaux de surface (de la nappe phréatique et du canal de Oued Righ) ainsi que les percolations des nappes artésiennes sous jacentes. Les prélèvements par forages représentent leur seule exhaure.

-Ces deux nappes surmontent l'autre ensemble du Complexe Terminal constituant la troisième formation aquifère, formée par les carbonates de l'Eocène inférieur.

### ❖ *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 et très peu exploité, il est formé de calcaires, calcaires dolomitiques ou marneux, d'anhydrite.

A la base, le Sénonien lagunaire forme le substratum de cette nappe et au sommet, le toit est surtout argileux (figures 28 et 29).



Source : ANRH

Fig. 28 : Coupe hydrogéologique du Complexe Terminal de la région de Oued Righ

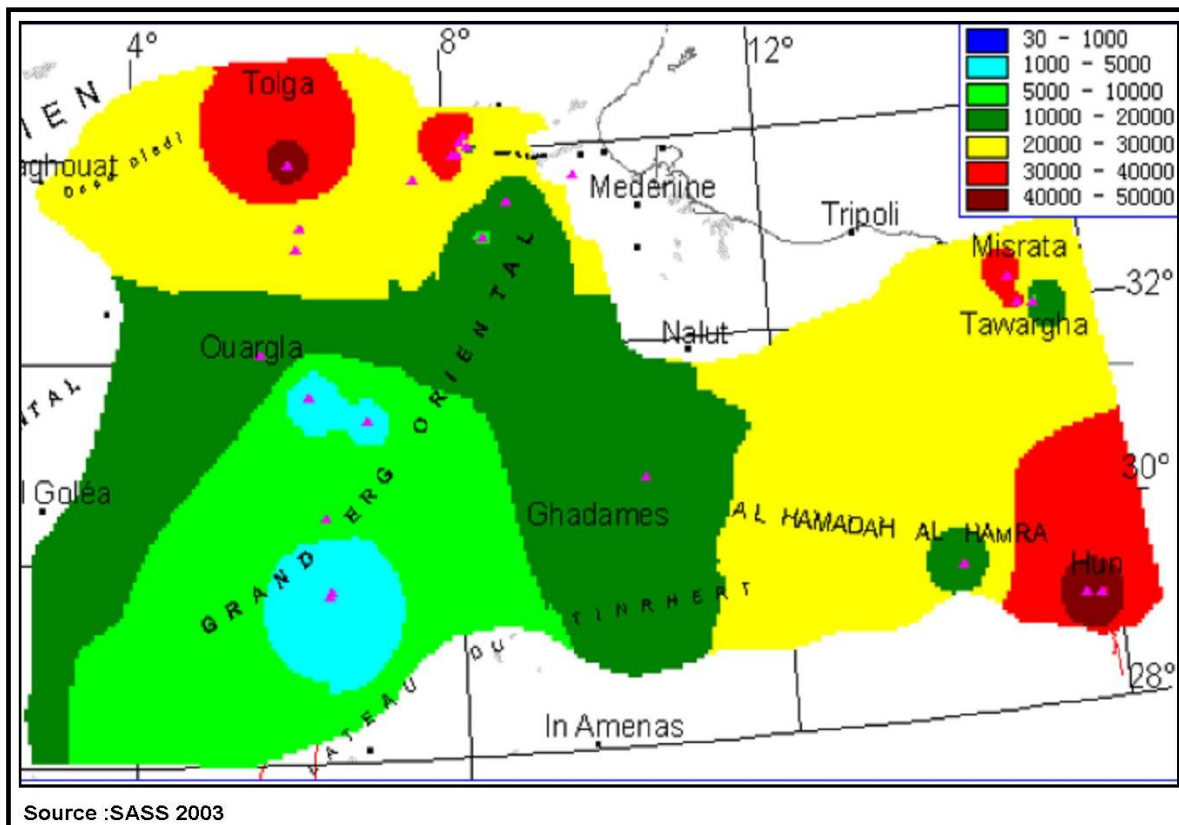


Fig. 29: Carte d'âge des eaux de la nappe du complexe terminal

**IV.2.1.2.1. piézométrie de la nappe complexe terminal**

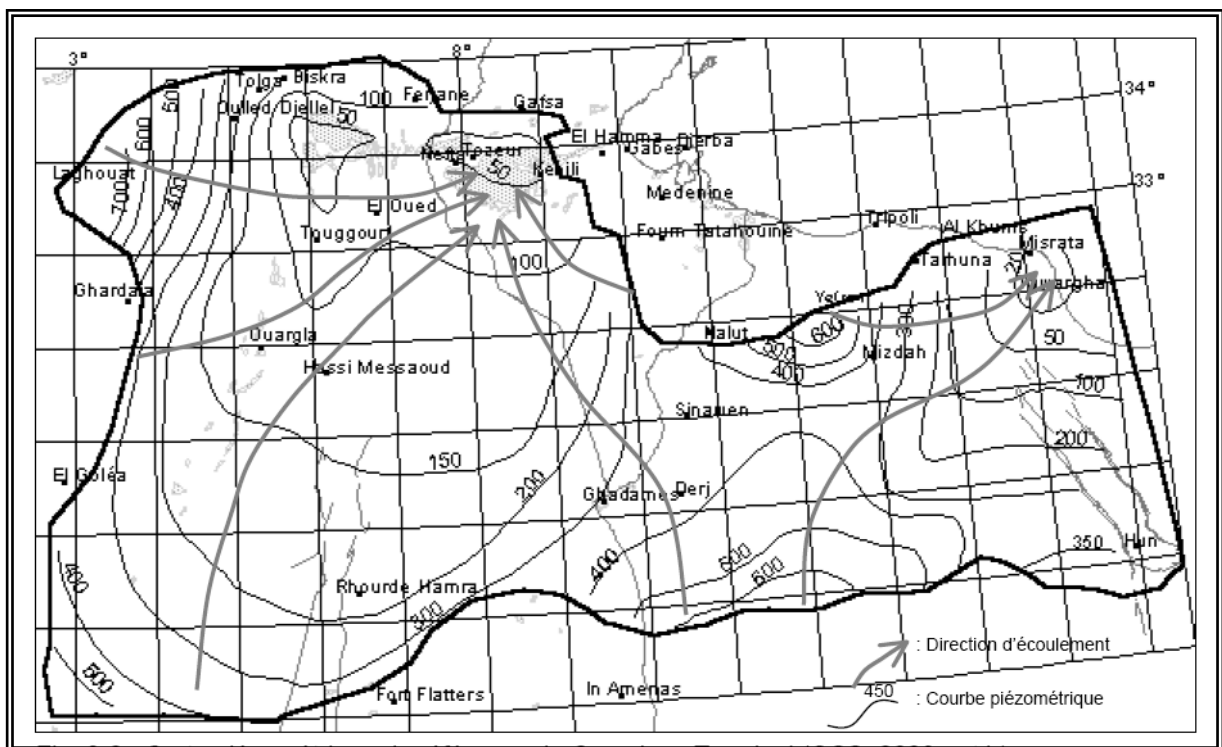
La construction de la carte piézométrique du "CT" est le résultat de l'accumulation des contributions successives élaborées depuis la publication par Cornet (1964) de la première carte piézométrique couvrant tout le Continental Terminal du Sahara. Parmi les contributions les plus significatives, on peut citer notamment celles de Bel et Cuche, 1969 et le Projet ERESS, 1972.

L'ensemble de ces travaux a permis de dresser une carte piézométrique « initiale » ou encore peu influencée par pompage, à l'échelle du bassin du Sahara Septentrional (Figure 30 ).

Cette piézométrie a concerné les formations calcaires sénoniens et éocènes ainsi que les sables du Pontien de Oued Righ et de Djérid assez souvent en relais hydrogéologiques. Elle se raccorde parfaitement et permet d'avoir la continuité de l'écoulement souterrain en passant d'une zone à l'autre (OSS, 2003).

À l'échelle locale, ou dans la vallée de Oued Righ, la carte ci dessous montre un écoulement qui se produit Dans le sens Sud Ouest –Nord Est.

Généralement, la nappe présente un sens d'écoulement vers le Nord-Est, c'est-à-dire vers la zone des Chotts algéro -tunisiens.



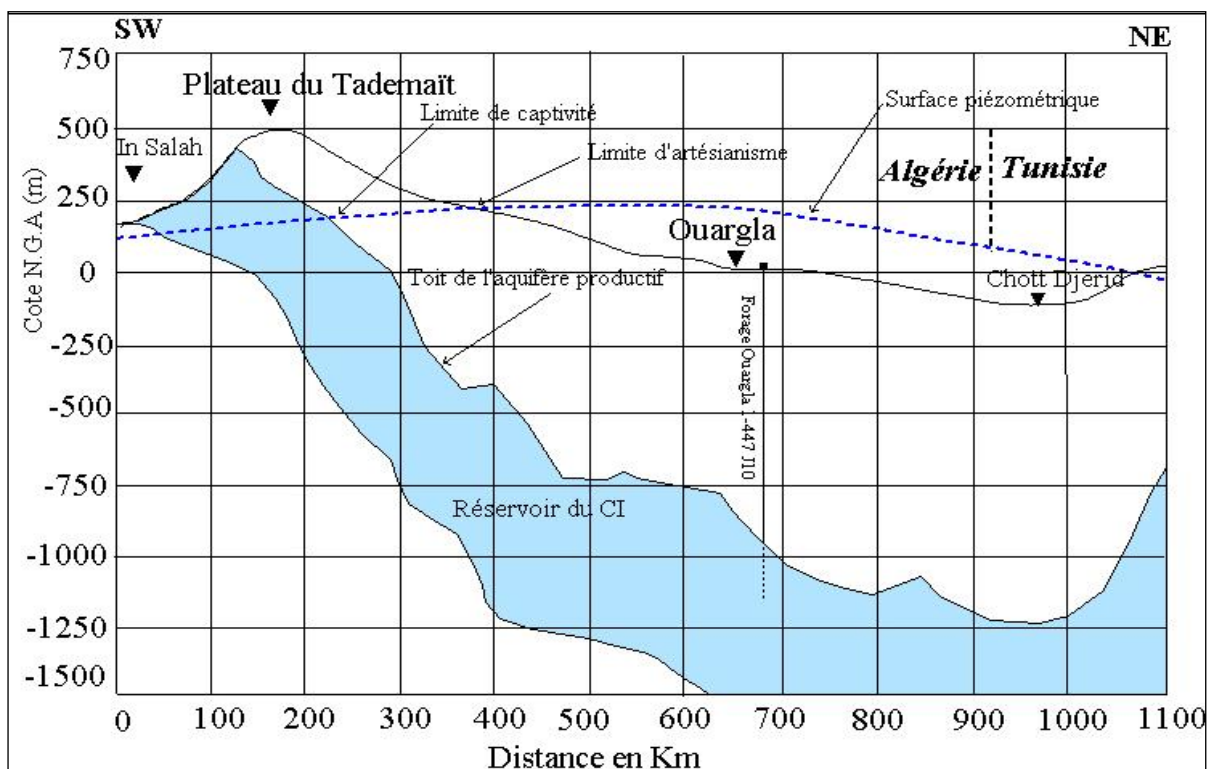
**Fig.30 : Carte piézométrique de la nappe du complexe terminal (Sass 2003)**

### IV.2.1.3. La nappe du continental intercalaire (albiennienne CI)

C'est une nappe qui est partagée entre trois pays maghrébins : Algérie, Tunisie et Libye). La partie Algérienne du Continental Intercalaire couvre 600 000 km<sup>2</sup>. Elle stocke un volume d'eau considérable, estimé à 3.5x10<sup>9</sup> milliards m<sup>3</sup> environ. Cette nappe est plus connue sous la dénomination nappe Albiennienne. Le terme Continental Intercalaire, par contre désigne 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).

Elle est limitée au Nord par l'Atlas Saharien, à l'Ouest par l'axe Bechar-Reggan et au Sud par l'axe Reggan-Ain Amenas ; à l'Est elle se prolonge au delà des frontières Algéro -Libyenne et Algéro- Tunisienne. Elle est partagée par la dorsale du M'zab en deux bassins (figure 31)

- Le bassin Occidental Oriental.
- Le bassin Oriental qui englobe le Bas Sahara.



Source : UNESCO, 1972

**Fig.31: Coupe hydrogéologique transversale montrant le toit et la surface piézométrique de la nappe du continental intercalaire.**

La transgression Cénomaniennne donne au Continental Intercalaire une limite supérieure beaucoup plus uniforme que sa limite inférieure.

A la périphérie , le Continental Intercalaire se termine en biseau sur les anciens reliefs hercyniens. Au sens large, le Continental Intercalaire recoupe l'intervalle stratigraphique compris entre la base du Trias et le sommet de l'Albien (UNESCO, 1972)

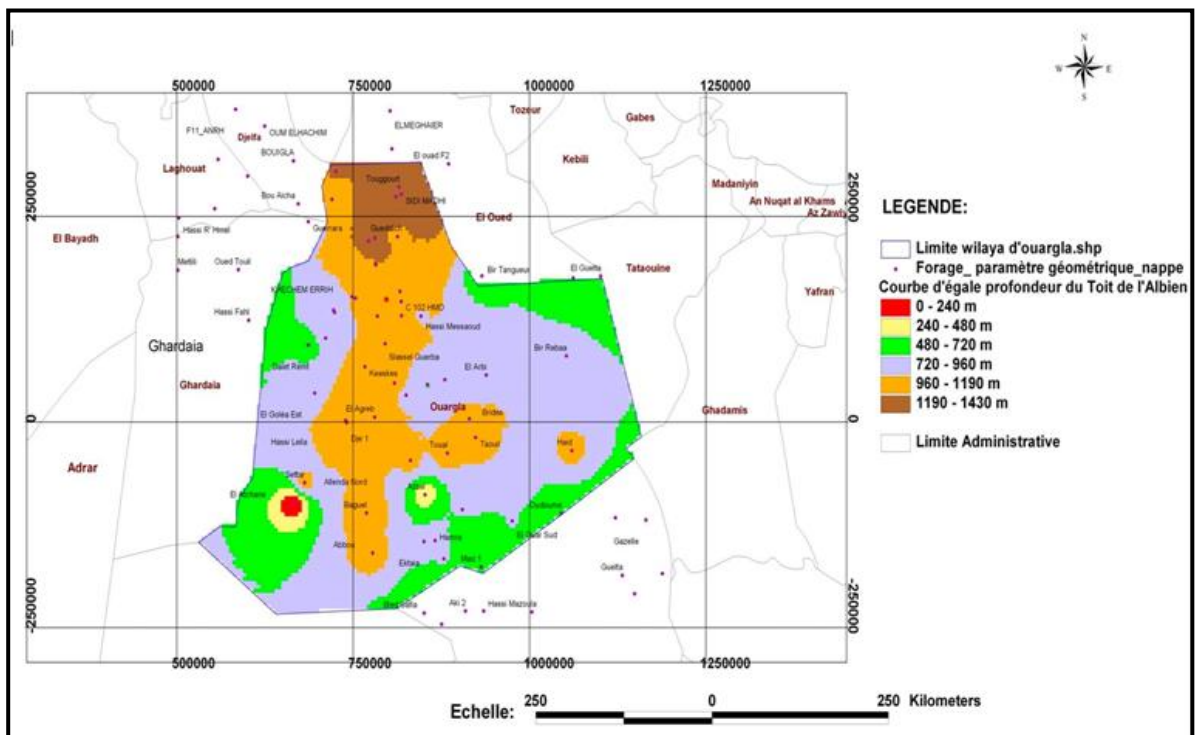
✓ **Toit du réservoir**

Le toit du CI débute presque toujours au niveau du toit de l'Albien (+ plus de 2000m par apport au sol) ; le mur du CI coïncide avec la discordance hercynienne sous les plateaux du Tadmait et du Tinhert.

Le toit de cette nappe varie selon les régions : à l'Ouest (Gourara-Touat), il est en surface et l'aquifère forme une nappe libre captée par les foggaras. À l'Est, le toit plonge progressivement sous d'épais terrains, jusqu'à atteindre son maximum de profondeur dans la dépression de Oued Righ.

Une même morphologie du substratum est observée dans le sens méridien, qui atteint son maximum au Nord, en bordure de l'Atlas Saharien.

La carte du toit de la formation de l'Albien, tracée à partir de 137 logs de forages profonds répartis sur la totalité de la wilaya de Ouargla et les wilayas limitrophes, montre le plongement du sommet de l'aquifère du sud de la région d'étude vers le nord, notamment la région de Touggourt. La profondeur du toit du continental intercalaire varie entre 240 m au Sud Ouest de la région d'étude (Erg el Atchane) et 1430 m au nord (Touggourt et sidi Mahdi)



Source :SASS 2003

Fig.32 : Carte du profondeur du toit de la nappe Albiennne

### ✓ *Alimentation*

Chargée au cours des périodes pluviales du Quaternaire, cette nappe reçoit actuellement une faible recharge, principalement 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 au vu des conditions climatiques très différentes de celles des régions où ces coefficients ont pu être expérimentées : hauteur de pluies faible et évaporation intense). Le volume d'eau emmagasiné dans le CI, évalué à  $3.5 \times 10^9$  milliards  $m^3$  signifie qu'il faudrait un débit continu de  $1000 m^3/s$  pendant 1000 ans pour le remplir.

### ✓ *Les exutoires*

Ils sont constitués par :

- **Les foggaras** : longues galeries drainantes, fonctionnant sous un faible rabattement et utilisant la topographie locale pour permettre l'écoulement libre de l'eau vers les points bas (cas du bassin occidental).
- **Les puits artésiens** (bassin oriental).
- **Les sebkhas** : vastes étendues humides et salines, surfaces évaporantes dont le débit total n'est pas négligeable.

### ✓ *Épaisseur du réservoir*

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

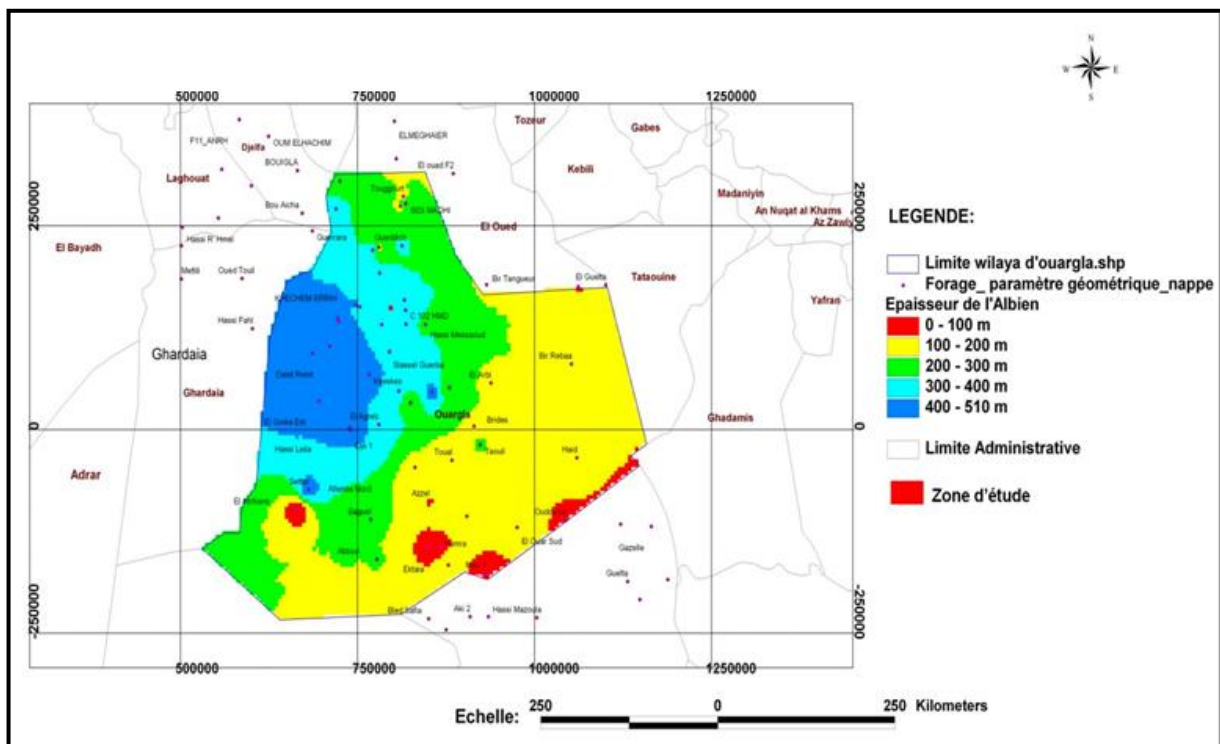
Les plus fortes épaisseurs sont localisées à l'Est d'El Goléa où elles sont comprises entre 750m et 1000m. La vallée de Oued Righ et les Zibans sont un peu moins bien loties avec des valeurs inférieures à 350 m.

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 Continental Intercalaire (nappe d'eau douce) se trouve dans les grès Albo-Barremiens. Le tableau 13 suivant récapitule toutes les caractéristiques de la nappe du continental intercalaire :

Tab.13 : Données générales sur la nappe du continental intercalaire

Etendue $km^2$	600 000
Epaisseur totale (m)	50 à 100
Profondeur (m)	60 à 2400
Profondeur au toit (m)	20 à 2000
Epaisseur de la couche utile productrice (m)	150 à 200
Débit (l/s)	50 à 400
Niveau statique par apport au sol (m) (Menaia)	Artésien (25 bars)
Rabattement (m) par apport au N.S (toute la région)	Artésien
Transmissivité ( $10^{-3} m^2 / s$ )	10 à 30
Coefficient d'emmagasinement ( $10^{-4}$ )	6 à 1200
Alimentation moyenne ( $h.m^3 / an$ )	270
Réserve théorique calculée ( $m^3$ )	$50000 \times 10^9$
Température ( $^{\circ}C$ )	25 à 70
Salinité des eaux	0,5 à 6g/l



Source: SASS 2003

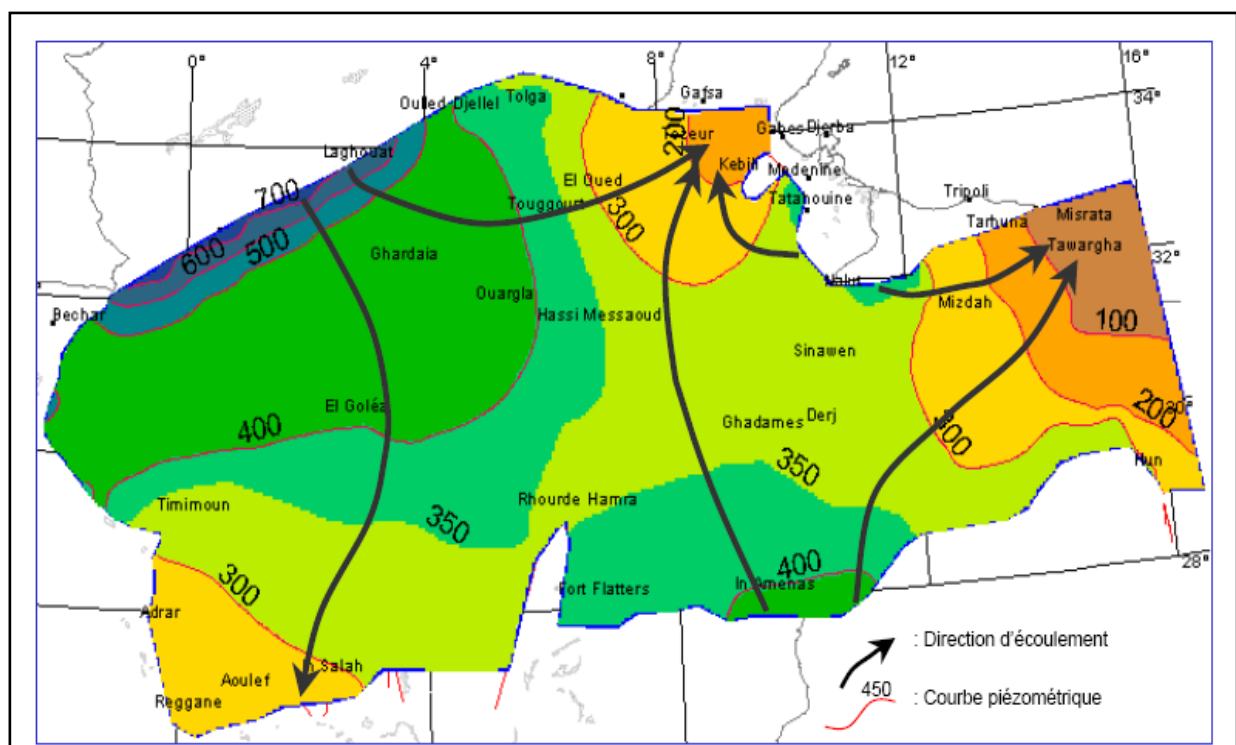
Fig. 33: Carte d'épaisseur de la nappe Albienne

#### IV.2.1.3.1. Piézométrie de la nappe continentale intercalaire

Pour élaborer la carte piézométrique du CI, les données publiées dans les études précédentes (ERESS, en 1972), ont été mises à contribution. Nous utiliserons la carte piézométrique du CI, élaborée dans le cadre du projet SASS (2003) (figure 34).

Cette carte définit l'écoulement de la nappe à l'état naturel, peu ou pas influencé par pompage. Concernant notre zone d'étude, l'écoulement se produit dans le sens Ouest - Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien convergent vers l'exutoire tunisien.

La dorsale du M'Zab (axe Nord-Sud) sépare l'écoulement dans les sous bassins Occidental et Oriental en ces deux directions distinctes précitées (Nord-Sud et Sud-Nord).



Source :SASS 2003

**Fig.34 : Carte piézométrique de la nappe du continental intercalaire**

Le tableau N°14 synthétise les unités stratigraphiques et lithologiques et indique les unités hydrogéologiques correspondantes.



Tab. 14: Tableau récapitulatif du système hydrogéologique du bas Sahara

ERE	Etage		Lithologie	Nature Hydrogéologique
	Quaternaire		Sables	Nappe superficielle (nappe phréatique)
			Argiles, évaporites.	Substratum imperméable
Tertiaire	Moi -Pliocène		Sables	1 <sup>ère</sup> nappe des sables (Complexe Terminal).
			Argiles gypseuses	(semi-permeable)
	Pontien	Sables, graviers et grès	2 <sup>ème</sup> nappe des sables (Complexe terminal).	
	Eocène	Moyen	Argiles lagunaires	Substratum
		Inférieur		Nappe des calcaires (Complexe Terminal).
Secondaire	Crétacé	Sénonien calcaire	Dolomies et calcaires	(Complexe Terminal).
		Sénonien lagunaire	Evaporites, argiles	Substratum
		Cénomaniens	Argiles, marnes	Substratum
		Albien		Nappe albienne
		Barrémien	Sables et grès	(Continental Intercalaire).

#### IV.2.1.4. Aperçu historique des études hydrogéologiques dans la région d'étude

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. Dans ce cadre, plusieurs études de modélisation de la ressource hydrique ont été effectuées afin de bien gérer leur exploitation, parmi elles, on cite :

ERESS (1972) et actualisée en 1985, BRL/CDARS (1999) avec le concours de l'Ecole des Mines de Paris, de l'ANRH et celui du SAS (OSS), ANRH (2002). L'élaboration de ces outils indispensables a permis de prévoir à moyen et long terme, l'évolution de la nappe en fonction des prélèvements proposés, ainsi que les conséquences de son utilisation.

**ETUDE ERESS**

Les hypothèses de la simulation de l'étude ERESS constituent la base d'évolution et de gestion de la ressource hydrique pour les deux nappes.

Leurs scénarios à hypothèses fortes font ressortir des potentialités d'exploitation des ressources en eau à différents horizons illustrés dans le tableau ci-après.

**Tab.15 : Tableau récapitulatif des résultats obtenus par l'étude ERESS**

<b>Données</b>	<b>Prélèvements des deux nappes en l/s</b>			
<b>Régions</b>	<b>Vallée Oued Righ Sud</b>		<b>Vallée Oued Righ Nord</b>	
<b>Nappe / Horizon</b>	<b>CT</b>	<b>CI</b>	<b>CT</b>	<b>CI</b>
<b>1981</b>	<b>1788</b>	<b>570</b>	<b>4441</b>	<b>854</b>
<b>1990</b>	<b>4761</b>	<b>2622</b>	<b>5970</b>	<b>1435</b>
<b>2000</b>	<b>9772</b>	<b>3802</b>	<b>5970</b>	<b>2485</b>
<b>2010</b>	<b>9772</b>	<b>3802</b>	<b>5970</b>	<b>2485</b>
<b>2040</b>	<b>9772</b>	<b>3802</b>	<b>5970</b>	<b>2485</b>

Selon cette étude, il ressort que la région d'étude d'Oued Righ est ainsi classée :

\* Vallée Oued Righ Sud comme zone à potentialité moyenne et répond à la demande envisageable à l'horizon 2000.

\* Vallée Oued Righ Nord classifiée comme zone à faible potentialité.

### **Etude de SASS**

L'étendue géographique internationale des deux nappes a exigé une gestion tripartite de leur ressources en eaux et c'est dans ce contexte que l'organisation OSS a établi un modèle mathématique de gestion appelé Système Aquifère du Sahara Septentrional (SASS).

Concernant notre région d'étude, la simulation du modèle SASS prévoit des débits encore susceptibles d'être prélevés, illustré dans le tableau ci-après :

On note que la simulation SASS n'a pas tenu compte des petites localités de notre division, et elle n'a pas estimé le débit additionnel pour la partie sud de la vallée de Oued Righ ; Or elle traite la région de Ouled Djellal de la Wilaya de Biskra comme l'une des localités de la vallée de Oued Righ.

## **IV.2.2. Eaux de surface**

### **IV.2.2.1. 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 en distingue deux dans la région de Oued Righ: le lac de Megarine au Nord et le lac de Temacine au sud.

Ces situations géomorphologiques se présentent en une dépression qui est à 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 est devenu l'une des principales préoccupations du secteur de l'eau et de l'environnement dans la wilaya de Ouargla, dont premières actions se sont concrétisées par l'initiation du plan de sauvegarde du lac Temacine qui comporte la prise en charge des rejets des eaux usées urbaines dans le grand canal de Oued Righ.



**Fig. 35: Photo du lac de Temacine**



**Fig.36: Photo du lac de Megarine**

#### **IV.2.2.2. Canal de Oued Righ**

Le canal de Oued Righ a été creusé en 1925 avec des méthodes traditionnelles par la population de la région sur une longueur de 150 km à partir d'El Goug jusqu'au chott Merouane (exutoire naturel) ; il a 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 le tiers Nord est d'origine naturelle (Oued Khrouf). Le but du canal était d'assurer le drainage de l'excès des eaux d'irrigation des palmeraies ainsi que l'évacuation des eaux usées.

Hormis les quelques orages annuels, l'alimentation du canal est le fait des écoulements de drainage en provenance des palmeraies et le rôle du canal est de collecter ces eaux et de les canaliser jusqu'à Oued Khrouf puis vers le chott Merouane.

### ***a-Caractéristiques du canal***

- Longueur totale : 150 km.
- Largeur moyenne : 10 m.
- Profondeur moyenne : 4 m.
- Vitesse moyenne d'écoulement : 0,7 m/s.
- Débit moyen maximal : 4m<sup>3</sup>/s.
- Salinité moyenne : 15 g/l.
- Pente d'écoulement moyenne : 1‰.

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



**Fig.37 : Canal de Oued Righ**

### ***b. Calcul des paramètres hydrauliques par la méthode du jaugeage au moulinet***

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 donné par la relation suivante

$$Q = V_m \times S_m$$

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 réparties sur la largeur de 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 du vecteur vitesse à travers cette section. Pour une section élémentaire A, le débit correspondant sera :

$$dQ = v.dA.$$

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

$$Q = \int_A v.dA$$

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 :

$$Q = A.V$$

#### IV.2.3. Les Stations de mesure

Il existe quatre stations hydrométriques réparties le long du canal de Oued Righ, mais nous nous sommes seulement intéressé à 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 : Ranou et Sidi Slimane (tableau 16).

1- Station de Ranou : en amont du canal, elle réunit les drains et les rejets de Temacine.

2- Station de Sidi Slimane : contrôle les rejets et les drains de Touggourt.

**Tab.16: Coordonnées géographiques (GPS) et topographie des Stations**

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

### IV.2.3.1. Paramètres hydrauliques

- **Vitesse moyenne ( $V_m$ ) :**

Elle est exprimée en (m/s):

$$V_m = Q/S_m$$

Avec:

Q : le débit (m<sup>3</sup>/s). Et  $S_m$  : Section mouillée (m)

- **Rapport vitesse moyenne / vitesse moyenne de surface :  $V_m/V_{MS}$**
- **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<sup>2</sup>). Et  $P_m$  : périmètre mouillé (m).

Il faut donc intervenir implicitement d'une manière simplifiée mais 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 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<sup>2</sup>).

$H_m$  : 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 17.

**Tab. 17 : Résultats des paramètres hydrauliques des stations de jaugeage.**

station de mesure	Paramètres hydrauliques									Régime d'écoulement
	débit $m^3/s$	Vm (m/s)	Vms (m/s)	Vm/Vms	Sm (m <sup>2</sup> )	Pm (m)	Rh (m)	Hm (m)	Fr	
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

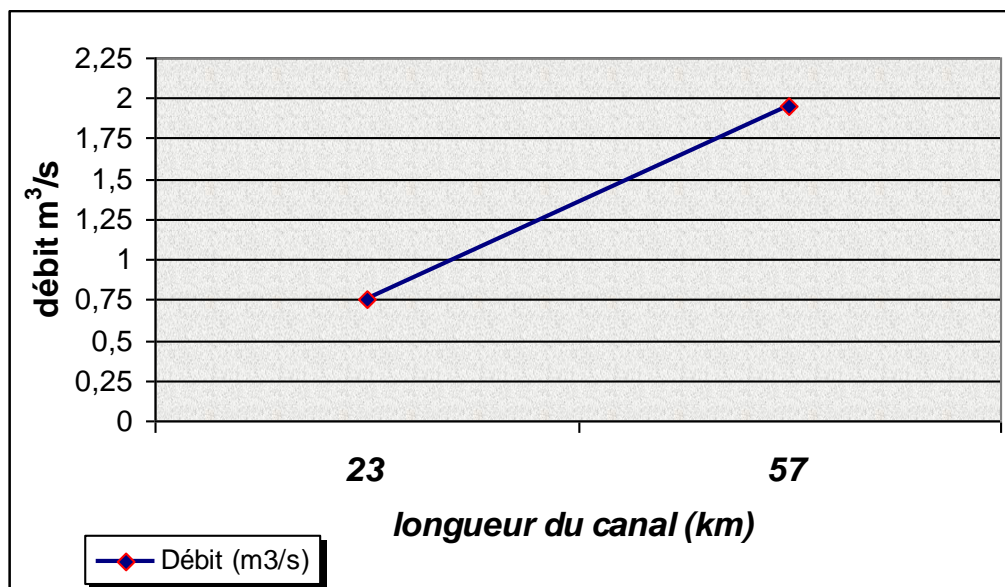
**IV.2.3.2. Interprétation des résultats**

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

Le calcul et les mesures ont montré que le débit au niveau du canal augmente tout en allant vers le Nord (tableau18).

**Tab. 18 : Résultats des débits de chaque station (au moulinet)**

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



**Fig.38 : 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.

**IV.2.3.3. Evolution du débit du canal au niveau des stations hydrométriques**

L'évolution de la région de Oued Righ se fait sentir à travers la multiplication du nombre de forages suite à l'augmentation du nombre d'habitants, du développement de leurs nécessités socio-économiques et de l'extension des palmeraies par de nouveaux périmètres irrigués.

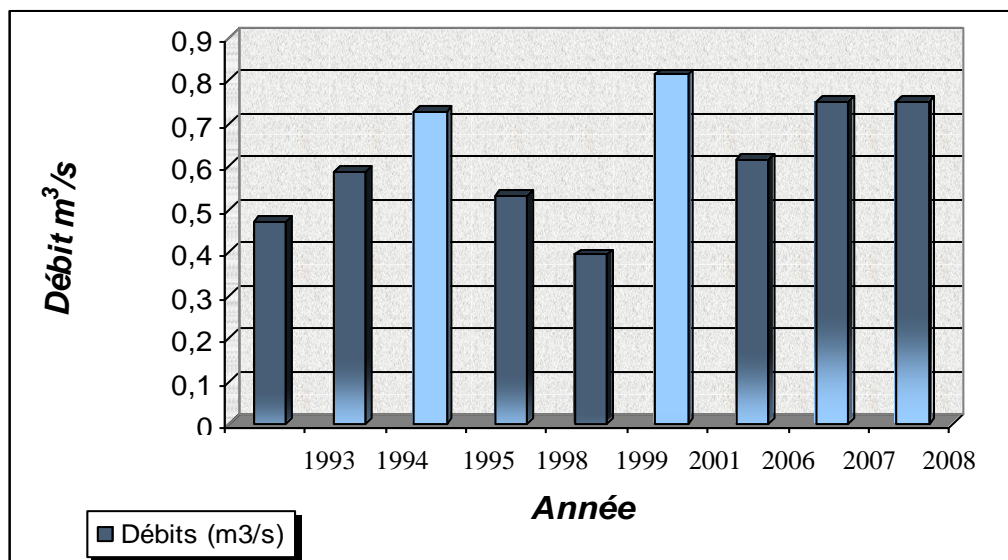
Cette évolution a provoqué des débits de forages et des réseaux de drainages supplémentaires et une importante évolution spatiale et chronologique du débit du canal.

**❖ Station Ranou**

Le tableau 19 montre qu'en 1998 et 1999, la diminution de la section mouillée à cause des roseaux et de l'ensablement a résulté en une diminution du débit et une remonté de la nappe. Cette tendance est inversée en 2001 car le débit augmente sensiblement à la station de Ranou ; ceci s'explique par une opération de nettoyage et d'entretien du canal avant 2001.

**Tab. 19 : Répartition du débit du canal à la Station Ranou**

Année	1993	1994	1995	1998	1999	2001	2006	2007	2008
Débit (m <sup>3</sup> /s)	0.47	0.588	0.728	0.53	0.394	0.813	0.615	0.75	0.75



**Fig. 39 : Histogramme de l'évolution du débit du canal au à la station Ranou**

❖ Station de Sidi Slimane

Le tableau ci-dessous et la figure 40 montrent que la situation dans cette station est semblable à celle de la station de Ranou. La seule différence est représentée par les valeurs de débits qui y sont plus élevés. Cette augmentation est due essentiellement aux apports importants en eaux de drainage à partir des palmeraies.

Tab.20 : Répartition du débit du canal à la Station Sidi Slimane

Année	1993	1994	1995	1998	1999	2001	2006	2007	2008
Débit (m <sup>3</sup> /s)	1.758	2.00	2.585	2.00	1.91	2.45	2.5	1.95	2.8

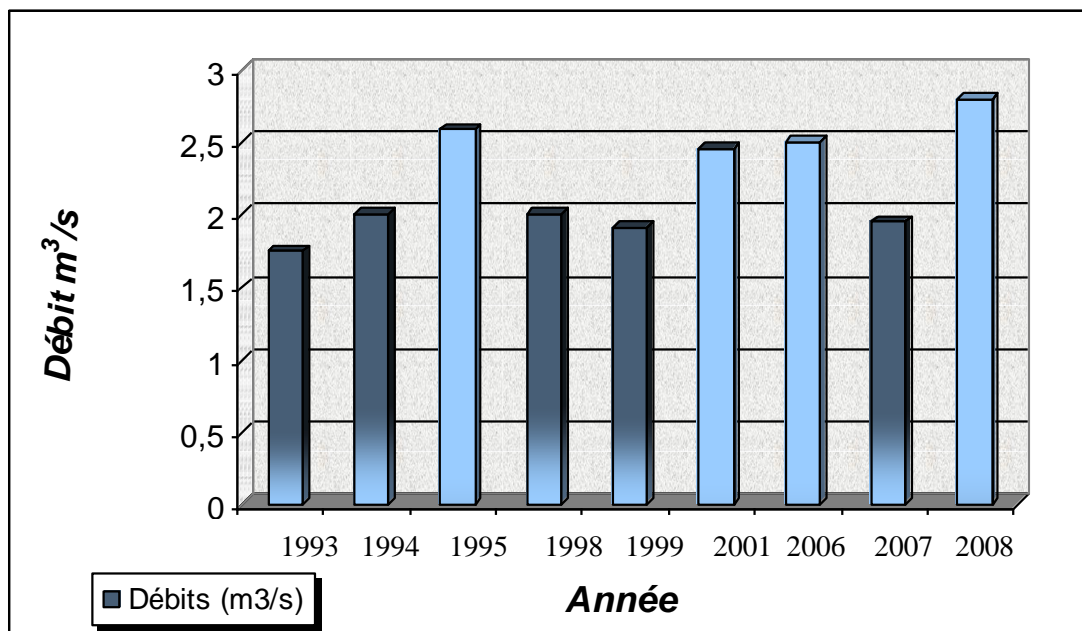


Fig. 40 : Histogramme de l'évolution du débit du canal à la station de Sidi Slimane



## 3<sup>ème</sup> CHAPITRE :

---

# DIAGNOSTIC DE L'ÉTAT ACTUEL DES RESSOURCES EN EAU

*La connaissance de la situation de l'eau douce nécessite une évaluation des potentialités en eau qui ne soit pas entachée d'erreurs conséquentes, de nature à fausser les résultats des prévisions, ce qui contribuerait à aggraver les situations de crises de l'eau du fait d'une planification mal adaptée des investissements dans les infrastructures hydrauliques.*

*(Mokhtar BZIOUJ)*

---

## **Introduction**

Au cours de ces dernières décennies, de 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.

### **I. La Répartition de l'infrastructure hydraulique dans la région des Oued Righ**

Les infrastructures hydrauliques jouent un rôle primordial dans la sécurité hydrique et alimentaire du pays et rendent de précieux services à l'économie nationale. 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 11062 hectares ainsi qu'au développement industriel.

#### **I.1. Forages**

Selon le rapport de l'ANRH (2008), le nombre total des forages recensés dans la région de Oued Righ est de l'ordre de 425.

Parmi ces 425 forages, 339 forages (CT, CI) sont exploités,. En se basant sur des critères d'expertise, on constate que sur les 86 forages CT inexploités, 62 forages peuvent être exploitables.

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

La vallée 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  $263.76 \text{ hm}^3/\text{an}$ .

Quant à la nappe du Continental Intercalaire, elle est captée par 06 forages fournissant chacun un débit moyen de l'ordre de 130 l/s pour un débit annuel total de  $25 \text{ Hm}^3$ . Les 06 forages du CI sont destinés à l'AEP.

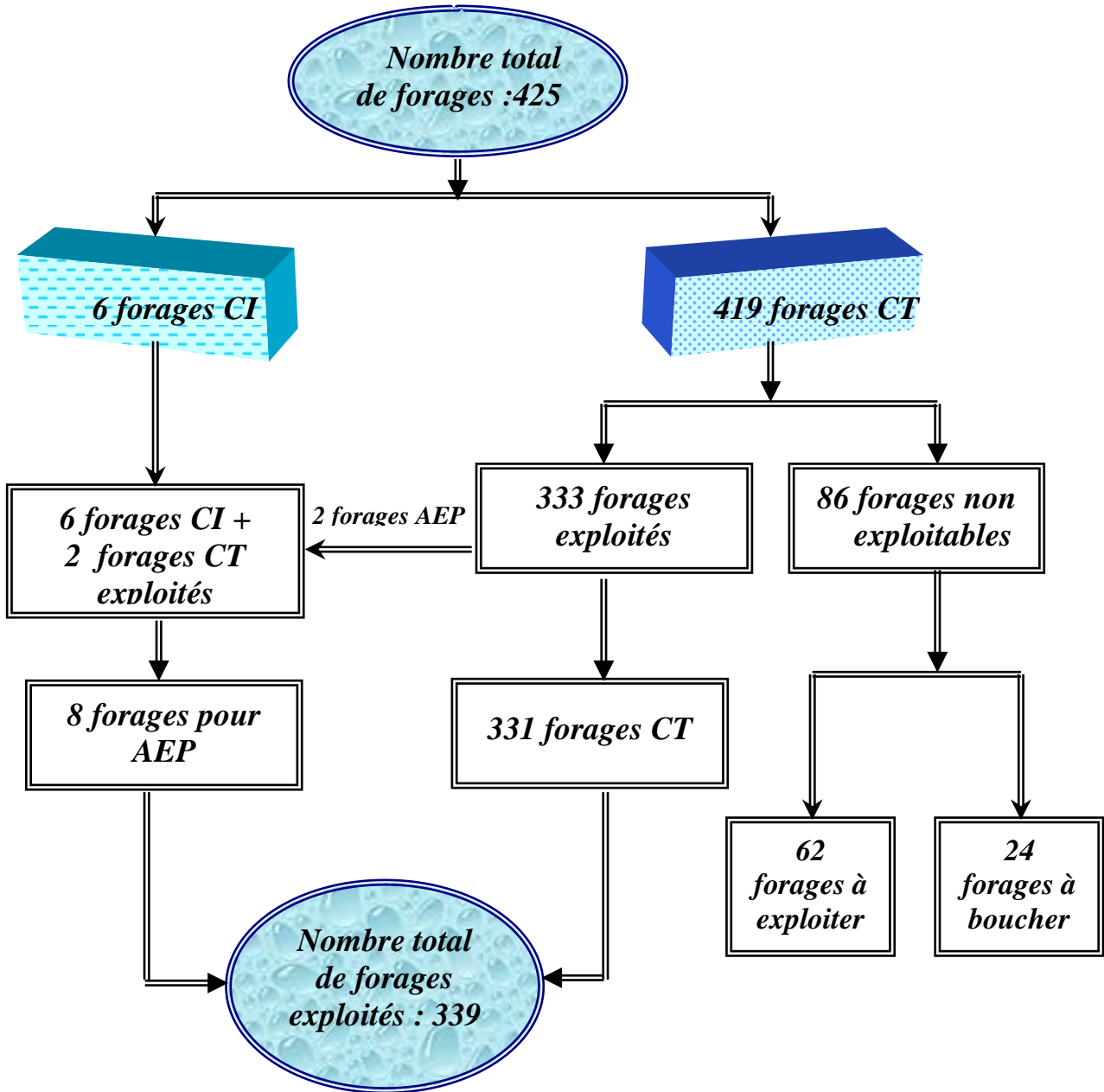


Fig. 41: Schéma récapitulatif du nombre de forages dans la région de Oued Righ

### I.2. Réservoirs de stockage

La priorité donnée au secteur de l'eau depuis des années a permis de disposer d'un patrimoine d'infrastructures hydrauliques, constitué d'une dizaine de réservoirs de tailles diverses, avec une capacité de stockage totale de 15050 hm<sup>3</sup>.

Ces infrastructures hydrauliques jouent un rôle primordial dans la sécurité hydrique et alimentaire de la vallée de Oued Righ et rend de précieux services au secteur socioéconomique.

Tab.21 : Réservoirs de stockage et leurs capacités

<i>Commune</i>	nombre de réservoirs	capacité (m <sup>3</sup> )
<i>Temacine</i>	1	300
<i>Blidet Amor</i>	2	550
<i>Touggourt</i>	5	10000
<i>Nezla</i>	2	350
<i>Tebesbest</i>	1	1500
<i>Zaouiä</i>	1	750
<i>Megarine</i>	3	1050
<i>Sidi Slimane</i>	2	550
<b>TOTAL</b>	<b>17</b>	<b>15050</b>

### I.3.Stations d'épuration

La seule station d'épuration des eaux usées dans la région d'étude est située à Ben yassOued, dans la commune de Tebesbest, daïra de Touggourt sur la route d'Oued Souf. S'étendant sur une superficie de 5 Hectares, elle a été mise en service en 1991, et traite aujourd'hui une partie des rejets d'eaux usées déversées par la ville de Touggourt.



Fig.42 : Vue de la station d'épuration de Touggourt

La station d'épuration est du type-boues activées à faible charge d'une capacité de 62.500 équivalents habitants.

-Capacité nominale de traitement et qualité moyenne requise des eaux usées avant traitement

-Débit moyen : 9360 m<sup>3</sup>/jour

-Débit de pointe: 390 m<sup>3</sup>/heure

- Matières en suspension (MES) : 0.070 kg/hab/jour

-Demande biologique en oxygène (DBO<sub>5</sub>) : 54 g/hab/jour

-Charge moyenne de DBO/jour : 3 375 kg/j

-Charge moyenne de DCO/jour : 5 625 kg

**Tab. 22 : Suivi des sous produits de prétraitement**

Déchets solides (m <sup>3</sup> /mois)	Sables (m <sup>3</sup> /mois)	Graisses et huiles (m <sup>3</sup> /mois)
<b>1</b>	<b>7</b>	<b>0,05</b>

### **I.3.2.Étapes de traitement**

Le processus de traitement comporte les étapes suivantes:

1. Criblage grossier à l'aide d'un dégrilleur mécanique.
2. Un canal à sables aérés élimine le sable et les graisses.
3. Le traitement biologique est accompli dans des bassins à aération mécanique.
4. Décantation dans les clarificateurs circulaires.
5. Les boues activées de retour sont refoulées par des pompes à vis d'Archimède
6. Les eaux usées traitées utilisées à des d'irrigation seront désinfectées au chlore.
7. Pas de traitement des boues, il y a 16 lits de séchage.

**Tab. 23 : Résultats de l'auto surveillance des entrées et des sorties dans la STEP**

ENTREE STEP (EAU BRUTE)					SORTIE STEP (EAU TRAITEE)			
Volume m <sup>3</sup> /j	MES mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	DCO mg/l	PH	MES mg/l	DBO <sub>5</sub> mg/l	DCO mg/l	PH
4800	740	420	766	7,31	23	20	27	7,86



## II. Problèmes posés par l'évolution hydraulique

Les zones des palmeraies connaissent d'énormes problèmes dont la plupart sont liés directement aux conditions naturelles de la région telles que la morphologie du terrain, la forte évaporation ainsi que la salinité des eaux et des sols. A cela, s'ajoutent la mauvaise exploitation des palmeraies (travaux cultureaux, entretien, mode d'irrigation). Ces contraintes conjuguées à une utilisation abusive des eaux profondes destinées à l'irrigation sont traduites par plusieurs problèmes tels que :

### II.1. Remontée des eaux

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

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

Ce phénomène a été observé également au niveau des cimetières où l'eau a empêché les habitants de creuser dans certaines zones de ces cimetières.

La situation n'est pas aussi dramatique dans les autres villes de la région (Oued Souf, Ouargla) mais la remontée des nappes n'est cependant pas à exclure.



Fig. 43 : Remontée de la nappe phréatique dans la région de Touggourt (Tatawine)

## II.2. Chute de l'artésianisme

Cette région était jadis caractérisée par l'artésianisme des forages des deux complexes hydrauliques (CT, CI). Cependant, depuis quelque temps, on a noté sa disparition. 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 une diminution de la pression y est constatée.

## II.3. Dégradation du canal de Oued Righ

Malgré le grand réservoir des eaux souterraines -surtout l'albien- dans cette région, il n'y a pas de cours d'eaux ou de rivières qui participent l'évacuation des eaux de drainage et d'assainissement. C'est l'une des raisons qui ont motivé le creusement du canal artificiel. Vu la nature sableuse du sol de la région et sa richesse en sels ainsi que la pente élevée dans certains tronçons du canal collecteur, on observe un phénomène d'érosion sur les berges engendrant un autre type de problème : bouchage et d'ensablement.

Le passage de ce canal dans les zones des chotts ou dans les régions 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 la destruction des berges (Sidi Slimane et Boufeggoussa).



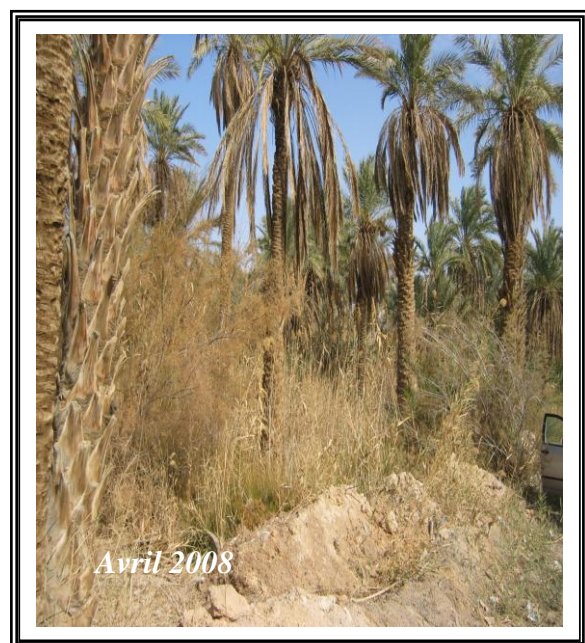
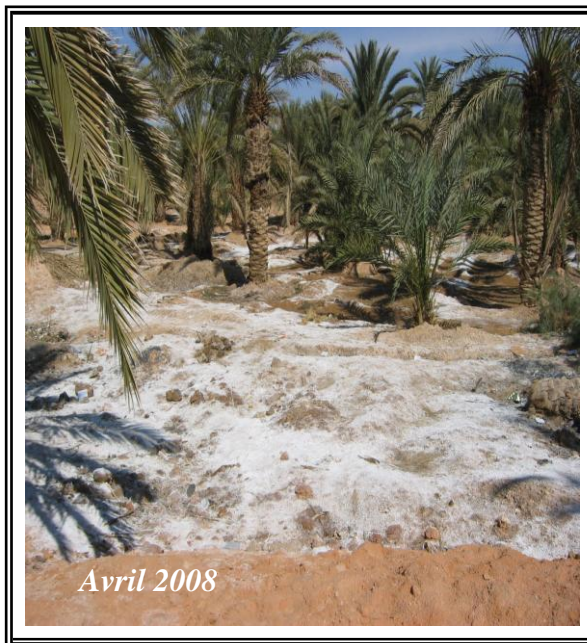
Fig.44: Destruction des berges du canal en sable due aux turbulences à Boufeggoussa

## II.4. Problème de la salinité

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 (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 avec la profondeur. Cette teneur en sels qui représente 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 qualitative particulièrement 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.

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.



**Fig.45 : Salinité dans les palmeraies**      **Fig. 46 : Palmeraies dégradées par la salinité**

## III. Analyse des causes principales de l'indiquer

### III.1. Croissance démographique

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 assurer les chances de réussite.

La vallée de Oued Righ totalisait 200916 Habitants en 2008, alors qu'elle comptait 81600 habitants en 1977. Le tableau 24 donne une vue de l'évolution de la population de toutes les communes de la région d'étude :

Tab.24: Évolution de la population des communes Oued Righ

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

Source :ONS 2008

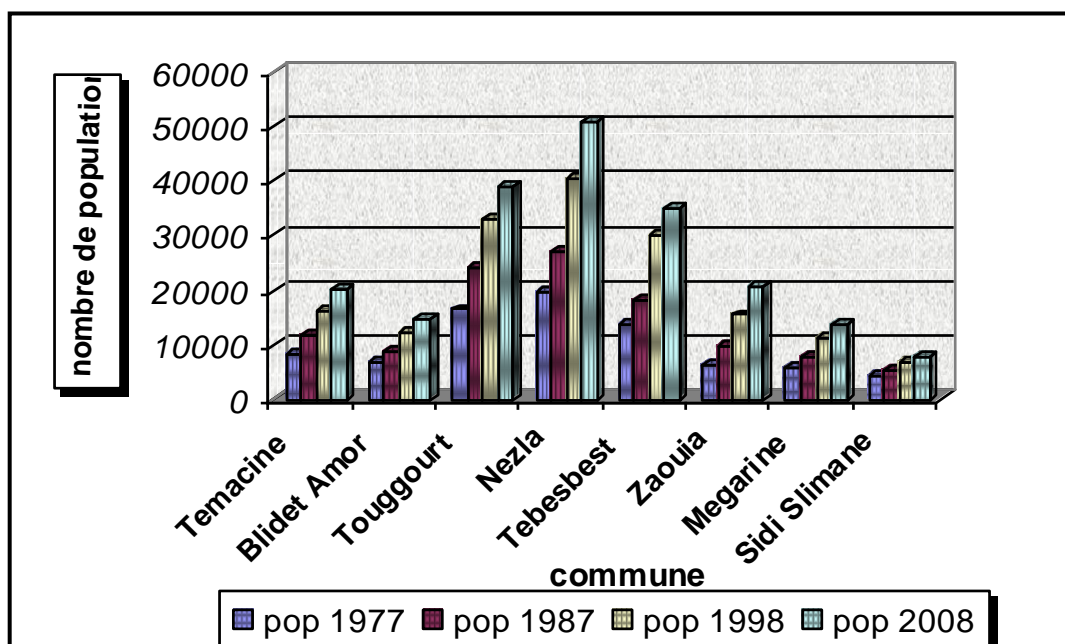


Fig.47: Évolution de la population par commune de Oued Righ

### III.1.1.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. /km<sup>2</sup>.

Tab.25: Répartition de la superficie, de la population et la densité de la population par commune

<i>Commune</i>	<i>Population (2008)</i>	<i>Superficie (km<sup>2</sup>)</i>	<i>Densité (hab /km<sup>2</sup>)</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
<b>TOTAL</b>	<b>200916</b>	<b>1874</b>	<b>/</b>

Source : ONS 2008

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 (figure 48).

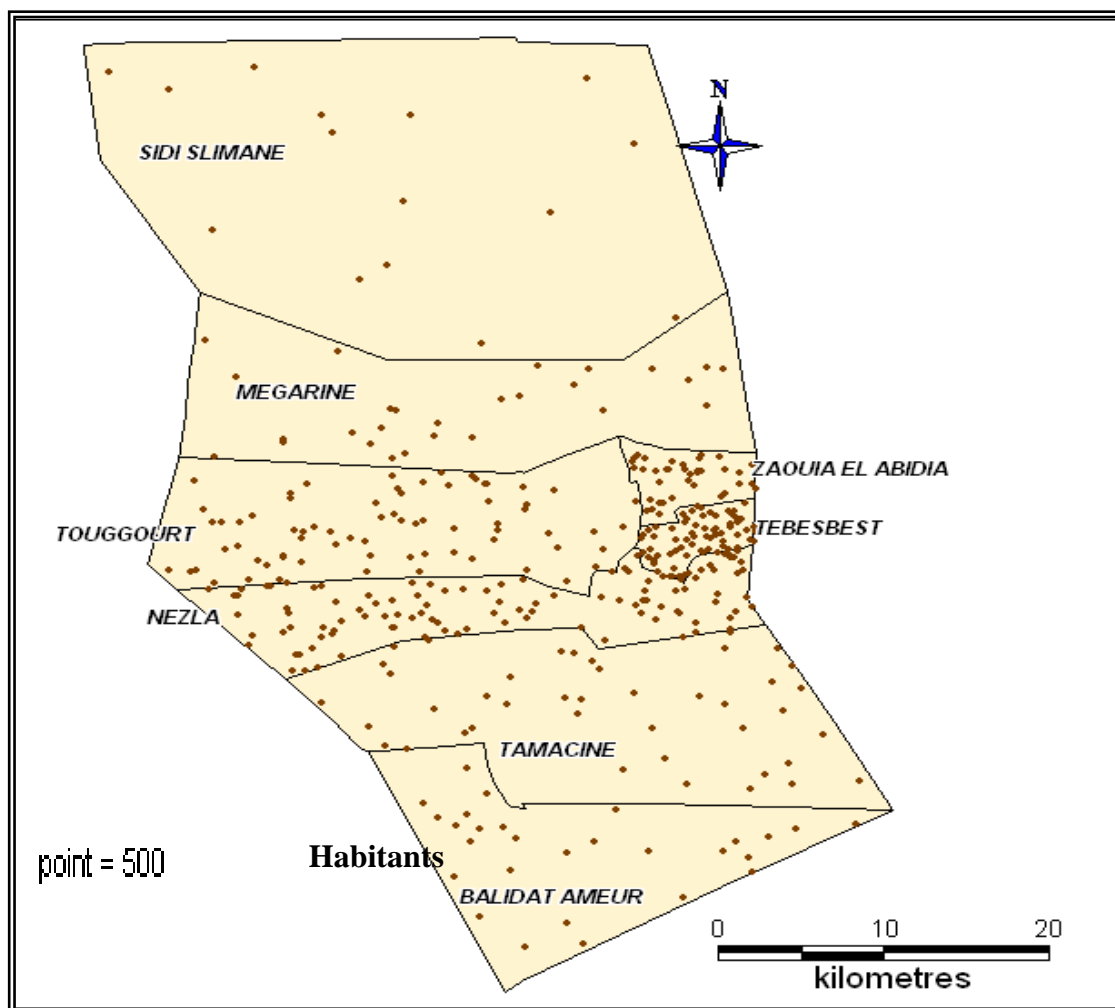


Fig. 48: Densité de la population dans la vallée de Oued Righ

### III.2. Évolution du nombre de forages

Le nombre total de forages a progressé sur la vallée de Oued Righ au cours des années ; il est passé de 180 en 1975 à 425 en 2004. Pour estimer le nombre de forages futur dans la vallée de Oued Righ, nous avons choisi la méthode de la régression et corrélation linéaire (figure 66). Cette théorie constitue la base sur laquelle les estimations d'une variable dépendante peuvent être faites à partir de la connaissance des valeurs d'une ou de plusieurs variables indépendantes.

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

Si  $R=1$  Dépendance fonctionnelle directe.

Si  $R= 0.8$  à  $1$  Bonne corrélation directe.

Si  $R= 0.6$  à  $0.8$  Corrélation directe modérée.

Si  $R= 0$  à  $0.6$  Corrélation insuffisante.

Le nombre de forages est estimé par la régression linéaire entre les années et le nombre de forages ; cette régression nous a donné l'équation suivante :

$$Y=9.0065x-17626$$

Où

Y : Nombre de forages

X : Années

$R = 0.97$  ce qui exprime 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 27 donne le nombre de forages estimés.

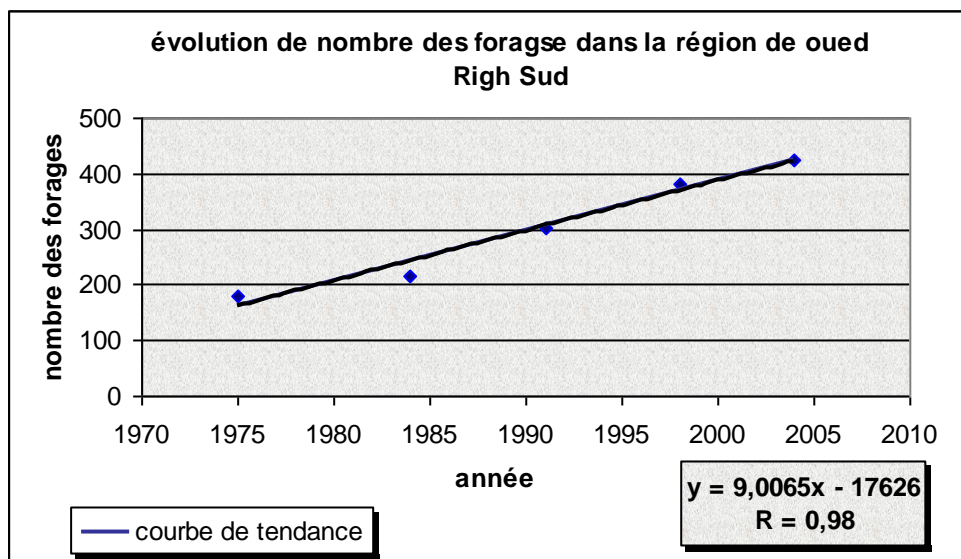


Fig.49: Courbe d'évolution du nombre de forages dans la région de Oued Righ

Tab. 26: Nombre de forages réels

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

Tab.27 : Nombre de forages estimés

Année	Forages
2010	477
2020	567
2030	657
2040	747

### III.3. 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, directes à travers des dons ou indirectes par une fourniture de matériel et d'équipements agricoles, d'engrais... ;

La culture du palmier y est prépondérante dans cette région, étant donné son adaptation à tout le bas Sahara, et correspond à des oasis de palmeraies qui jouent un rôle fondamental dans le maintien de la population dans cette zone aride

La figure 67 montre clairement l'évolution du nombre de palmiers durant la période 1998 à 2008. Les résultats obtenus par la régression linéaire entre les années et le nombre de palmiers a montré que le nombre de palmiers sera le double en 2050 et atteindra 2.131 millions palmiers (tableau 28). Cette évolution du nombre de palmiers aura un impact très important sur les besoins en eau dont la demande sera en constante augmentation.

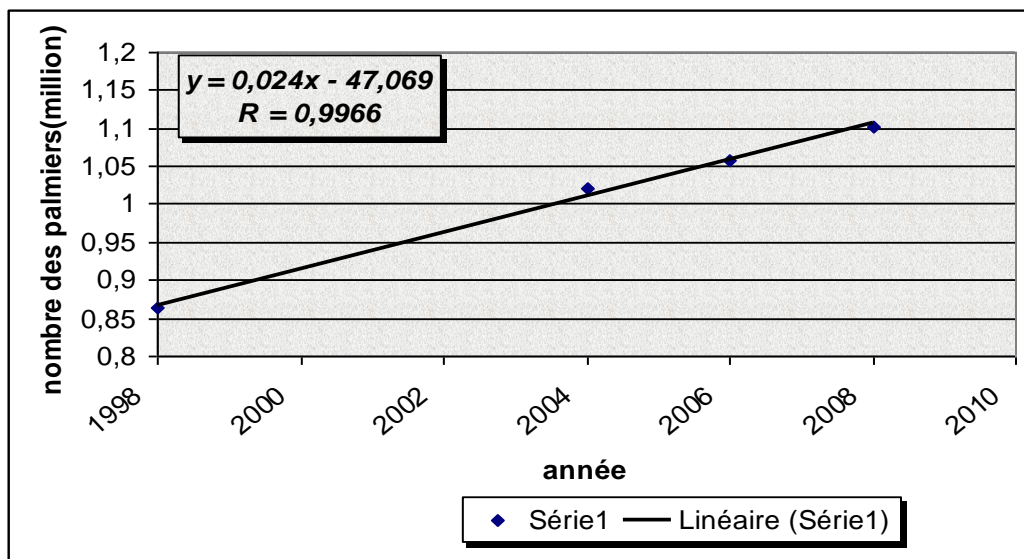


Fig. 50 : Courbe d'évolution du nombre de palmiers dans la vallée de Oued Righ

Tab.28 : Nombre de palmiers réels et estimés

<i>Années</i>	<i>Nombre de palmiers (millions)</i>
1998	0,864
2004	1,02
2006	1,058
2008	1,102
2010	1,171
2020	1,411
2030	1,651
2040	1,891
2050	2,131

### III.4. Rejets des eaux usées

La vallée de Oued Righ compte 8 communes dotées d'un réseau d'assainissement qui représente un linéaire de plus de 460.6 km avec un taux moyen de raccordement élevé dépassant 90%.(Tableau 29). Il n'existe qu'une seule station d'épuration dans la région de Touggourt. Tout le volume des eaux usées (17740,512 m<sup>3</sup>/j) de la région de Oued Righ est rejeté directement dans le canal, Cette situation a été provoquée des problèmes sur l'environnement et la qualité des eaux du canal, par la présence des algues, des matières organiques et minérales, et des sels.

Tab. 29: Situation de l'assainissement et des rejets des eaux usées

<i>Commune</i>	<i>Situation 2008</i>			
	<i>Longueur du réseau (km)</i>	<i>Nombre de points de rejets</i>	<i>Taux de raccordement (%)</i>	<i>Volume des rejets (m<sup>3</sup>/j)</i>
<i>Temacine</i>	44	5	70	916,704
<i>Blidet Amor</i>	42	5	99	1223,424
<i>Touggourt</i>	93,87	0	97	0
<i>Nezla</i>	89,1	4	94	3611,52
<i>Tebesbest</i>	71,72	3	94	7487,424
<i>Zaouïa</i>	47,91	2	95	1238,112
<i>Megarine</i>	40	2	92	2543,616
<i>Sidi Slimane</i>	32	2	91	719,712
<b>TOTAL</b>	<b>460,6</b>	<b>23</b>	<b>/</b>	<b>17740,512</b>





Fig. 51 : Rejets des eaux usées dans le canal de Oued Righ

#### IV. Mobilisation des ressources en eau dans la vallée de Oued Righ

Les potentialités en eau pour les deux nappes dans le cadre de l'hypothèse CT22 et CI24 du modèle ERESS sont évaluées à  $156 \text{ m}^3/\text{s}$ , soit environ 2,7 milliards de  $\text{m}^3/\text{an}$  pour le CI et 2,2 milliards de  $\text{M}^3$  pour le CT.

L'inventaire des 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  $296.2 \text{ Hm}^3/\text{an}$  sur toute la vallée de Oued Righ (425 forages) dont  $288.67 \text{ Hm}^3$  sont réellement exploités.

Les potentialités en eaux sont évaluées à  $428 \text{ Hm}^3/\text{an}$  pour l'Oued Righ selon le modèle mathématique actualisé en 1985 (hypothèse forte simulation CI24, CT22) par le PNUD.

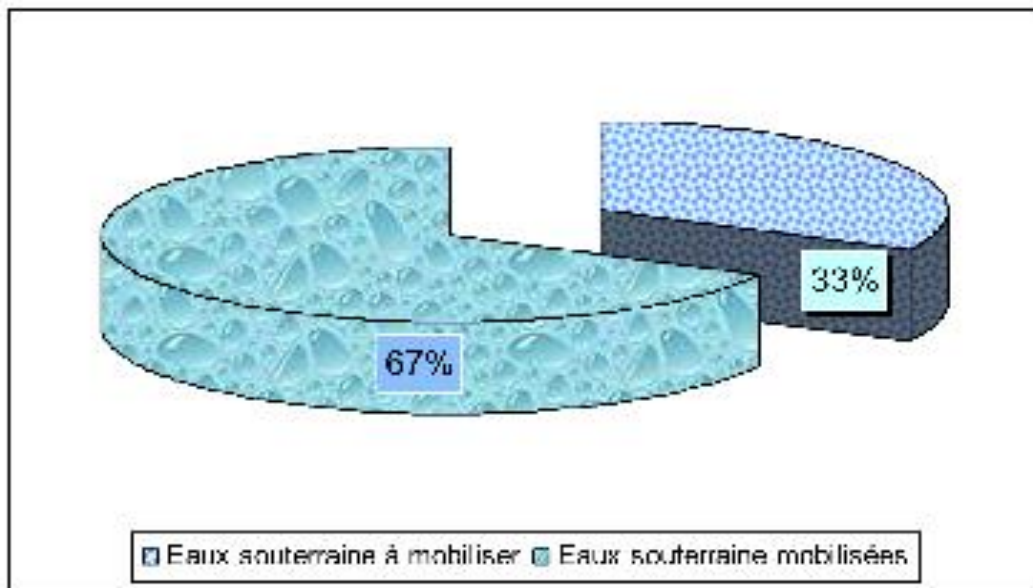
- Potentialités :  $428 \text{ Hm}^3/\text{an}$ .
- Prélèvements :  $288.67 \text{ Hm}^3/\text{an}$ .

Tab. 30: Potentiel hydrique global dans la vallée de Oued Righ

Aquifères	Potentialités ( $\text{Hm}^3/\text{an}$ )	Prélèvements ( $\text{Hm}^3/\text{an}$ )
CT	308	263.76
CI	120	24.91
Total	428	288.67

Source : ANRH, 2008

On constate qu'il reste encore environ 33 % des ressources souterraines à mobiliser par le biais de nouveaux forages et la réhabilitation de ceux qui sont en mauvais état (figure 52).



**Fig. 52: Taux de mobilisation des ressources en eaux souterraines dans la vallée de Oued Righ**

La figure 53 ci-dessous montre les potentialités en eau reconnues dans la vallée de Oued Righ , ainsi que leur affectation.

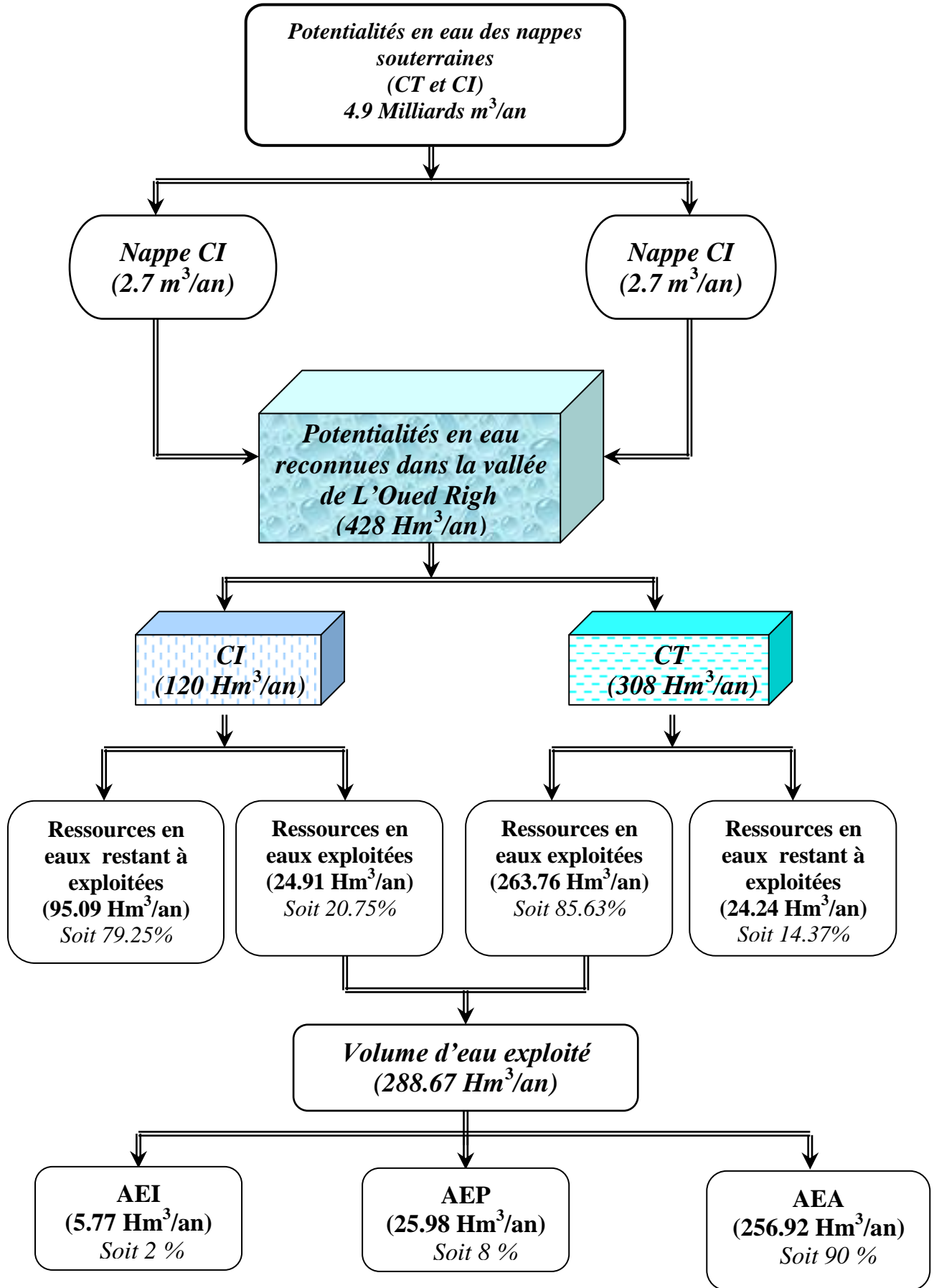
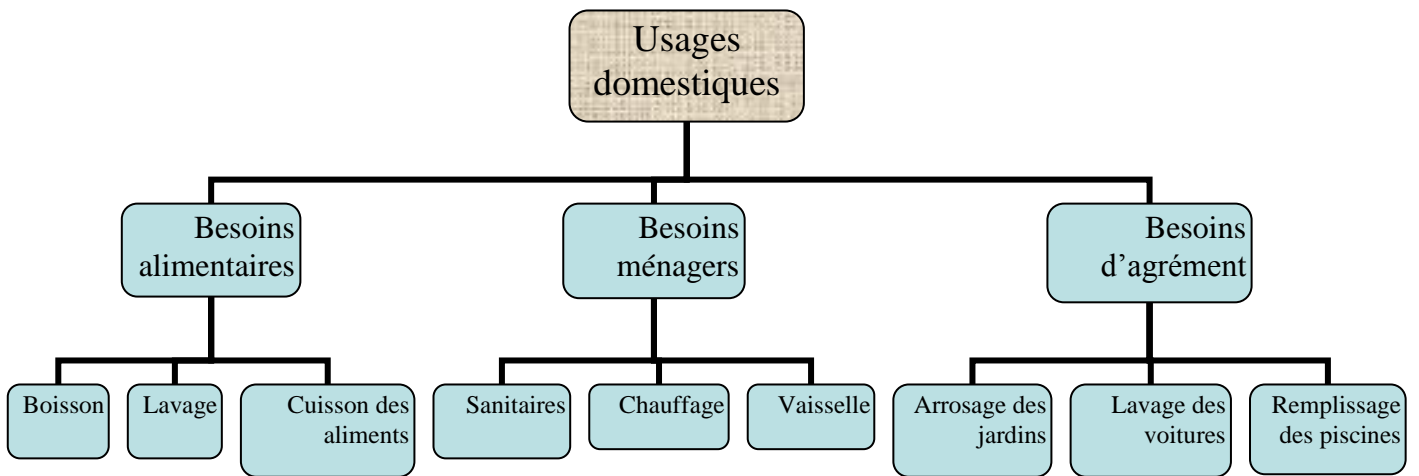


Fig.53: Schéma récapitulatif du potentiel hydrique dans la vallée de Oued Righ

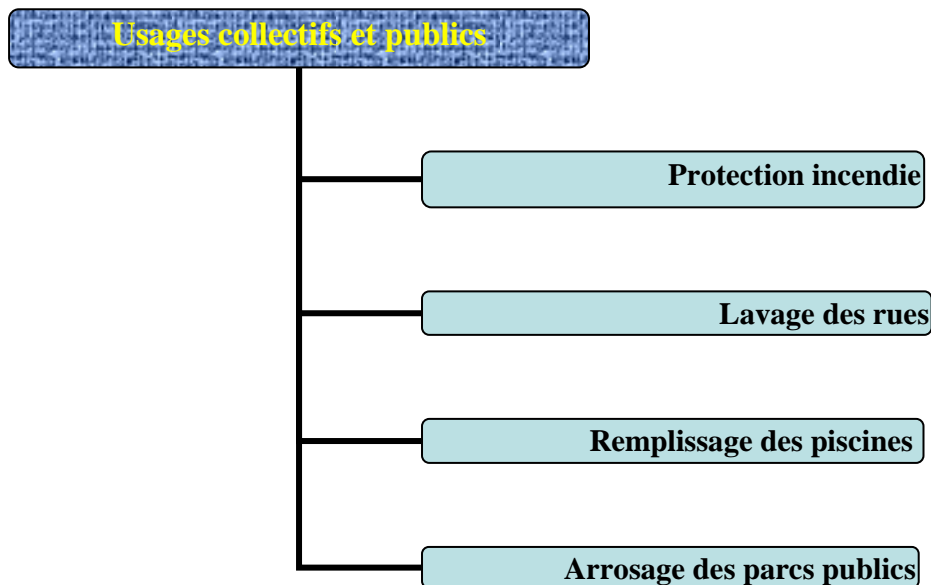
**V. Affectation des ressources en eau**

La répartition des ressources en eau pour des besoins de la consommation est ventilée de la façon suivante :

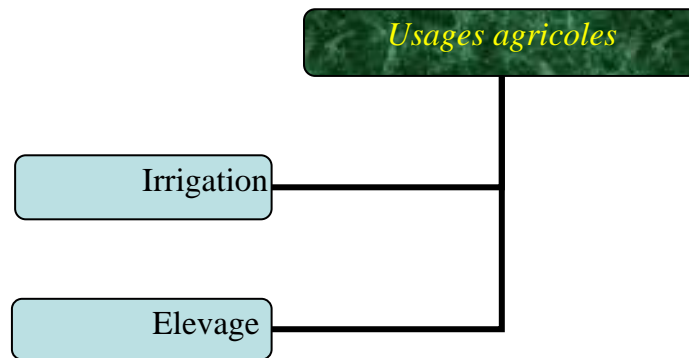
- Usages domestiques (figure 54),
- Usages collectifs et publics (figure 55),
- Usages agricoles (figure 56),
- Usages industriels-(figure 54).



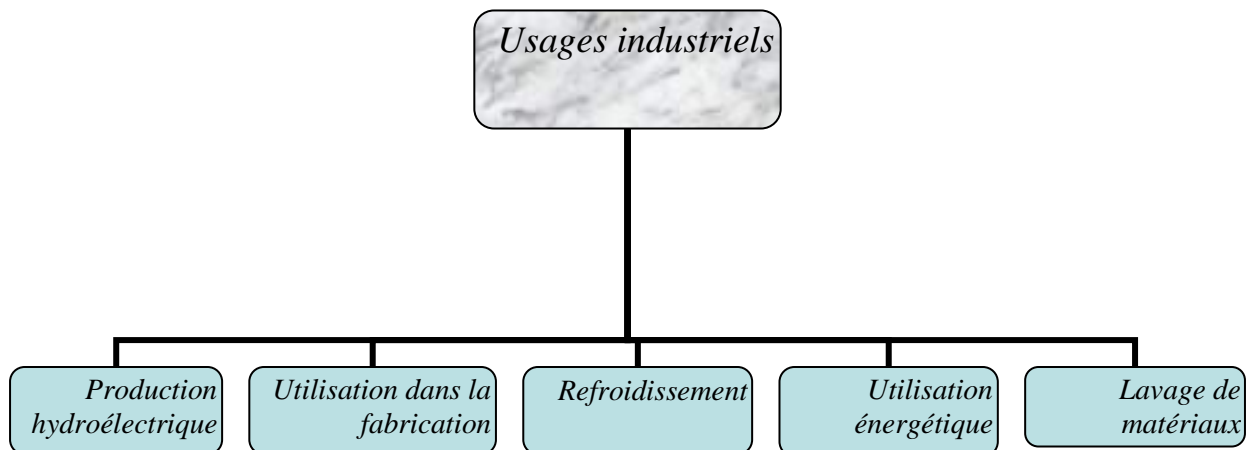
**Fig. 54 : Structure de la demande en eau à usage domestique**



**Fig.55 : Structure de la demande en eau à usages collectifs et publics**



**Fig.56 : Structure de la demande en eau à usages Agricoles**

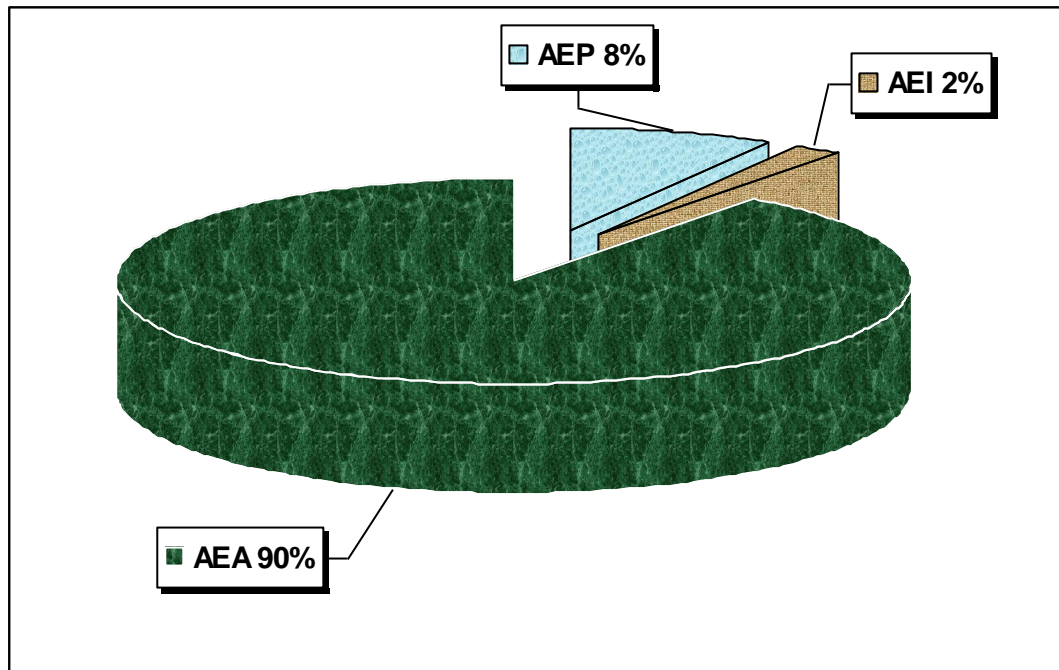


**Fig.57 : Structure de la demande en eau à usage industriels**

L'agriculture est de loin le plus gros consommateur dans la région de Oued Righ et absorbe, selon les estimations, en moyenne 88 % du volume total d'eau utilisé. La production hydroélectrique et le tourisme interviennent également dans la demande en eau de la région.

Tab.31: Répartition de l'utilisation des eaux dans la vallée de Oued Righ

Commune	Utilisation des eaux		
	AEP L/S	AEI L/S	AEA L/S
Temacine	220	30	1912
Blidet Amor	120	0	1293
Touggourt	45	90	90
Nezla	260	10	2050
Tebesbest	39	0	834
Zaouïa	20	34	900
Megarine	100	15	1040
Sidi Slimane	50	0	950
<b>TOTAL</b>	<b>854</b>	<b>179</b>	<b>9069</b>



Source : DHW,2008

Fig.58: Affectation des ressources en eau dans la vallée de Oued Righ

### V.1.1. Alimentation en eau potable (AEP)

Actuellement, la région de Oued Righ est alimentée en eau potable par différentes nappes souterraines dont les captages sont situés dans différentes zones :

-La nappe du continental intercalaire est exploitée par 6 forages, dont le débit total est de 670 l/s

- L'exploitation de la nappe du complexe terminal pour l'eau potable est assurée par 2 forages qui fournissent un débit de 40 l/s.

La vallée de Oued Righ est donc alimentée par 8 forages qui donnent globalement un débit de 710 l/s, soit un potentiel moyen de 350 l/j/hab. pour une population qui atteignait 200916 habitants en 2008. On constate que cette dotation moyenne journalière en eau potable est très élevée, et qu'elle dépasse de loin toutes les normes reconnues ; sachant que la dotation nationale n'excède pas les 150 l/j/hab.

Concernant le niveau de service, le taux de raccordement moyen est de l'ordre de 97.75 % pour l'ensemble des communes de la région. Pour distribuer cette ressource en eau potable, la vallée d'Oued Righ dispose d'un réseau de canalisation de 718.85 km de longueur et de 15 réservoirs dont la capacité de stockage total est de 15050 m<sup>3</sup> (tableau 32).

**Tab.32 : Situation actuelle de l'alimentation en eau potable dans la région de Oued Righ**

<i>Commune</i>	<i>Population (2008)</i>	<i>Dotation (l/j/hab.)</i>	<i>Longueur de réseaux (km)</i>	<i>Taux de raccordement (%)</i>
<i>Temacine</i>	20011	367	82,6	99
<i>Blidet Amor</i>	14529	364	71,29	95
<i>Touggourt</i>	38877	307	161,24	98
<i>Nezla</i>	50595	307	161,36	98
<i>Tebesbest</i>	34866	307	101,38	98
<i>Zaouïa</i>	20526	307	44,38	98
<i>Megarine</i>	13661	341	65,24	98
<i>Sidi Slimane</i>	7851	515	31,36	98

Source : ONS 2008

L'analyse des données du tableau 32 permet de mettre en évidence la localisation des zones les plus consommatrices de l'eau potable :

- les communes de Touggourt, Nezla, Tebesbest et Zaouïa concentrent le plus d'habitants, ce qui traduit par une dotation journalière de l'ordre de 307 l/j/hab.
- la commune de Sidi Slimane est la mieux alimentée avec une dotation de 515 l/j/hab. On peut expliquer cette situation par la faible population de cette commune (7851 habitants).
- les communes qui se trouvent dans la partie (Temacine et Megarine) ont une dotation journalière de 376 l/j/hab.

Le tableau ci-dessous récapitule les caractéristiques des forages qui constituent l'ouvrage principal de l'alimentation en eau potable dans la région de Oued Righ .

Tab. 33 : Tableau récapitulatif des caractéristiques des forages destinés à l'AEP dans la région de Oued Righ

Forage	Coordonnées			Profondeur	Année de réalisation	Nappe	Débit (L/S)	Usage (H/J)	État
	X	Y	Z						
Albien Blidet Amor D46FA1	5° 59' 24"	32° 57' 05"	95	1580	1984	Albien	120	AEP 24	Bon
AEP Blidet Amor D46 F103 Temacine	5° 58' 47"	32° 56' 40"	85	130	1995	Mio-plio		AEP	réserve
Albien Blidet Amor D46 FA1 Temacine	5° 59' 24"	32° 57' 05"	95	1580	1984	Albien		AEP 24	Bon
Tamellaht AEP D41 F83	6° 00' 50"	33° 00' 38"	/	177	1994	Mio-plio		AEP	En panne
Albien II D34 bis FA 2 Nezla	6° 06' 12"	33° 03' 27"	89,8	1760	1974	Albien	150	AEP 24	Bon
Albien Ain Sahara Nezla	6° 02' 54"	33° 04' 27"	/	1799	1978	Albien	150	AEP 24	Bon
AEP Ben YessOued D33 F116 Tebesbest	6° 04' 58"	33° 06' 28"	65,23	95	2002	Mio-plio		AEP	réserve
Bel air AEP Château D33 F117 Tebesbest	6° 04' 19"	33° 07' 13"	57,91	85	2002	Mio-plio		AEP	réserve
AEP Complexe Hydr D34F136 Touggourt	6° 03' 34"	33° 05' 48"	77	78	1993	Mio-plio	20	AEP 24	Bon
AEP Zaouïa D32 F160	6° 05' 03"	33° 07' 38"	56,69	80	1993	Mio-plio	20	AEP 20	Bon
Albien D30 F1 Megarine	6° 04' 38"	33° 11' 24"	67,06			Albien	150	AEP 24	Bon
AEP Megarine D29 F96	6° 05' 55"	33° 11' 38"	57,6	158	1993	Mio-plio		AEP	réserve
Albien II Temacine D25 F2	6° 06' 38"	33° 17' 43"	61,6	1775	1975	Albien	100	AEP 24	Bon

Source : ANRH Ouargla

### V.1.12 Alimentation en eau pour l'agriculture (AEA)

En Algérie, dans les conditions climatiques marquées par la faiblesse et la mauvaise répartition des apports pluviométriques selon les régions, l'irrigation est indispensable pour assurer une production agricole régulière en quantité suffisante.

En 1987, le ministère de l'hydraulique a déconcentré ses activités opérationnelles, en chargeant l'AGID des maîtrises d'oeuvre et d'ouvrage des projets de développement des grands périmètres irrigués, de l'assistance, du suivi et de l'évaluation de l'activité des offices des périmètres d'irrigation. Cette activité concerne uniquement le programme des grands



périmètres irrigués. Les programmes de petite et moyenne hydraulique et les projets de mise en valeur des régions sahariennes sont suivis par d'autres organismes, notamment, les directions de l'hydraulique de wilaya (DHW) et les directions de l'agriculture de wilaya (DSA), le Commissariat au développement des régions sahariennes (CDARS), le Haut commissariat au développement de la steppe (HCDS), la Générale des concessions agricoles (GCA).

La création de l'ONID donner la définition du sigle est l'une des différentes restructurations agraires pratiquées. C'est un établissement public à caractère industriel et commercial, chargé de la gestion et de l'exploitation des ressources en eau et des infrastructures hydrauliques dans les périmètres d'irrigation que l'Etat ou les collectivités territoriales lui concèdent. L'ONID est chargé notamment de la commercialisation de l'eau d'irrigation.

Actuellement, la vallée de Oued Righ est alimentée par 331 forages qui donnent globalement un débit de l'ordre de 9000 l/s.

#### V.1.2.1. Répartition des surfaces agricoles dans la vallée de Oued Righ

Le paysage oasien dépend avant tout de l'aménagement des ressources hydriques, qui conditionnent l'extension des terres cultivées de la surface agricole utilisée (SAU).

Dans un milieu aride comme c'est le cas de notre région d'étude, la SAU est généralement moyenne à faible et planté en palmiers dattiers dans sa majorité (82%).(tableau 34).

**Tab.34 : État actuel de la superficie agricole à travers la vallée de Oued Righ**

<i>Commune</i>	<i>SAT (hectares)</i>	<i>SAU (hectares)</i>	<i>SAU réservée aux palmiers (hectares)</i>	<i>Taux de SAU réservée aux palmiers (%)</i>	<i>SAU non plantée (hectares)</i>
<i>Temacine</i>	4390	1865	1805	96,78	138
<i>Blidet Amor</i>	3949	1525	1360	89,18	184
<i>Touggourt</i>	2551	400	83	20,75	318
<i>Nezla</i>	1820	1400	1295	92,50	133
<i>Tebesbest</i>	1129	1000	904	90,40	110
<i>Zaouiä</i>	1168	900	867	96,33	46
<i>Megarine</i>	4950	1953	1605	82,18	398
<i>Sidi Slimane</i>	7760	2019	1665	82,47	394
<b>TOTAL</b>	<b>27717</b>	<b>11062</b>	<b>9584</b>	<b>/</b>	<b>1721</b>

Source : DSA, 2008

**V.1.2.2. Répartition des palmiers dattiers dans la vallée de Oued Righ**

Le nombre total de palmiers est de 1102668, avec 879709 palmiers productifs, soit 79.78 du nombre total de palmiers (Tableau 35). D'une manière générale, la densité totale des palmiers est de 115 par hectare et celle des palmiers productifs est de 91 par hectare.

**Tab.35 : Évolution du nombre de palmiers répartis dans la vallée de Oued Righ**

Commune	1988		2004		2008	
	Nombre total de palmiers	Nombre total de palmiers en production	Nombre total de palmiers	Nombre total de palmiers en production	Nombre total de palmiers	Nombre total de palmiers en production
<i>Temacine</i>	158348	116651	175779	128855	187965	134519
<i>Blidet Amor</i>	129409	109439	166982	137721	175373	142284
<i>Tougourt</i>	4916	200	5439	1000	9263	2130
<i>Nezla</i>	138646	117089	155008	127365	161749	133200
<i>Tebesbest</i>	81886	70412	128383	106934	131391	108900
<i>Zaouïa</i>	106291	81530	105808	87305	108996	89580
<i>Megarine</i>	133577	105292	154119	129390	171338	146430
<i>Sidi Slimane</i>	110960	90371	128549	108054	156593	122666
<b>TOTAL</b>	<b>864033</b>	<b>690984</b>	<b>1020067</b>	<b>826624</b>	<b>1102668</b>	<b>879709</b>

Source : DSA, 2008

**V.1.2.3. Réseau d'irrigation**

L'efficacité de l'irrigation ne dépend pas seulement du débit des forages, des puits et des sources, mais aussi de la disposition du réseau de distribution des eaux, qui assure la répartition optimale de l'eau au pied des arbres et dans les cultures.

Ainsi notre région d'étude dispose d'un réseau de distribution de l'ordre de 268,58 km répartis dans toutes les palmeraies de l'Oued Righ . Le tableau 36 et la figure 59 montrent la répartition des réseaux par commune et leur évolution de 1998 à 2008.

Tab.36 : Longueur du réseau d'irrigation dans la vallée de Oued Righ .

Commune	Irrigation		
	Longueur du réseau en 1998 (km)	Longueur du réseau en 2004 (km)	Longueur du réseau en 2008 (km)
<i>Temacine</i>	18	20,66	22,66
<i>Blidet Amor</i>	5,5	7,5	9,5
<i>Touggourt</i>	2	4,3	6,32
<i>Nezla</i>	24	26,7	62
<i>Tebesbest</i>	42	43,9	62,25
<i>Zaouïa</i>	16	17,81	17,82
<i>Megarine</i>	27	29,5	31,46
<i>Sidi Slimane</i>	5,6	55,57	56,57
<b>TOTAL</b>	140,1	205,94	268,58

Source : ONID, 2008

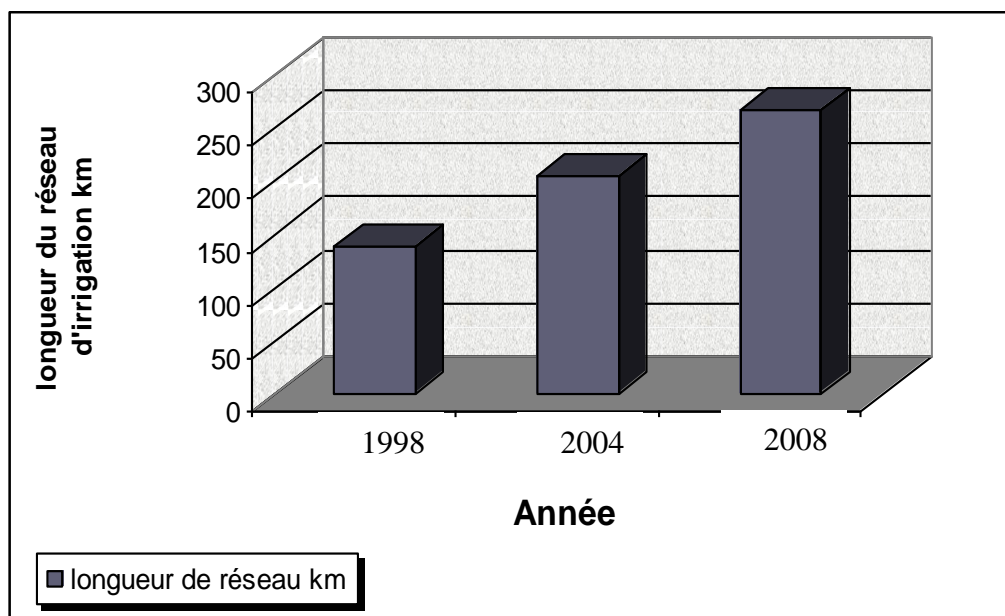


Fig.59 : Évolution de la longueur du réseau d'irrigation dans la vallée de Oued Righ

#### V.1.2.4. Réseau de drainage

Le drainage est une nécessité pour au moins un tiers des terres irriguées. Le drainage est assuré par des émissaires naturels (petits Oueds) et par des fossés d'environ un mètre de profondeur, aménagés dans certaines palmeraies. Le tableau ci-dessous détaille l'évolution de la longueur du réseau et sa répartition par commune.

Tab. 37 : Longueur du réseau de drainage dans la vallée de Oued Righ .

Commune	Drainage		
	Longueur du réseau en 1998 (km)	Longueur du réseau en 2004 (km)	Longueur du réseau en 2008 (km)
<i>Temacine</i>	620	627,42	637,42
<i>Blidet Amor</i>	390	392,45	403,95
<i>Touggourt</i>	5	7,3	12,7
<i>Nezla</i>	25	28,7	42,86
<i>Tebesbest</i>	190	194,86	197,86
<i>Zaouïa</i>	15	16,69	19,69
<i>Megarine</i>	35	38,6	38,6
<i>Sidi Slimane</i>	70	71,7	71,7
<b>TOTAL</b>	<b>1350</b>	<b>1377,72</b>	<b>1424,78</b>

Source : ONID, 2008

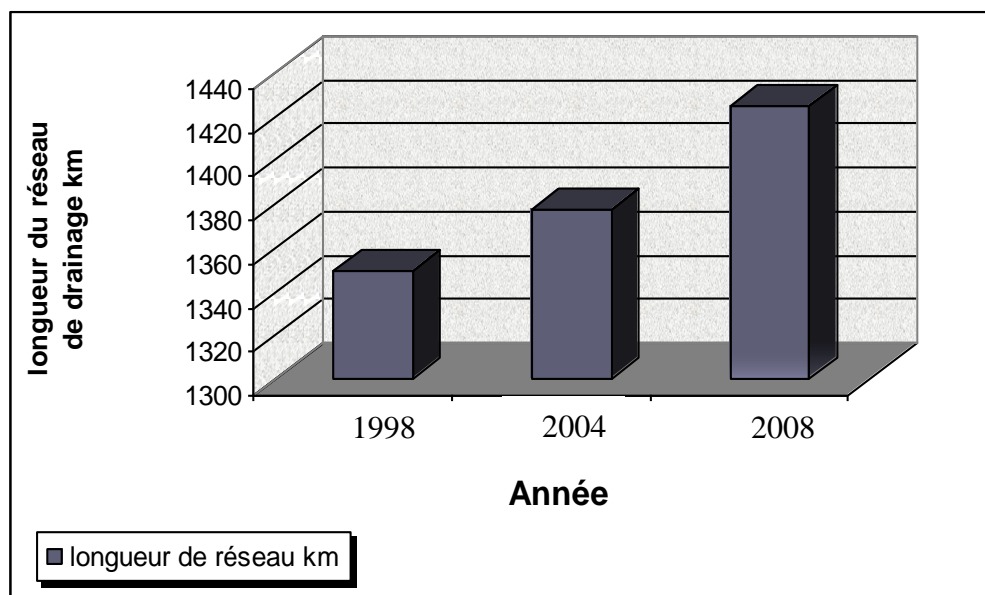


Fig.60 : Évolution de la longueur du réseau d'irrigation dans la vallée de Oued Righ.

### V.1.3. Alimentation en eau industrielle (AEI)

La consommation d'eau industrielle est extrêmement variable et dépend du type d'industries ; les ressources mobilisables à des fins industrielles ne représentent que 2 % (15465,6 m<sup>3</sup>/j) du total des ressources mobilisables de la région (absence d'industries consommatrices d'eau). Ces unités sont raccordées aux réseaux urbains de la ville.



# 4<sup>ème</sup> CHAPITRE

---

## QUALITÉ DES EAUX

*L'activité humaine engendre des rejets gazeux, liquides et solides dans le milieu (atmosphère, eaux de surface, sol, nappes) qui, directement (rejets) ou indirectement, vont affecter les eaux souterraines. L'infiltration verticale (recharge) ou latérale (limites à flux entrant : berges de cours d'eau), la lixiviation de l'atmosphère et des sols vont contribuer à la dégradation qualitative des ressources.*

*(Eric Gilfi)*

---

***Introduction***

L'étude de la qualité des eaux souterraines est un complément indispensable à la gestion des ressources en eau.

L'étude du chimisme des eaux souterraines consiste à donner un aperçu sur la qualité des eaux des trois nappes aquifères: la nappe phréatique, la nappe du complexe terminal et enfin la nappe du continental intercalaire.

Les analyses de la nappe phréatique ont été effectuées par l'ANRH de Ouargla (2015). Pour la nappe du complexe terminal (CT) et continental intercalaire (CI), on s'est basé sur les analyses qui ont été effectuées en (2014) par le laboratoire de l'ADE à Ouargla.

Six forages (pour chaque nappe) réparties à travers la vallée de Oued Righ ont fait l'objet de mesures sur site et ont porté sur les paramètres physiques suivant : la température, le pH, le potentiel d'oxydo réduction (Eh), la conductivité électrique et la dureté totale.

Par ailleurs, l'analyse chimique effectuée a porté sur les éléments suivants:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ .

Cette étude hydro chimique a pour but de :

- ✓ Déterminer les faciès chimiques des eaux.
- ✓ Etablir des cartes de conductivité et des éléments majeurs.
- ✓ Avoir une idée sur l'aptitude de l'eau à l'irrigation.
- ✓ Avoir une idée sur la potabilité de l'eau des ces nappes.

**I. Interprétation des analyses chimiques de la nappe du continental intercalaire CI****I.1. Diagramme de Piper**

Le diagramme de Piper permet de constater que les eaux analysées sont globalement sulfatées calciques. Cela est du à la nature des terrains traversés.

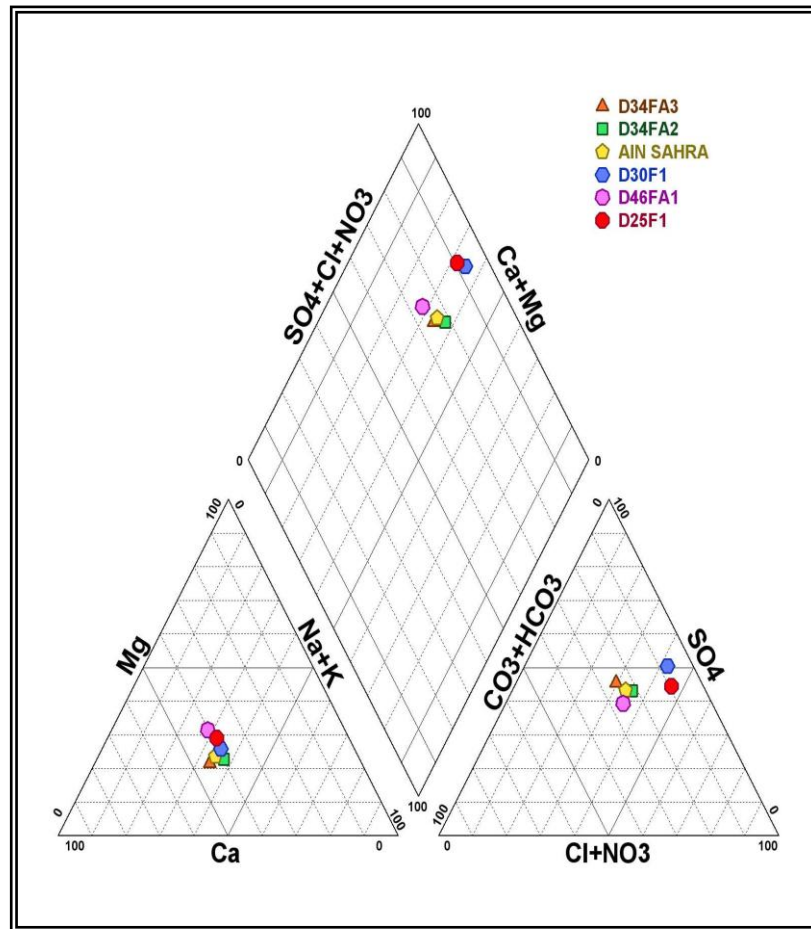


Fig. 61 : Représentation du diagramme de Piper de la nappe CI

## I.2. Cartographie des éléments chimiques

### I.2.1. Cations

#### - Le Calcium ( $\text{Ca}^{++}$ )

Les résultats des analyses du calcium présentés dans la figure 62, ont montré que les valeurs obtenues comprises entre 232 et 268 mg/l sont au-dessous de la norme de l'OMS (200 mg/l) et dont la valeur la plus faible trouve au centre de la carte.

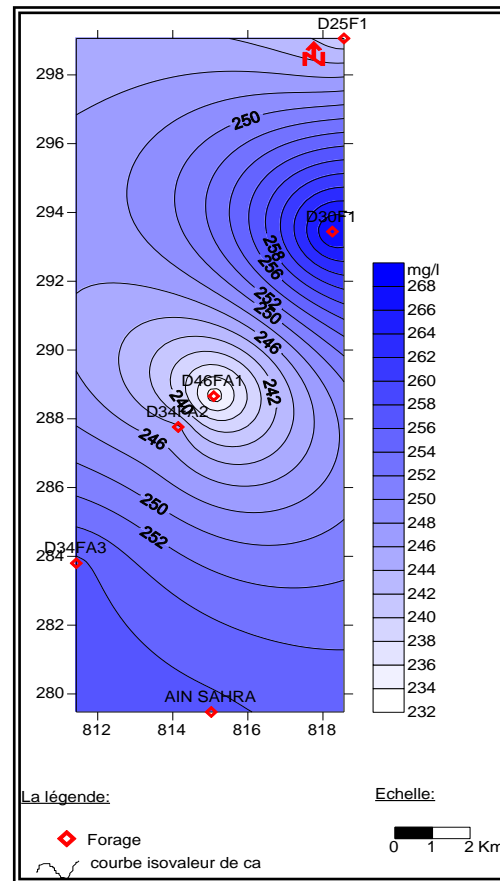


Fig. 62: Carte d'iso teneurs du  $\text{Ca}^{++}$  dans les eaux de la nappe CI

#### - Le Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ )

Les valeurs des concentrations du magnésium sont présentées dans la figure 63 et montrent que sur l'ensemble des prélèvements les teneurs en  $\text{Mg}^{++}$  sont relativement faibles et inférieures à la norme fixée par l'OMS qui est 150 mg/l. On observe également que les valeurs les plus faibles sont situées au Sud et elles augmentent vers le Nord.

#### - Le sodium et potassium ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ )

Les teneurs de sodium et potassium enregistrées sur la figure 64 sont supérieures à la norme limite 100 mg/l. Elles sont comprises entre 170 et 260 mg/l où les faibles valeurs se localisent au centre de la carte. Le sodium dans l'eau provient des formations géologiques contenant du chlorure de sodium.



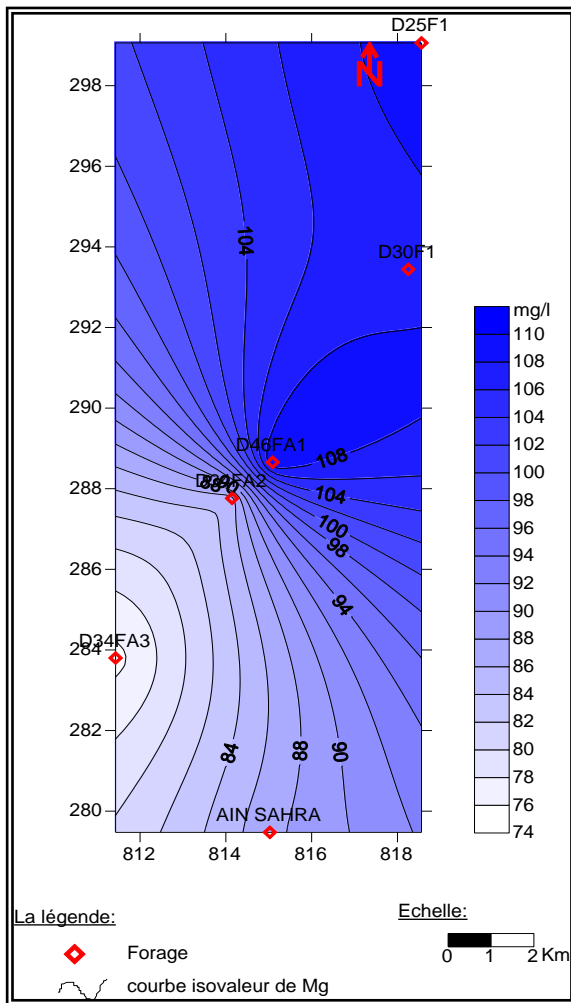


Fig.63: Carte d'iso teneurs du  $Mg^{++}$  dans Les eaux de la nappe CI

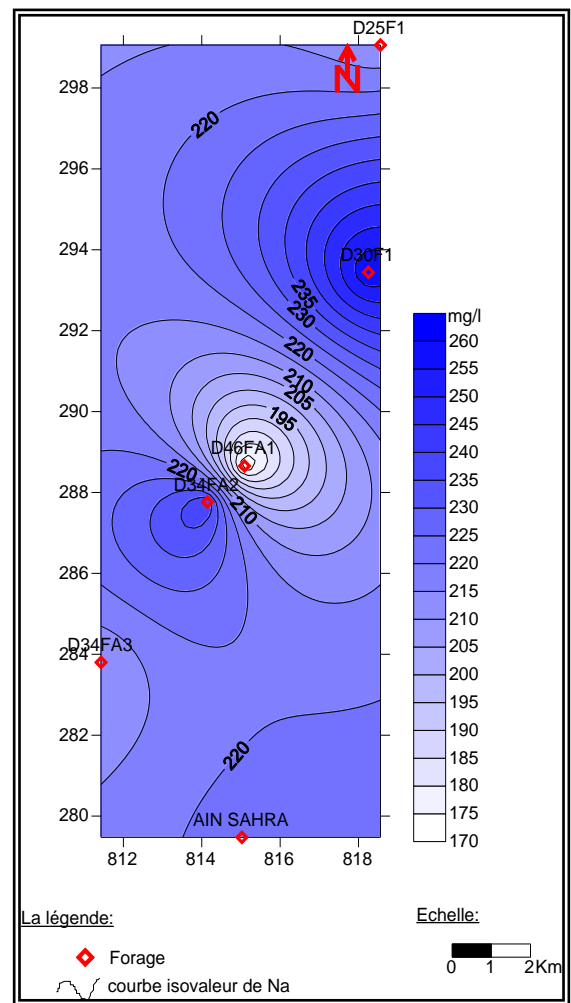


Fig. 64 : Carte d'iso teneurs du  $Na^+ + k^+$  dans les eaux de la nappe CI

### I.2.2. Anions

#### - Les Chlorures (Cl)

Les teneurs fortes en chlorures communiquent à l'eau un goût désagréable surtout lorsqu'il s'agit de chlorure de sodium.

Les teneurs en sulfates sont fortes dans l'eau du continental intercalaire (figure 65), notamment les eaux qui se trouvent dans la partie Nord (540 mg/l) ; cette valeur dépasse largement les normes de l'OMS et ce caractère chloruré est du à la dissolution des formations salifères.

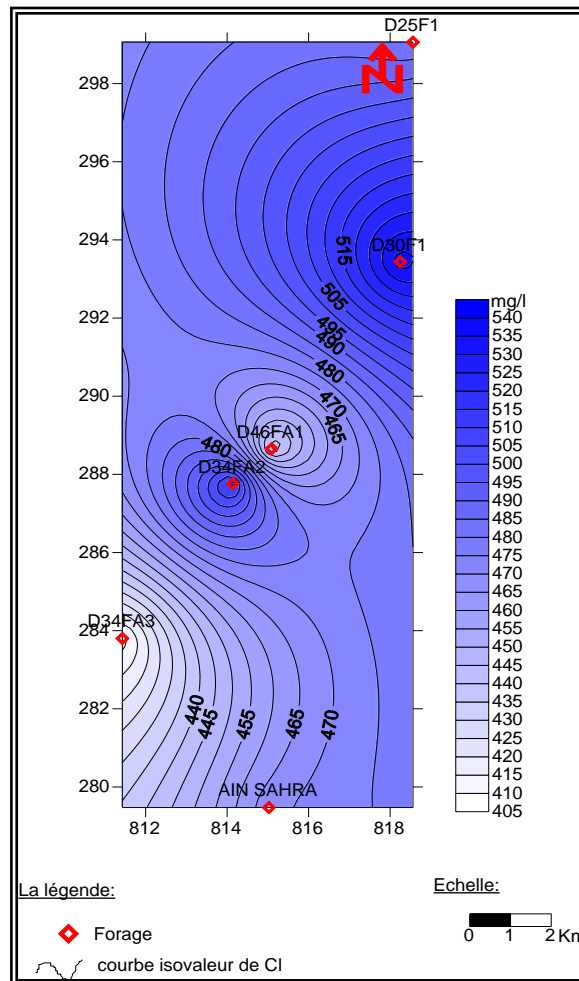


Fig.65 : Carte d'iso teneurs du Cl<sup>-</sup> dans les eaux de la nappe CI

#### - Les Sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)

Les analyses effectuées révèlent des valeurs très élevées dans les eaux de tous les forages. Les résultats obtenus sont de 620 mg/l au Nord et au centre de la carte à 880 mg/l surtout dans la partie Sud (figure 66), les teneurs en sulfates sont largement supérieures aux normes de potabilité (250 mg/l).

Ces teneurs élevées dues probablement à l'oxydation des minéraux sulfurés présents dans les calcaires ou par dissolution de gypse dans les terrains traversés.

#### - Les Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)

Les valeurs des bicarbonates présentés sur la figure 67 montrent clairement que les teneurs les plus faibles( 200mg/l) sont localisés au Nord et à l'extrême Nord Est et elles commencent à augmenter lorsqu'on allant vers le Sud pour atteindre des valeurs de 620 mg/l.

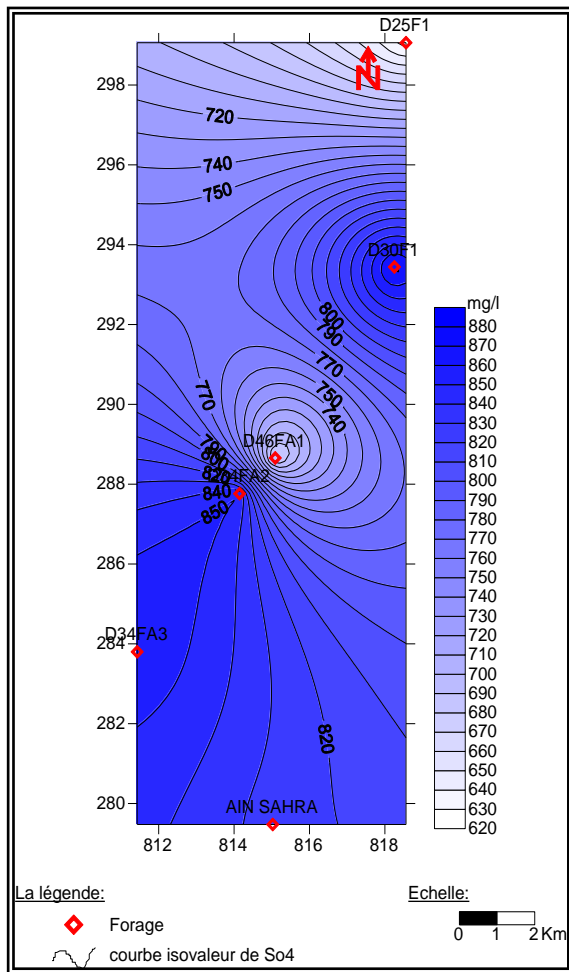


Fig.66: Carte d'iso teneurs du  $SO_4^-$  pour la nappe CI

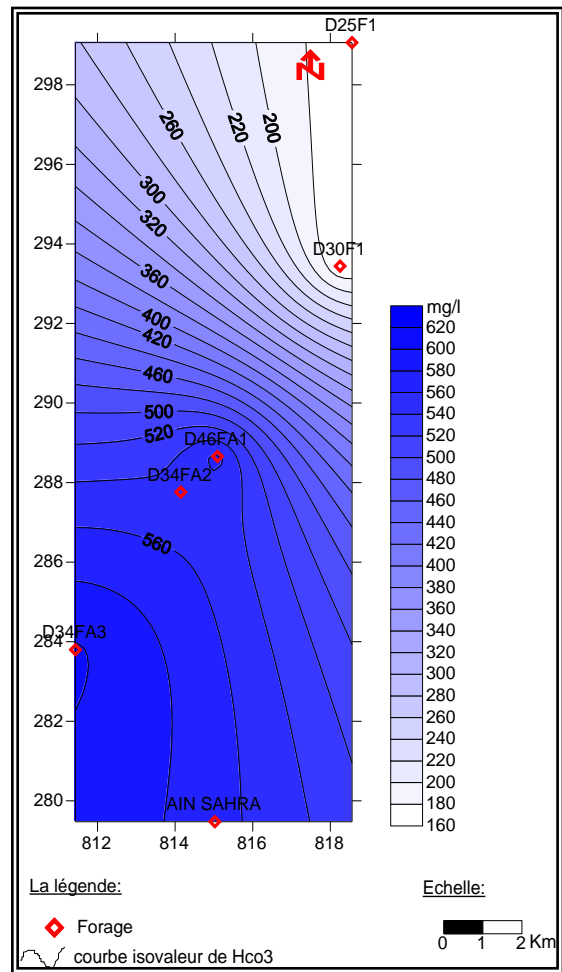


Fig. 67 : Carte d'iso teneurs du  $Hco_3^-$  pour la nappe CI

### I.3. Aptitude des eaux à l'irrigation

#### I.3.1. Diagramme de Richards (Riverside)

Le digramme de Richards ci dessous montre que toutes les valeurs sont placées dans la classe C4 S1, ce qui traduit par une eau à forte salinité. Le danger d'alcalinisation du sol est moindre on peut utiliser l'eau de cette nappe pour l'agriculture des palmiers qui est la principale activée de notre région d'étude.

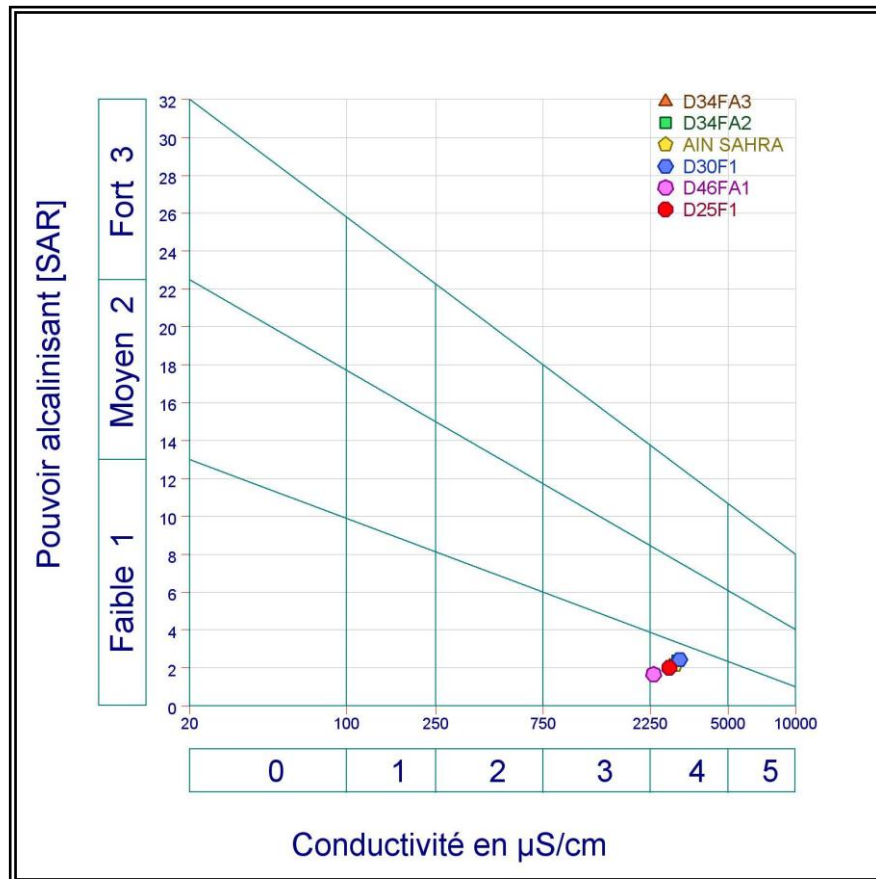


Fig. 68 : Représentation du diagramme de Richards de la nappe CI

#### I.4. Potabilité des eaux de la nappe du continental intercalaire (CI)

Les résultats des analyses montrent, les teneurs en Ca, Mg, Cl, K et Na s’insèrent dans l’intervalle des valeurs limites ; par contre, celles des sulfates dépassent les normes de potabilité de l’OMS (250mg/L) et de l’Algérie (400 mg/l).

Tab.38 : Concentration des cations des eaux souterraines de la nappe CI par rapport aux normes OMS et Algériennes

minéralisation globale mg/l	forages						Normes	
	D34FA3	D34FA2	AIN SAHRA	D30F1	D46FA1	D25F1	Norme OMS	Norme algérienne
Ca <sup>+2</sup>	256,51	244,48	256,51	268,53	232,46	240,48	200	200
Mg <sup>+2</sup>	75,34	85,06	87,49	106,94	109,94	109,37	150	150
Na <sup>+</sup> +k <sup>+</sup>	210	240	223	260	170	210	120	200
Cl <sup>-</sup>	407,52	514,16	468,46	537,69	435,37	480,56	350	500
So <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	857	850	825	875	675	625	250	400
HCo <sub>3</sub> <sup>-</sup>	602,3	541,53	567,13	161,7	566,42	165,65	,	,

## II. Interprétation des analyses chimiques de la nappe du complexe terminal CT

### II.1. Paramètres physiques

#### ❖ Température

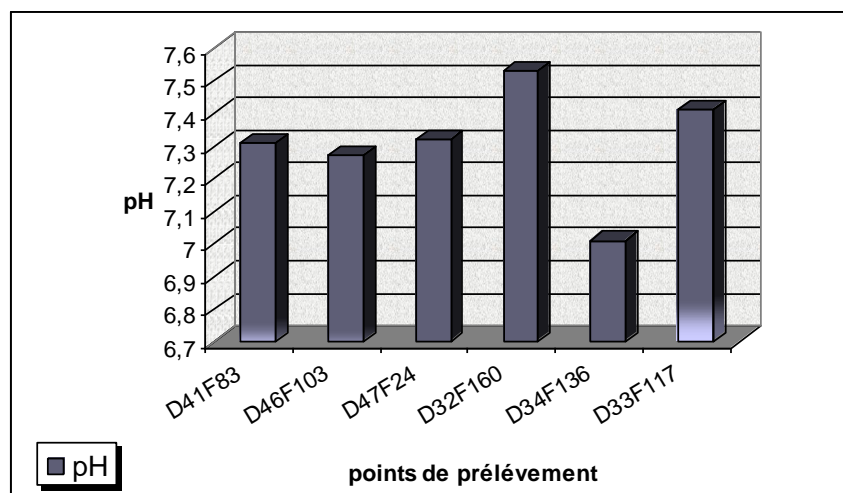
La température moyenne des eaux de la nappe du complexe terminal est de l'ordre de 23°C due essentiellement à la profondeur de cette nappe.

#### ❖ pH

Les valeurs de pH présentées dans le tableau ci-dessous montrent clairement que toutes ces valeurs se trouvent dans l'intervalle de potabilité.

**Tab.39 : Valeurs des pH dans la nappe CT**

<i>Forages</i>	<i>févr-08</i>
D41F83	7.31
D46F103	7.27
D47F24	7.32
D32F160	7.53
D34F136	7.01
D33F117	7.41



**Fig.69 : Histogramme de la variation du pH des eaux de la nappe CT**

### ❖ Le potentiel d'oxydo réduction (Eh)

Les valeurs obtenus de Eh sont tous négatifs, ce qui indique que le milieu est réducteur dans toute cette nappe.

### ❖ Conductivité électrique

Les mesures sont effectuées pendant la période de Février 2008. La carte ci-dessous (figure 70), fait ressortir que les valeurs de la conductivité sont élevées et varient entre 4460  $\mu\text{S/cm}$  dans les forages qui se trouvent au Nord et au Sud Ouest, et une valeur de 5590  $\mu\text{S/cm}$  localisée au centre de la carte et à l'extrême Sud Est et Nord Est.

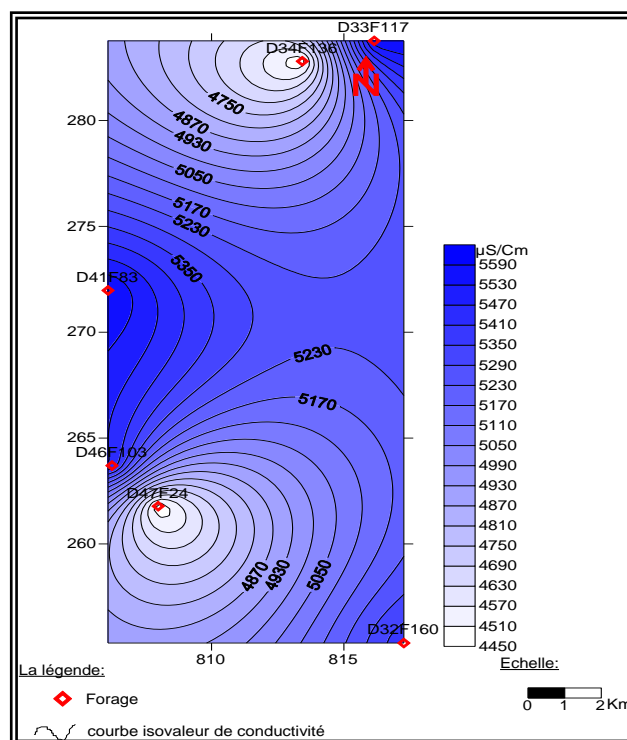


Fig.70 : Carte d'iso teneurs du conductivité électrique des eaux de la nappe CT

### ❖ Dureté totale

Les eaux analysées de la nappe du complexe terminal présentent un  $\text{Th} > 100^\circ\text{f}$  indiquant une eau très dure.

## II.2. Diagramme de Piper

La représentation des concentrations des éléments chimiques des différents points d'eau sur le diagramme de Piper (figure 71) pour la période Février 2008 montre que la majorité des échantillons coïncide avec les pôles caractérisant les faciès sulfatés sodiques.

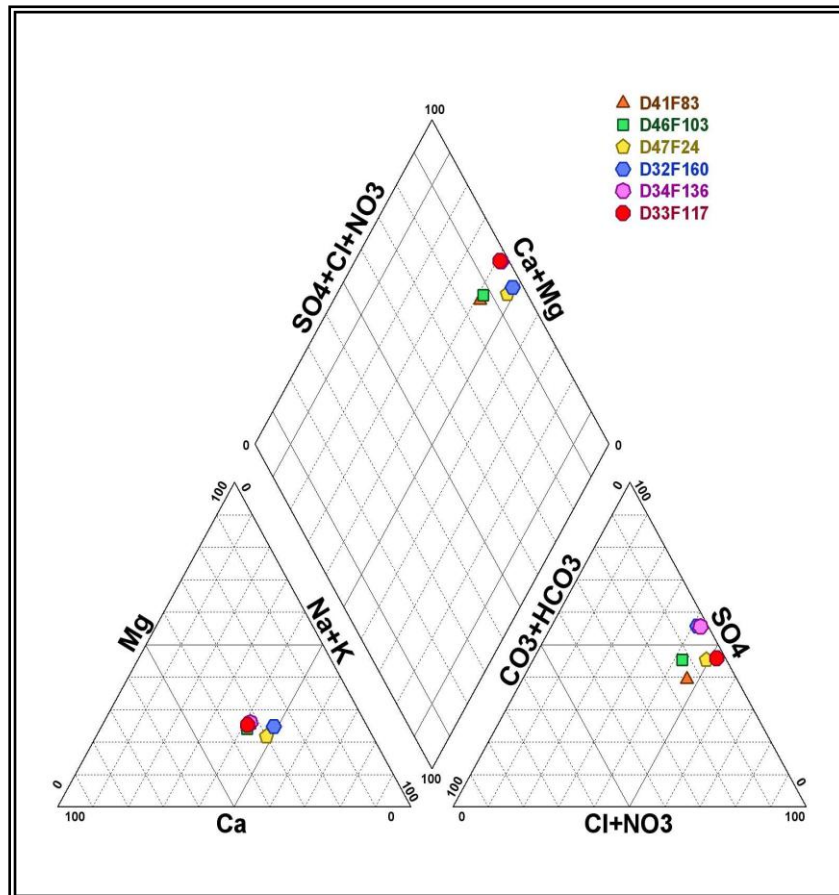


Fig.71 : Représentation du diagramme de Piper de la nappe CT

### II.3. Cartographie des éléments chimiques

#### ➤ Cations

##### - Le Calcium ( $\text{Ca}^{++}$ )

La distribution des valeurs de calcium sur la carte de la figure 72 montre bien que les teneurs en  $\text{Ca}^{++}$  les plus élevées (500 à 525 mg/l) sont enregistrées à l'extrême Nord Est et au Sud Est de la carte, tandis que les valeurs faibles (385 à 445 mg/l) sont situées au Sud, centre et au Nord Ouest de la carte.

On note que les valeurs du calcium sont supérieures à la norme de l'OMS qui est de l'ordre de 200 mg/l.

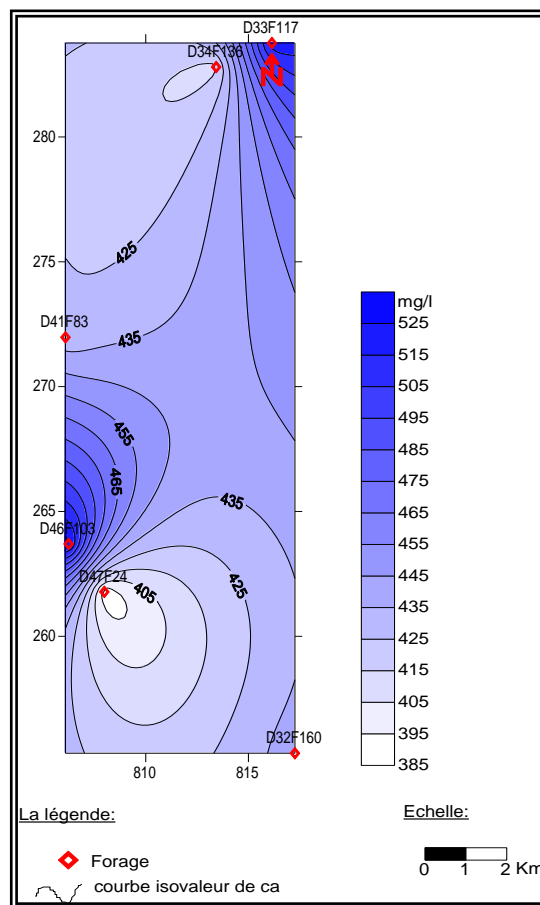


Fig.72 : Carte d'iso teneurs du  $\text{Ca}^{++}$  dans les eaux de la nappe CT

#### - Le Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ )

La figure 73 montre la répartition du magnésium sur la région d'étude. On observe que les valeurs de la concentration de  $\text{Mg}^{++}$  se trouvent dans l'intervalle de la norme de l'OMS (200 mg/l) et la plupart des teneurs qui dépassent cette valeur sont localisées dans la partie Est de la carte.

#### - Le sodium et potassium ( $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ )

La figure 74 montre clairement la répartition des concentrations de  $\text{Na}^+ + \text{K}^+$ , qui dépassent largement la norme fixée par l'OMS (560 - 920 mg/l).

On observe une augmentation des teneurs sur l'axe Sud jusqu'à atteindre la valeur de 920 mg/l à l'extrême Sud. L'origine du sodium est liée principalement à la couche argileuse imperméable (échange de base) et certaines formations évaporétiques.



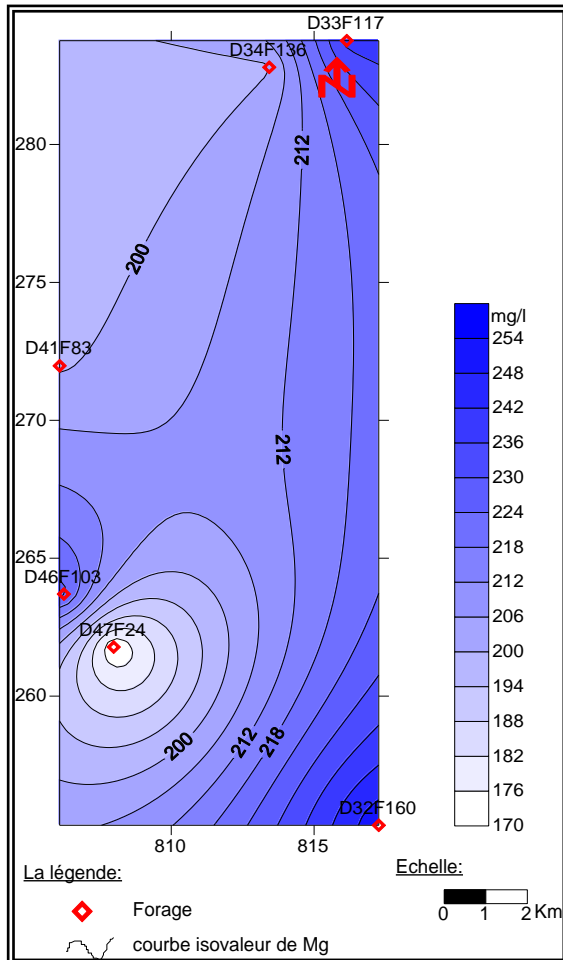


Fig.73: carte d'iso teneurs du  $Mg^{++}$  dans les eaux de la nappe CT

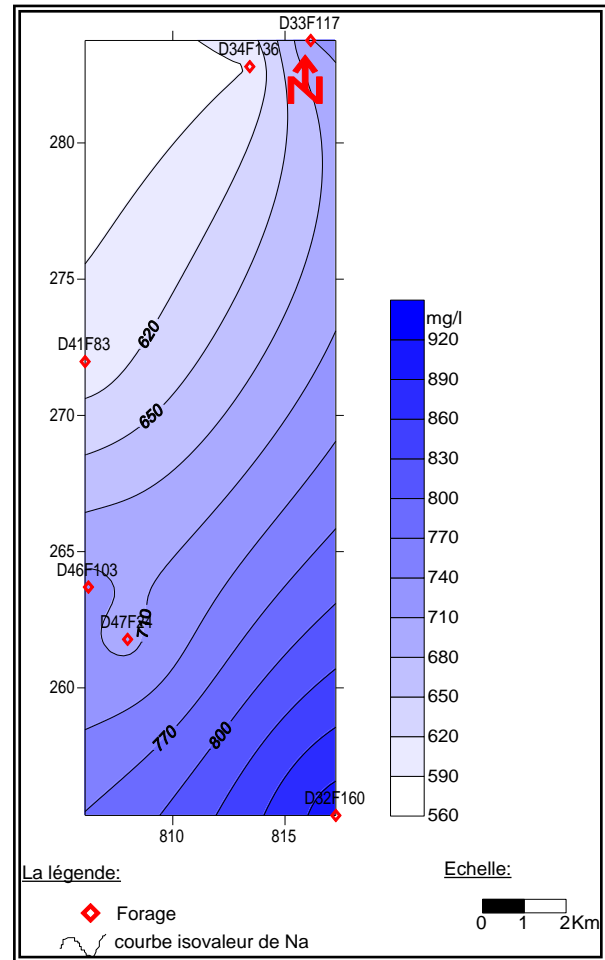


Fig. 74 : Carte d'iso teneurs du  $Na^+ + k^+$  dans les eaux de la nappe CT

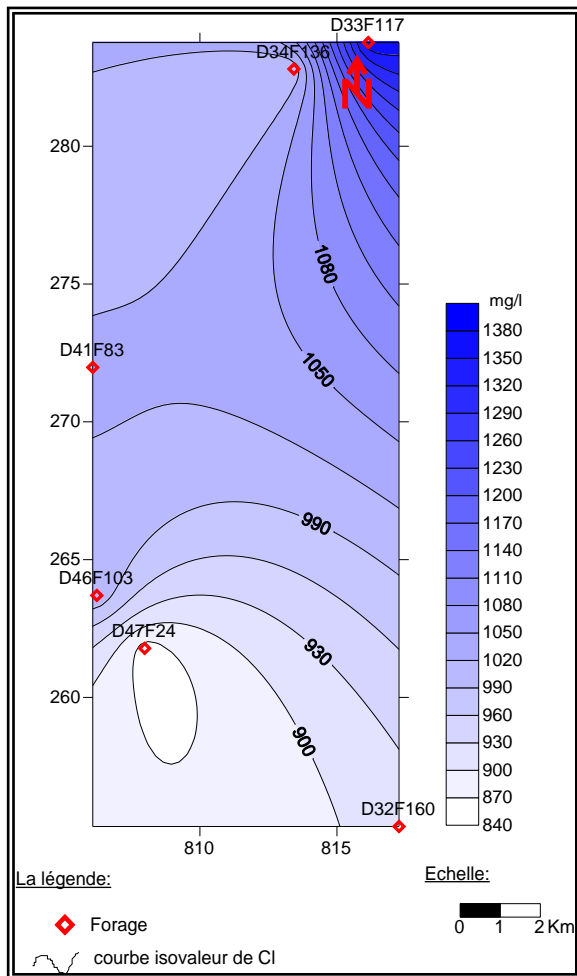
➤ les Anions

- Les Chlorures ( $Cl^-$ )

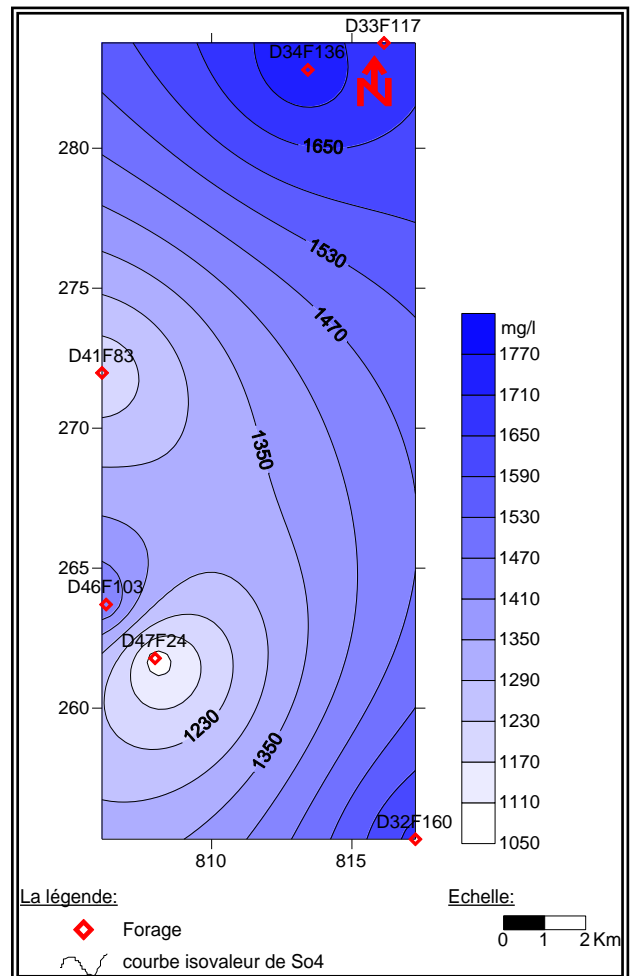
Les teneurs en chlorures réparties dans la figure 75 sont extrêmement élevées et dépassent les normes limites de l'OMS (350 mg/l). Elles augmentent du Sud vers le Nord et varient de 840 à 1380 mg/l. Ces teneurs proviennent de la dissolution des sels naturels par le lessivage des formations salifères.

- Les Sulfates ( $SO_4^{--}$ )

Les valeurs des sulfates distribués dans la figure 76 montrent que qu'elles sont toutes supérieures à la norme (250 mg/l). Les teneurs du  $SO_4^{--}$  varient entre 1050 et 1770 mg/l et dont les plus significatives se trouvent au Nord et à l'extrême Sud Est de la carte. Cette augmentation peut être due à la dissolution des formations gypseuses.



**Fig.75 : Carte d'iso teneurs du Cl<sup>-</sup> dans la nappe CT**



**Fig. 76 : Carte d'iso teneurs des So₄<sup>2-</sup> dans la nappe CT**

**- Les Bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Les concentrations des bicarbonates présentées sur la figure 77 montrent des valeurs variant entre 80 et 520 mg/l. On remarque que la concentration de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> se fait progressivement d'Est en Ouest et les valeurs les plus faibles (<100 mg/l) sont localisées au Nord Est et Sud Est de la carte.

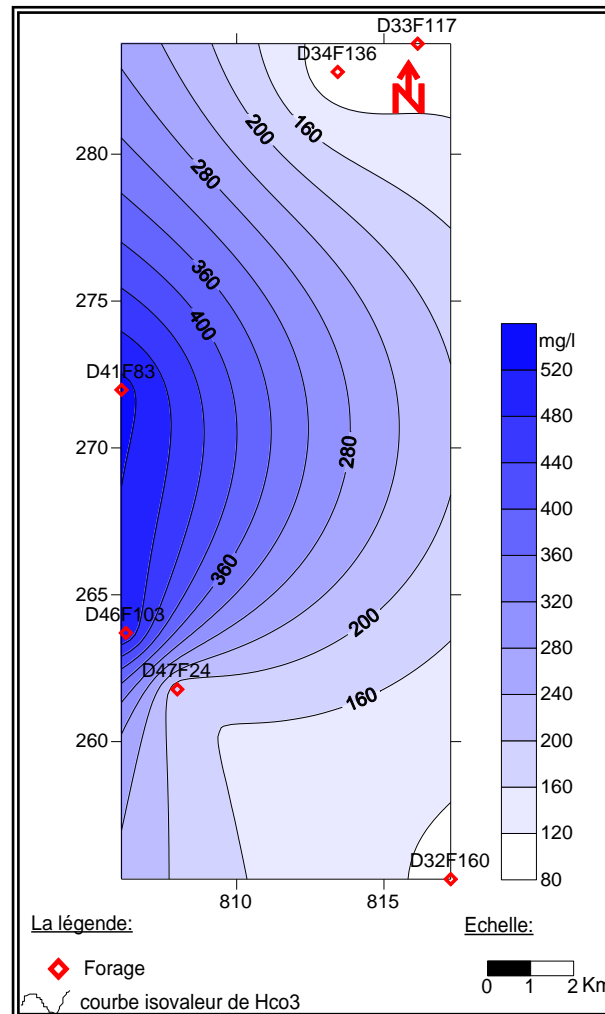


Fig. 77 : Carte d'iso teneurs des  $\text{Hco}_3^-$  dans les eaux de la nappe CT

#### II.4. Aptitude des eaux à l'irrigation

Les résultats obtenus par le digramme de Richards nous montrent que toutes les valeurs se trouvent dans les classes C4 S2 et C5 S2, indiquant une eau à forte salinité. Le danger d'alcalinisation du sol est important, traduisant le fait que les eaux de cette nappe ne conviennent pas à l'irrigation mais peuvent être utilisées sous certaines conditions :

- certains cultures telles que les palmiers.
- sol très perméable.

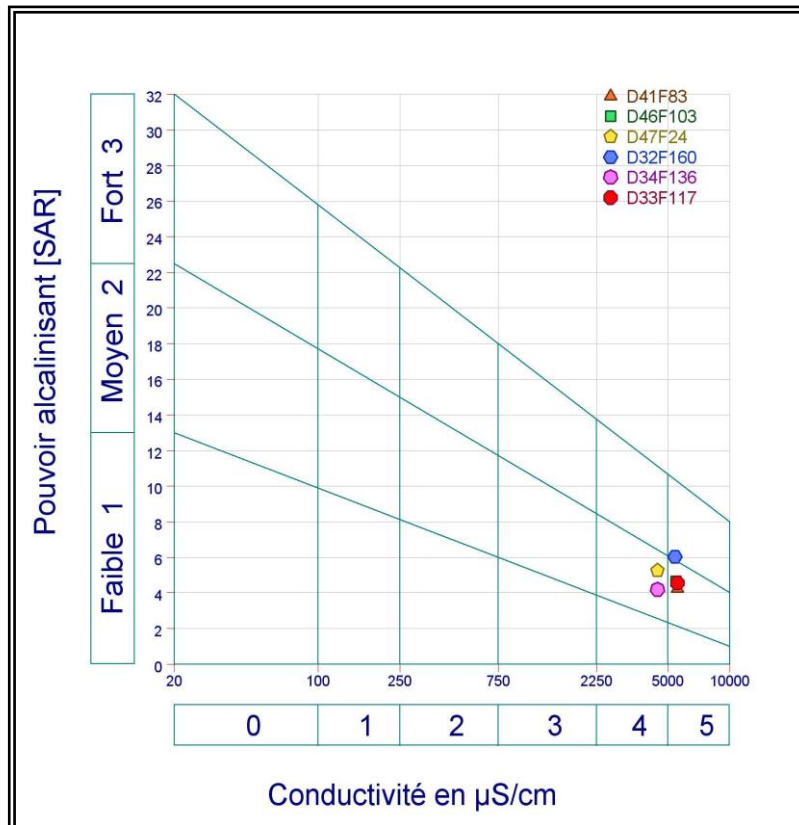


Fig.78 : Représentation du diagramme de Richards de la nappe CT

### II.5. Potabilité des eaux de la nappe du complexe terminal

Les résultats obtenus montrent que les teneurs en Mg se trouvent dans l'intervalle des valeurs limites. Les teneurs Ca, Cl, K, Na et  $\text{SO}_4$  ont dépassé les normes de potabilité de l'OMS (250mg/L) et de l'Algérie (400 mg/l).

Tab. 40 : Concentration des cations des eaux souterraines de la nappe CT par rapport aux normes OMS et Algériennes

minéralisation globale mg/l	forages						Normes	
	D41F83	D46F103	D47F24	D32F160	D34F136	D33F117	Norme OMS	Norme algérienne
$\text{Ca}^{+2}$	428,85	529,05	388,77	440,88	412,82	521,04	200	200
$\text{Mg}^{+2}$	199,3	226,03	170,37	252,77	199,3	238,18	150	150
$\text{Na}^+ + \text{k}^+$	600	720	700	910	590	710	120	200
$\text{Cl}^-$	1025,22	1014,31	856,94	915,04	996,38	1372,57	250	500
$\text{So}_4^{-2}$	1175	1475	1075	1675	1775	1650	250	400
$\text{HCo}_3^-$	535,92	518,5	170,12	112,92	88,72	112,92	,	,

### III. Interprétation des analyses chimiques de la nappe phréatique

#### III.1. Paramètres physiques

##### Température

L'un des facteurs qui influe sur la vitesse des réactions chimiques et biologiques est la température.

L'augmentation de la température est fonction de la profondeur qui est de l'ordre de 1°C pour 35m. La température moyenne des eaux de la nappe phréatique de notre zone d'étude est de l'ordre de 22°C.

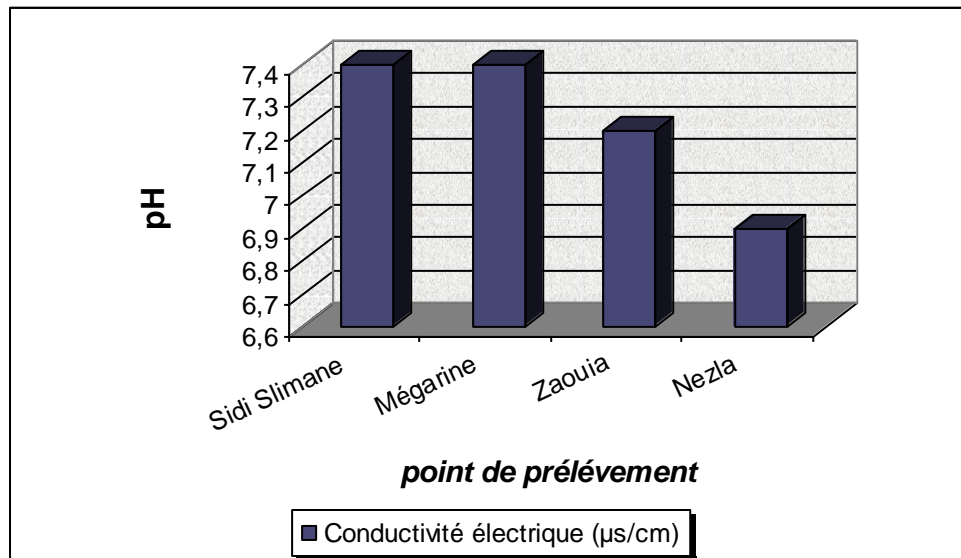
##### Potentiel hydrogène (pH)

Le pH est une mesure de la concentration en protons en solution. C'est un paramètre qui détermine l'acidité ou l'alcalinité d'une eau.

Les valeurs mesurées de pH présentées dans le tableau 41 montrent que toutes les valeurs se trouvent dans l'intervalle de la norme de potabilité avec une petite variation entre les valeurs.

**Tab. 41: Valeurs des pH dans la nappe libre**

pH	Forages
Sidi Slimane	7.4
Megarine	7.4
Zaouïa	7.2
Nezla	6.9



**Fig.79 : Histogramme de la variation du pH dans la nappe libre**

#### **➤ Potentiel d'oxydo réduction (Eh)**

Le potentiel d'oxydo-réduction (Eh) est une mesure de la concentration des électrons en solution (en mV). L'Eh régnant dans le milieu de dépôt agit sur l'intensité de l'activité biologique, sur l'état d'oxydation de certains éléments (Fer, Mn...), et sur l'évolution de la matière organique :

$Eh > 0$  : milieux oxydants en contact avec l'air (milieux aériens, aquatiques superficielles ou agités).

$Eh < 0$  : milieux réducteurs, à l'abri de l'air (milieux aquatiques calmes, eaux stratifiées, sols hydro morphes).

Les valeurs de Eh qui ont été mesurées sur le terrain sont toutes négatives, ce qui indique un milieu réducteur du probablement à la présence de bactéries réductrices.

#### **➤ Conductivité électrique**

La conductivité électrique est un moyen important d'investigation en hydrogéologie. Sa mesure est précise et rapide et sa variation est liée à la nature des sels dissous et leur concentration.

Pour la vallée de Oued Righ, les eaux de la nappe phréatique montrent des valeurs de conductivité variant entre 1260 µs/cm et 7100 µs/cm. Elles sont importantes au centre (Mégarine, Zaouïa) et diminuent au nord et le au sud (Sidi Slimane, Nezla).

Tab. 42 : Valeurs de la conductivité électrique dans la nappe libre

<i>Forages</i>	<i>Conductivité électrique (<math>\mu\text{s}/\text{cm}</math>)</i>
Sidi Slimane	1340
Megarine	7100
Zaouïa	6850
Nezla	1260

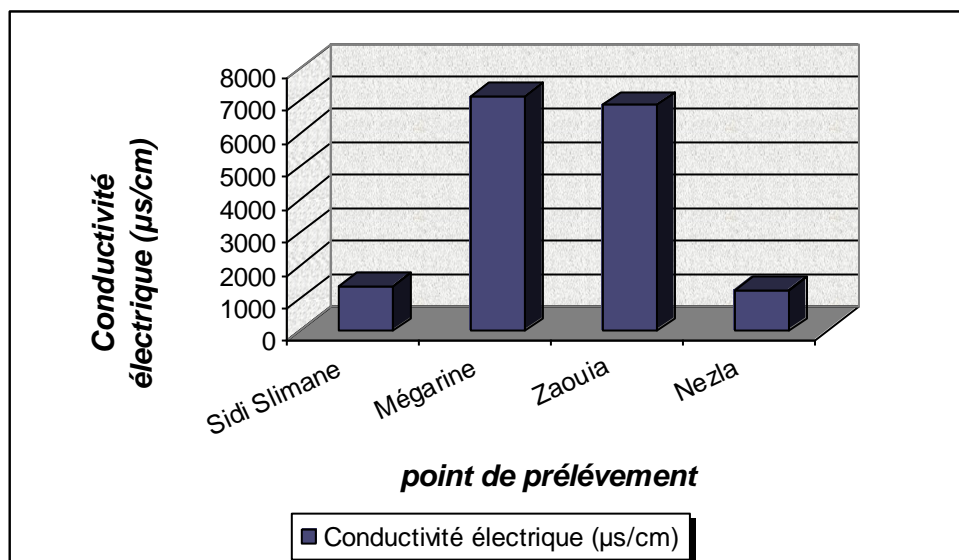


Fig80: Histogramme de la variation de la conductivité électrique dans la nappe libre

#### Dureté totale

La potabilité de l'eau peut être évaluée par la dureté ou le degré hydrotimétrique qui correspond à la teneur en calcium et magnésium. Exprimée en degré français ( $^{\circ}\text{F}$ ), elle est calculée par la formule suivante :

$$\text{DHT } (^{\circ}\text{F}) = (r \text{ Ca}^{++} + r \text{ Mg}^{++}) \times 5$$

Tab. 43 : Classification des eaux souterraines selon la dureté totale

<b>Dureté (°F)</b>	0 – 3	3 - 15	15 – 30	> 30
<b>Eau</b>	Très douce	Douce	Dure	Très dure

L'ensemble des eaux analysées présentent un Th>200°f.

#### Résidu sec

Exprimé en gramme par litre (g/l) ou milligramme par litre (mg/l), il représente la minéralisation totale de l'eau, c'est-à-dire la totalité des sels dissous et la matière organique contenus dans l'eau, obtenue par dessiccation de l'eau à 110°C.

Les analyses chimiques des résidus secs (tableau 44) montrent que la moyenne des valeurs est de l'ordre de 6.7 g/l, teneur qui reste encore très élevée et peut être due à l'évaporation qui est intense dans la région d'étude.

Tab. 44 : Les valeurs du résidu sec dans la nappe libre

<i>Forages</i>	<b>Résidu sec g/l</b>
Sidi Slimane	6,7
Megarine	6,7
Zaouïa	6,8
Nezla	6,7

### III.2.Diagramme de Piper

Le diagramme de piper permet de visualiser sur le triangle des anions ou des cations les échantillons analysés et de définir non seulement leur faciès grâce aux éléments majeurs, mais de suivre également leur évolution dans le temps.

Il permet de constater que les eaux analysées sont globalement chlorurées sodiques.



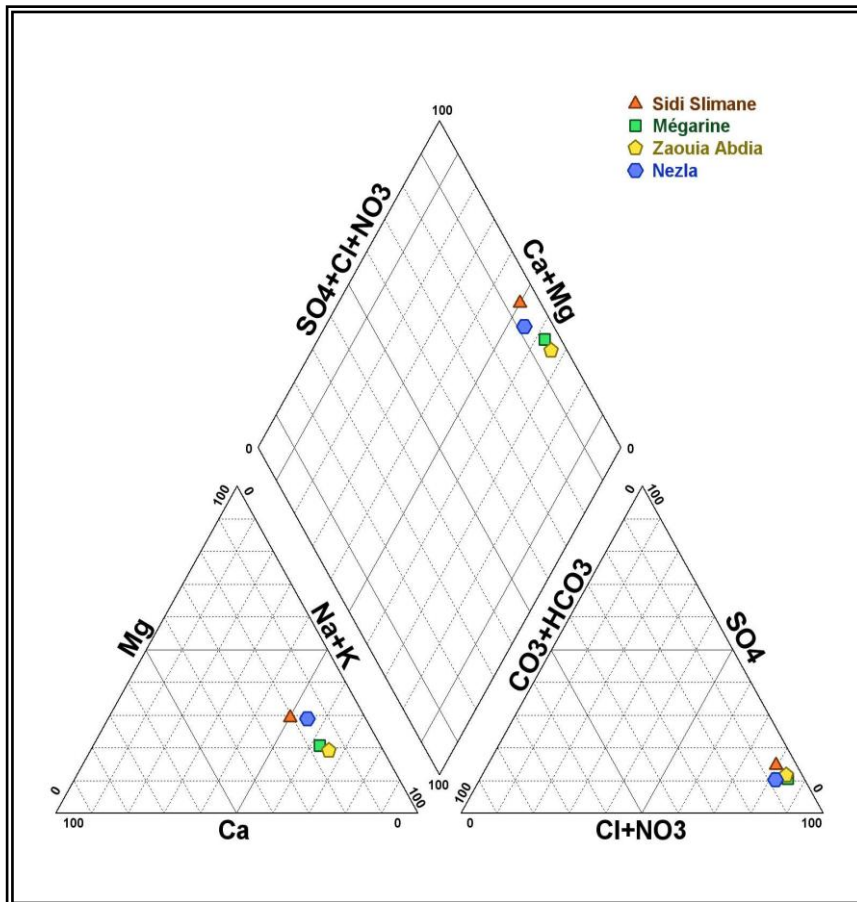


Fig. 81 : La représentation du diagramme de Piper de la nappe phréatique.

### III.3.Répartition des éléments chimiques

#### ➤ Cations

##### -Le calcium ( $\text{Ca}^{++}$ )

Le calcium provient soit de la dissolution des formations carbonatées  $\text{CaCO}_3$ , soit à la dissolution des gypses  $\text{CaSO}_4 (\text{H}_2\text{O})_2$ . La dissolution qui s'en suit est favorisée par le gaz carbonique provenant de l'atmosphère et du sol.

Les valeurs de la concentration du calcium présentées dans la figure 82 montrent qu'elles varient entre 366 et 462 mg/l. Elles dépassent largement la norme fixée par l'OMS (200 mg/l). La valeur maximale est enregistrée au niveau du forage de Sidi Slimane.

##### -Le Magnésium ( $\text{Mg}^{++}$ )

Second élément intervenant dans la dureté totale des eaux, ces ions proviennent de la dissolution des roches magnésiennes du gypse, des minéraux ferromagnésiens et de la mise en

solution des dolomies et des calcaires dolomitiques. Les origines du magnésium sont comparables à celles du calcium.

La figure 82 montre que la courbe du magnésium coïncide avec celle du calcium à l'exception de la valeur au niveau de Megarine (250 mg/l).

On note que ces valeurs du magnésium dépassent la norme de l'OMS (150 mg/l).

#### -Le sodium et le potassium ( $\text{Na}^+$ , $\text{K}^+$ )

Le sodium et le potassium sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions variables. Le sodium peut provenir du lessivage des formations géologiques riches en Na Cl ; le potassium est beaucoup moins abondant que le sodium, rarement présent dans l'eau.

La figure 82 montre que les teneurs en  $\text{Na}^+$  et  $\text{K}^+$  sont très élevées et dépassent largement la norme de l'OMS (100 mg/l). La valeur maximale de 1848 mg/l a été enregistrée dans le forage de Zaouïa.

L'augmentation des valeurs est due aux eaux chargées provenant de la dissolution des sels de la croûte superficielle par les eaux d'irrigations, et par les rejets des eaux usées.

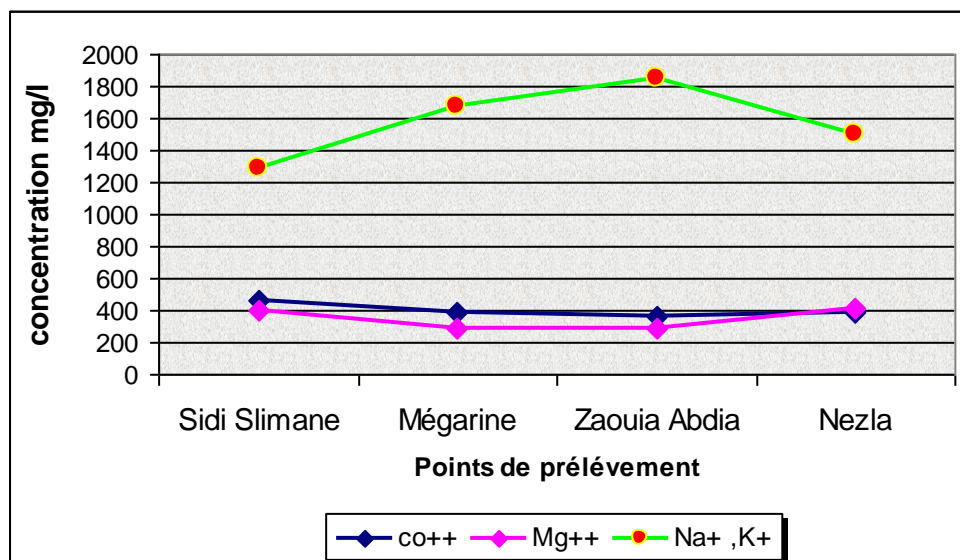


Fig. 82 : Répartition des concentrations des cations dans la nappe libre

#### ➤ Anions

##### -Les chlorures ( $\text{Cl}^-$ )

Ils sont toujours présents dans les eaux naturelles en proportions très variables et leur présence dans l'eau résulte de :

- La dissolution des sels naturels par le lessivage de terrains gypseux, marneux ou argileux.
- L'évapotranspiration intense dans les régions où le niveau piézométrique est proche de la surface du sol, (cas de la nappe phréatique de notre région d'étude).

La figure 83 montre que la concentration du chlore se distingue par des valeurs trop élevées par rapport à la norme de l'OMS (350 mg/l). L'exemple du forage de Nezla est édifiant à ce point (3349 mg/l).

La forte concentration du chlore est due essentiellement à la dissolution des sels et à l'évaporation.

#### **-Les sulfates (SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>)**

Les sulfates sont toujours présents dans l'eau naturelle et leur présence provient de :

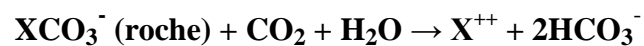
- La dissolution des formations gypseuses.
- Légère solubilité de CaCO<sub>4</sub> avec des passées gypseuses.
- Des eaux usées industrielles.

Les résultats des analyses chimiques donnent des valeurs qui varient entre 564.9mg/l et 829.9mg/l. Ces valeurs sont très élevées par rapport à la norme de l'OMS (250 mg/l). Cette augmentation des teneurs peut être due à la dissolution des formations gypseuses.

#### **-Les bicarbonates (HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>)**

Elles proviennent de la dissolution des roches carbonatées en fonction de la tension en CO<sub>2</sub>, de la température, du pH de l'eau et de la nature lithologique des terrains traversés.

Les bicarbonates sont le résultat de l'équilibre physicochimique entre la roche, l'eau et le gaz carbonique, selon l'équation générale suivante :



Les valeurs de la concentration de HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> sont respectivement comprises entre 300 mg/l et 588 mg/l au niveau des forages de Megarine et Nezla.

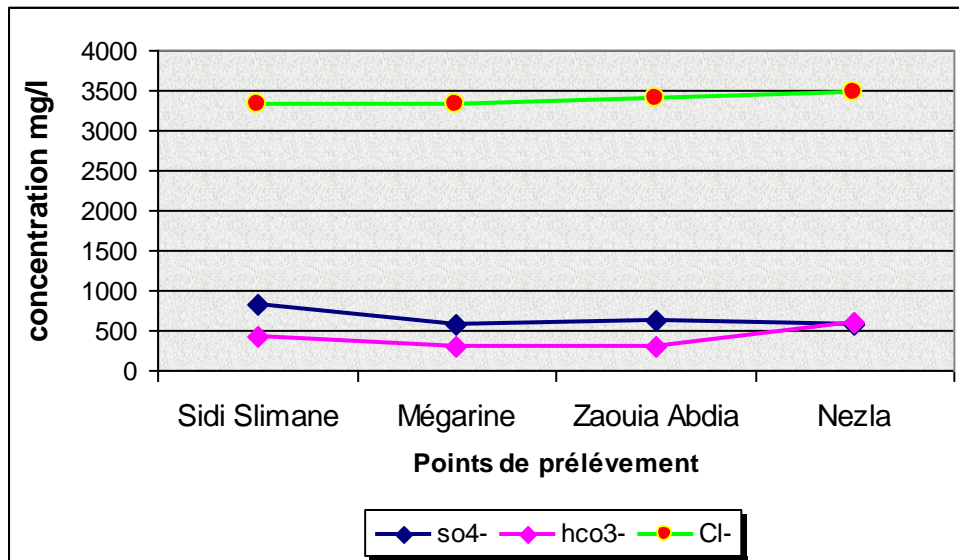


Fig. 83 : Répartition des concentrations des anions dans la nappe libre

### III.4. Aptitude des eaux à l'irrigation

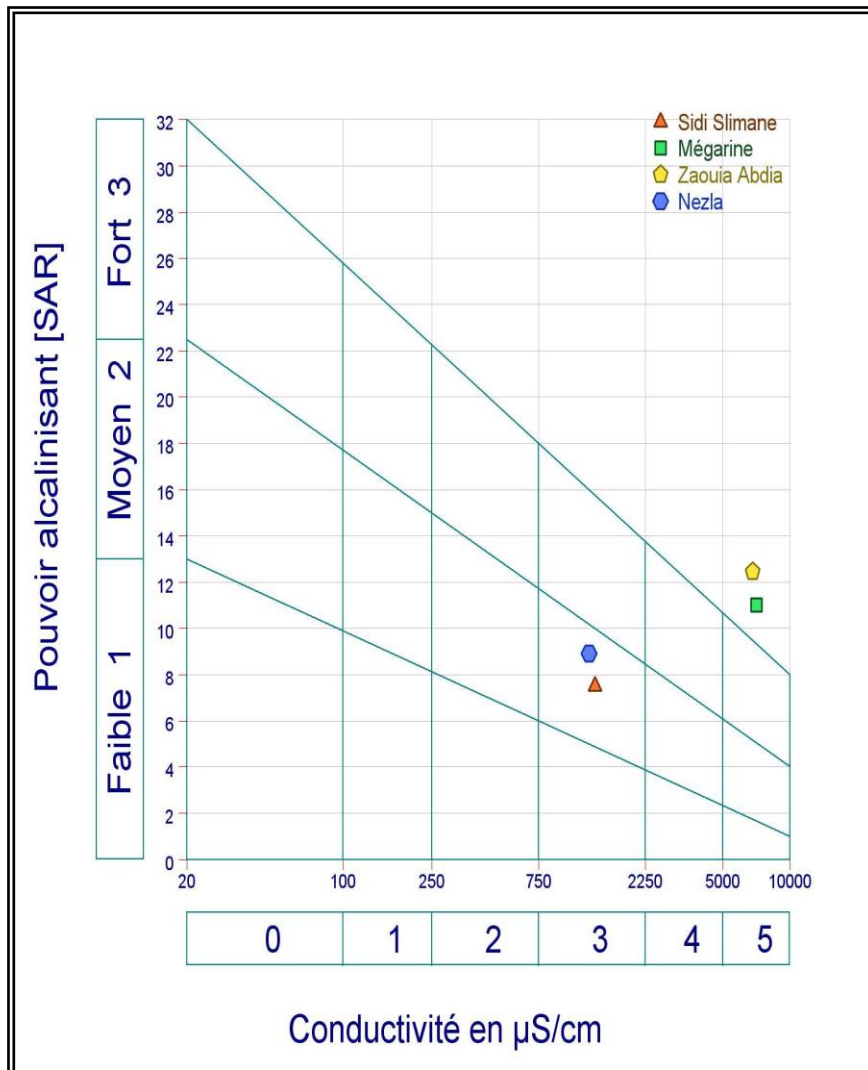
L'aptitude des eaux à l'irrigation est reliée à son effet sur les sols et les cultures, ces derniers sont effectués de matières différentes par la nature des sels dissous dans les eaux destinées à l'agriculture.

Il est connu que les sels minéraux contenus dans l'eau ont des effets sur le sol, les plantes et les êtres humains.. En plus, les sels causent des changements dans la structure du sol, sur sa perméabilité et sur son aération, affectant directement le développement de la plante.

Il est connu en général que le développement des plantes est très faible ou nul dans les sols saturés en sodium (Lourrier, 1976).

Pour cette raison, Richards (1956) a établi un diagramme qui repose sur le croisement de deux critères :

- Le premier est la conductivité électrique (C.E.) qui vise à quantifier la charge en sels de la solution et par voie de conséquence le risque de salinisation.
- Le second est le S.A.R. (Sodium Adsorption Ratio) de l'eau ou taux de sodium échangeable induit par l'eau dans le sol est un critère permettant d'évaluer le risque de sodisation du sol par l'eau d'irrigation, classées de S1 à S4 selon leur risque croissant de sodisation.



**Fig. 84: Représentation du diagramme de Richards de la nappe phréatique**

D'après le diagramme on observe que deux valeurs sont placées dans la classe C3 S2, ce qui indique une eau à forte salinité. Le danger d'alcalinisation du sol est assez important, les deux autres valeurs sont placées en dehors du diagramme traduisant le fait que les eaux de la nappe phréatique ont une qualité chimique très mauvaise pour l'irrigation.

### III.5. Potabilité des eaux de la nappe phréatique

Les interprétations précédentes des analyses chimiques pour cette nappe montrent que tous les éléments chimiques (cations ou anions) dépassent largement les normes fixées par l'OMS pour une eau potable. Il en est de même pour les paramètres physiques tels que la conductivité et les résidus secs.

Le diagramme de Richards nous a permis de confirmer que les eaux de la nappe phréatique sont impropres à la consommation humaine.



## 5<sup>ème</sup> CHAPITRE :

---

# MODÉLISATION DE LA DEMANDE EN EAU PAR WEAP

*La modélisation pose le problème de la représentation de l'information nécessaire à la décision. L'information liée à une ressource naturelle comme l'eau est caractérisée tant par une variabilité spatiale des données, que par une connaissance le plus souvent qualitative des phénomènes et par des interactions fortes entre les éléments de l'hydrosystème (François LAURENT).*

---

## Introduction

L'efficacité d'une gestion par la demande peut être freinée par l'insuffisance du cadre légal, des bénéfices au niveau de la collectivité, des moyens d'application, de l'acceptation par les usagers, de la définition des objectifs recherchés et de la connaissance du système (Montginoul, 1997).

Le choix du logiciel utilisé dans cette étude est basé sur la disponibilité, l'accessibilité et la flexibilité des paramètres qui le composent et qui permettent l'exploitation d'un large éventail de bases de données collectées.

### I. Logiciels d'aide à la décision en GIRE (Gestion Intégrée des Ressources en Eaux)

En plus des efforts déployés par la communauté scientifique pour développer des modèles, des méthodologies et des outils d'aide à la prise de décision, des firmes internationales exploitent les résultats des recherches et développent des logiciels qui offrent une gamme de modèles et de générateurs de scénarios pour aider à la prise de décision. Une étude qui a été réalisée par Nouri (2016) sur les principaux logiciels considérés comme des DSS pour la GIRE, nous a orientée sur le choix du logiciel dans ce mémoire.

Parmi ceux cités en tant que DSS pour la GIRE, « **MIKE BASIN** », développé par l'Institut d'Hydraulique Danois (*Danish Hydraulic Institute* : DHI), se positionne comme un outil qui vise à étudier la répartition de l'eau dans un bassin versant, la qualité de l'eau et permet également de modéliser les aquifères. Ce logiciel est riche de modèles hydrologiques pour l'estimation des ruissellements dus aux précipitations. Cependant, Parmi les faiblesses de « **MIKE BASIN** » c'est qu'il ne prend pas en compte les aspects socio-économiques de la GIRE.

Le modèle **BASSINS** (*Better Assessment Science Integrating point and Non point Sources*), développé par l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement (*U.S-Environmental Protection Agency*), effectue des études de la qualité de l'eau ainsi que l'aspect écologique à l'échelle des bassins versants. Il fournit une plateforme de modélisation intégrée pour examiner les alternatives de gestion des sources d'eau sur le plan environnemental. Parmi ces modèles, il faut aussi citer « **PLOAD** » pour gérer la pollution, « **SWAT** » (*Soil and Water Assessment Tool*) pour l'évaluation du sol et l'eau, « **WinHSPF** » (*Windows Hydrological Simulation Program-Fortran*) pour les calculs hydrologiques et « **QUAL2** » pour la modélisation de la qualité dans les cours d'eau. La limitation de **BASSINS** est relative à l'élaboration des scénarios de gestion.

**IQQM** (*Integrated Quality and Quantity Model*) est développé par le « *New South Wales Department of Land & Water Conservation* » avec la collaboration de « *Queensland Department of Natural Resources (QDNR)* ». C'est un outil de modélisation hydrologique visant à simuler des systèmes fluviaux et à soutenir la planification et l'évaluation des impacts des options de gestion des ressources en eau, la surveillance et la protection de l'environnement. Ses composants sont des modèles de systèmes de rivières, pluie-débit, climat, outil graphique des sorties, outil statistique et un outil de récupération des données. La principale limite de l'outil est l'absence de fonctionnalité SIG.

**RIBASIM** (*River BASin SIMulation*), développé par « *Delft Hydraulics* » en Hollande, est un ensemble de modèles pour la planification et la gestion des ressources en eau au niveau du bassin versant (simulations de l'allocation de l'eau). L'absence de fonctionnalités SIG constitue sa faiblesse.

**AQUATOOL**, développé par « *Department of Hydraulic and Environmental Engineering at the Polytechnic University of Valencia (hereinafter DIHMA)* », est un système d'aide à la décision qui se compose de modules pour la simulation et l'optimisation, la modélisation et l'évaluation des risques, la planification des ressources en eau et la gestion opérationnelle à l'échelle des bassins versants. Il permet la simulation et la comparaison de politiques et de données hydrologiques. De plus, il offre une possibilité d'évaluer les risques. Ce logiciel est essentiellement un outil d'optimisation de l'allocation de l'eau. Outre l'absence de fonctionnalité SIG, AQUATOOL n'intègre pas les aspects économiques et écologiques de la GIRE.

**WEAP** (*Water Evaluation And Planning System*), est développé par « *Stockholm Environment Institute's Boston Center at the Tellus Institute, USA* ». C'est un outil de planification des ressources en eau ; il permet d'évaluer une gamme complète d'options de développement de l'eau et de gestion, et tient compte des multiples utilisations concurrentes de l'eau. WEAP permet également d'établir des liens dynamiques vers d'autres modèles et des logiciels tels que MODFLOW (SEI, 2008), un programme informatique qui résout numériquement l'équation d'écoulement des eaux souterraines en trois dimensions pour un milieu poreux en utilisant la méthode des différences finies (Harbaugh, 2005).



La faiblesse de WEAP est l'absence de fonctionnalités SIG. Il utilise les couches cartographiques comme fond de plan pour élaborer les schémas conceptuels des zones d'études.

Devant la complexité des processus naturels, des fonctionnements des infrastructures et du contexte socio-économique, il est nécessaire pour un gestionnaire ou un planificateur des ressources en eau de se doter de l'outil le plus efficient. Face à la large gamme de logiciels disponibles et de méthodologies et utilitaires proposés par la communauté scientifique, le choix d'un DSS s'avère difficile. C'est pour cette raison qu'une comparaison entre les outils les plus utilisés (liste restreinte) est nécessaire. En plus des fonctionnalités minimales exigées, la comparaison des outils, informatiques ou non, est généralement faite sur la base de l'accessibilité à l'outil, le coût de son acquisition, son exigence en données et la facilité de son utilisation.

Parmi les logiciels présentés dans les paragraphes précédents, il est utile de souligner que MIKE BASIN n'offre pas la fonctionnalité d'élaborer des scénarios et IQQM ne permet pas d'intégrer la modélisation des aquifères. Ces quatre logiciels peuvent être considéré non satisfaisants en termes de fonctionnalités. Ajoutons que MIKE BASIN, AQUATOOL et RIBASIM sont payants.

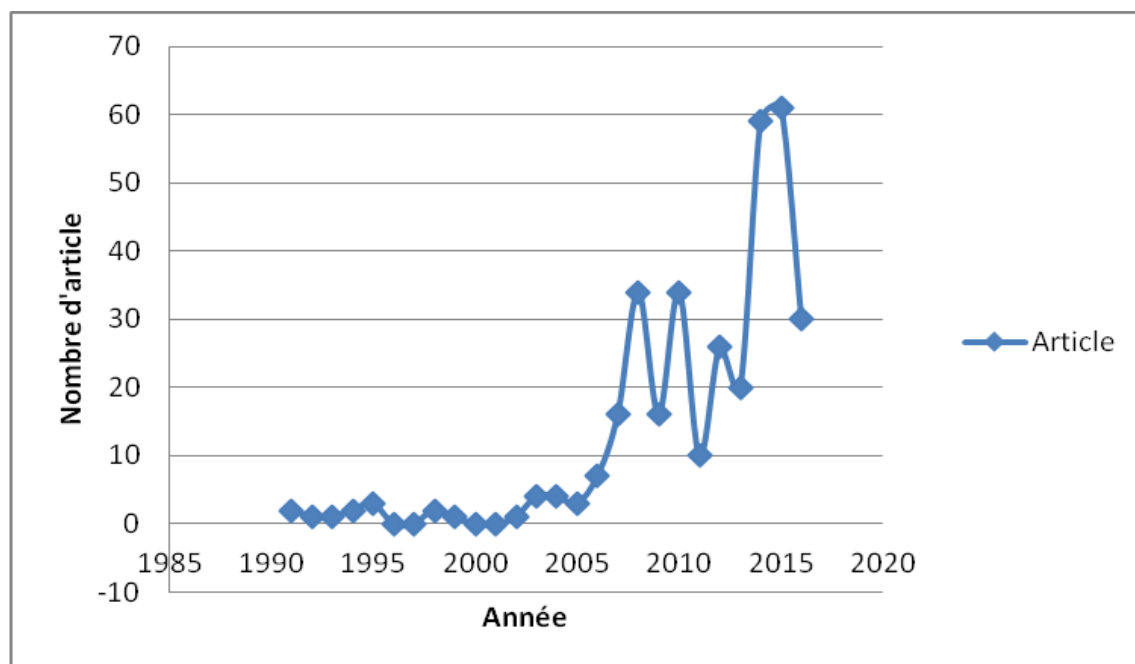
Le logiciel gratuit qui offre une large gamme de fonctionnalités et de calculs hydrologiques, qui modélise les aspects socio-économiques et qui permet un interfaçage avec un outil de modélisation des aquifères est WEAP. Il est soumis à l'octroi d'une licence gratuite de la part de l'éditeur (SEI), renouvelable annuellement, pour les pays en voie de développement.

Il est aussi important de signaler que cet outil offre des possibilités de communication avec d'autres logiciels et langages de programmation (tel que VBA), à travers son interface de programmation automatique (*Automated Programming Interface (API)*). Le logiciel WEAP a prouvé sa performance dans différentes approches.

A l'issue de cette analyse de la situation des DSS disponibles, le logiciel WEAP a été choisi pour essayer de développer des outils d'aide à la décision pour la GIRE.

Bon nombre de chercheurs ont utilisé WEAP dans différents contextes (hydrologique, changement climatique, irrigation, hydro électrique, sociologique,...etc.).

Plus de trois cent (300) publications scientifiques ont été publiées entre 1991 et 2016. Elles sont analysées dans les figures suivantes :



**Fig. 85: Evolution du nombre de publications sur WEAP entre 1990 et 2016.**

La courbe de la figure 85 exprime l'augmentation de l'intérêt au logiciel WEAP dans le domaine de la gestion des ressources en eau au milieu des années 90, puis une tendance vers l'évolution depuis le début des années 2000 et dépasse 60 articles en 2015.

Les principaux thèmes ciblés par les chercheurs dans le cadre des travaux cités ci-dessus sont la confrontation besoins et ressources, l'impact des changements climatiques et les interactions des eaux superficielles et des eaux souterraines

Les paragraphes suivants ont trait aux principaux objectifs énoncés dans les références bibliographiques ainsi que les méthodes utilisées pour résoudre les problèmes formulés.

William J et al. (1995) ont testé le modèle WEAP dans le bassin supérieur de la rivière Chattahoochee, en Géorgie, pour évaluer sa capacité.

Kenneth M et al.,(1999) ont utilisé de nouvelles méthodes de modélisation de la disponibilité de l'eau pour l'agriculture sous l'effet du changement climatique par l'intégration des modèles d'approvisionnement en eau et de la demande, ainsi que la croissance des cultures et la gestion de l'irrigation.

Huber A et al.,( 2003) ont cherché à équilibrer les compromis complexes et les interactions entre l'eau pour l'alimentation et l'eau pour l'environnement dans le bassin de Sacramento

Alfarra A et al.,(2004) ont travaillé sur la modélisation de la gestion des ressources en eau au lac Naivasha, pour trouver une stratégie qui intègre les divers besoins sectoriels par rapport aux ressources en eau disponibles afin d'atteindre à la fois la durabilité économique et écologique

Yates D et al., (2005) ont utilisé WEAP21 comme un modèle de planification axé sur la demande, la priorité et les préférences: l'évaluation des services d'écosystèmes d'eau douce, illustrent comment un nouveau sous-module hydrologique dans WEAP21 peut être utilisé en conjonction avec un algorithme d'allocation d'eau pour simuler la réponse hydrologique des bassins hydrographiques et évaluer les compromis entre services écosystémiques d'eau douce dans d'autres scénarios.

Joyce B et al.,(2006) ont traité l'impact du changement climatique sur la disponibilité de l'eau pour l'agriculture par le biais de la mise en place de quatre scénarios climatiques futurs sur la gestion de l'eau dans la région de la Californie ; ils ont eu à examiner si l'adaptation de la gestion de l'eau pourrait réduire les impacts potentiels.

Charlotte C et al.,(2006) ont exploré les capacités hydrologiques de l'EPER en élaborant un modèle de bassin de Rio Conchos dans le but d'évaluer la faisabilité d'incorporer un modèle d'hydrologie WEAP pour l'ensemble du bassin de Rio Bravo.

Hagan I et al.,(2007) ont modélisé l'impact des petits réservoirs dans la région du haut-orient du Ghana pour découvrir les extensions auxquelles les grands réservoirs affectent les utilisateurs en aval et évaluer et planifier la construction d'un grand nombre de ces petits réservoirs afin d'assurer une utilisation efficace des ressources en eau dans la région

Hermans E et al., (2008) ont présenté l'état de l'art des outils d'observation et de gestion des eaux souterraines, notamment en ce qui concerne la surveillance par le satellite GRACE et la planification WEAP. La démonstration de l'application de ces deux outils pour le Nord de la Chine est également incluse.

Ingol E et al.,(2009) ont évalué et prévu les ressources en eau disponibles au cours des 50 ou 100 prochaines années en tenant compte des impacts éventuels du changement climatique dans le bassin ainsi que l'évaluation des politiques à mettre en œuvre pour faire face aux périodes de sécheresse et préserver le traité d'accords entre le Mexique et les États-Unis.

Sarah E et al.,(2010) ont donné une réponse hydrologique et de sensibilité des bassins au réchauffement climatique de la Sierra Nevada en Californie. Cet article présente un indice de durabilité des ressources en eau qui permet d'évaluer et de comparer différentes politiques de gestion de l'eau.

Matthew P et al.,(2012) ont travaillé sur les répercussions du développement planifié des ressources en eau dans la partie éthiopienne du Nil bleu dont l'objectif est de maximiser l'eau livrée aux sites de demande, selon un ensemble de priorités définies par l'utilisateur. Lorsque l'eau est limitée, l'algorithme est formulé pour limiter progressivement l'allocation d'eau aux sites de demande ayant la priorité la plus faible.

Vonk E et al.,(2013) ont ciblé La réopération du barrage comme stratégie d'adaptation pour le changement des schémas d'approvisionnement et de demande en eau (cascade de réservoirs Xinánjiang-Fuchunjiang dans la région de Hangzhou en Chine). L'objectif est de déterminer si cette ré-exploitation est une stratégie d'adaptation efficace pour atténuer les impacts potentiels du changement climatique et des évolutions socio-économiques régionales.

Putu-Santikayasa I et al.,(2014) ont évalué la durabilité de l'utilisation de l'eau dans les scénarios de gestion du climat et de l'irrigation dans le bassin du fleuve Citarum (Indonésie). La durabilité de l'utilisation de l'eau d'irrigation a été évaluée au moyen de critères de performance qui tiennent compte des effets du changement climatique et de la gestion de l'adaptation sur l'irrigation.

Chinnasamy P et al., (2015) ont évalué l'impact de l'aménagement des ressources en eau sur la demande d'eau actuelle et future dans le bassin de la rivière Koshi (Népal) et analysé le potentiel des infrastructures hydrographiques proposées en tenant compte de l'évolution de certains paramètres telle que l'accroissement de la population, de l'agriculture, de l'industrie et du potentiel de production hydroélectrique de l'infrastructure proposée.

Nadiah N et al.,(2016) ont réalisé une étude sur la modélisation de l'allocation optimale de l'eau en besoins de la ville de Selangor ce qui a permis de calculer l'impact sur l'écart entre l'offre et la demande pour l'agglomération d'ici l'an 2050.

## **II. Description des logiciels utilisés**

Pour réaliser notre travail, nous avons utilisé les logiciels suivants :

### **II.1.Global Mapper 15.0**

Global Mapper est un système d'information géographique (SIG) Global Mapper qui gère à la fois des données vecteur et raster et en et d'altitude, et permet une visualisation, la conversion, et d'autres fonctionnalités SIG. Il supporte un grand nombre de formats de fichiers images. Global Mapper a une communauté active d'utilisateurs avec une liste de diffusion et forums en ligne.

### **II.2.Visual Studio 12.0**

Visual Studio est un ensemble complet d'outils de développement permettant de générer des applications Web ASP.NET, des Services Web XML, des applications bureautiques et des applications mobiles. Visual Basic, Visual C++, Visual C# et Visual J# utilisent tous le même environnement de développement intégré (IDE, Integrated Développement Environnement), qui leur permet de partager des outils et de faciliter la création de solutions faisant appel à plusieurs langages. Par ailleurs, ces langages permettent de mieux tirer parti des

fonctionnalités du Framework .NET, qui fournit un accès à des technologies clés simplifiant le développement d'applications Web ASP et de Services Web XML grâce à Visual Web Développer.

### **II.3.Arc GIS**

ArcGIS Desktop comprend une suite d'applications intégrées : ArcMap, ArcCatalog et ArcToolbox. A l'aide de ces trois applications, on peut effectuer toutes les tâches SIG, de la plus simple à la plus avancée, y compris la cartographie, la gestion des données, l'analyse géographique, la mise à jour des données et le géotraitement.

ArcMap représente l'application centrale dans ArcGIS Desktop. Il s'agit de l'application SIG utilisée pour toutes les tâches associées aux cartes, y compris la cartographie, l'analyse des cartes et la mise à jour. Dans cette application, on travaille avec des cartes.

Ces dernières ont une mise en page contenant une fenêtre géographique avec un ensemble de couches, légendes, barres d'échelle, flèches « Nord » et autres éléments.

### **II.4.Description de WEAP**

Les applications de WEAP incluent généralement plusieurs étapes. La définition de l'étude qui identifie la période de simulation, les limites spatiales, les composantes du système et la configuration du problème. L'État Actuel, qui peut être considéré comme une étape de calage dans l'élaboration d'une application, fournit une vue instantanée de la demande en eau actuelle, de la charge de pollution, des ressources et des fournitures pour le système. Les hypothèses de base doivent être construites dans cet État Actuel pour représenter les politiques, les coûts et les facteurs qui affectent la demande, la pollution, la fourniture et l'hydrologie. Les Scénarios sont construits sur la base de l'État Actuel. Ils permettent d'explorer les impacts d'hypothèses alternatives ou des politiques sur la disponibilité et l'usage de l'eau dans le futur. Finalement les scénarios sont évalués à l'égard de la suffisance de l'eau, des coûts et des bénéfices, de la compatibilité avec les objectifs environnementaux et à l'égard de la sensibilité à l'incertitude dans l'estimation des variables clés (User Guide for WEAP21, 2008). Le programme WEAP fonctionne donc suivant cinq (5) étapes :

#### **II.4.1.Création de la zone d'étude**

Dans cette partie, il s'agit de créer une carte de la zone d'étude. On peut utiliser des cartes traitées avec des logiciels de traitement cartographique (SIG) en particulier Arcview. Cette carte va servir comme fond aux dessins des éléments nécessaires pour pouvoir faire la simulation tels que : les emplacements urbains, les rivières, les sources d'eaux souterraines, les réservoirs, les barrages, les industries, les sites agricoles et les autres types d'emplacement selon l'étude.

## **II.4.2. Création des hypothèses clés et références**

Puisque le logiciel est capable de faire une simulation basée sur le calcul de la demande et l'approvisionnement en eau, l'écoulement, l'infiltration, le stockage, le traitement général de pollution, la qualité de l'eau, etc.... Il est donc primordial de créer la base de données avec les différentes hypothèses clés et les différents scénarii.

### **II.4.2.1. Hypothèses clés**

Ce sont des variables définies par l'utilisateur du logiciel qui servent de clés principales pour faire l'analyse. Dans notre étude, nous avons quatre (4) hypothèses clés servant comme données de base pour le logiciel : utilisation d'eau domestique, besoins en eau pour l'irrigation, pour l'utilisation d'eau domestique, taux de croissance de la population pour l'année du scénario futur.

### **II.4.2.2. Références**

Il est nécessaire d'avoir une année ou une période de référence pour servir de modèle. Toutes les données à utiliser doivent être comprises entre cette année ou période de référence.

### **II.4.2.3. Proposition des Scénarii**

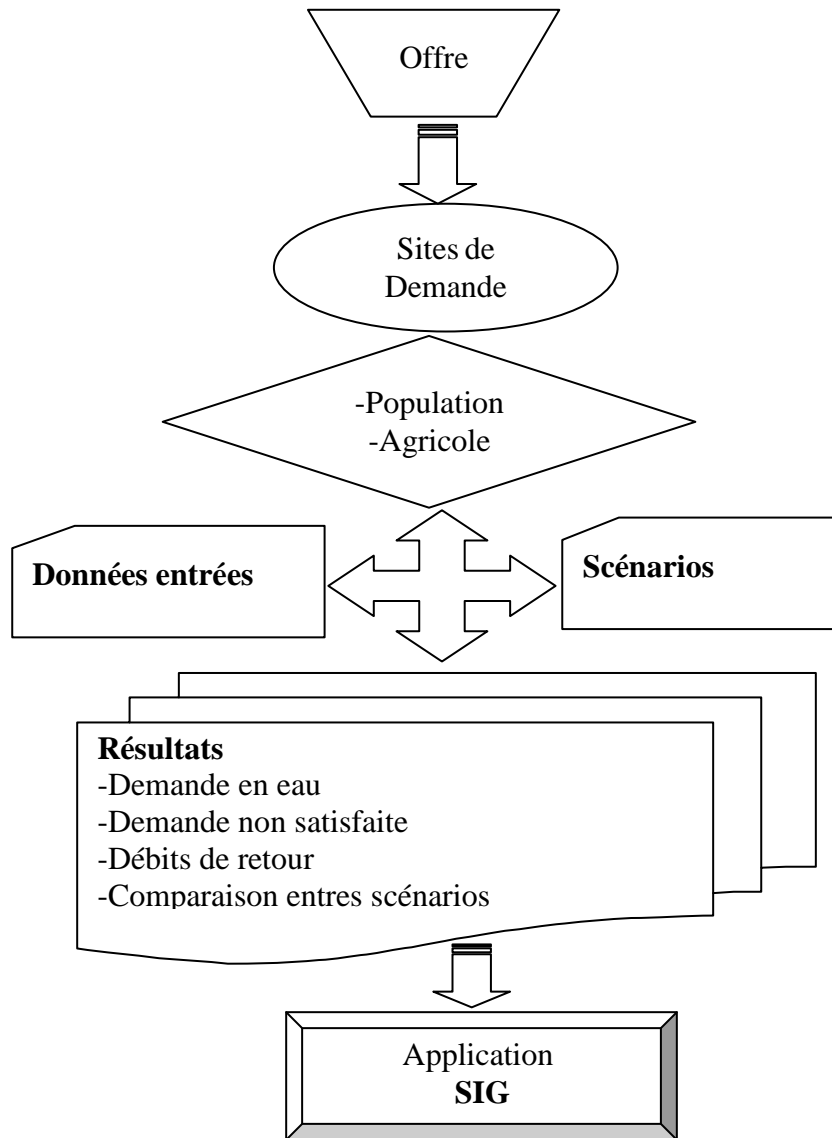
Dans WEAP, le scénario typique est composé de trois étapes : une année de compte courant choisie comme année de référence du modèle, un scénario de référence établi à partir du compte courant et servant à simuler l'évolution probable du système sans intervention d'aucune sorte, d'autres scénarii pour évaluer les effets des changements socio-économiques et des changements climatiques probables pour l'année ou projet futur.

### **II.4.3. Saisie des données**

Les données sont à saisir après avoir créé les éléments dans la zone d'étude (emplacements urbains, industriels, élevages, etc.) ou en passant dans le menu d'affichage de la base de données.

### **II.4.4. Présentation des résultats**

Les résultats se présentent sous forme de graphes et (ou) de tableaux. On aura deux résultats à comparer : les résultats de l'année de référence et de l'année du scénario projeté. Le fonctionnement du logiciel peut être représenté par le diagramme ci-dessous (Figure 86).



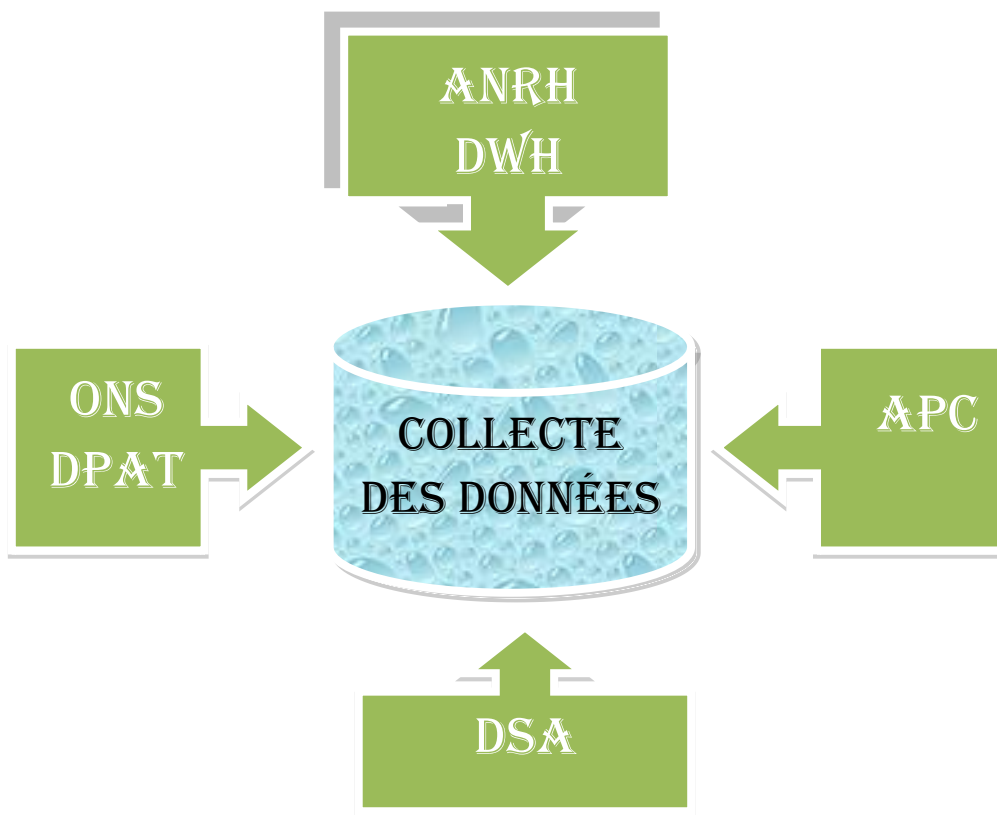
**Fig.86 : Organigramme du fonctionnement du logiciel WEAP.**

### III. Application du modèle WEAP dans la vallée de Oued Righ

Le modèle WEAP est un outil informatique permettant de planifier la gestion intégrée des ressources en eau ; cette opération nécessite certaines connaissances sur :

- ✓ La réserve et la ressource.
- ✓ Les caractères physico-chimiques et bactériologiques.
- ✓ Les sites de l'offre ou captage et les sites de demandes (AEP, AEA).
- ✓ Les réseaux.

Des données collectives à ces points ont été collectées au niveau de certaines institutions travaillant dans le secteur de l'eau et de l'assainissement.



**Fig.87 : Institutions de gestion des eaux dans la vallée de Oued Righ.**

L'année 2008 a été choisie comme référence pour toutes informations sur le système : sites de demandes, données d'approvisionnement, consommation, liaisons et transmission (Figure 88).



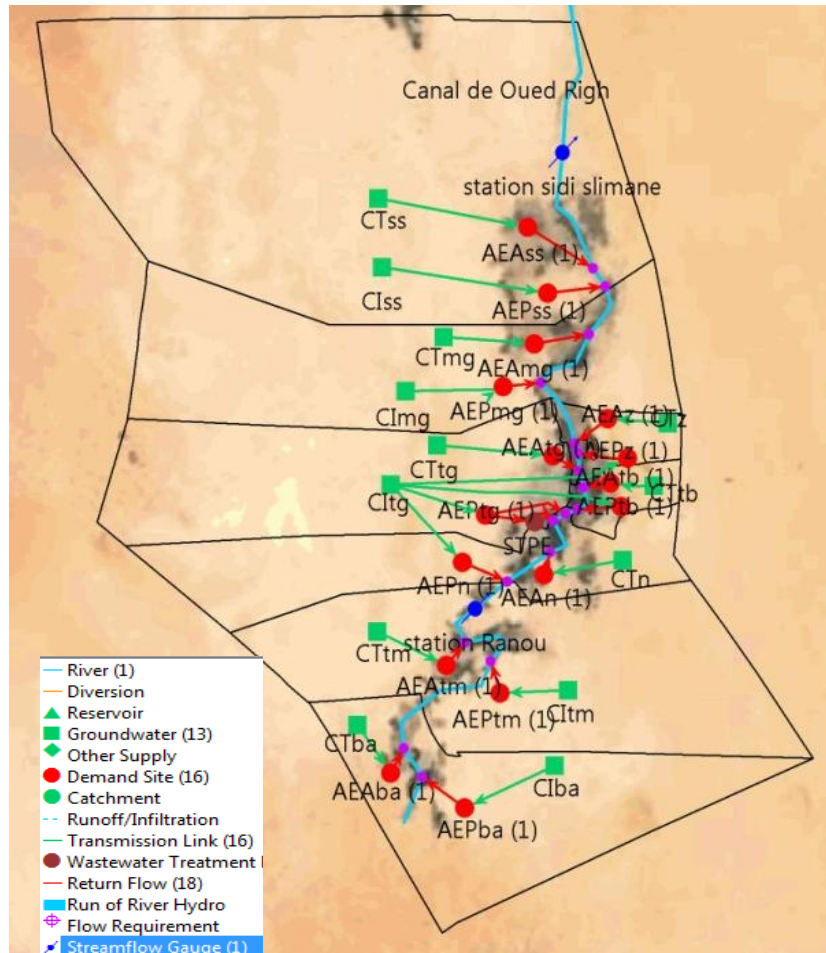


Fig.88 : Schéma final du modèle WEAP et organigramme de travail

### III.1.Cartographie

Dans le programme WEAP il existe déjà une carte du monde où on peut choisir et créer la zone d'étude (Figure 89). Ensuite on y ajoute une carte SIG (Système d'Information Géographique à vecteur à notre zone d'étude ; cette carte servira à orienter et construire notre système et affiner les limites du projet. Les données vecteur fond de plan peuvent être ajoutées par le biais de « Add Vector Layer ».

WEAP lit l'information vectorielle dans le format « Shapefile ». Ce format peut être créé par la majorité des logiciels SIG (Arc view, Arc Gis, etc.). En sélectionnant la carte de wilaya de Oued Righ, on crée la carte du nouveau projet nommé "Oued Righ". (Figure 90).

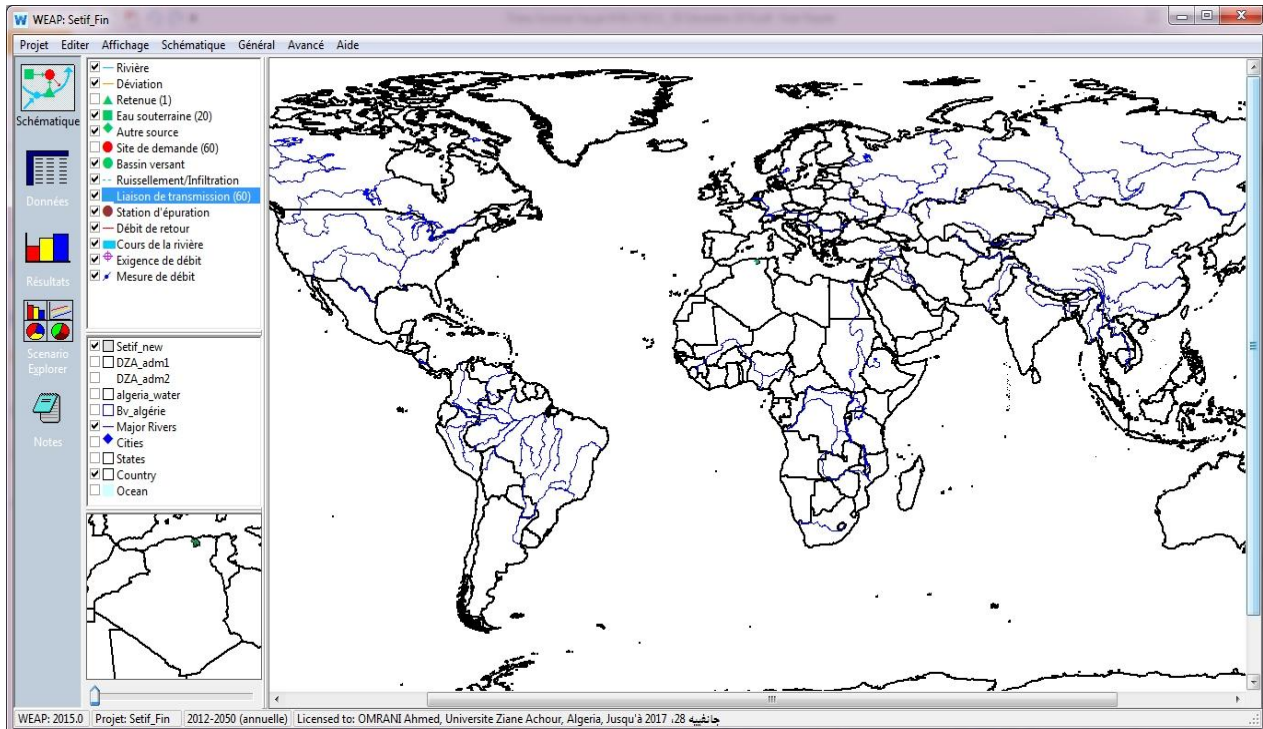


Fig.89 : Carte du monde dans le logiciel WEAP.

### III.2.Réglage des paramètres généraux

Dans cette étude, nous nous limitons à la période entre 2008-2050 pour toutes informations sur le système (sites de demandes, données d'approvisionnement, etc.).

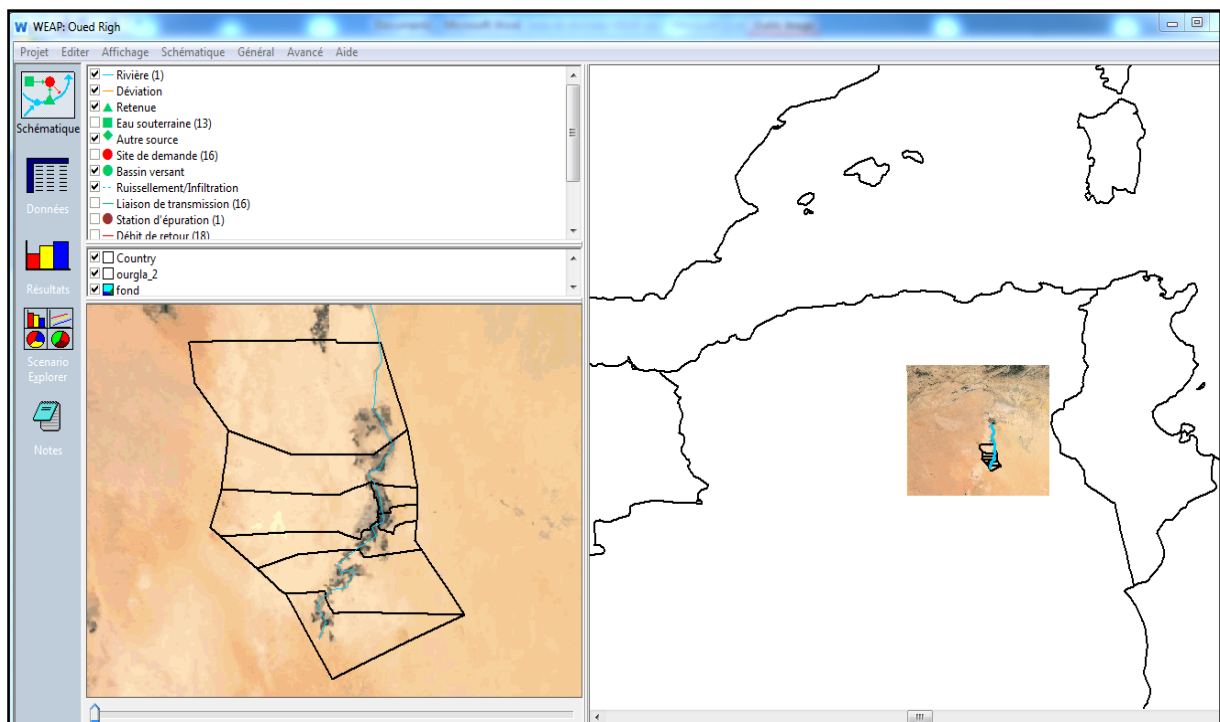


Fig. 90 : Carte de la zone d'étude sous WEAP.

➤ Les données collectées et portées dans WEAP concernent :

Les sites de demandes avec leur emplacement : urbain (communes), les secteurs de demandes.

➤ Les ressources et les lieux de captage (sites de l'offre) : eaux souterraines exploitées (forages, puits), données hydrogéologiques.

### III.3. Analyse et traitement des données

Le modèle WEAP étant un outil informatique permettant de planifier la gestion intégrée des besoins en eau, la connaissance d'un certain nombre de paramètres est indispensable

- La réserve et la ressource en eau,
- Les sites de l'offre ou captages,
- Les sites de demande.

Des données collectives ont été collectées au niveau des institutions travaillant dans le secteur de l'eau et de l'assainissement, ainsi qu'auprès des organismes régionaux. Les sites de demande et les sites de l'offre sont numérisés (eaux souterraines exploitées : forages, puits). Les données relatives à chaque utilisateur sont répertoriées

#### III.3.1. Sites de demandes

➤ Les sites de demandes avec leur emplacement : urbain (communes), les secteurs de demandes (AEP) , et les surfaces agricoles utilisées irrigation.

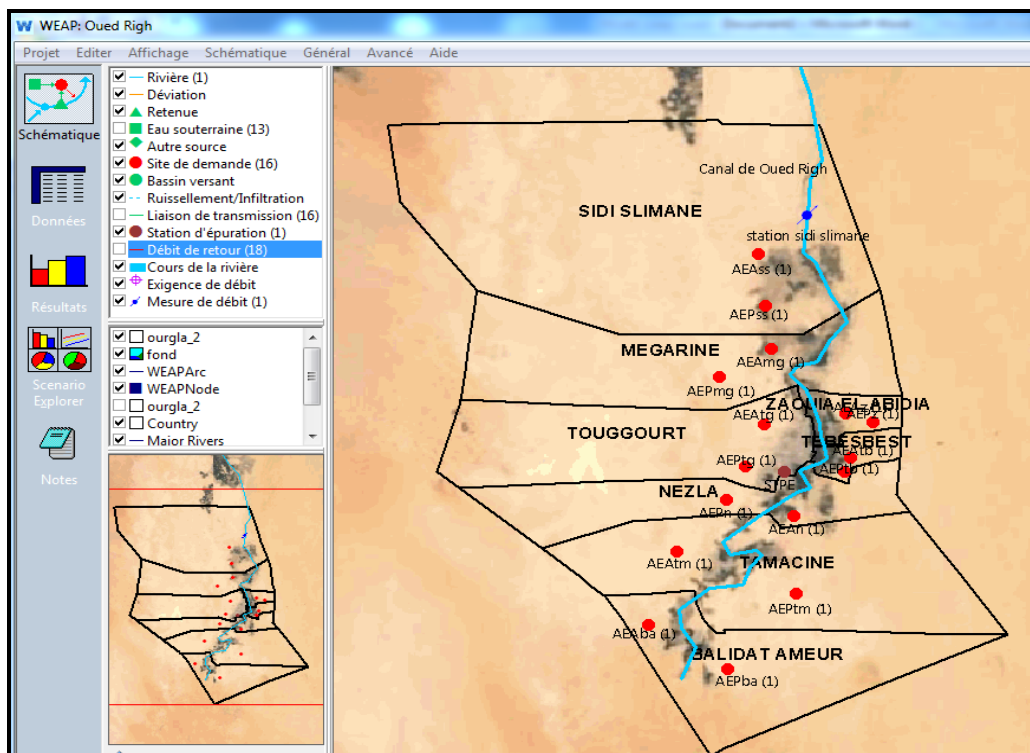


Fig.91: Sites de demandes dans les communes de la vallée de Oued Righ

• Niveau d'activité annuelle

Il détermine la demande tel que le nombre d'usagers de l'eau pour l'AEP et l'AEA (niveau de consommation d'eau par unité d'activités). La demande annuelle représente la quantité d'eau exigée par chaque demande. La consommation d'eau est calculée en multipliant le niveau de l'activité annuelle par un taux d'usage. Les niveaux de l'activité sont utilisés dans l'analyse de la demande en eau de WEAP comme une mesure d'activité sociale et économique.

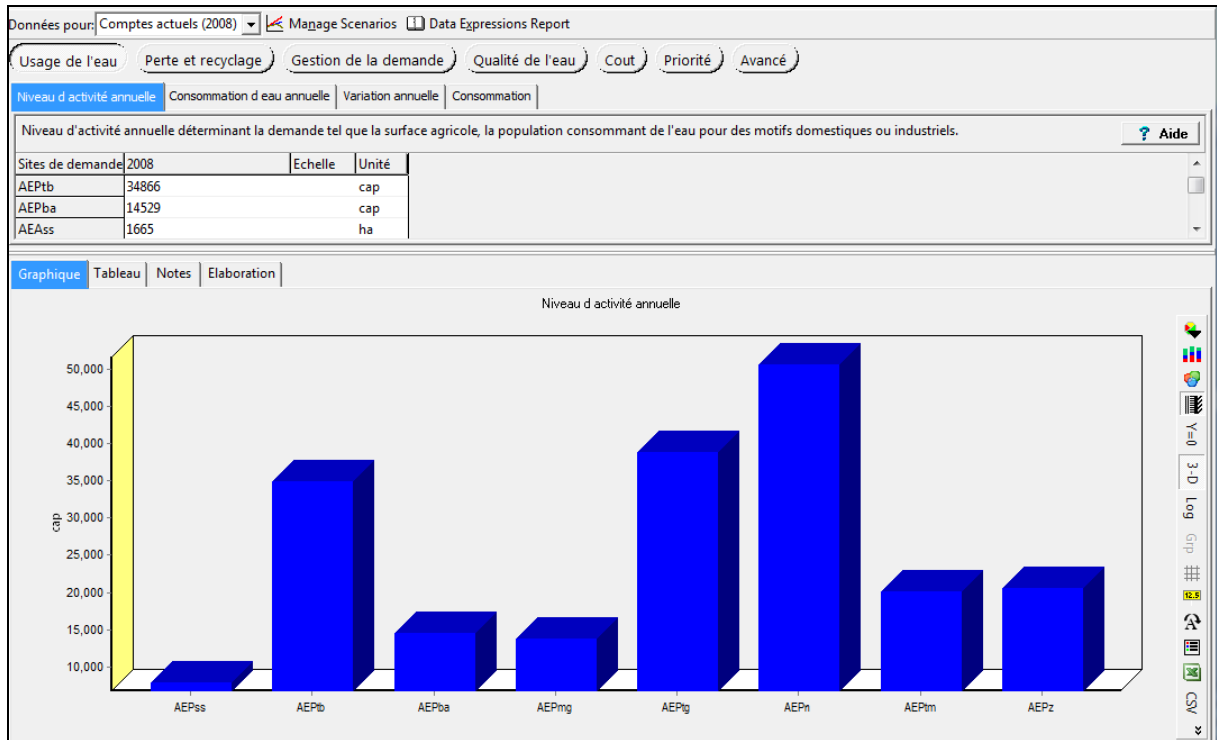


Fig. 92 : Niveau d'activité annuelle des sites de demandes domestiques.

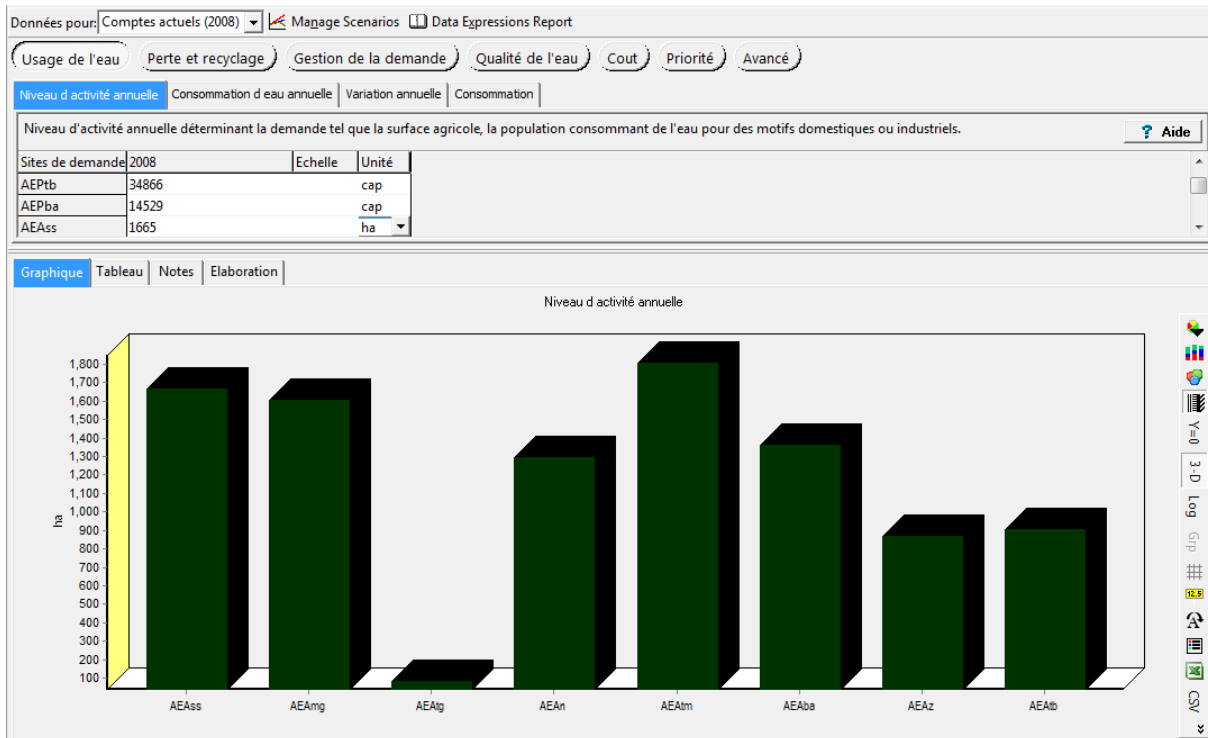


Fig. 93 : Niveau d'activité annuelle des sites de demandes Agricoles

• Consommation annuelle

C'est la consommation d'eau annuelle moyenne par unité d'activité. WEAP affiche le dénominateur accentué pour signifier que c'est un taux par unité et non le montant total d'eau à utiliser.

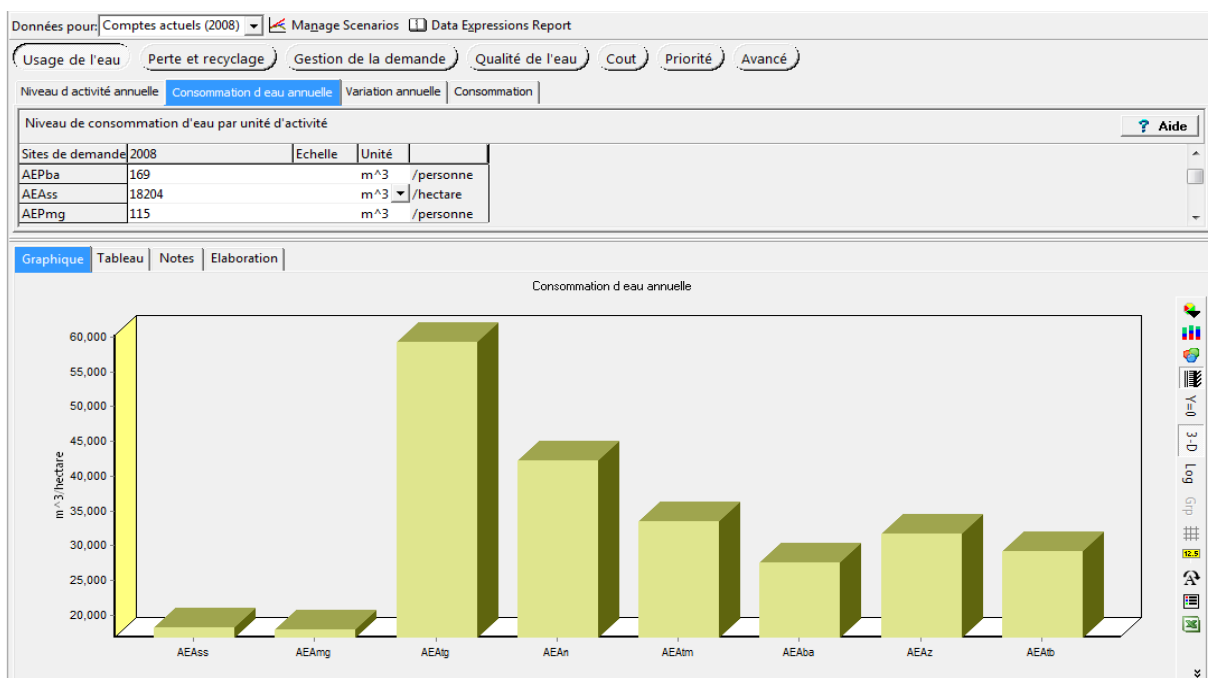


Fig. 94: Consommation annuelle des sites de demandes domestiques-Compte d'état actuel, 2008-

III.3.2. Sites de l'offre et règles de liaison

- Ressources et lieux de captage (sites de l'offre) : barrages de dérivation, eaux souterraines exploitées (forages), données hydrologiques, autres ressources.
- Débit maximal annuel en volume (Figure 95).

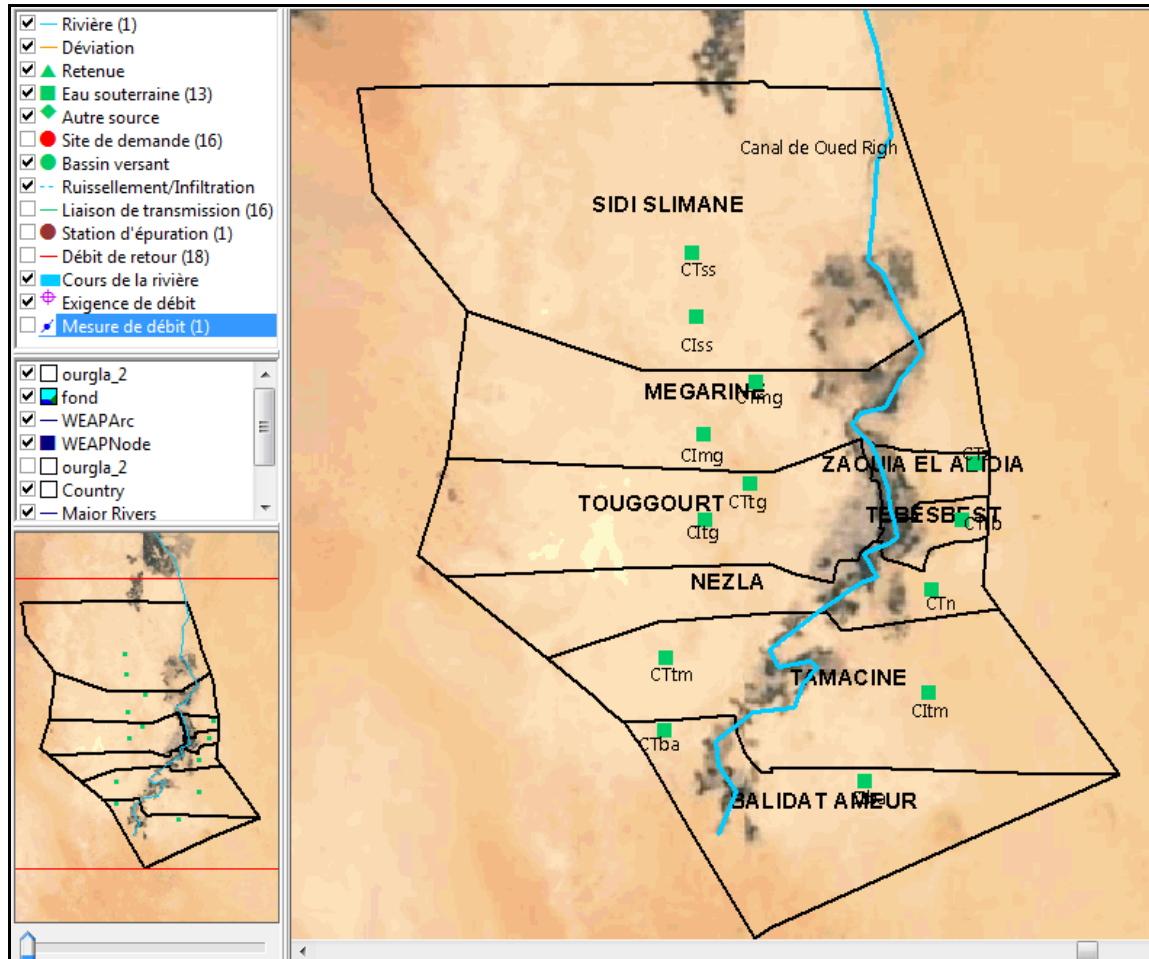


Fig. 95: Sites de l'offre (forage du CT et CI) dans la vallée de Oued Righ.

- Capacité de stockage qui indiquant la capacité maximale théorique de l'aquifère.
- Quantité maximale ou prélèvement maximal pouvant être prélevé de l'aquifère à partir des forages (capacité de pompage annuelle).

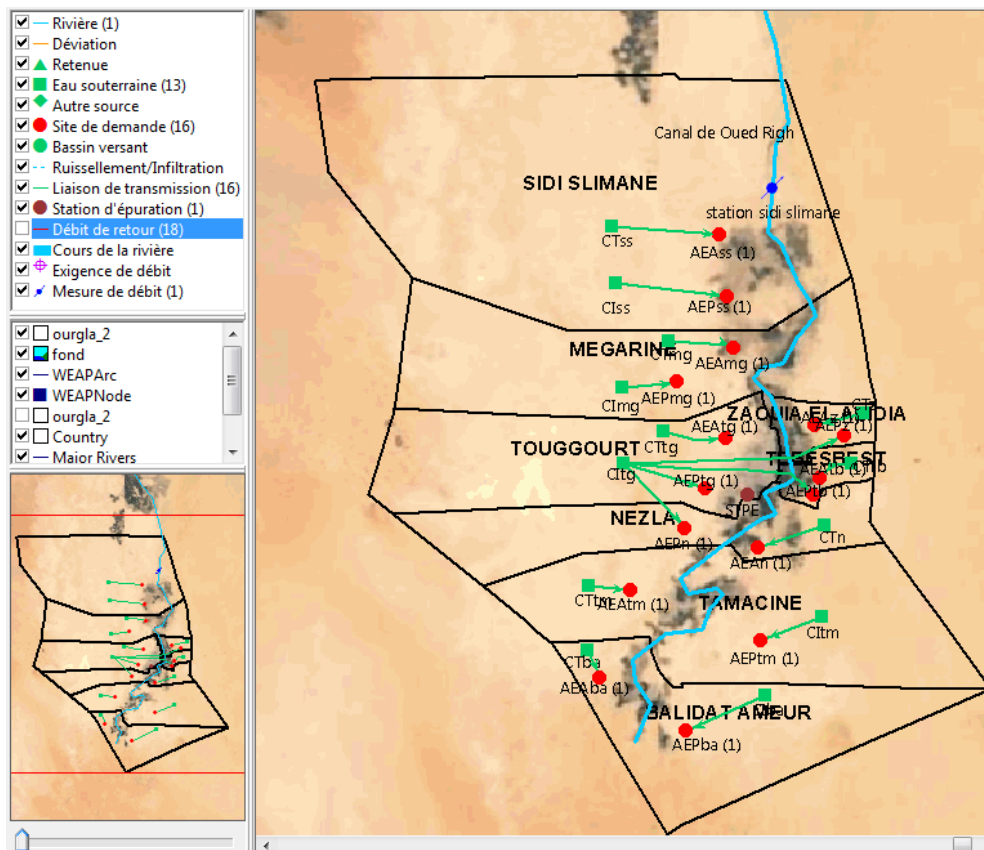


Fig. 96: Liaisons entre sites de demande et sites de l'offre dans la vallée de Oued Righ.

### III.4. Création des hypothèses clés

Dans WEAP, l'effort typique de modélisation des scénarios consiste en trois étapes.

- En premier lieu, une année est choisie pour servir comme année de base pour le modèle «Comptes Actuels» ; Les comptes Actuels sont définis par les données introduites lors des modules précédents.
- Un scénario de référence « Référence » est établi à partir des Comptes actuels pour simuler la même évolution du système sans intervention.
- Finalement, des scénarios « Quoi si » peuvent être créés pour changer le scénario « Référence » et évaluer les effets des changements des politiques et/ou des technologies.

Il faut noter que WEAP possède une fonction qui permet de calculer automatiquement l'accroissement de la population. Le logiciel modélise automatiquement les besoins en eau futurs en fonction des utilisateurs.

#### III.4.1. Changement d'horizon de temps du secteur

Le compte courant est créé depuis la zone d'étude. On change juste l'année de la fin des scénarios. En choisissant comme compte courant (2008) et année de fin des scénarii (2050).

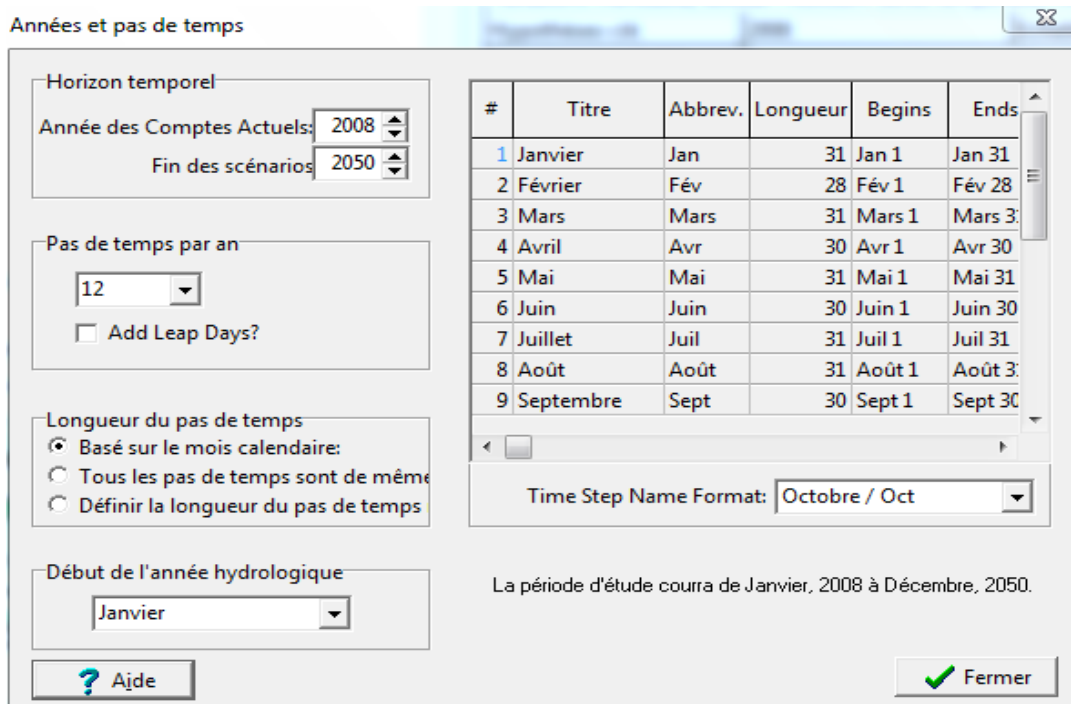


Fig.97. Horizon de calcul pour le scénario.

### III.5. Création des scénarios

Nombreuses variantes peuvent être créées et simulées par l'introduction des modifications sur la variante de « Référence » pour évaluer les effets dus aux changements des règles et technologies de gestion.

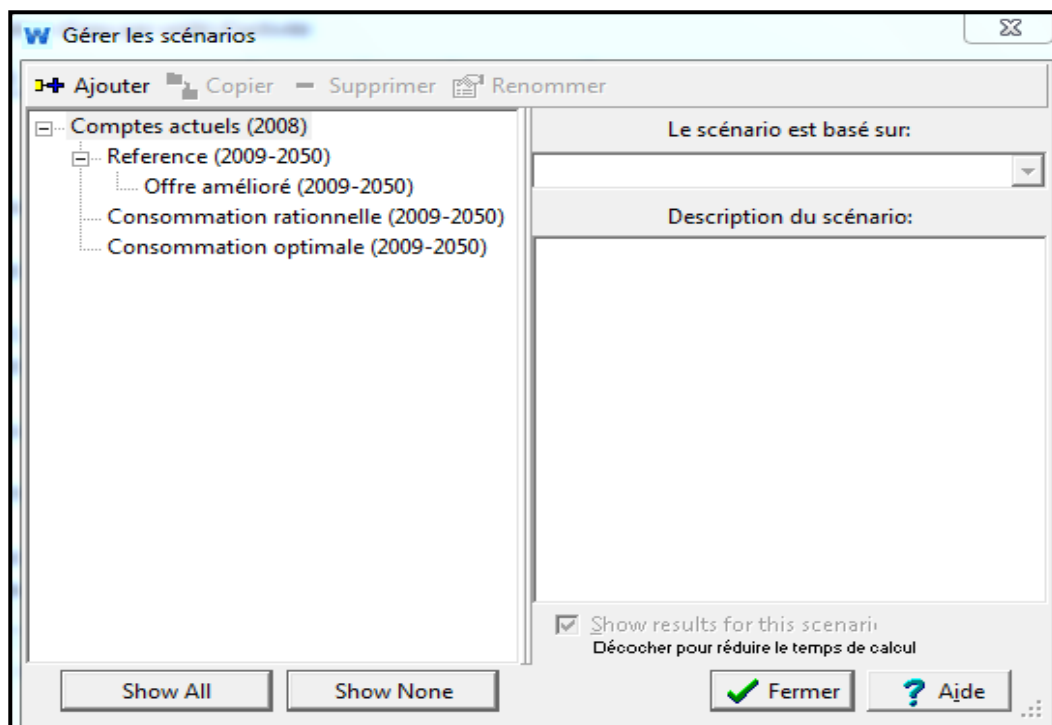


Fig.98 : Scénario de base.



### III.5.1. Exécuter des Scénarios

L'évaluation de l'impact des principaux facteurs, en vue d'une approche intégrée du développement de l'approvisionnement en eau dans le contexte de la demande en eau, de sa qualité et de la préservation des écosystèmes, est entrevue à travers la création de scénarios ou variantes dans le modèle WEAP. Ces scénarios sont élaborés par l'introduction d'expressions mathématiques sous formes d'hypothèses clés traduisant les différents cas de figures à examiner.

Rappelons que l'année « Compte actuel ou initial » sert d'année de base pour le programme. La variante de « Référence » représente une évolution simulée sans aucune influence à partir de l'année « Comptes actuels ».

#### III.5.1.1. Scénario de référence

Le scénario de référence est établi à partir du compte actuel, dans lequel toutes les données de base sont introduites, pour simuler la même évolution du système sans intervention (SEI,2008) Pour notre étude, le scénario de référence couvre la période 2008 – 2050 et traduit une projection des tendances courantes sans changements majeurs ; il sert comme point de comparaison pour les autres Scénarios dans lesquels des changements de données du système peuvent être réalisés (Tableau 45). Les dotations journalières introduites dans le logiciel pour ce Scénario sont celles utilisées par les institutions officielles des services hydrauliques et agricoles de la wilaya de Touggourt ; on constate que ces dotations journalières sont très élevées, et qu'elles dépassent de loin toutes les normes reconnues ; cela est peut être dû aux pertes dans les réseaux et au gaspillage.

#### III.5.1.2. Scenario 1 : Offre améliorée

Pour avoir un aperçu sur le futur, on a créé un nouveau scénario de même durée que le scénario de référence. Ce scénario sert à estimer les rejets d'eau (domestique et agricole). Pour que la demande soit satisfaite, il faut une évolution continue de l'offre, ce qui suppose la mise en place de forages captant la nappe du continental intercalaire pour l'AEP avec un débit de 100 l/s pour chaque forage proposé ainsi que des forages captant la nappe du complexe terminal pour l'irrigation avec un débit de l'ordre de 20 l/s. Cette proposition a conduit à une satisfaction stable de la demande en eau. L'évolution de la demande en fonction de l'offre est étroitement liée avec une évolution des débits de retour provenant des rejets des eaux usées domestiques et industriels et des eaux de drainage d'origine agricole.

### III.5.1.3. Scenario 2 : Consommation rationnelle

Ce scénario est hérité du compte courant ; il garde les mêmes entrées concernant les utilisateurs et l'offre mais avec une diminution de la dotation journalière ; on a appliqué les normes de consommation spécifique en Algérie. Pour l'alimentation en eau potable, la dotation nationale en Algérie est de l'ordre de 150 l/hab./j. Selon Toutain,G (1980) dans la région d'Oued Righ, les besoins en eau des palmiers dattiers sont de 28000 m<sup>3</sup>/ha/an. L'objectif de ce scénario est de minimiser les rejets dans le canal par l'abaissement de la consommation et d'augmenter la satisfaction de la demande.

### III.5.1.4.Scenario 3 : Consommation optimale

Dans un double objectif de limitation des rejets dans le canal de Oued Righ et d'une utilisation optimale de l'eau, ce scénario permet d'étudier l'impact sur la demande d'une politique de mise en place de nouvelles techniques d'irrigation et de réduction de la consommation en eau potable. Pour cela, on a considéré une dotation de 120 l/hab./j en matière d'alimentation en eau potable. Selon PEYRON, G (2000) dans les régions arides, une installation de goutte à goutte a permis de réduire de moitié la quantité d'eau nécessaire soit 14000 m<sup>3</sup>/ha/an.

## III.6. Débits de retour

Les eaux utilisées d'un site de demande sont envoyées à des destinations diverses, telles qu'une station d'épuration ou le milieu récepteur (canal), tout en nécessitant des emplacements réutilisant directement (Figure 99). Dans la région d'étude, il n'existe qu'une seule station d'épuration qui traite les rejets des eaux usées de la commune de Touggourt,

$$Q_{\text{retour}} = Q_{\text{sd}} - C_{\text{sd}} - Q_{\text{step}}$$

$Q_{\text{retour}}$  : Débit de retour d'un site de demande.

$Q_{\text{sd}}$  : Débit entrant dans un site de demande.

$C_{\text{sd}}$  : La quantité consommé de chaque site de demande selon l'utilisation (AEP ou AEA).

$Q_{\text{step}}$  : Débit entrant dans les stations d'épuration.

Les valeurs du  $C_{\text{sd}}$  introduites dans le modèle WEAP sont des pourcentages de la consommation des sites de demande. L'absence de données concernant les pertes sur les liaisons de retour, ainsi que l'infiltration vers la nappe phréatique, font que ces facteurs sont inclus en pourcentage de consommation dans chaque usage.

Tab 45 : Données de base des sites de demande pour le compte courant et les scénarios

Sites de demande	Utilisateurs	liaisons	Dotation m <sup>3</sup> /an			
			L/s	Scenario référence et Scenario1	Scénario2	Scénario3
Agglomération (Habitants)	Sidi Slimane	7851	80	321	54.75	43.8
	Megarine	13661	50	115	54.75	43.8
	Touggourt	38877	90	73	54.75	43.8
	Zaouia abidia	20526	20	31	54.75	43.8
	Tebesbest	34866	30	27	54.75	43.8
	Nezla	50595	680	424	54.75	43.8
	Temacine	20011	250	394	54.75	43.8
	Blidet Amor	14529	78	169	54.75	43.8
Surfaces agricoles irriguées (Hectares)	Sidi Slimane	1665	961.1	18204	28000	14000
	Megarine	1605	909.2	17865	28000	14000
	Touggourt	83	156	59272	28000	14000
	Zaouia abidia	867	870	31645	28000	14000
	Tebesbest	904	834	29094	28000	14000
	Nezla	1295	1732.3	42185	28000	14000
	Temacine	1805	1912.5	33414	28000	14000
	Blidet Amor	1360	1189.35	27579	28000	14000

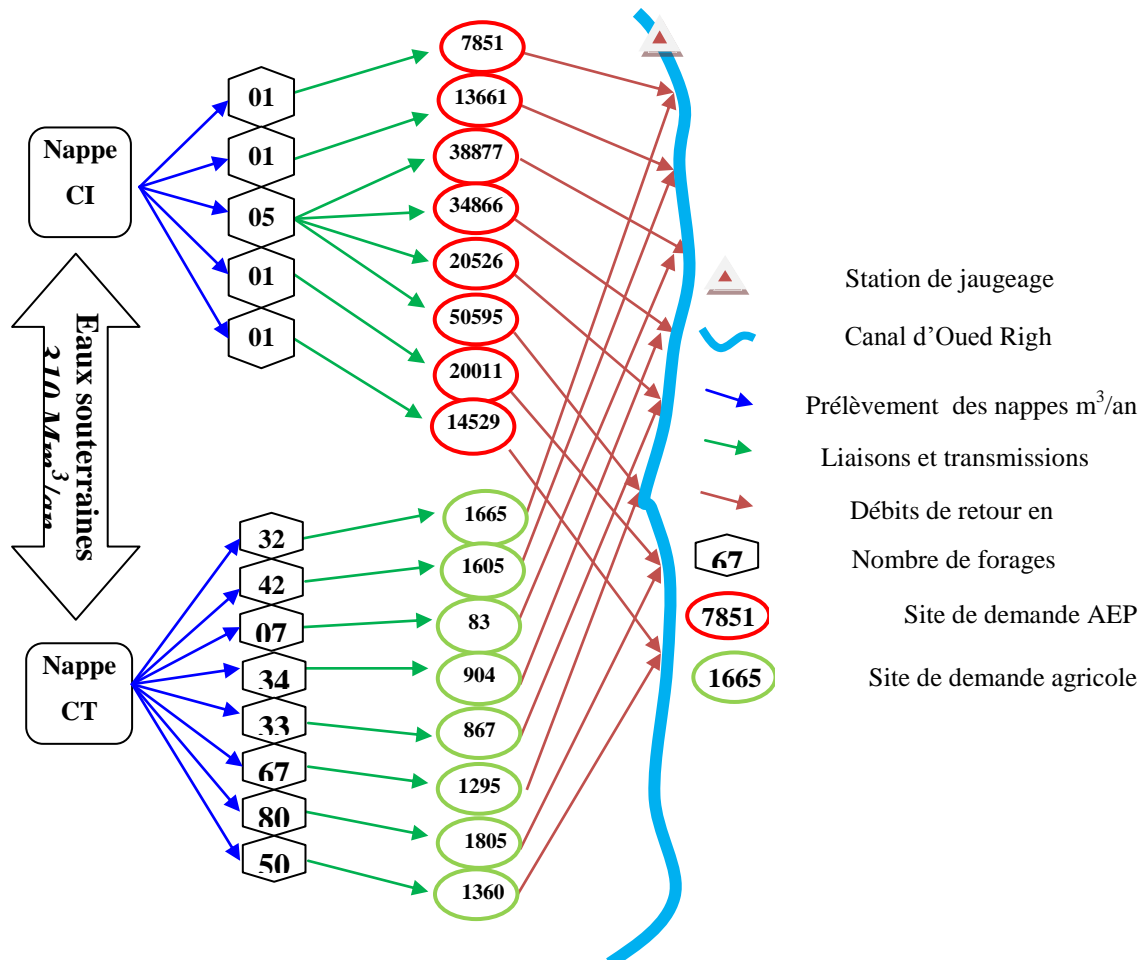


Fig.99 : Schéma explicatif du système hydraulique de la région d'étude

Pour trouver le pourcentage le plus proche des valeurs réelles de la consommation de chaque usage, on s'est basé sur la programmation linéaire sous Excel. La méthode permet d'atteindre une valeur cible déterminée. Les calculs effectués habituellement avec Excel utilisent des valeurs numériques qui constituent les données d'un problème. A l'aide d'un certain nombre de formules disposées dans les cellules des feuilles de calculs, on détermine alors un ou plusieurs résultats.

Dans notre cas, on connaît les résultats attendus et on se demande quelles devraient être les valeurs de la consommation en (%) pour obtenir une erreur égale à 0% dans la cellule cible ?

On connaît le résultat calculé qui est l'erreur entre la valeur mesurée sur la station de jaugeage du canal 168480 m<sup>3</sup>/j, qui regroupe les rejets de toutes les communes et la somme des rejets des sites de demande agricole et urbain.

La formule pour le calculer est la suivante :

$$\text{Valeur cible(\%)} = (Q_{\text{mesuré}} - \sum Q_{\text{retour calculé}}) / (Q_{\text{mesuré}})$$

Le tableau 2 indique la marche à suivre pour déterminer quelle donnée fournira le résultat attendu.

Tab.46 : Valeur cible

	A	B	C
1	$\sum AEP * \alpha$	$\sum AEA * \beta$	
2		$\sum A1 + B1$	
3		$Q_{st}$	Erreur = $(B3 - B2) / B3$

A1 : Somme de la demande en eau potable pour toutes les communes multipliée par des valeurs de  $\alpha$  qui varient entre 5 à et 35%.

B1 : Somme de la demande en eau agricole pour toutes les communes multipliée par des valeurs de  $\beta$  qui varient entre 60 à et 95%.

B2 : Somme des rejets on fonction des valeurs  $\alpha$  et  $\beta$ .

B3 : Débit mesuré sur la station de jaugeage du canal pour toutes les communes

C3 : Cellule cible pour minimiser l'erreur.

Les résultats obtenus (figure 100) montrent que les valeurs de la consommation pour laquelle l'écart entre débits calculés et débits mesurés sont 86% pour le domaine agricole et 10% pour l'alimentation en eau potable.

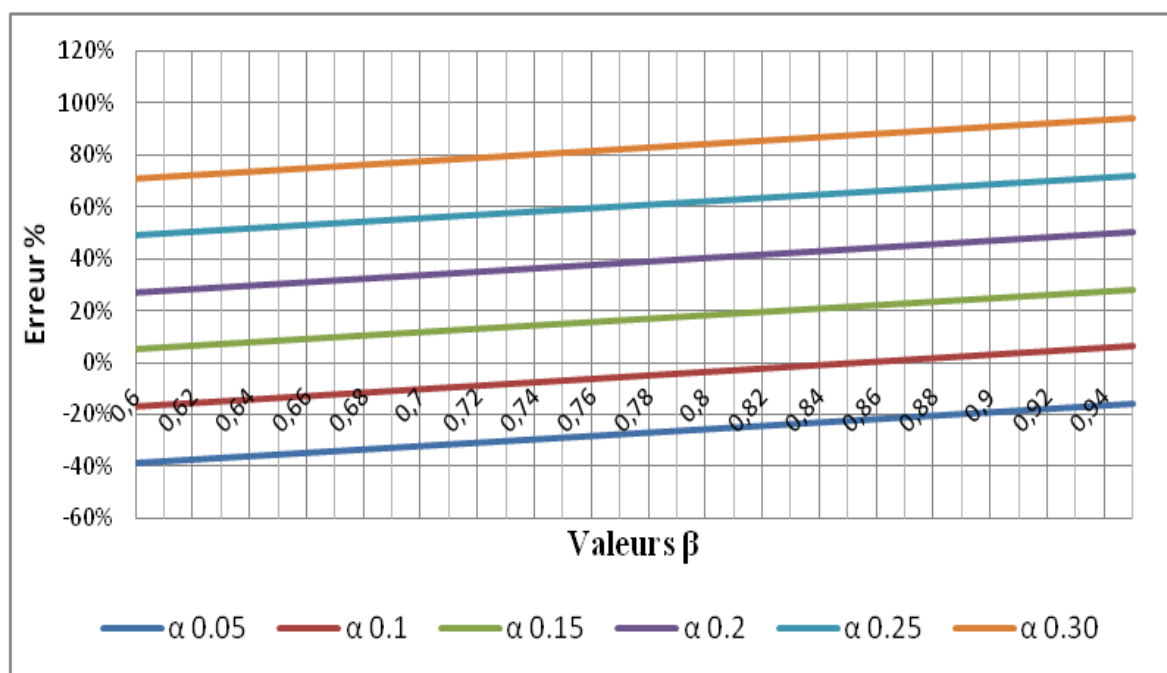


Fig.100 : Valeurs de calage du modèle

#### IV. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Les résultats sont analysés selon trois volets de façon à faire apparaître les différentes facettes de la demande : commentaire des demandes sectorielles simulées par WEAP selon les scénarios choisis, analyse de la demande globale et comparaison entre scénarios.

##### IV.1. Analyse sectorielle

##### IV.1.1. Secteur eau potable

-Demande en eau potable (DE) : Elle intègre les résultats des besoins en eau des agglomérations. Face à la croissance de la population de la vallée de Oued Righ, la demande en eau potable augmente régulièrement entre 2008 et 2050. Le tableau 47 résume l'évolution de la demande en eau et la demande non satisfaite en parallèle avec l'évolution de la population, selon les dotations moyennes proposées pour chaque scénario.

L'évolution de la demande en eau pour le scénario de référence et le scénario offre améliorée augmente en parallèle car les données de base sont les mêmes ; elle augmente de 41,71 millions  $m^3$  en 2010 à 57,34 millions  $m^3$  en 2030, pour atteindre 72,96 millions  $m^3$  en 2050. La demande en eau a diminué de façon considérable dans le scénario Consommation rationnelle, qui est de l'ordre de 9,15 millions  $m^3$  en 2010, 12,62 millions  $m^3$  et 16,07 millions  $m^3$ , Pour le scénario Consommation optimale, la demande en eau continue à diminuer, atteignant 13,40 millions  $m^3$  en 2050. Cette diminution s'explique par les dotations moyennes introduites dans ces deux derniers Scénarios.

-Demande non satisfaite (DNS) : Les résultats de la demande non satisfaite montrent le déficit en eau potable pour tous les Scénarios ; ce déficit est bien visible dans le scénario de référence où la demande est non satisfaite durant toute la période de simulation avec des valeurs importantes de l'ordre de 1,41 millions m<sup>3</sup> en 2010 et 32,52 millions m<sup>3</sup> en 2050. La demande est satisfaite pour le scénario offre améliorée car on a proposé une évolution continue de l'offre.

-Débits de retours : Il existe une seule station d'épuration qui traite les rejets des eaux usées de la commune de Touggourt, mais malheureusement ces eaux traitées ne sont pas exploitées. Les résultats mentionnés dans le tableau 48 montrent une évolution progressive des rejets dans le canal d'Oued Righ. On observe que les valeurs des rejets pour les prochaines décennies sont très élevées et peuvent créer d'énormes problèmes dans la région telle que la remontée de la nappe phréatique et la salinité. Vu l'augmentation de l'offre en parallèle à la demande en eau dans le scénario offre améliorée, les valeurs des rejets sont très élevées dépassant 50 millions m<sup>3</sup> en 2030, pour atteindre 65 millions m<sup>3</sup> en 2050.

**Tab.47 : Evolution de la demande en eau potable (DE) et de la demande non satisfaite (DNS) en Mm<sup>3</sup> pour tous les scénarios**

Scenarios		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Référence	D E	41,71	45,62	49,53	53,43	57,34	61,24	65,15	69,05	72,96
	D N S	1,41	5,52	9,22	13,13	17,04	20,94	24,85	28,76	32,52
Offre améliorée	D E	41,71	45,62	49,53	53,43	57,34	61,24	65,15	69,05	72,96
	D N S	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Consommation rationnelle	D E	9,15	10,02	10,88	11,75	12,61	13,48	14,34	15,21	16,07
	D N S	0,93	1,19	1,45	1,71	1,97	2,23	2,49	2,83	3,25
Consommation optimale	D E	7,36	8,35	9,07	9,79	10,51	11,23	11,95	12,67	13,4
	D N S	0,51	0,72	0,94	1,15	1,37	1,59	1,80	2,02	2,24

**Tab. 48 : Débits de retours des sites de demande en eau potable en Mm<sup>3</sup> pour tous les Scénarios**

Scénarios	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Offre améliorée	37,54	41,06	44,57	48,09	51,60	55,12	58,63	62,15	65,66
Consommation rationnelle	7,40	7,95	8,49	9,04	9,58	10,13	10,67	11,15	11,55
Consommation optimale	6,41	6,86	7,32	7,77	8,23	8,68	9,14	9,59	10,04

#### IV.1.2. Secteur Agricole

-L'étude de l'évolution de la consommation en eau pour l'agriculture vise à chercher une relation entre l'évolution des superficies irriguées et l'évolution des prélèvements d'eau. La demande en eau des palmeraies est très élevée pour les trois premiers Scénarios (référence, offre améliorée et Consommation rationnelle) ; elle varie en moyenne entre 277 millions m<sup>3</sup> en 2010 et 350 millions m<sup>3</sup> en 2030, et dépasse 400 millions m<sup>3</sup> en 2050. Vu leur dotation, le scénario Consommation optimale montre que la demande en eau est très faible par rapport aux scénarii précédents avec des valeurs entre 138,5 millions m<sup>3</sup> en 2010 et 218,30 millions m<sup>3</sup> en 2050.

-En ce qui concerne la demande non satisfaite des palmeraies, les résultats du tableau 49 montrent que la demande est non satisfaite pour le scénario de référence et le scénario Consommation rationnelle ; ce déficit s'élève de 8,22 millions m<sup>3</sup> en 2010 et à 159, 22 millions de m<sup>3</sup> en 2050 pour le scénario de référence ; il est de 38,7 millions m<sup>3</sup> en 2010 et à 171, 36 millions m<sup>3</sup> en 2010 pour le scénario Consommation rationnelle. L'augmentation de l'offre dans le scénario Offre améliorée a satisfait la demande en eau d'irrigation. Pour le scénario Consommation optimale où on a appliqué les normes des nouvelles techniques d'irrigation, le déficit a commencé à partir de l'année 2020, passe par 10 millions m<sup>3</sup> en 2030 et atteint 31 millions m<sup>3</sup> en 2050.

-Les débits de retour dans le domaine agricole ou bien l'excès d'eau d'irrigation des palmeraies vers le canal de Oued Righ sont très importants et engendrent de vrais problèmes telle sur la remontée de la nappe phréatique. Les résultats de simulation obtenus par WEAP présentés dans le tableau 50 montrent que ces rejets sont importants pour le scénario Offre améliorée, de 38,96 millions m<sup>3</sup> en 2010, ils atteignent 47,51 millions m<sup>3</sup> en 2030 et dépasseront 60 millions m<sup>3</sup> en 2050. En ce qui concerne les changements de dotations moyennes en eau d'irrigation, les Scénarios Consommation rationnelle et Consommation optimale ont diminué considérablement les quantités rejetées dans le canal.

**Tab.49 : Evolution de la demande en eau agricole (DE) et de la demande non satisfaite (DNS) en Mm<sup>3</sup> pour tous les scénarios**

Scenarios		2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>Référence</b>	D E	278,3	297,1	316	334,8	353,7	372,51	391,36	410,21	429,06
	D N S	8,22	27,06	45,92	64,77	83,62	102,47	121,31	140,17	159,02
<b>Offre améliorée</b>	D E	278,3	297,1	316	334,8	353,7	372,51	391,36	410,21	429,06
	D N S	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Consommation rationnelle</b>	D E	277,1	297	316,9	336,9	356,8	376,77	396,71	416,66	436,6
	D N S	38,7	51,43	64,74	80,82	98,53	116,38	134,71	153,03	171,36
<b>Consommation optimale</b>	D E	138,5	148,5	158,5	168,4	178,4	188,38	198,36	208,33	218,30
	D N S	0	0	0,97	4,81	10,03	15,24	20,46	25,67	31,11

**Tab.50 : Débits de retours des sites de demande agricole en Mm<sup>3</sup> pour tous les Scénarios**

Scenarios	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
<b>Offre améliorée</b>	38,96	41,60	44,23	46,87	47,51	52,15	54,79	57,43	60,07
<b>Consommation rationnelle</b>	33,37	34,38	35,31	35,85	36,16	36,45	36,68	36,91	37,13
<b>Consommation optimale</b>	19,39	20,79	22,05	22,91	23,57	24,24	24,91	25,57	26,21

## IV.2. Analyse globale

La demande en eau globale pour les différents secteurs dans la vallée de Oued Righ augmente au même rythme de 2010 à 2050 pour tous les scénarios ; cette augmentation est due à l'évolution de la population et des surfaces agricole irriguées. La figure 101 représente les tendances qui se dégagent par scénario. Les résultats obtenus sont, selon le scénario Consommation rationnelle et Offre améliorée, de 300 à 350 M m<sup>3</sup> pour l'an 2010 et de 440 à 500 Mm<sup>3</sup> pour 2050. Pour le scénario Consommation optimale, la simulation par WEAP donne des chiffres allant de 150Mm<sup>3</sup> en 2010 à 250Mm<sup>3</sup> en 2050. La diminution remarquable de la demande en eau pour ce dernier scénario (14000 m<sup>3</sup>/an/ha) provient de la dotation moyenne adaptée pour l'eau potable (120 l/hab./j) et à l'application de nouvelles techniques d'irrigation.

Les résultats de la demande non satisfaite pour les différents sites de demande montrent que le déficit a été observé tout au long de la période de simulation (figure 102) pour le scénario de référence et le scénario Consommation rationnelle. Cette carence est due principalement à la forte demande pour l'eau potable et l'agriculture. Les pénuries sont également dues au fait que les ressources en eaux mobilisées sont limitées et l'offre ne présente pas une amélioration face à l'augmentation de la population et des terres irrigables. La demande non satisfaite pour



le scénario Consommation optimale commence à partir de l'année 2020 avec des valeurs faibles, augmente de 10 Mm<sup>3</sup> en 2030 à 22 Mm<sup>3</sup> en 2040 et atteint 37 Mm<sup>3</sup> en 2050.

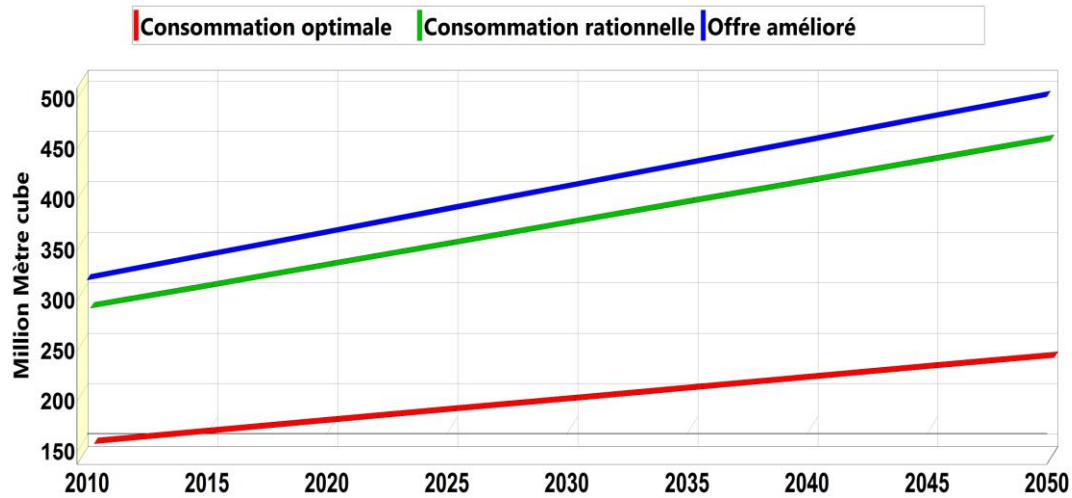


Fig.101 : Evolution de la demande en eau globale des différents Scénarios

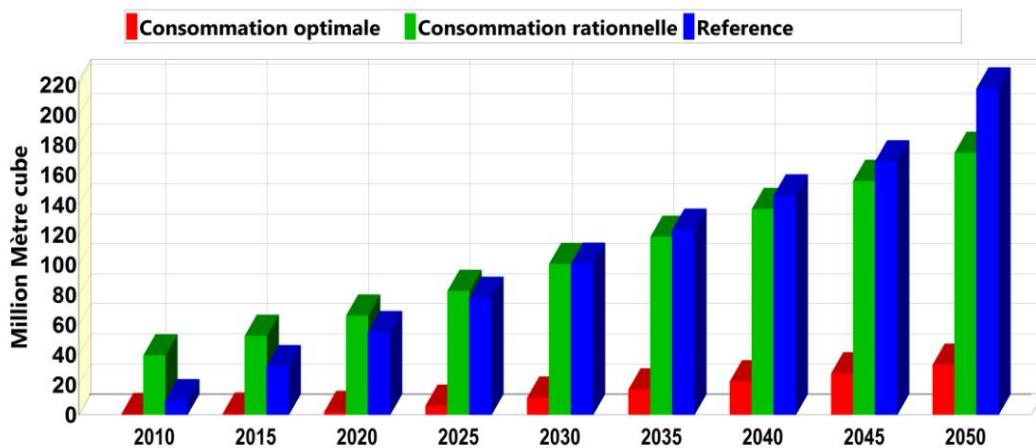


Fig.102: Evolution de la demande en eau non satisfaite globale des différents Scénarios

Les débits de retour augmentent en fonction de l'évolution de la consommation des sites de demande ; pour le scénario1, la figure 103 montre que les rejets dans le canal sont très importants allant de 78 Mm<sup>3</sup> en 2010 à 130 Mm<sup>3</sup> en 2050. Pour le scénario 2 et le scénario 3, on constate une diminution considérable des rejets dans le canal d'Oued Righ avec des valeurs minimales de l'ordre de 26 Mm<sup>3</sup> en 2010 et 38 Mm<sup>3</sup> en 2050 et cela pour le scénario Consommation optimale.

### IV.3. Comparaison entre scénarios

Les résultats obtenus montrent que le scénario de référence est un scénario passif, car aucune action n'a été prise permettant de faire face à l'augmentation de la population et des terres irrigables. Les hypothèses proposées pour le scénario offre améliorée ont satisfait la demande par l'augmentation de l'offre, mais présentent une évolution considérable de la demande en eau ce qui traduit par des rejets importants dans le canal d'Oued Righ. Ces deux scénarios ne répondent donc pas aux problèmes de la remontée de la nappe phréatique et à une meilleure gestion des ressources en eau. Par contre, les scénarios Consommation rationnelle et Consommation optimale ont montré des résultats satisfaisants concernant la satisfaction de la demande et la diminution des rejets des eaux usées et d'excès d'eau d'irrigation.

En considérant le scénario 3 par rapport au scénario 2, on peut réduire la demande en eau qui est de l'ordre de  $141,5 \text{ Mm}^3$  en 2010 (dont  $1,5 \text{ Mm}^3$  pour l'AEP) et  $222,56 \text{ Mm}^3$  en 2050 (dont  $2,6 \text{ Mm}^3$  pour l'AEP). Ces quantités restent importantes (Figure 104) au vu le nombre des forages qu'il faut creuser (142 forages de la nappe du Mio-pliocène en 2030 et 174 forages en 2050).

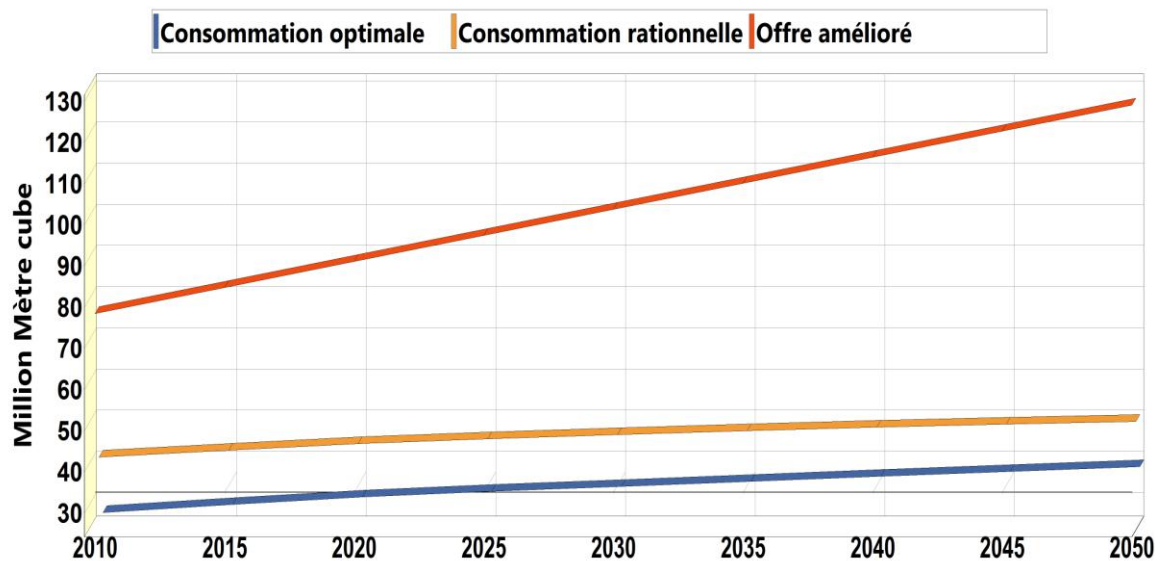
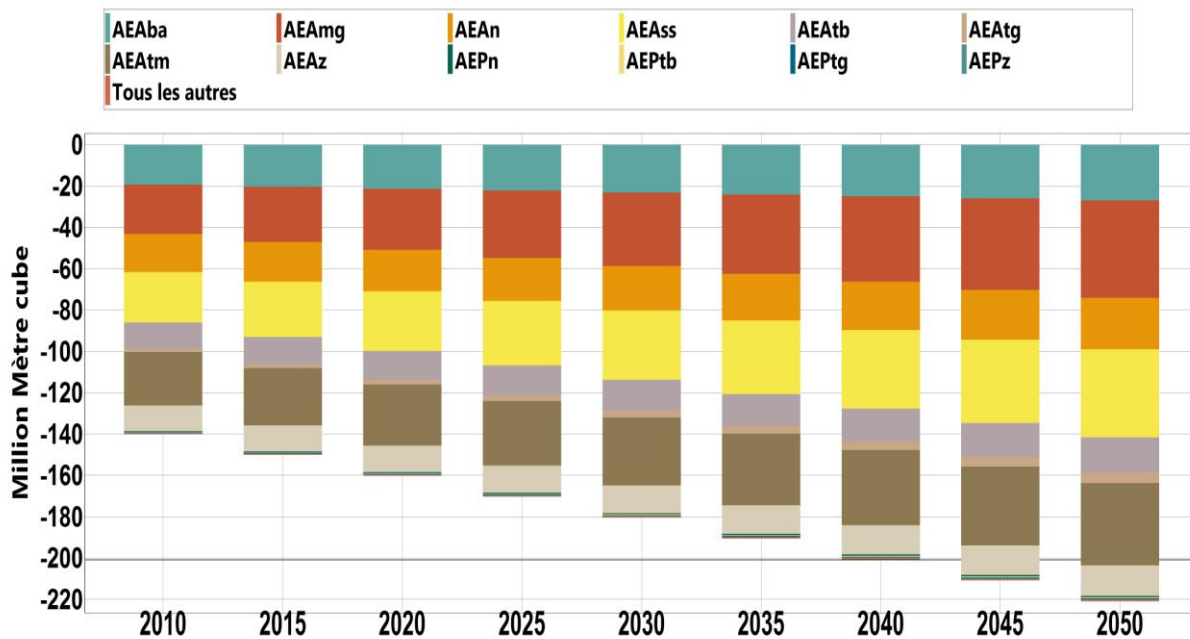


Fig.103 : Evolution des débits de retour globaux des différents Scénarios



**Fig.104 : Ecart la demande en eau entre Scénario Consommation optimale et scénario Consommation rationnelle**

La demande non satisfaite (DNS) en eau potable est importante pour le scénario 2 par rapport au scénario 3 (figure 105) ; l'écart de DNS entre ces deux scénarios est de  $0,6 \text{ Mm}^3$  en 2030 et  $1 \text{ Mm}^3$  en 2050, et ceci pour les communes de Tebesbest, Zaouia labidia et Touggourt à partir de l'année 2045. En ce qui concerne la demande non satisfaite (DNS) en eau agricole, la différence entre les deux scénarios est de l'ordre de  $87 \text{ Mm}^3$  en 2030 et  $140 \text{ Mm}^3$  en 2050. Du point de vue économique, le gain est équivalent à la création de forages captant la nappe de Moi-pliocène par un débit de  $40 \text{ l/s}$  ( $68$  forages en 2030 et  $110$  forages en 2050).

L'un des grands problèmes dans la région de Oued Righ est représenté par les rejets des eaux usées et leur impact sur la population, l'environnement et les nappes souterraines ; le but de ce travail est justement de minimiser en au maximum les rejets dans le canal. L'application du scénario 3 par rapport au scénario 2 permettra de réduire les rejets annuels de  $0,8 \text{ Mm}^3$  en 2010 à  $1 \text{ Mm}^3$  en 2030 et  $1,3 \text{ Mm}^3$  en 2050. La figure 106 montre que le plus grand débit de retour vient de la commune de Nezla où la réduction des rejets par l'application du scénario 3 est de plus de  $600000 \text{ m}^3/\text{an}$ , soit  $1300 \text{ m}^3/\text{j}$  en 2030 et  $610000 \text{ m}^3/\text{an}$ , soit  $1670 \text{ m}^3/\text{j}$ .

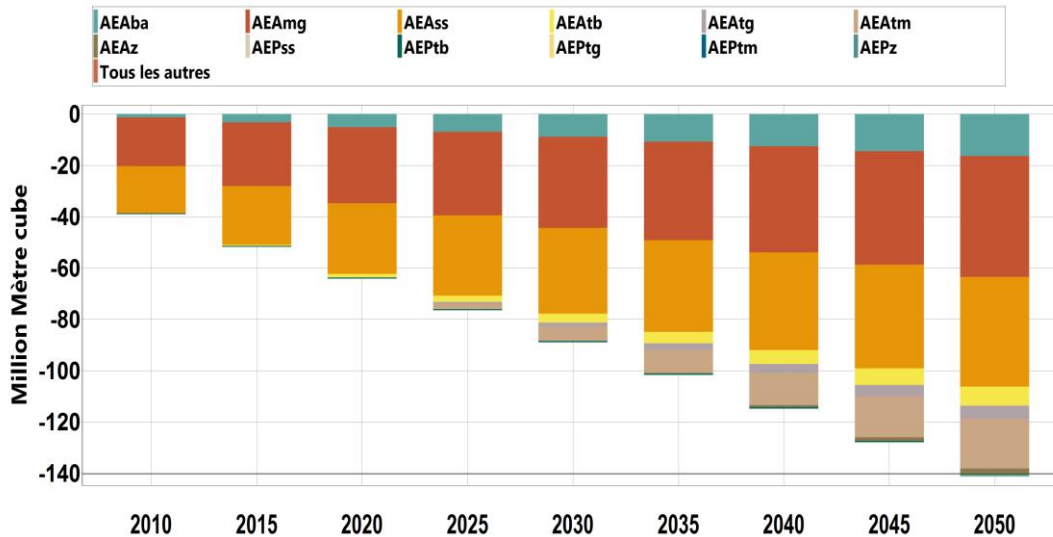


Fig.105 : Ecart entre la demande en eau non satisfaite pour le Scénario Consommation optimale et le scénario Consommation rationnelle.

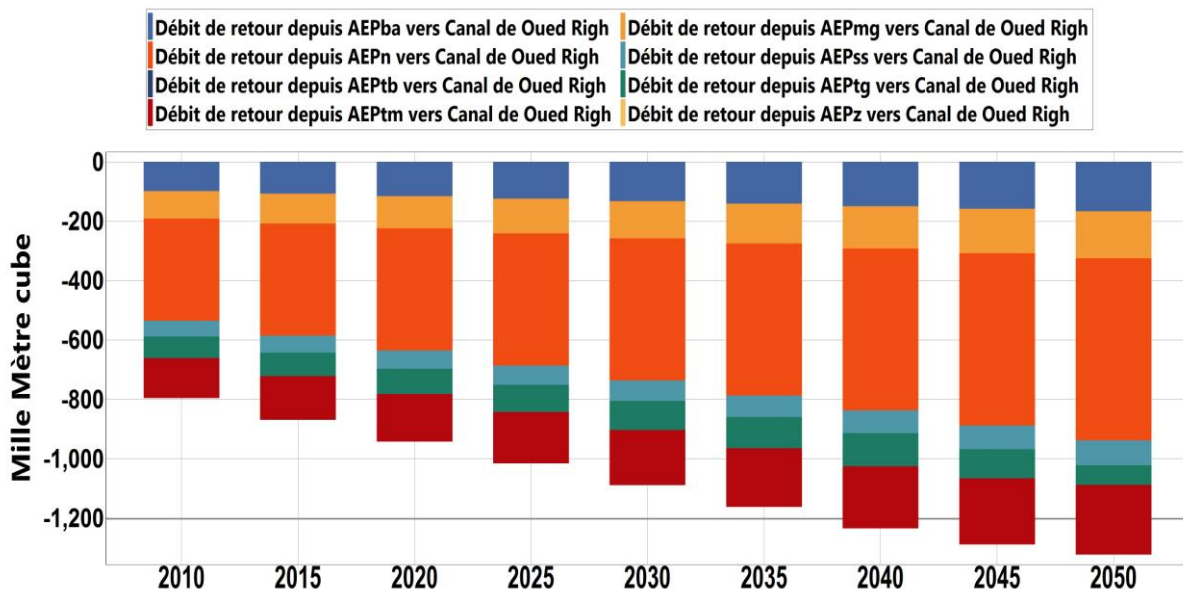


Fig.106: Volume des rejets AEP minimisé par l'application du scénario Consommation optimale par rapport au scénario Consommation rationnelle

### V. Application SIG développé

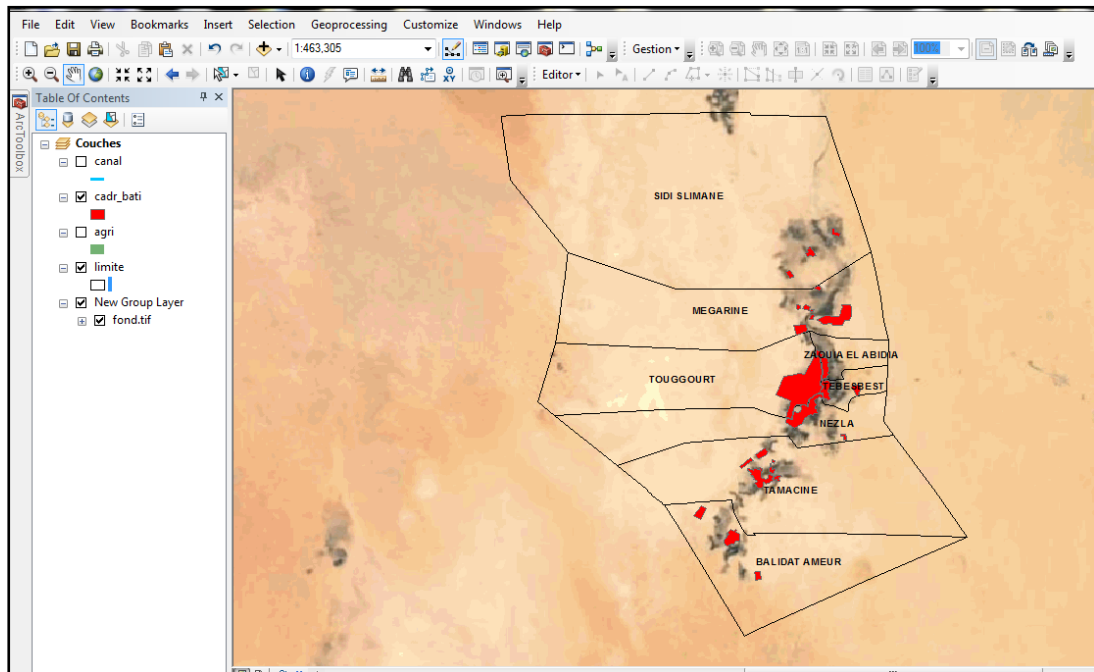
Idéalement, les scientifiques devraient être en mesure de formater, d'explorer, d'analyser et de visualiser les données dans une application simple, rapide et puissante qui intègre parfaitement les données géo référencées à partir d'une variété de sources de données en une visualisation intuitive (R. Vijay 2009).

### V.1. Modélisation par ArcGIS

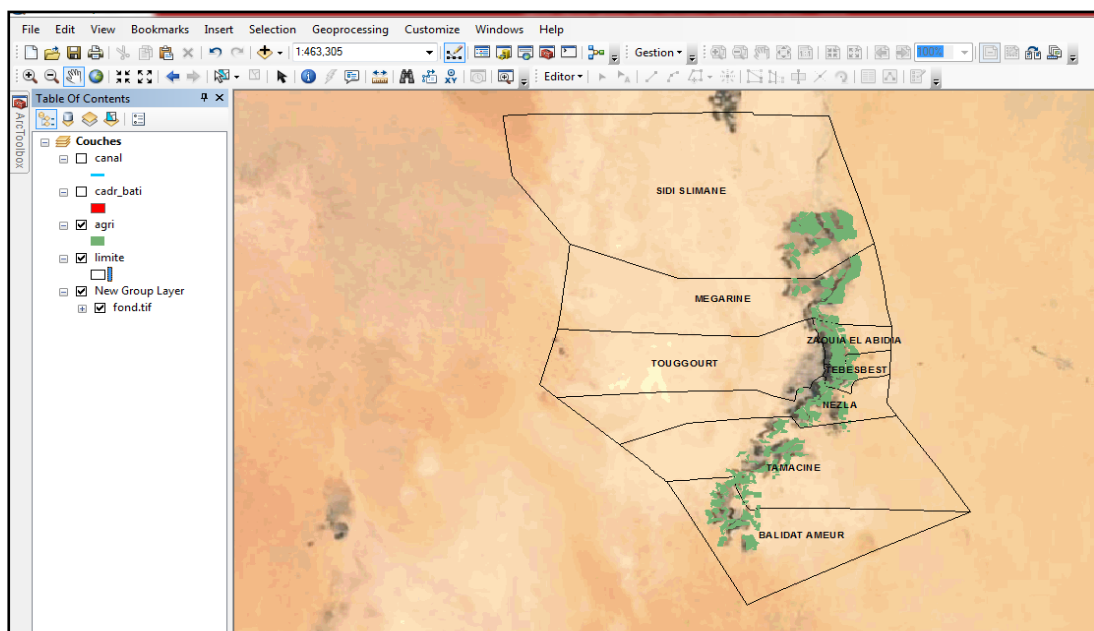
Nous avons utilisé l'image satellitaire de Oued Righ pour la mise en place de la cartographie de l'occupation de sol.

L'image satellitaire permis de bien digitaliser les multiples couches suivantes :

- ✓ Agglomérations.
- ✓ Terres agricoles.
- ✓ Canal de Oued Righ.



**Fig.107 : Agglomérations de la zone d'étude.**



**Fig. 108 : Surface agricole de la zone d'étude.**

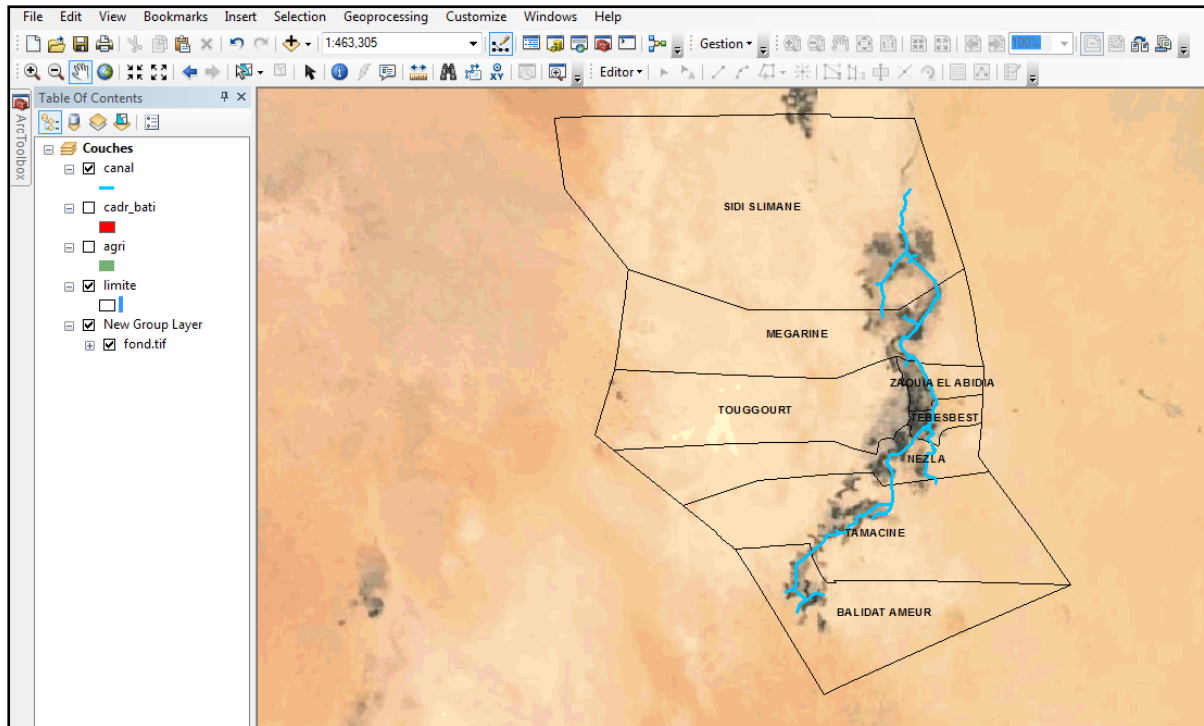


Fig.109 : Canal d'Oued Righ.

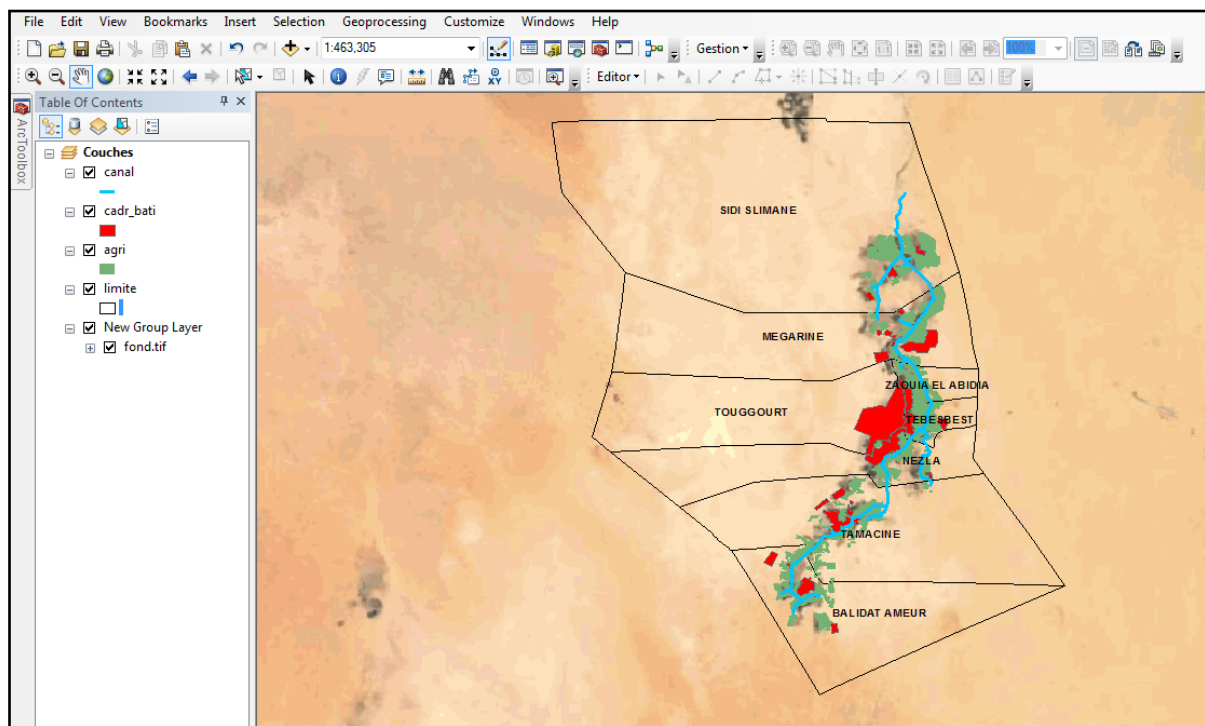


Fig.110 : Carte finale digitalisée de la zone d'étude.

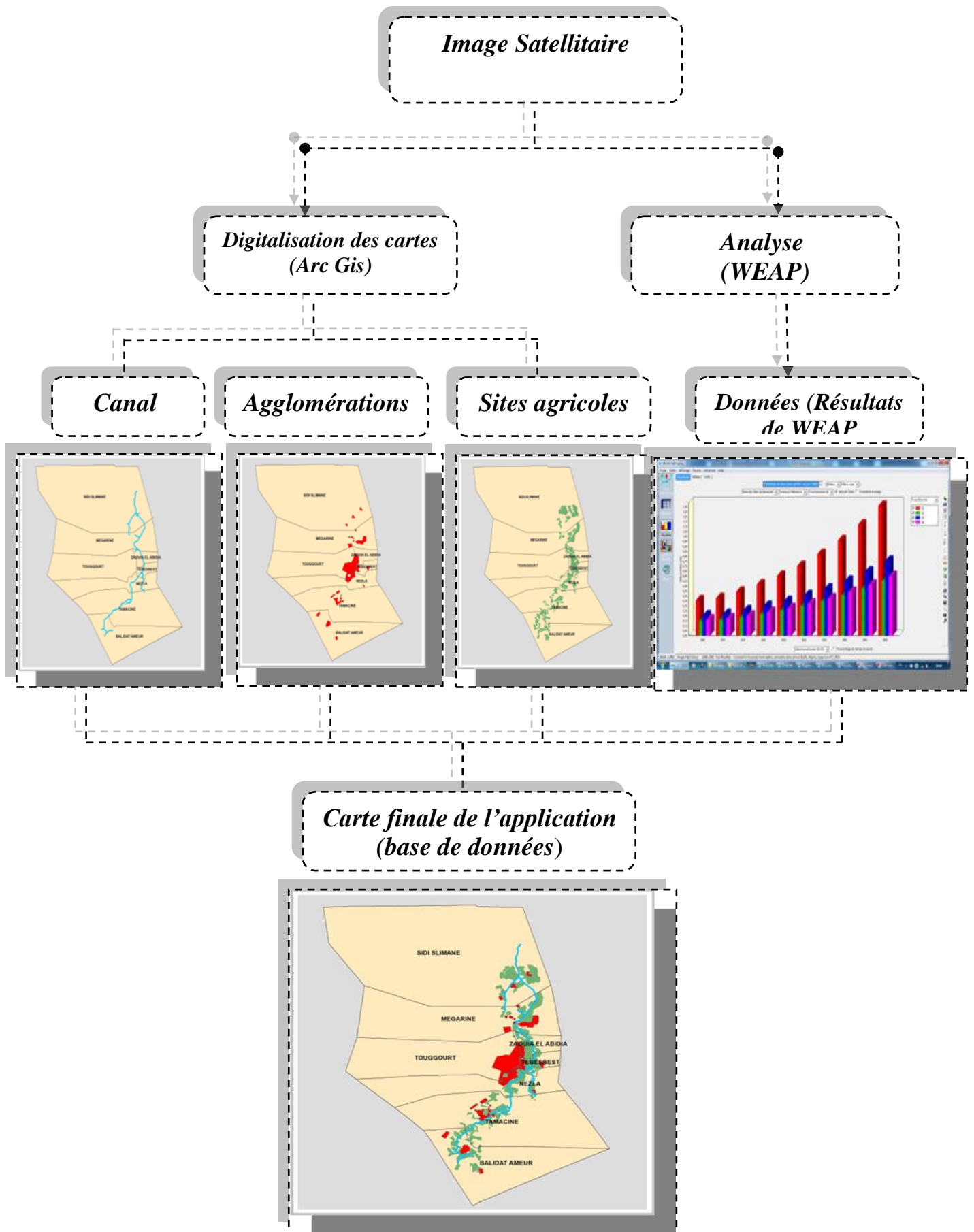


Fig.111 : Organigramme de l'application SIG .

## V.2. Application développée IWRM (Integrated Water Resource Management)

C'est une application conçue sous Visual Studio qui s'intègre dans la base toolbar d'ArcGis en ajoutant un menu personnalisé.

La figure ci-dessous représente le menu " IWRM " ajouté à la barre de menu principal d'Arc Gis

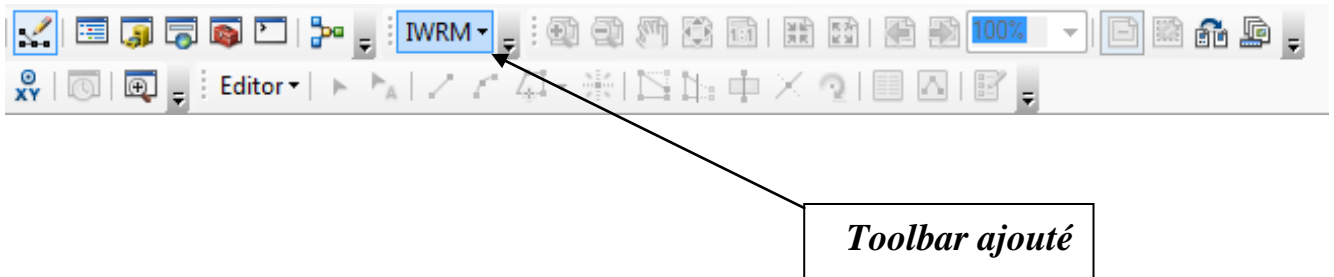


Fig.112 : Menu de l'application " IWRM "

### V.2.2. Langage de programmation utilisé

Le Visual Studio est un langage de programmation idéal pour la personnalisation des applications ArcGis. IL offre un environnement de développement comprenant un éditeur de texte, pour saisir les programmes, un compilateur pour créer une application exécutable, un éditeur de lien pour créer une application complexe en la décomposant en différents modules.

### V.3.Structuration de l'application "I.W.R.M"

Cette application est un menu personnalisé qui contient (04) Boutons et (02) sous-boutons (Figure 112.) :

- Site de demande.
  1. Cadre bâti (Agglomérations).
  2. Sites agricoles.
- Consultation.
- Mise-à-jour.
- Sélection SQL.

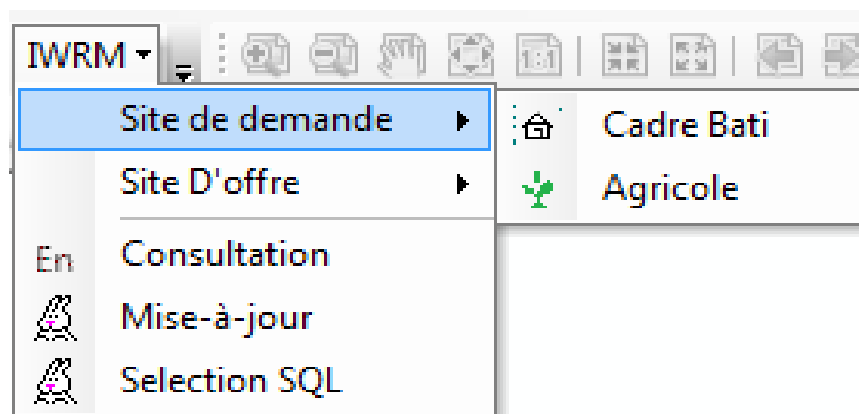


Fig.113 : Bouton de l'application IWRM



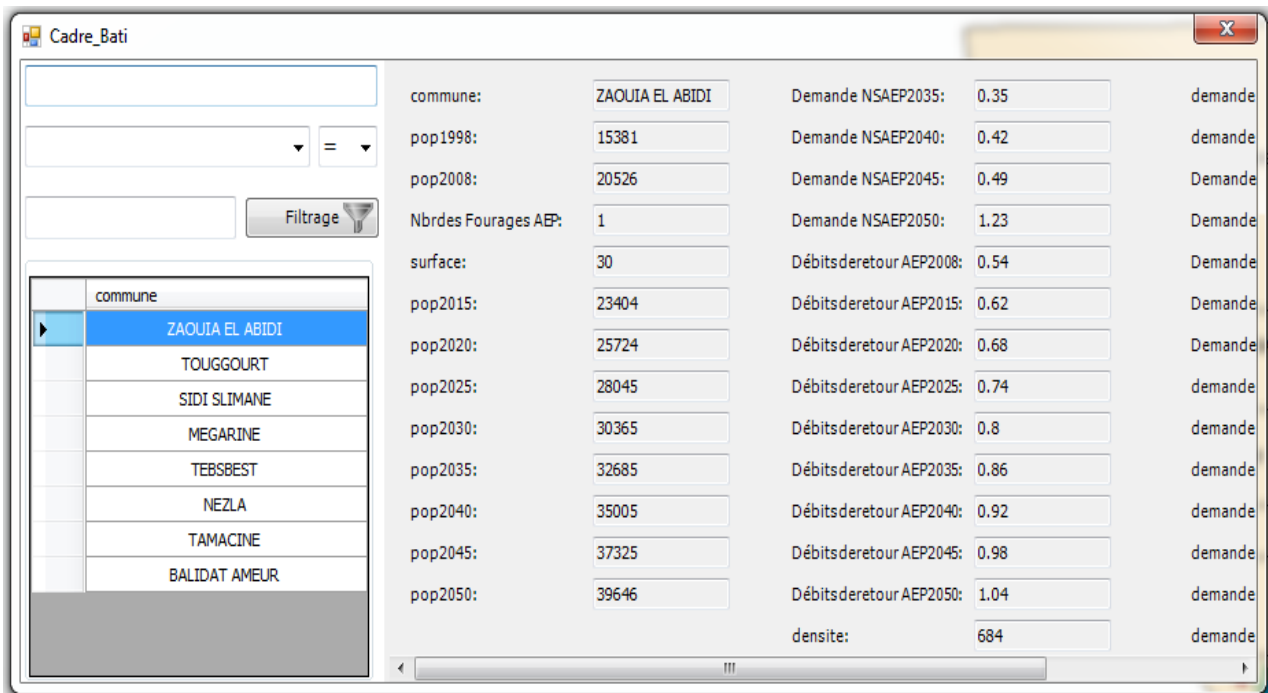
Cette application permet d'accéder facilement à l'information voulue et de visualiser les sites de demande ; ces intervalles peuvent nous aider à prendre des décisions judicieuses. Il est possible aussi d'utiliser les autres fonctionnalités d'ArcGis pour acquérir l'information, l'archiver, l'analyser et l'afficher.

**V.3.1. Site de demande**

**V.3.1.1 Cadre Bâti (Agglomérations)**

C'est un bouton qui représente les données suivantes (Figure 114) :

- ✓ Population.
- ✓ Surface.
- ✓ Evolution de la demande en eau (AEP) de chaque commune.
- ✓ Densité.
- ✓ Evolution de la demande en eau (AEP) non satisfaite.
- ✓ Débits de retour.
- ✓ Nombre des forages.



**Fig.114 : Base de données des agglomérations.**

**V.3.1.2. Sites agricoles**

C'est un bouton qu'elle représente les données suivantes :

- ✓ Nombre des forages.
- ✓ Evolution de la surface agricole utilisée.
- ✓ Evolution de la demande AEA.

- ✓ Evolution de la demande non satisfaite AEA.
- ✓ Débits de retour AEA.

### V.3.3. Consultation

C'est un bouton qui représente les schémas de chaque commune avec ses limites :

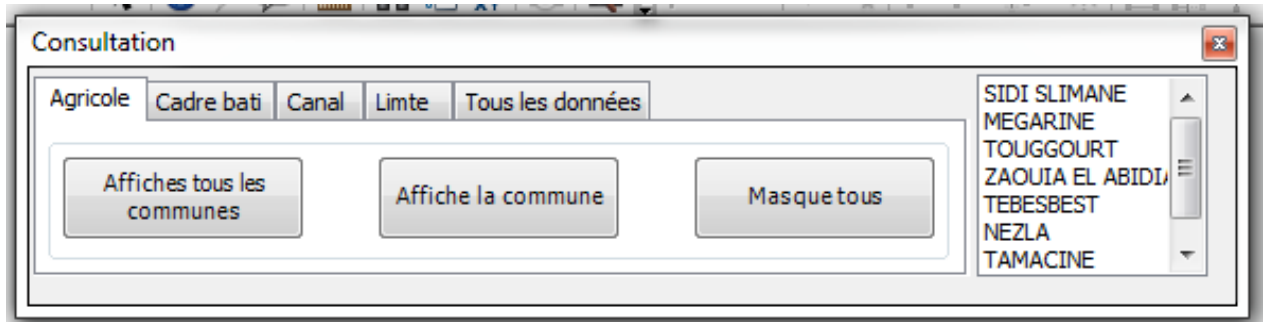


Fig.115 : Bouton Consultation.

### V.3.4 Mise-a-jour

C'est un bouton qui permet d'ajouter ou de modifier les données.

### V.3.5. Sélection SQL

C'est un bouton qui facilite l'affichage de l'expression SQL d'une ou plusieurs communes sur le schéma.

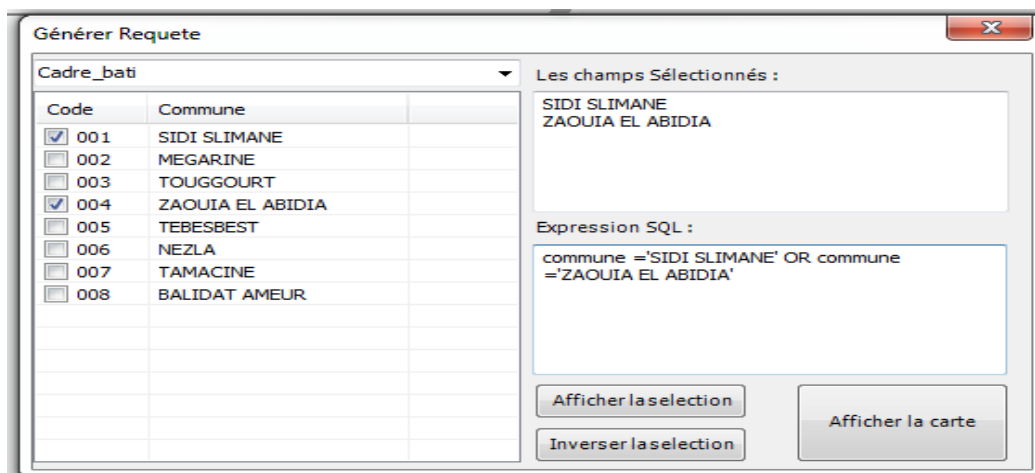


Figure.116. Bouton sélection SQL.

## **VI. Essai de gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued**

Quand la responsabilité de l'eau est prise en charge par plusieurs agences (AEP, irrigation, Assainissement) sans réelle coordination cela entraîne une gestion et une mise en valeur non coordonnées des ressources en eau, ayant pour résultat des conflits, du gaspillage et des systèmes non durables

En Algérie, tout comme dans beaucoup de régions du monde, le développement et la gestion des ressources en eau ont été entravés par la pénurie de celles-ci, les lacunes du cadre des politiques, le manque de connaissances et d'information et l'insuffisance des moyens institutionnels.

Mais l'expérience a montré que lorsque les ressources hydrauliques sont connues et bien identifiées et que les financements sont disponibles, une grande partie des problèmes concernant l'élaboration des projets et l'exécution des ouvrages d'infrastructures pourraient être résolus de façon favorable.

### **VI.1. Structure institutionnelle de la gestion des ressources en eau**

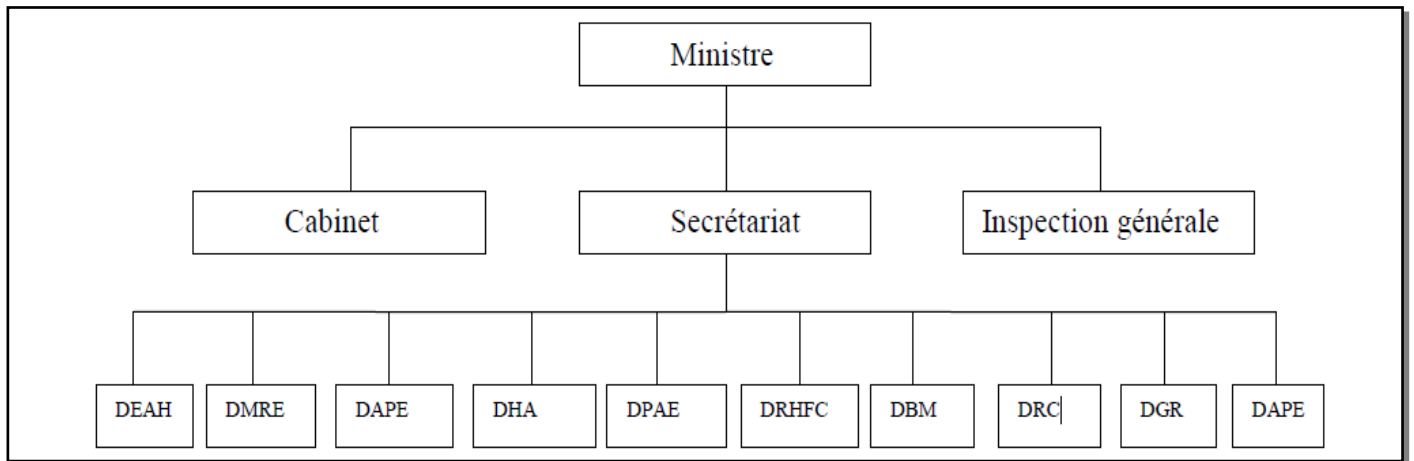
Beaucoup de pays ne disposent pas de politiques nationales en matière d'eau, ce qui constitue un handicap majeur car c'est la politique qui sert de fondement à la législation, à la planification stratégique et à la gestion opérationnelle. L'adoption et la mise à jour continue de politiques nationales en matière d'eau doivent donc constituer des priorités pour chaque pays. Et lorsqu'elles ces politiques existent, elles sont souvent inappropriées car mal élaborées dans plusieurs cas (cas des problèmes liés à la qualité de l'eau)

#### **VI.1. 1. Institutions du secteur public en Algérie**

Les directions les plus impliquées en Algérie dans la gestion de l'eau sont :

➤ Le ministère des ressources en eau et de l'environnement (MRE) :

Dans le cadre de la politique générale du gouvernement et de son programme d'action, le ministère des ressources en eau propose les éléments de la politique nationale dans le domaine des ressources en eau et assure le suivi et le contrôle de leur mise en œuvre conformément aux lois et règlements. Parmi les institutions chargées de l'application de cette politique on cite : la direction des études et des aménagements hydrauliques (DEAH), la direction de la mobilisation des ressources en eau (DMRE), la direction de l'alimentation en eau potable (DAEP), la direction de l'assainissement et de la protection de l'environnement (DAPE), la direction de l'hydraulique agricole (DHA), la direction de la planification et des affaires économiques (DPAE).



Source : [www.mre.org.dz](http://www.mre.org.dz)

**Fig. 117 : Organisation du ministère des ressources en eau en Algérie**

- Au niveau local, dans chacune des 48 wilayas du pays, le MRE dispose d'une direction de l'hydraulique (DHW) qui avec les directions locales des autres départements ministériels constituent l'exécutif de la wilaya.
- Au niveau intermédiaire, le MRE est doté de :
  - ✓ Trois agences (établissement public à caractère administratif) ; l'agence nationale des ressources en eau (ANRH), l'agence nationale des barrages et de transfert (ANB) et l'agence nationale de réalisation et gestion des infrastructures hydrauliques pour l'irrigation et le drainage (AGID).
  - ✓ Deux établissements publics à caractère industriel et commercial dotés de la personnalité morale et de l'autonomie financière : l'algérienne des eaux (ADE) et l'office national de l'assainissement.
    - L'ADE est chargée d'assurer la disponibilité de l'eau à travers tout le territoire national à travers la prise en charge des activités de gestion et des opérations de production, transport, traitement, stockage, adduction, distribution et approvisionnement en eau potable et industrielles. Ainsi que le renouvellement et le développement des infrastructures s'y rapportant.
    - L'ONA est chargée d'assurer la protection de l'environnement hydrique et la mise en œuvre de la politique nationale d'assainissement en concertation avec les collectivités locales et cela à travers tout le territoire national
  - ✓ Cinq agences de bassins hydrographiques (établissement public à caractère industriel et commercial) sous tutelle du MRE, créées dans le cadre de la nouvelle politique de l'eau en 1996. Ces cinq agences sont chargées de la gestion intégrée des ressources en eau.

## **VI.2. Stratégie et vision de gestion des ressources en eau dans la vallée de Oued Righ**

La gestion des ressources en eau doit toujours s'opérer dans un cadre caractérisé par trois objectifs interdépendants : sociaux, économiques et environnementaux devant satisfaire à assurer une vision globale et durable de la ressource en eau doit tenir compte:

- Des potentialités hydriques de la région étudiée
- Des différents partenaires oeuvrant dans le secteur de l'eau.
- Protection de l'environnement.
- Structure socio-économique de la population.

Le principal objectif de cette stratégie, consiste à favoriser une approche intégrée de la gestion des ressources en eau pour atteindre les objectifs de réduction de la consommation de l'eau et par conséquent arriver au développement économique et à la protection de l'environnement. L'approche intégrée prend en compte la demande croissante de l'eau et les diverses utilisations concurrentes des ressources en eau dans la région d'Oued Righ. Les principales composantes de cette approche sont les suivantes :

- Alimentation en eau potable est une priorité et La distribution de l'eau régulièrement et tous Les jours.
- Gestion de l'utilisation de l'eau de façon intégrée et globale dans les domaines de l'agriculture, de l'irrigation, de l'assainissement et de la consommation domestique et industrielle.
- Assurance d'un aménagement intégré des eaux de surface (lacs et canal d'Oued Righ).
- Élaboration et mise en œuvre de l'infrastructure institutionnelle et technique la mieux indiquée pour la gestion de l'eau.

### **VI.2.1.Principales recommandations pour la mise en place d'une stratégie de la gestion de l'eau dans la vallée d'Oued Righ**

Les stratégies à venir et la vision devraient tenir compte des quelques idées proposées ci-dessus :

#### **VI.2.1.1. Stratégie pour l'eau potable**

La demande accrue liée à la croissance démographique rapide pèsera lourdement sur les ressources en eau dans les régions arides et semi arides. Pour atteindre l'objectif de minimiser la demande et de bien gérer la quantité d'eau réservée à l'AEP, un certain nombre de procédures ont été définies :

- ✓ Modernisation des conduites d'adduction et des réseaux de distribution d'eau ainsi que l'instauration de systèmes de détection et de contrôle de fuites.

- ✓ Traitement des eaux destinées à l'AEP par de la nappe du complexe terminal CT car les analyses ont montré que les teneurs des éléments chimiques dépassent les normes OMS et algérienne.
- ✓ Révision de la tarification des eaux : taux progressifs en fonction du volume consommé. Une bonne tarification constitue la clef d'une gestion plus rationnelle des ressources en eau.

En l'absence de mécanismes efficaces de tarification, l'on a tendance à gaspiller l'eau du fait du mauvais entretien des robinets et des canalisations, de l'existence de branchements illicites et de méthodes d'irrigation inefficaces.

Les prix représentent les signaux et les incitations nécessaires à une bonne utilisation de l'eau. Ils incitent également les producteurs à fournir de l'eau à des niveaux optimaux. La protection sociale et l'efficacité de la répartition des ressources sont maximisées lorsque les prix de l'eau sont égaux au coût économique de sa production et distribution. C'est en ce sens que l'on considère l'eau comme un bien économique.

### **VI.2.1.2. Stratégie pour l'eau d'irrigation**

La dose d'irrigation, dépend avant tout de l'évapotranspiration (ETP), dont les valeurs annuelles pour les cultures irriguées sont comprises entre 1200 et 1500 mm.

Les besoins quotidiens varient de manière importante au cours de l'année : 2 à 4 mm en hiver et 8 à 10 en été. L'irrigation doit respecter ces besoins, variables dans le temps et dans l'espace. Les doses d'irrigation nécessaires doivent être calculées par des stations expérimentales régionales pour en informer les agriculteurs. La conception des réseaux doit aussi permettre de contrôler les quantités d'eaux distribuées.

#### **VI.2.1.2.1. Techniques d'irrigation**

La connaissance empirique de l'irrigation est bien souvent prise en défaut chez les agriculteurs. Ils irriguent presque toujours en excès particulièrement durant la saison d'hiver, provoquant ainsi l'hydromorphie et la salinité des sols dans la région d'Oued Righ.

Pour toutes ces raisons, l'irrigation goutte à goutte apparaît comme la meilleure solution ; selon BROCHAR.P (1983), les avantages généraux de l'irrigation localisée, peuvent se résumer comme suit :

-Une économie d'eau très appréciable (entre 30 à 50 %) permettant d'irriguer une plus grande surface avec la même quantité d'eau. Ainsi, une installation au goutte à goutte sur un palmier dattier, utilise un débit de 0.45 l/s/ha, alors que les normes par l'irrigation traditionnelle dans le Bas- Sahara sont de 0.80 l/s/ha.

-Une augmentation sensible des rendements, car les plantes, toujours correctement alimentées, ne subissent à aucun moment de choc végétatif.

-Une réduction des adventices, car le sol reste sec entre les plantes.

En effet, actuellement, il faut en moyenne 350 l/j pour irriguer un palmier, alors que les nouvelles techniques permettraient de ramener cette quantité à 250 l/j.

#### **VI.2.1.2.2. Réutilisation des eaux de drainage**

Les eaux de drainage constituent une ressource non négligeable. Les superficies irriguées sont estimées à 9584 hectares, soit 82.18 % de la superficie agricole utile, tout en mobilisant presque 256 Millions de m<sup>3</sup>/an d'eau d'irrigation. Approximativement, nous pourrions récupérer au moins 10 % de ces eaux d'irrigation qui pourront éventuellement être réutilisées.

#### **VI.2.1.3. Stratégie pour les eaux usées**

Le peu de stations d'épuration existantes (qu'elles soient urbaines et/ou industrielles) dans la région provoque des problèmes d'hygiène et de qualité de l'eau, ce qui cause des maladies et constitue, dans bon nombre de cas, une grave menace pour l'environnement

Le développement agricole, industriel et la croissance démographique ont poussé les autorités à entreprendre des mesures adéquates afin de protéger les sites des rejets des eaux usées d'une pollution certaine à plus ou moins longue échéance. Les éléments suivants sont les procédures, qu'on propose pour l'amélioration du secteur des eaux usées dans la vallée de Oued Righ :

✓ Traitement des eaux usées par la création des stations d'épuration

La création de stations d'épuration autour des principales concentrations urbaines est devenue impérative comme mesure de prévention et de réduction du risque. La présence d'une seule station d'épuration de faible capacité dans la région de Touggourt n'a pas pu résoudre le problème de pollution causée par les rejets des eaux usées. Pour cela, l'office national d'assainissement a proposé la mise en place de trois autres stations d'épuration pour les grandes agglomérations.

Le volume des eaux épurées rejetées deviendra de plus en plus important ; Ces eaux constituent actuellement des ressources non négligeables pour l'irrigation des palmeraies et cette eau de seconde main est toujours disponible indépendamment des saisons.

Le recyclage de ces importantes quantités d'eau en agriculture est une solution judicieuse dans la mesure où la réutilisation de ces eaux traitées débouchera sur deux profits capitaux pour l'agriculture et pour l'environnement.

✓ Traitement par les filtres plantés de roseaux

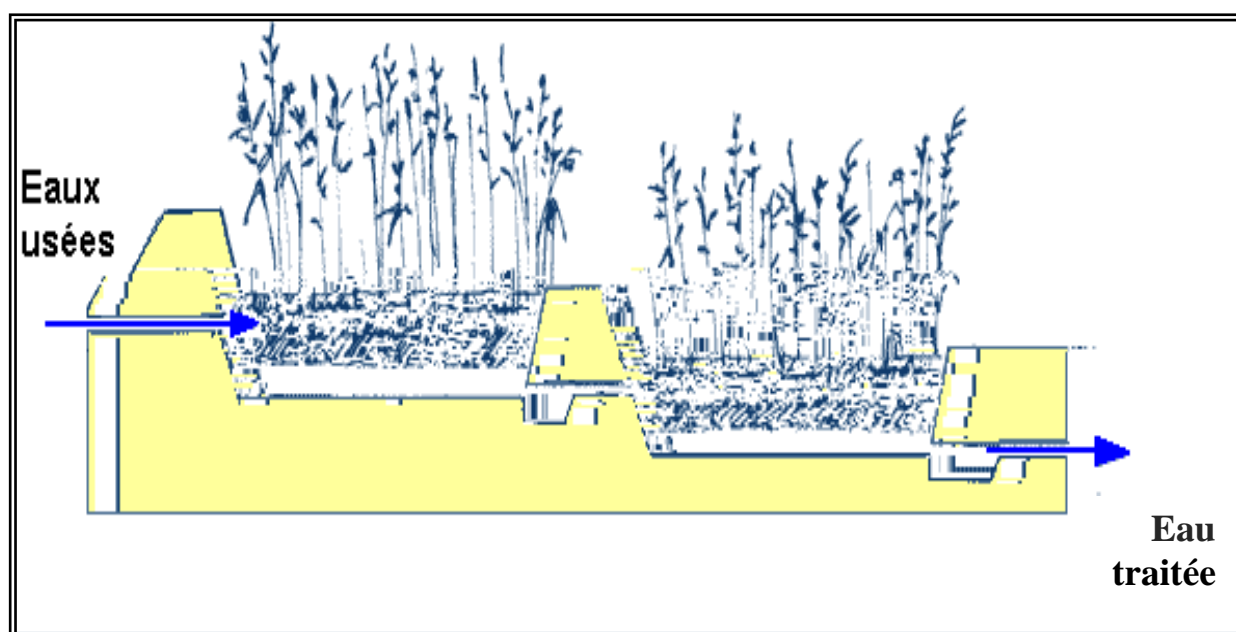
Ce sont des dispositifs simples qui utilisent le pouvoir d'épuration des milieux naturels mais qui ne peuvent être utilisés que pour des volumes d'eaux usées faibles et des surfaces d'installation plus importantes. Ils sont bien adaptés aux petites agglomérations rurales.

Ce procédé consiste à faire circuler gravitairement les effluents domestiques au fil de bassins successifs aménagés en paliers, dans lesquels on a pris soin de créer un milieu extrêmement favorable à l'activité épuratoire, grâce à des minéraux et des végétaux.

Le premier filtre joue le rôle de décanteur ; Les matières en suspension retenues sont déshydratées et compostées sur place. Le résidu est transformé en terreau qui s'accumule très lentement sur la surface des filtres.

Au deuxième étage, le traitement de la matière organique dissoute se poursuit.

Au troisième étage une recirculation des eaux permet, le cas échéant, d'effectuer un traitement tertiaire de finition.



**Fig.118 :Principe d'une station à filtres plantés de roseaux**

✓ La lutte contre le gaspillage, le contrôle régulier des fuites, la réhabilitation du réseau et par conséquent l'investissement adéquat, doivent être un objectif et une priorité permanente.

#### **VI.2.1.4. Stratégie sociale**

L'évaluation critique des problèmes sociaux devra donc constituer un des volets standard des projets d'adduction d'eau. Dans ce cadre, un certain nombre de procédures ont été proposées :



- ✓ Éducation sous forme de programmes éducatifs dès le primaire
- ✓ Sensibilisation de la population à l'utilisation et à la bonne gestion des ressources en eau.
- ✓ Prix qui tiennent compte des investissements soutenus de l'État.
- ✓ Formation et recherche dans le domaine de l'eau par un investissement conséquent en moyens matériels et humains.
- ✓ Formation des agriculteurs réalisée sous forme d'une assistance technique, notamment dans le domaine de l'irrigation.

### **VI.2.1.5. Stratégie pour l'aménagement des eaux de surface**

Le réaménagement des zones humides dans la région d'Oued Righ (lac de Temacine et lac de Megarine) est devenu l'une des principales préoccupations du secteur de l'eau et de l'environnement dans la wilaya de Ouargla.

Le réaménagement des lacs et la protection durable contre la pollution nécessitent :

- ✓ La prise en charge des rejets des eaux usées urbaines dans ces lacs et notamment dans le lac de Temacine.
- ✓ La sensibilisation de la population qui vit à proximité.

Le canal joue un rôle très indispensable dans la région ; il protège l'environnement en évacuant les eaux de drainage et d'assainissement et représente « le poumon de la vallée Oued Righ ».

Actuellement, le canal collecteur tend vers une dégradation importante à cause de plusieurs phénomènes ; sa protection durable du canal nécessite :

- ✓ Le nettoyage continu de la végétation des berges du canal afin d'assurer leur stabilité et d'éviter contre l'envasement du lit d'oued..
- ✓ La lutte contre la pollution sous toutes ses formes (rejets des eaux usées, déchets solides...).
- ✓ Enfin, la lutte contre le développement des parasites et la multiplication naturelle de certains insectes qui peuvent transmettre des maladies parasitaires parfois mortelles pour l'être humain.

**La** connaissance des ressources disponibles, et de leur variation dans le temps et l'état d'autres conditions physiques et socioéconomiques constituent un préalable fondamental pour une planification et une conception rigoureuses de projets d'eau durables et économiquement efficaces.

La température est très élevée ce qui ne favorise pas le développement de la végétation. La culture du palmier dattier reste la principale activité dans toute la région de Oued Righ.

En fonction des données de précipitations, températures et évaporation, nous sommes en mesure d'affirmer, que le climat de Oued Righ est de type hyper aride.

L'aridité ne se constate pas seulement en fonction du manque de pluies, mais aussi par une forte évaporation qui résulte d'une insolation excessive (le moyen annuel 3363.8 h/ans), qui est elle-même la conséquence de la faiblesse des précipitations et de l'humidité de l'air.

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

·La précipitation est de l'ordre de 79.4 mm qui contribue complètement à L'évapotranspiration réelle.

· Le bilan est déficitaire, l'excédent est nulle et la RFU est épuisée durant toute l'année malgré qu'elle présente uniquement une valeur de 4.6 mm pendant le mois de janvier.

**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 :

- Nappe phréatique : Elle est caractérisée par des eaux de fortes salinités
- Complexe Terminal : Le Complexe Terminal est un ensemble assez peu homogène incluant des formations carbonatées du Crétacé supérieur et des épisodes détritiques du Tertiaire, principalement du Miocène
- Continentale Intercalaire : Elle stock un volume d'eau considérable, estimé à  $3.5 \times 10^9$  milliards  $m^3$  environ. Cette nappe est plus connue sous la dénomination nappe Albien.

L'examen des cartes piézométrique établies par le SASS pour les nappes CT et CI nous a montré que dans la vallée de Oued Righ l'écoulement de la nappe du complexe terminal se produit Dans le sens Sud Ouest –Nord Est. Concernant la nappe du continental intercalaire, L'écoulement se produit Dans le sens Ouest - Est, où les eaux en provenance de l'Atlas Saharien, se convergent vers l'exutoire tunisien.

Les interprétations des analyses chimiques, montrent que tous les éléments chimiques que se soit cations ou anions dépassent largement les normes fixées par l'OMS pour une eau potable. Ainsi que les paramètres physiques tels que la conductivité et les résidus secs.

Le diagramme de Piper permet de constater que les eaux analysées sont globalement chlorurées sodiques.

La croissance démographique et le développement agricole sont les plus importants facteurs agissant le plus rudement 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 amènent 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

Les Potentialités en eau reconnues sont de l'ordre de 428 hm<sup>3</sup>/an selon l'étude d'ERESS, mais seulement 288.67 hm<sup>3</sup> sont exploitées réellement. L'utilisation de ces ressources en eau pour des besoins de consommation se classe en un certain nombre de catégories : production agricole 90%, consommation domestique 8 % et l'utilisation industrielle 2%.

La vallée de Oued Righ est alimentée en eau potable par 8 forages qui donnent globalement un débit de 710 l/s, soit un potentiel moyen de 350 l/j/hab. pour une population qui atteignait 200916 habitants en 2008. Pour distribuer cette ressource en eau potable, la vallée de Oued Righ dispose d'un réseau de canalisation de 718.85 km de longueur et de 15 réservoirs dont la capacité de stockage total est de 15050 m<sup>3</sup>

**Les** résultats obtenus par l'interprétation des analyses chimiques de la nappe du complexe terminal (CT), nous à montrer que seulement les teneurs en Mg sont dans l'intervalle des valeurs limites. Les teneurs Ca<sup>++</sup>, Cl<sup>-</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> et So<sub>4</sub><sup>-</sup> ont dépassées les normes de l'OMS (250mg/L) et la norme Algérienne (400 mg/l) pour les eaux potables, l'excès de ces éléments dans l'eau de boisson peut entraîner des problèmes sur la santé humaine. Donc l'utilisation de cette eau pour AEP sans traitement est déconseillée.

L'interprétation des analyses chimiques de la nappe du continental intercalaire, a montrée que les teneurs en Ca, Mg, Cl, K et Na sont dans l'intervalle des valeurs limites, les teneurs en sulfates ont dépassées les normes de l'OMS (250mg/L) et la norme Algérienne (400 mg/l) pour les eaux potables, l'excès de sulfates dans l'eau de boisson peut entraîner des troubles intestinaux.

L'observation et l'interprétation de ces résultats permettent de faire un état des lieux sur la ressource en eau en temps réel. Les résultats donnent une vision sur l'évolution temporelle des différents paramètres (demande, offre, rejets...etc).

Il est essentiel de mettre en place un mécanisme d'acquisition de données et de connaissances sur le secteur de l'eau à tous les niveaux institutionnels et de les interpréter à l'aide d'outils et de méthodes qui visent la modélisation tels le logiciel WEAP, dont le but est de créer des modèles de gestion informatisés et compatibles à l'état actuel de la ressource en eau en Algérie mais aussi de développer une politique de prévision pour mieux gérer et réserver cette ressource.

Les résultats obtenus dans le cadre de notre étude ont permis d'estimer l'évolution de la demande en eau pour l'irrigation et en eau potable, cette demande appellera une augmentation systématique de l'offre et par une élévation des rejets d'eau dans le canal d'Oued Righ, ce qui va causer des problèmes majeurs à moyen et long termes, tel que la remontée des eaux de la nappe, des maladies et la dégradation de l'agriculture (Palmeraie).

La demande non satisfaite pour les différents sites de demande montre que le déficit a été observé tout au long de la période de simulation pour le scénario de référence et le scénario Consommation rationnelle. Cette carence est due principalement à la forte demande pour l'eau potable et l'agriculture. Les pénuries sont également dues au fait que les ressources en eaux mobilisées sont limitées et l'offre ne présente pas une amélioration face à l'augmentation de la population et des terres irrigables. La demande non satisfaite pour le scénario Consommation optimale commence à partir de l'année 2020 avec valeurs faibles, augmente de 10 Mm<sup>3</sup> en 2030 à 22 Mm<sup>3</sup> en 2040 et atteint 37 Mm<sup>3</sup> en 2050.

Les débits de retour augmentent en fonction de l'évolution de la consommation des sites de demande. Les rejets dans le canal pour le scénario 1 sont très importants allant de 78 Mm<sup>3</sup> en 2010 à 130 Mm<sup>3</sup> en 2050. Pour le scénario 2 et le scénario 3, on constate une diminution considérable des rejets dans le canal d'Oued Righ avec des valeurs minimales de l'ordre de 26 Mm<sup>3</sup> en 2010 et 38 Mm<sup>3</sup> en 2050 et cela pour le scénario Consommation optimale.

Si les décideurs dans le domaine des ressources en eau ne prennent pas les décisions adéquates pour préserver le riche patrimoine des palmiers dattiers, le risque de perte totale (mort) va en s'aggravant et pourra atteindre les 80% dans les prochaines années.

Parmi les interventions les plus rapides pour affronter les défis de l'eau qui se présentent dans la vallée d'Oued Righ, on cite à titre de recommandations:

- L'installation de nouvelles stations d'épuration des eaux usées qui permettront de diminuer les rejets des eaux dans la nature, par le biais de la réutilisation de ces eaux épurées dans l'agriculture.
- La modernisation des plannings d'approvisionnement en eau potable et eaux d'irrigation pour une meilleure distribution égale et durable de l'eau.

## ***Conclusion général***

---

- La protection du canal d'Oued Righ par des travaux d'aménagement hydraulique et antiérosifs. Cela permet de mieux contrôler l'écoulement des rejets d'eau et de minimiser l'infiltration des ces eaux vers la nappe phréatique.

- AIDAOUIS (1994)** : Ressources en eau et aménagement hydro agricole dans la région de Biskra. Thèse de doctorat. Université de Nancy. (297 P).
- AMROUNE.A (2008)** : hydrogéologie et qualité des eaux souterraines de la plaine de M'sila. Mémoire de magister. Université de Batna (131P).
- ANRH (2008)** : Rapport de l'inventaire des forages d'eau de la vallée d'Oued Righ (16 P).
- ALFARRA.A, 2004** : Modelling Water Resource Management in Lake Naivasha, Masters thesis, International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation, The Netherlands.
- AOUN-SEBAITI. B,2013**: Simulation of water supply and water demand in the valley of Seybouse (East Algeria). Desalination and Water Treatment, Volume 52, Issue 10-12, pages 2114-2119.
- BANQUE AFRICAINE DE DEVELOPPEMENT (2000)** : Politique de gestion intégrée des ressources en eau (94).
- BELHADJ.M (2006)** : évolution de la pollution du barrage de Zit emba wilaya de Skikda Mémoire de magister. Université de Batna. (93 P).
- BELLAOUEUR.A (2008)** : étude hydrogéologique des eaux souterraines de la région de Ouargla soumise à la remonté des eaux de la nappe phréatique et perspective des solutions palliatives.
- BELGHAOUTI M,2014** : Planification des ressources en eau dans la ville de relizane, memoire de magister, universite d'oran
- BZIOUL.M , 2005** : Guemraoui M. 2005 : Gestion des grands périmètres d'irrigation ,l'expérience algérienne, Actes du séminaire Euro Méditerranéen.
- BOUKLIA.H- R,2014**: Prospects for a larger integration of the water resources system using WEAP model: a case study of Oran province, Desalination and Water Treatment, Volume 57, Issue 13, March 2016, pages 5971-5980.
- BOUKLIA.H-R, 2013** : Contribution à la gestion de l'eau dans la ville d'Oran, Mémoire DE MAGISTER, Université d'Oran.
- BENGUERGOURA L- S 2013** : The releases of wastewater in the Oued Righ valley:the palm groves in decline. Desalination and Water Treatment, Volume 52, Issue 10-12, pages 2187-2192 .
- CHOI S-J,2012**: Decision of the Water Shortage Mitigation Policy Using Multi-criteria Decision Analysis. KSCE Journal of Civil Engineering, Volume 16, Issue 2, pp 247-253.
- CHARLOTTE .C,2006**: WEAP hydrology model applied: the rio conchos basin, crwr online report 06-12, rio grande project, center for research in water resources, university of texas at austin, december 2006.
- CHINNASAMY.P, 2015**: "Impact of Planned Water Resource Development on Current and Future Water Demand in the Koshi River Basin, Nepal, Water International, doi:10.1080/02508060.2015.1099192
- DEROUICHE A 2013**: Impact du déversement direct des eaux usées et de drainage dans la nappe libre de l'oued Souf et son influence sur la qualité des eaux souterraines. Rev.Sci.Technol., Synthèse 27 :50-62.
- DEMBELE.A , 2007** : historique, origine et mise en oeuvre du concept de « gestion intégrée des ressources en eau, synthese bibliographique », Engref Centre de Montpellier

- EUSEBIO I-B, 2009:** the water deficit of the Rio Conchos basin, a main Mexican tributary of the Binational Rio Grande basin, under the 1944 treaty can occur, center for research in water resources.
- FEUILLETTE.S, 2001 :** vers une gestion de la demande sur une nappe en acces libre ( exploration des interactions ressource usages par les systemes multi-agents) application a la nappe de kairouan, tunisie centrale, these de doctorat, universite montpellier ii.
- Global Water Partnership, 2000:** Integrated Water Resources Management. TAC Background Papers, no 4, 67 pp.
- GHALEB F, 2014:** Water Environment in the Coastal Basins of Syria – Assessing the Impacts of the War. Environ. Process. Volume 1, Issue 4, pp 533–552.
- GUETTICHE. S, BENABDSADOK. D (2006) :** Contribution à l'étude de la possibilité d'utilisation des eaux de la nappe phréatique pour l'irrigation dans la région d'Oued Righ. Mémoire d'ingénieur. Université de Constantine. (135 P).
- GARAD.A, 1992 :** Prospective des besoins en eau et anticipation de la demande MADH2O : Modèle Automatisé de la Demande en Eau, thèse de doctorat Application à l'Algérie. Université pierre Mendès, France.
- GAJANAN BHAVE A, 2014:** Evaluation of hydrological effect of stakeholder prioritized climate change adaptation options based on multi-model regional climate projections. Climatic Change, Volume 123, Issue 2, pp 225-239.
- HUBERT .P ,1998 :** Eapuscule( Une introduction à la gestion de l'eau), Bucuresți, Romania, ISBN 973-98077-6-3.
- HAMED A 2015 :** Les ressources hydriques en Tunisie et Impact des changements climatiques » 1<sup>er</sup> edition. Livre- Mai, 2015. ISBN: 978-9938-12-961-8.
- HUBER-LEE.A, 2003:** Water, Climate, Food, and Environment in the Sacramento Basin, contribution to the ADAPT Project, 2003.
- HERVE L, 2003:** Testing water demand management scenarios in a water-stressed basin in South Africa: application of the WEAP model. Physics and Chemistry of the Earth, Volume 28, Issues 20–27, Pages 779–786.
- HABAIEB.H, ALBERGEL.L :** Vers une gestion optimale des ressources en eau de la Tunisie. Mission IRD de Tunis. Institut National Agronomique de Tunisie (8 P).
- HAMLAT .A, 2013 :** contribution a la gestion des ressources en eau des bassins versants de l'ouest algerien a l'aide d'un systeme informatise, these de doctorat, universite d'oran.
- HADDED R, 2013:** A Decision Support System to Manage the Groundwater of the Zeuss Koutine Aquifer Using the WEAP-MODFLOW Framework. Water Resources Management, Volume 27, Issue 7, pp 1981-2000.
- HERMANS.E, 2008:** Groundwater Management and Exploration Package: State of the Art Northern China.
- HAMLAT A, 2012:** Simulation of water resources management scenarios in western Algeria watersheds using WEAP model. Arabian Journal of Geosciences, Volume 6, Issue 7, pp 2225-2236.
- ISAAC HAGAN 2007 :** Modelling the impact of small reservoirs in the upper east region of ghana, masters thesis, division of water resources engineering, department of building and environmental technology, lund university, sweden, may 2007.

- JOYCE.B,2006:** Climate change impacts on water for agriculture in california: a case study in the sacramento valley, white paper, california climate change center, march 2006.
- KENNETH .M,1999:** New Methods of Modeling Water Availability For Agriculture under Climate Change: The U.S. Cornbelt, Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), Vol. 35, No. 6, pp. 1635-1655, December 1999.
- KHADRAOUI. A (2005) :** Gestion intégrée des ressources en eau et des sols dans les oasis Algérienne, cas de la vallée d'Oued Righ. Conférence Euro –Africaine – Paris - 22 & 23 mars 2005 (10 P).
- KHECHANA. S (2007) :** étude de la gestion intégrée des ressources en eau dans la vallée d'Oued Souf. Mémoire de magister. Université de Annaba. (130 P).
- KHELFAOUL.F, 2014 :** Qualité et gestion intégrée des ressources en eau dans le bassin versant du saf-saf (nord-est algérien),Thèse de doctorat, Université de Annaba.
- KETTAB.A, 2001 :** Les ressources en eau en Algérie: stratégies, enjeux et vision, Ecole Nationale Polytechnique ENP, Desalination 136 ,p25–33.
- LE PAGE M, 2012 :** An Integrated SAD for Groundwater Management Based on Remote Sensing. The Case of a Semi-arid Aquifer in Morocco. Water Resources Management, Volume 26, Issue 11, pp 3209-3230.
- MAOUI .A,2017 :** Evolution et origine du chimisme des eaux de l'aquifère superficiel de Zaâfrane ; région de la steppe Sud Algéroise .Etude de la variation spatiale de la salinité et ses risques sur les sols et la végétation.Thèse de doctorat, Université de Annaba.
- MECIBAH.I (2008) :** Les ressources en eau et gestion intégrée du bassin versant d'Oued Guebli. Mémoire de magister. Université de Annaba. (209 P).
- MEHTA V, 2012:** Irrigation demand and supply, given projections of climate and land-use change, in Yolo County, California. Agricultural Water Management, Volume 117, Pages 70–82.
- MATTHEW. P, 2012:** Evaluating the downstream implications of planned water resource development in the Ethiopian portion of the Blue Nile River, Water International.
- NOURI.I, 2016 :** Outils d'aide à la décision pour la gestion optimale des ressources en eau, Revue bibliographique, méthodologie et cas d'études en Tunisie,institut national agronomique de Tunis, p 65.
- NOURI.I, 2007 :** Optimisation multiobjectif de la chloration dans les réseaux d'alimentation en eau potable par algorithmes génétiques, Thèse de doctorat en sciences agronomiques, Institut National Agronomique de Tunisie.
- NULL. S- E, 2010 :** Hydrologic Response and Watershed Sensitivity to Climate Warming in California's Sierra Nevada
- NURUL.N,2016:** Modeling water supply and demand for effective water management allocation in Selangor, Jurnal Teknologi, Vol. 78, No. 5-5, doi:10.11113/jt.v78.8569.
- OCOD ,2000 :** Patrick Moriarty 2007 : La gestion intégrée des ressources en eau et le sous-secteur de l'approvisionnement en eau et de l'assainissement domestiques, Cahier Thématique 9-F (TOP - Thematic Overview Paper).
- OULD BABA SY.M 2005 :** RECHARGE ET PALEORECHARGE DU SYSTEME AQUIFERE DU SAHARA SEPTENTRIONAL, thèse de doctorat, UNIVERSITE DE TUNIS EL MANAR.



- OUANOUI .B,2014** : Demande en eau et Impact de la réutilisation des eaux usées traitées et des boues en agriculture et dans les techniques forestières, thèse de doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique– El Harrach Alger.
- ONA (2009)** : Rapport sur la station d'épuration de Touggourt (17 P).
- POUGET.J-C, 2003** : Un environnement de modélisation pour tester l'allocation de ressources en eau HyD2002 et ses applications, Actes de l'atelier du PCSI, 2-3 décembre 2003, Montpellier, France.
- PEYRON.G,2000** : Cultiver le palmier-dattier : guide illustré de formation,Editeur Cirad,pages 38-39 ISBN:2876143992 9782876143999.
- POULIOT.G ,2001** : Société de la faune et des parcs du Québec Direction de l'aménagement de la faune du Bas-Saint-Laurent.
- REMINI B,2013**: Scaling of the potable water network of the Touggourt city (Algeria). Desalination and Water Treatment, Volume 52, Issue 22-24, pages 4170-4173.
- RANDALL .S-F, 2014**: The vulnerability of hydropower production in the Zambezi River Basin to the impacts of climate change and irrigation development. Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change, Volume 21, Issue 5, pp 721-742.
- SAADIYA.M, 2013** : Planification et gestion des ressources en eau dans la ville de Tlemcen,Mémoire DE MAGISTER,Université d'Oran.
- SAKAA .B, 2013**: The use of Artificial Neural Networks in the modeling of socioeconomic category of Integrated Water Resources Management (Case study: Saf-Saf River Basin, North East of Algeria). Arabian Journal of Geosciences, Volume 6, Issue 10, pp 3969–3978.
- SAYAH LAMBARAK. M (2008)** : étude hydraulique du canal d'Oued Righ et détermination des caractéristiques hydrauliques. Mémoire de magister. Université de Ouargla (82P).
- SANTIKAYASA.P, 2014**: "Assessment of the Impact of Climate Change on Water Availability in the Citarum River Basin, Indonesia: The Use of Statistical Downscaling and Water Planning Tools, Chapter in book, Managing Water Resources under Climate Uncertainty, pp. 45-64, doi:10.1007/978-3-319-10467-6-3.
- SEI,2008**: WEAP (Water Evaluation and Planning): User Guide for WEAP21. Stockholm Environment Institute,Boston USA. Available from <[www.seib.org/weap/](http://www.seib.org/weap/)>.
- TOUTALG, 1980** :Eléments d'agronomie saharienne. De la recherche au développement. Revue de l'Occident musulman et de la Méditerranée Année 1980 Volume 30 Numéro 1 pp. 151-152.
- THIVET.G, 2008** : Gestion de la demande en eau en Méditerranée, progrès et politiques, XIIIème Congrès Mondial de l'Eau
- TAZEN.F, 2015** : Simulation et optimisation du fonctionnement du barrage de Boura en zone soudanienne du Burkina Faso,thèse de doctorat, institut international d'ingenierie de l'eau et de l'environnement.
- Vijay R , 2009**: Development of GIS-based environmental information system: an Indian scenario. International Journal of Digital Earth. Volume 2, Issue 4,pages 382-392.
- VONK.E, 2013** : Dam reoperation as an adaptation strategy for shifting patterns of water supply and demand-A case study for the Xinánjiang-Fuchunjiang reservoir cascade, China, Master's Thesis.

## ***Références Bibliographiques***

---

**WILLIAM JOHNSON, 1995:** WEAP: A Comprehensive and Integrated Model of Supply and Demand, Proceedings of the 1995 Georgia Water Resources Conference, held April 11 and 12, 1995.

**YATES D,2005:** Weap21-a demand-, priority-, and preference-driven water planning model: Part 2, aiding freshwater ecosystem service evaluation. *Water International*, Volume 30, Number 4, Pages 501–512.

**ETUDE GEOPHYSIQUE PAR SONDAGE ELECTRIQUE VERTICAL DE LA REGION DE CHETMA W.BISKRA(ALGERIE)**

Mr. Bouznad Imad Eddine, Dr. Zerdazi Abdelhamid ,

**Abstract**

The research and survey was conducted in the Biskra region, more precisely in the area Chetma particularly aimed at identifying areas favorable to the accumulation of water.

If this effort was remarkable research provide sufficient knowledge of the geology of the region and guide the exploration of specific targets, it remains that many problems, among other recognitions potential of groundwater region are far from being completely resolved therefore they deserve special attention.

It is in this perspective that we tried on the basis of the work undertaken in the area to take the interpretation of survey data and power combine with geological observations.

The objective of this work is to identify aquifers and determine their hydrogeological characteristics. Thus we consider this approach in terms of methodology, will certainly help to decide on possible locations of drilling operations.

**Keywords:** groundwater, hydrogeological, drilling.

**I. Introduction**

Cet effort de recherche a pu apporter suffisamment de connaissances sur la géologie de la région et orienter la prospection sur les cibles spécifiques, il n'en demeure pas moins que nombre de problèmes, entre autres les reconnaissances des potentialités en eau souterraine de la région, sont loin d'être complètement résolus par conséquent ils méritent une attention particulière.

C'est dans cette perspective que nous avons essayé, sur la base des travaux entrepris dans la zone de reprendre l'interprétation des données des sondages électriques et la conjuguer avec les observations géologiques. L'objectif de ce travail est d'identifier des aquifères et de déterminer leurs caractéristiques hydrogéologiques

**II. Matériels et méthodes**

Pour réaliser un SEV, on effectue à partir d'un même point une série de mesures de la résistivité apparente en augmentant progressivement les dimensions du dispositif de mesure, le centre et la direction restant constants. Les variations de la résistivité apparente sont dues essentiellement aux changements verticaux de la résistivité spécifique. On voit donc que la profondeur d'investigation augmente en fonction de l'espacement AB. Dans la pratique cette profondeur d'investigation est proportionnelle à la longueur du dispositif dans le rapport approximatif et empirique de 1/4 à 1/10. Généralement, On continue les mesures jusqu'à ce que la formation géologique recherchée soit atteinte.

**II.1. L'objectif de l'étude**

Les travaux de prospection électrique réalisés par la méthode des sondages électriques (SEV) ont comportés 109 sondages électriques verticaux. Cette étude géophysique avait pour but de :

- Déterminer les paramètres physiques (résistivités et épaisseurs) des formations géologiques et leur extension latérale.

- Définir et préciser les particularités géologiques et structurales de la région.

- Délimiter les zones susceptibles de présenter un intérêt aquifère.

- Déterminer les meilleurs emplacements pour l'implantation des ouvrages de captage (forages) destinés à l'alimentation en eau des populations et à l'irrigation.

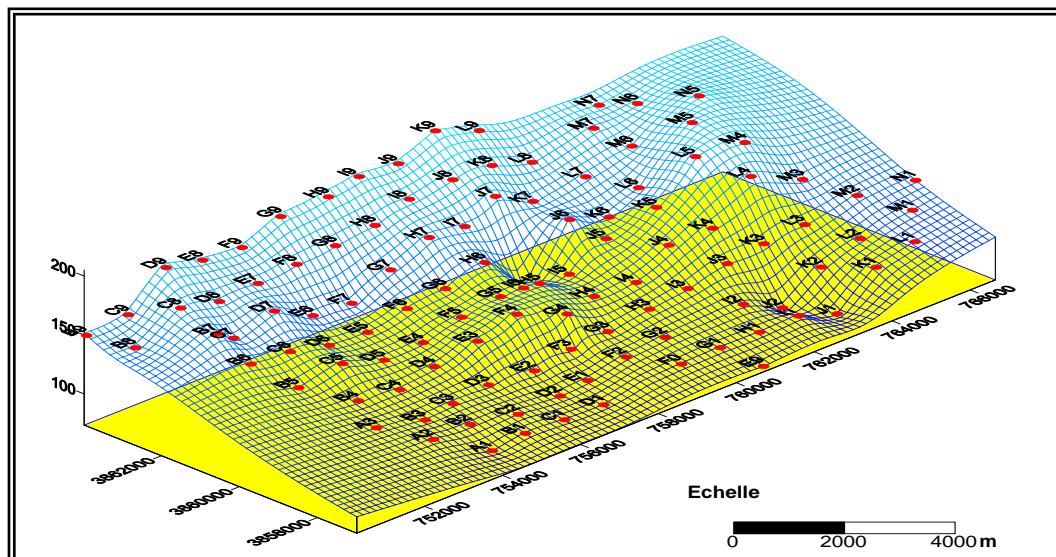


Fig.01. Plan des positions des SEV (3 Dimensions)

## II.2. L'échelle de résistivité

Deux sondages électriques étalons réalisés à proximité de 2 forages réalisés à l'extrême Est de notre région sur le profil « N » ont servis alors à l'établissement de l'échelle de résistivité. En effet, la simple comparaison de la coupe lithologique fournie par les forages aux diagrammes de sondages électriques obtenus à l'emplacement des forages permet d'associer facilement les terrains décelés par les SEV avec les formations géologiques des forages. à partir des sondages étalons et des données des diagraphies électriques. Cette échelle se présente comme suit:

Tab.01. Echelle de résistivités adoptées

formations	Résistivités (ohm m)
Argile	0 à 10
Argile sableuse	10 à 20
Marnes	20 à 60
Calcaires fissurés	Supérieures à 60

## III. Résultats et discussions

### III.1. Les cartes de résistivités apparentes

Cette carte qui concerne les horizons à une profondeur de 250m est une esquisse géologique établie à cette profondeur. (La profondeur d'investigation étant proportionnelle à la longueur de dispositif dans un rapport approximatif de  $\frac{1}{4}$  -  $\frac{1}{10}$  AB). Rappelons qu'il ne s'agit là que de fixer les idées et qu'en réalité cette profondeur n'a rien d'absolu.

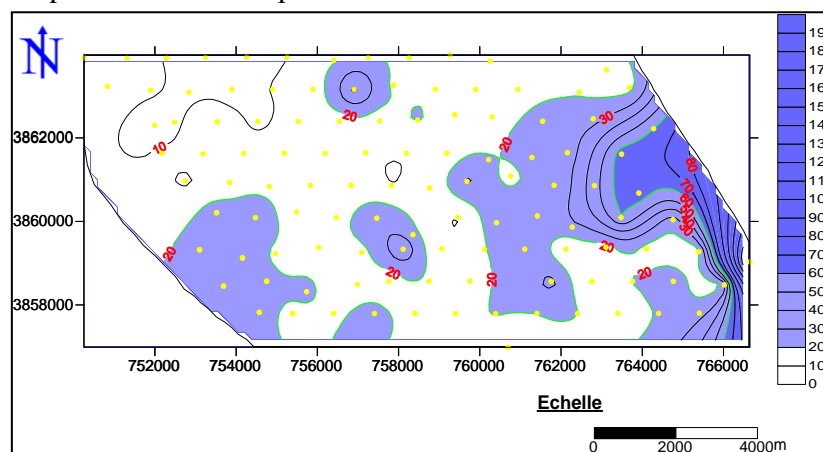


Fig.02. Carte de résistivité apparente en AB = 1000 m



Les points élevés se localisent à l'Est (profil L et M) où les calcaires semblent sub-affleurer et que la géologie de surface confirme, ainsi qu'au Nord Ouest (profondeur de moins de 100m (voir profil B-)) Les forts gradients observés traduisent l'effet de failles, de même que les discontinuités relevées entre S1 et S2 peuvent suggérer la présence de failles

En conclusion, quelques forages pourraient être suggérés en particulier à proximité de la faille affectant les calcaires entre F4/F5 et M5/M6 ; et B5- L5 et M5.

### Conclusion

L'analyse des cartes isorésistivités pour différents AB, les coupes géoélectriques et la carte d'isoprofondeur des calcaires élaborées, nous a permis :

- d'avoir une idée globale sur la répartition spatiale de différentes unités lithologiques et de préciser leurs limites et de déterminer les différents accidents qui affectent la zone étudiée.

- d'identifier les différents faciès lithologiques en profondeur et de localiser les zones susceptibles d'être aquifères.

- de déterminer les meilleurs emplacements pour l'implantation de forages.

Enfin, si la recherche d'eau devrait s'orienter vers l'exploitation des niveaux de calcaires fissurés nous recommanderons des levés de détail aussi bien que des sondages électriques avec des mailles serrées et de la sismique réflexion.

Pour déterminer le degré de fissuration des calcaires et préciser leurs directions, il est souhaitable d'entreprendre des sondages électriques en étoiles.

### Références

**Brinis Nafaa** (2003) : Essai d'explication de la salinité des eaux de la nappe du Mio-pliocène d'El Outaya (w de Biskra), mémoire magister, université d'Annaba.

**Chapellier et Mari** : cours en ligne de géophysique, université de Lausanne

**SONAREM** (projet de recherche 1977/1980) : étude hydrogéologique réalisée sur le chantier d'El Outaya par m. Aroutiniane (w de Biskra).

**Projet Coopération Régionale pour une Gestion Durable des Ressources en Eau au Maghreb. «  
CREM - BGR »**

*2<sup>ème</sup> Atelier informatif sur les offres et les premiers résultats du projet 1 – 3 Décembre 2015, Institut  
National Agronomique de Tunisie.*

**Ressources en eau et gestion intégrée par un système d'aide à la décision  
WEAP, cas de la wilaya de djelfa**

**Résumé**

Ce travail a pour objectif de caractériser l'état actuel des ressources en eau de la wilaya de Djelfa et d'estimer la demande en eau émanant des différents utilisateurs. Il vise aussi développer un système d'aide à la décision pour améliorer la gestion des ressources en eau de la zone de l'étude.

Afin d'atteindre ces objectifs, il est utilisé le système d'aide à la décision « *Water Evaluation and planning* » (WEAP) développé par le « *Stockholm Environment Institute* » (SEI) pour dresser un schéma conceptuel du système hydraulique de la zone de l'étude et pour organiser une base des données hydrogéologique de la région.

La modélisation sous WEAP permet de calculer la balance de l'eau en tout élément du système à tout pas de temps. Cette approche assure aussi de caractériser l'équilibre entre les ressources en eau et les usages (eau potable, irrigation, industrie, tourisme....) et de déterminer la demande non satisfaite pour chaque commune durant la période de projection de 2013 à 2030

**Mots clés :** WEAP, AEP, offre, débit de retour, scénario.

**I. Situation géographique et limites administratives**

La wilaya de Djelfa est située dans une position centrale par rapport à l'ensemble du pays. Du découpage administratif de 1974, cette partie du territoire d'une superficie totale de 32.256,35 km<sup>2</sup> représentant 1,36% de la superficie totale du pays se compose actuellement de 36 communes regroupées en 12 Daïra.

La commune de Djelfa est devenue chef lieu de la Wilaya depuis 1974, elle située au centre et à 300km de la capitale Alger, s'étend sur une superficie de 549.30km<sup>2</sup>.

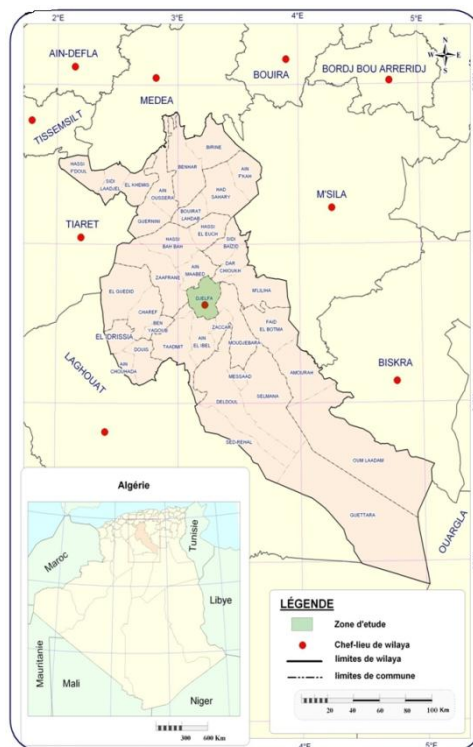


Fig.01 carte de situation géographique

## II. Contexte climatique

Le climat de la région de Djelfa se caractérise par une faible pluviométrie (336,96mm par an) et de fortes amplitudes thermiques. Cette pluviométrie est non seulement faible mais irrégulière et les précipitations tombent souvent sous forme de pluies violentes ‘averses). Une saison estivale sèche et chaude alterne avec une saison hivernale pluvieuse et friche, sinon froide.

## III. Point de vue hydrogéologique

La formation litho stratigraphique est composée par trois classes :

- La formation perméable est constituée des alluvions, des sables, d’argiles et molasses, cette formation se situe le long de la ville de Djelfa à l’Est, sud-ouest et au Nord ;
- La formation moyennant perméable constitue d’argiles, conglomérats et calcaires, elle se situe aussi le long de la ville de Djelfa au Sud et à l’Est ;
- La formation imperméable de calcaires, calcaires ocre, marnes, grés et argiles

Il existe, dans la Wilaya, six grandes nappes dont quatre sont assez bien connues (nappe d’Ain Houssera, de Oued Touille, des Zahers et les synclinaux Nord et Sud). Les moins connues sont celles situées dans la partie Sud de la Wilaya la nappe du complexe terminal et celle du continental intercalaire.

Tab.01: Les principales nappes de la région de Djelfa

Nappe	Surface km <sup>2</sup>	Taux d’infiltration %	Débit d’infiltration m <sup>3</sup> /an
Synclinal Djelfa	863	10 à 13	24,10x10 <sup>3</sup>
Synclinal Nord de Djelfa	495	10 à 13	13,82x10 <sup>3</sup>

Source: DRE, wilaya de Djelfa, (2009)



Les eaux souterraines se représentent sous formes de nappes dans le milieu naturel. Une nappe peut être libre, captive (séparée de la surface du sol par une couche imperméable )ou alluviale (située dans les terrains alluvionnaires sur lesquels circule un cours d'eau) , selon la porosité et la structure du terrain.

Parmi les caractéristiques de ces eaux .Il faut retenir une faible turbidité, une température et une composition chimique constantes, et l'absence presque générale de l'oxygène.

Les unités hydrogéologiques que compte la wilaya de Djelfa se répartissent dans le tableau suivant :

**Tab.02 :** Les unités hydrogéologiques de la wilaya

Unité hydrogéologique	Volume mobilisable minima(Hm3)	Volume mobilisable maxima(Hm3)
Bassin de Zehrez	50	140
Plaine d' Ain Oussera	27	55
Synclinal de Djelfa	30	40
Vallée de Oued Touil	15	25
Synclinal d' Ain Lbel et plateau de Messad	25	45

Source: ANRH de Djelfa, 2011

**IV. Méthode et matériels**

L'application du modèle WEAP dans la wilaya de Djelfa est basée sur la simulation d'un ensemble d'hypothèses de planification qui visent à équilibrer le bilan hydrique dans la région, en mettant en œuvre plusieurs variantes.

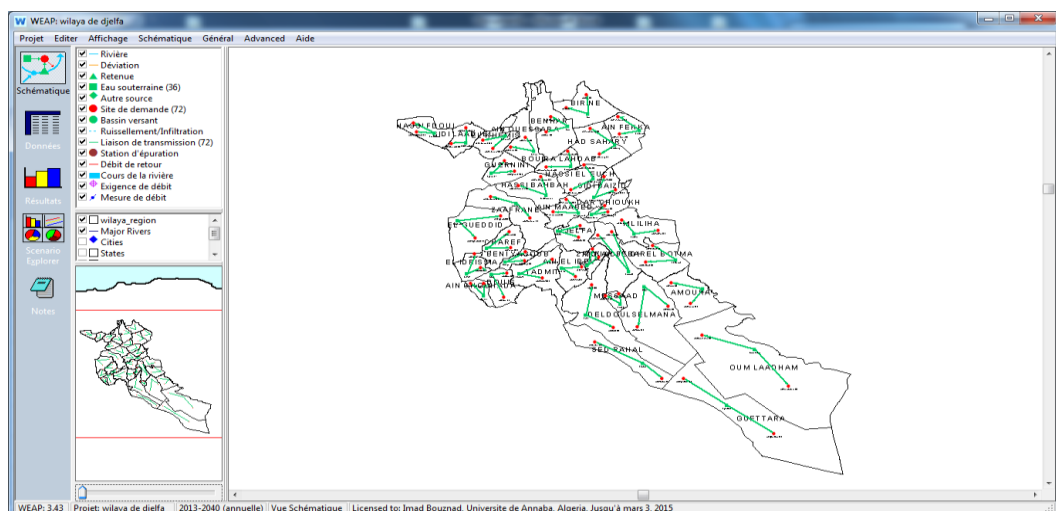
- ✓ Equilibre avec la planification actuelle.
- ✓ Equilibre avec des planifications projetées.

Rappelons que WEAP est un instrument de planification efficace pour la maîtrise de l'offre et la demande en eau. C'est ainsi que la maîtrise des ressources et des besoins en eau visent à assurer :

- Une affectation optimale.
- Une meilleure intégration des aménagements hydrauliques.
- Une bonne coordination des différents acteurs de l'eau

**V. Résultats et discussion**

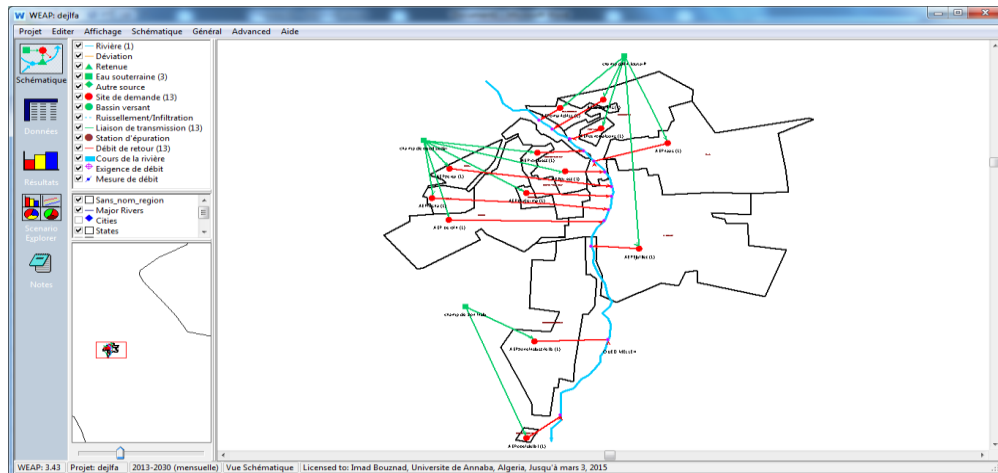
Les résultats de la modélisation (Fig.02) ont montré que les demandes en eau sont non satisfaites dans toutes les communes de la wilaya de Djelfa pour toute la période de l'étude et évolueront de 217 Million de m<sup>3</sup> en 2020 à 266 Million de m<sup>3</sup> en 2030. L'usage agricole occupe la première place avec un pourcentage d'environ 90% durant toute la période de l'étude.



**Fig.02 :** Schéma conceptuel du système hydraulique et des usages de la zone de l'étude

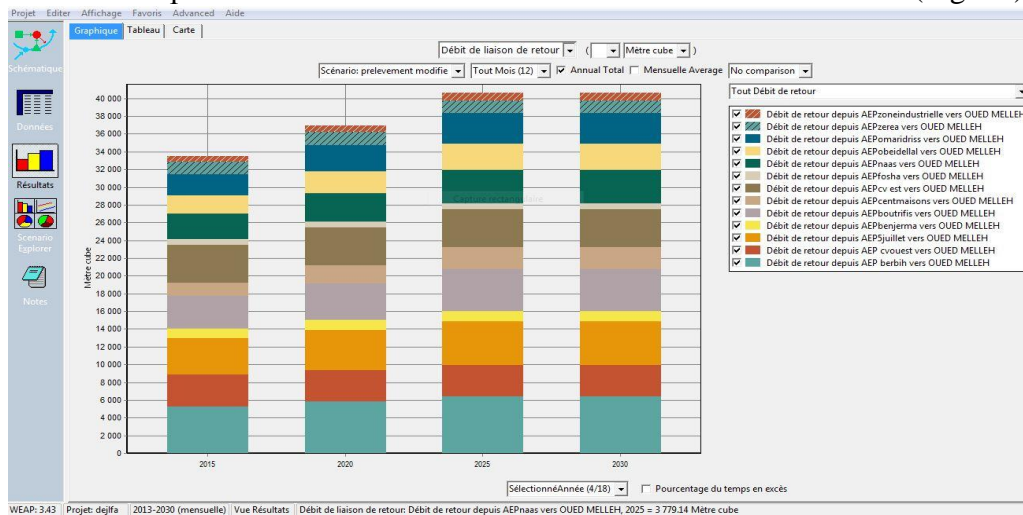
La modélisation sous WEAP dans toutes les communes de la wilaya de Djelfa a permis de caractériser les évolutions des demandes en eau et leurs confrontations avec les ressources. Deux scénarios futurs ont été conçus et évalués par le modèle WEAP élaboré. Dans le premier, il est considéré que les ressources en eau sont fixes, tout en gardant l'évolution des demandes. Ce scénario a permis d'évaluer l'évolution continue des taux de satisfaction des demandes.

Dans le deuxième scénario, il est proposé d'améliorer l'offre pour que les demandes soient satisfaites durant la période de 2013 à 2030 (Fig. 02). Ce scénario est basé sur l'augmentation des capacités des transits entre les ressources régionales et les sites de demandes.



**Fig.03 :** Schéma du Modèle WEAP de la ville de Djelfa

Ce scénario permet d'estimer les quantités des rejets des eaux usées dans la ville de Djelfa et ainsi le débit de chaque bief de Oued Mellah. Ces rejets évolueront de 33474 m<sup>3</sup> en 2015 à 36929 m<sup>3</sup> en 2020 pour atteindre une valeur de l'ordre de 40600 m<sup>3</sup> en 2025 (Fig. 04).



**Fig.04 :** Evolution des rejets sur Oued Mellah

## Conclusion

La modélisation sous WEAP des ressources et des usages dans la Wilaya de Djelfa a permis de diagnostiquer l'état actuel et d'évaluer les performances de scénarios futurs. L'augmentation des capacités de pompage et de transit des systèmes hydrauliques s'est avéré la solution pour assurer une satisfaction totale des besoins en eau potable et d'irrigation dans la zone de l'étude. Une évaluation économique des investissements se présente comme une perspective à la présente étude.

### Références bibliographiques

**AGOUMI.A., DEBBARH.A.(2006)** : Ressources en eau et bassins versants du Maroc : 50 ans de développement (1955-2005).Rapport.

**AIDAOUIS.(1994)** : Ressources en eau et aménagement hydro agricole dans la région de Biskra. Thèse de doctorat. Université de Nancy. (297 P).

**BOUZNAD.I.(2010)** : Essai de la gestion intégrée dans la vallée de Oued Righ Sud (Sahara septentrional Algérienne). Mémoire de magister. Université de Annaba (150 P).

**KETTAB.A.(2000)** : les ressources en eau en Algérie, stratégie et vision. Ecole Nationale Polytechnique ENP (9 P).

**KHELFAOUI. F. (2008)** : Ressources en eau et gestion intégrée dans le bassin de Saf-Saf. Mémoire de magister. Université de Annaba (127 P).

#### **MONOGRAPHIE DE DJELFA .,2008**

**OUANOUKI .B(2011)** : Modélisation de la demande en eau dans une région aride. Cas de la Wilaya de Djelfa. Revue Nature & Technologie

**RAKOTONDRABE.F.,(2006)** : Etude de la vulnérabilité des ressources en eau aux changements climatiques, modélisation par le logiciel WEAP 21,cas du bassin versant de Morondava (Sud-ouest de Madagascar).Mémoire master université d'Antananarivo école supérieure polytechnique d'Antananarivo.

#### **RAPPORT DE REVISION PDAU HAD SAHARI PHASE 01**

**TUTORIAL., (2008):** Une collection de modules autonomes pour aider à apprendre le logiciel WEAP. Stockholm environment Institute

**International Conference on Applied Geology & Environment(ICAGE 2016)**

*May 19-21, 2016; Mahdia-TUNISIA*

**Elaboration d'un système d'information géographique pour identifier les zones aquifères et les meilleurs emplacements des forages sur la base du sondage électrique vertical cas de la région de ain ouassara**

**Résumé**

L'accroissement démographique au niveau de Ain Oussera et ces agglomérations induit à une augmentation des besoins en eau, l'eau de surface est insuffisante pour répondre a ces besoins donc les autorités doivent pencher vers les eaux souterraines. L'analyse des données géophysiques nous a fourni des informations d'ordre géologique et hydrogéologiques. Trois niveaux susceptibles d'être aquifères, la nappe de Plio-Quaternaire, de complexe Barrémo-Albien Et celle du Kimméridgien, pour mieux gérer et exploiter les résultats obtenus on a développé une application qui permette d'accéder facilement à l'information voulue et de visualiser des intervalles jugées utiles de résistivité, profondeur et épaisseur. Ces intervalles peuvent nous aider à prendre des décisions judicieuses. Il est possible aussi d'utiliser les autres fonctionnalités de MapInfo pour acquérir l'information, l'accéder, l'archiver, faire l'analyse et l'afficher.

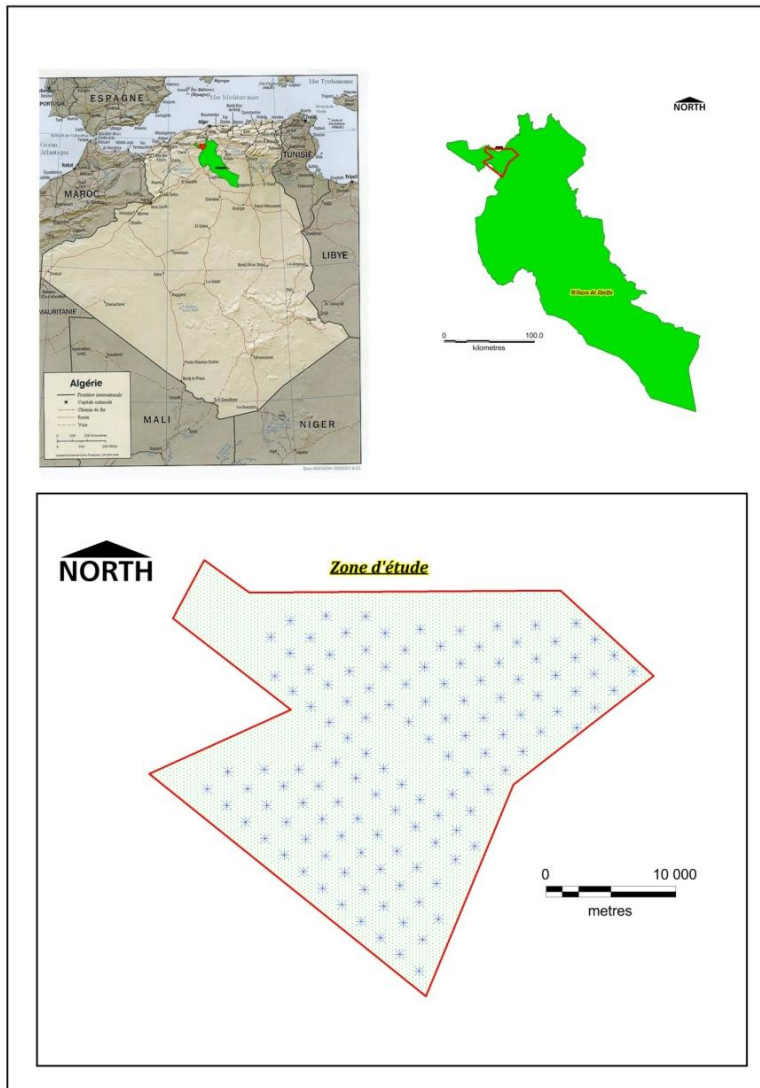
**Mots clés :** Géophysique, Résistivité, Mapinfo, Aquifère.

**I. Présentation de cas d'étude**

La zone d'étude est située à environ 120 km au Nord -ouest de Djelfa. Il se trouve à l'Ouest d' Ain Oussera, au Sud-ouest de Sidi-El Adjel, au Nord de El Guernini et au Nord-est de Ksar Chellaa.

Ce site de forme triangulaire est limité au Nord par la route RN 40B, au Sud- ouest par Oued Touil et au Sud-est par la piste qui longe Oued R'mel.

Durant cette dernière décennie, un travail de recherche et de prospection a été mené dans la région de Djelfa par l'Entreprise Nationale de Géophysique (ENAGEO) en 2002, plus précisément dans la zone d'Ain Oussera visant plus particulièrement à déceler des zones favorables à une accumulation d'eau.



**Fig.01** : situation de la zone d'étude et plan des sondages électriques verticaux

Si cet effort remarquable de recherche a pu apporter suffisamment de connaissances sur la géologie de la région et orienter la prospection sur les cibles spécifiques, il n'en demeure pas moins que nombre de problèmes, entre autres les reconnaissances des potentialités en eau souterraine de la région, sont loin d'être complètement résolus par conséquent ils méritent une attention particulière. C'est dans cette perspective que nous avons essayé, sur la base des travaux entrepris dans la zone de reprendre l'interprétation des données des sondages électriques et la conjuguer avec les observations géologiques. L'objectif de ce travail est d'identifier des aquifères et de déterminer leurs caractéristiques hydrogéologiques. Ainsi nous considérons que cette façon de faire sous l'angle méthodologique, aidera certainement à se prononcer sur d'éventuels emplacements de forages d'exploitation.

## **II. Méthodes et matériels**

### **II.1. Prospection électrique**

La méthode de résistivité électrique est couramment utilisée dans les domaines de l'exploration minérales, la géotectonique, l'hydrogéologie et, plus récemment l'environnement.

La résistivité électrique dépend de la nature pétrographique, de la structure des roches et de leur teneur en eau plus ou moins saline. En fait, ce dernier facteur joue le rôle le plus important dans la conductibilité du sous-sol.

Les travaux de prospection électrique réalisés par la méthode des sondages électriques (SEV) ont comporté 130 sondages électriques verticaux répartis sur 15 profils notés alphabétiquement de A à O (Figure 01). Tous les profils ont une orientation NW-SE. Les mesures ont été effectuées le long de ces profils avec un pas de 4000 m.

Les sondages électriques verticaux sont interprétés à l'aide du logiciel (IPI2WIN). Le dispositif utilisé est le dispositif de Schlumberger.

### **II.2. Système d'information géographique (SIG)**

Il existe une panoplie de logiciels SIG sur le marché. Ils se différencient par la puissance de leurs outils d'analyse spatiale, leur traitement de la topologie, les structures de données offertes et les produits dérivés qu'ils proposent.

Pour réaliser notre travail, nous avons utilisé le logiciel Mapinfo11 et le langage de programmation MapBasic qui est un langage idéal pour la personnalisation des applications MapInfo. IL offre un environnement de développement comprenant un éditeur de texte, pour saisir les programmes, un compilateur pour créer une application exécutable, un éditeur de lien pour créer une application complexe en la décomposant en différents modules « objets »

## **III. Résultats et discussions :**

Les mesures de SEV effectuées sur le terrain sont représentées sous forme des cartes et des coupes. C'est à partir de l'interprétation des données acquises sur le terrain que l'on peut établir les documents suivants :

### **III.1. Interprétation des Coupes géo électriques**

Les coupes géo électriques sont établies de la manière suivante :

on porte en abscisses les stations, à l'échelle de l'étude et en ordonnées, à une échelle linéaire appropriée, les épaisseurs ( $h_i$ ) des terrains trouvés de chaque sondage, tout en mentionnant la résistivité vraie de chaque horizon. On essaye ensuite de corréliser entre les différents terrains selon leur résistivité. Pour faire ce travail on utilise aussi les coupes verticales ( $\rho_a$ ) et les profils des résistivités pour différents AB. Au total 15 coupes géo électriques ont été établies. Elles sont tracées suivant la direction des profils orientés NW-SE.

Nous citons à titre d'exemple l'interprétation des résultats obtenues à travers la coupe D :

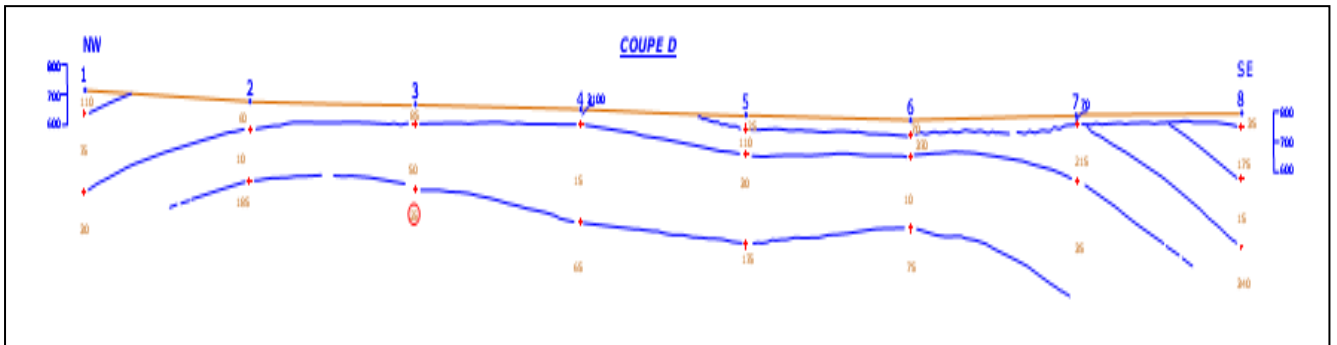
Etablie sur la base des données de 08 sondages, elle révèle comme précédemment l'existence de 06 terrains.

Les couches sont sub-horizontales et entre les sondages D6 et D8, elles amorcent un pendage d'environ 25° vers le Sud Est.

-Le terrain superficiel faiblement conducteur (25 à 70 ohm-mètre), d'épaisseur variable est discordant sur les terrains sous jacents.

-Le second et le troisième terrain sans intérêt hydrogéologique, ne sont mis en évidence que par le sondage D8.

-Au dessous apparaît un terrain résistant 80 à 340 ohm-mètre avec une épaisseur d'environ 200m au niveau des sondages D1-07 et D8.



**Fig.02 : Coupe géo électrique à travers le profile D**

Cette couche plus au moins érodé à l'affleurement (de D2 à D7) peut constituer l'aquifère supérieur de ce profil.

- Celle ci a comme substratum une formation conductrice (10 à 30 ohm-mètre) dont l'épaisseur oscille de 170m au D2 à 350m au D7.
- Enfin, le toit d'un terrain résistant 70 à 185 ohm-mètre, apparaît entre les sondages D2 et D7. Celui ci contient une humidité certaine et peut constituer l'aquifère profond de cette coupe.

### III.2. Interprétation des cartes

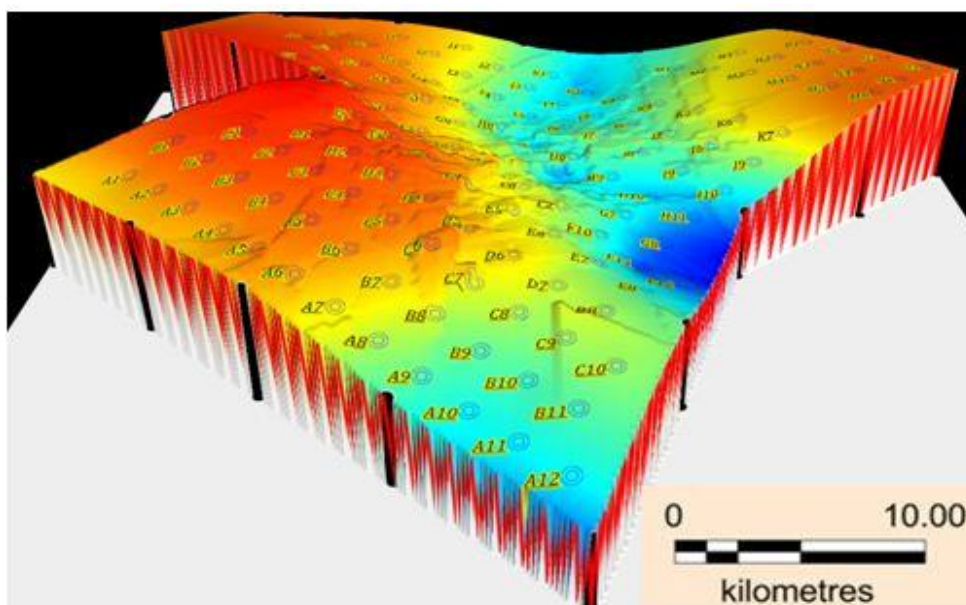
La carte du toit du substratum est établie à une échelle appropriée en reportant à chaque sondage la valeur de la profondeur du toit et ensuite on fait l'interpolation linéaire pour obtenir cette carte.

#### III.2.1. Cartes Iso-profondeur

La carte ci-dessous fait ressortir une forme synclinal, ce synclinal se trouve au Nord de la carte, de forme presque allongée présentent des profondeurs de 400 m.

Les points élevés se localisent à l'Est 280m (profil N et O), ainsi qu'au Nord Ouest (profondeur de moins de 240m (voir profil B-)). L'écoulement des eaux souterraines étant régi par le pendage des couches ; celles auront donc tendance à se concentrer dans les synclinaux.

Leur exploitation par des forages est très rentable quand la profondeur d'enfouissement n'est pas trop importante.



### III.2.2. Cartes Iso-résistivités

La carte ainsi obtenue se caractérise par des plages de résistivités différentes. Cette carte a été établie à partir des profondeurs plus de 250 m. La carte ainsi obtenue se caractérise par des plages de résistivités différentes :

-Une première plage conductrice, de résistivités apparentes entre 35 et 150 ohms m) recouvre la majeure partie de la surface prospectée de l'EST vers l'OUEST. Cette plage conductrice peut être associée aux formations aquifères.

-Une deuxième plage peu résistante (plus 150 ohms m) se localise essentiellement au Nord Est de la carte

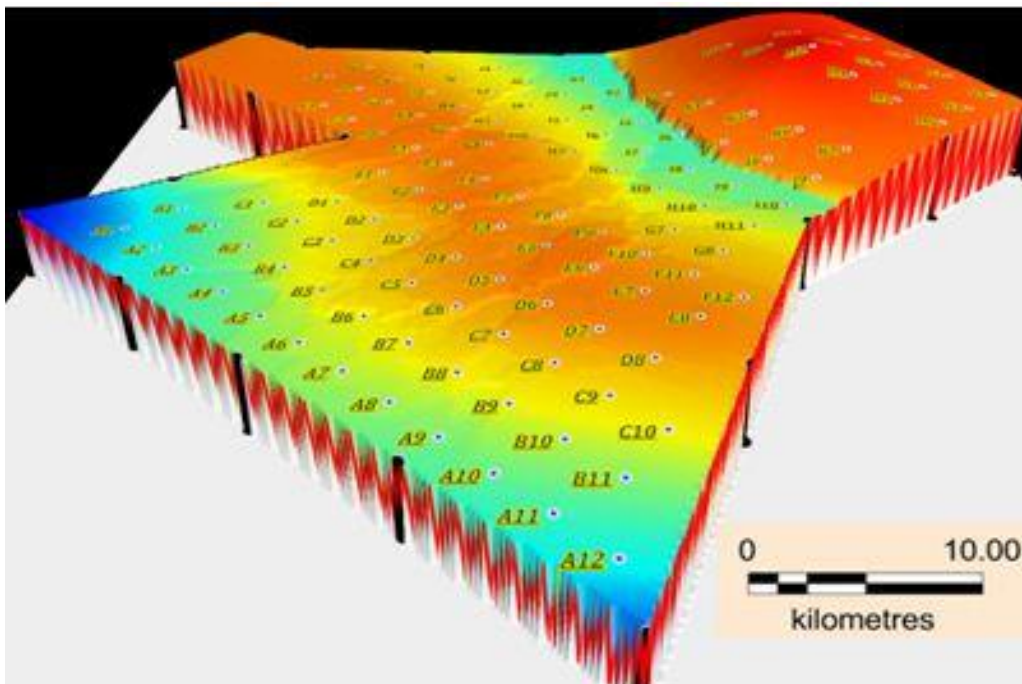


Fig.04: Carte d'iso résistivités de la deuxième couche

## IV. Application développée

### IV.1.Requêtes S.E.V

C'est une application conçue sous MapBasic qui altère la barre de menu principal de MapInfo en ajoutant un menu personnalisé.

La figure ci-dessous représente le menu " Requetes S.E.V. " ajouté à la barre de menu principal de MapInfo.

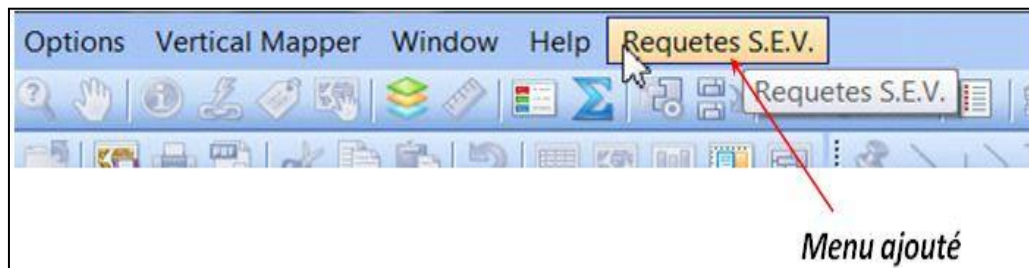


Fig.5 : Barre de menu principal



## IV.2. Structuration de l'application "Requêtes S.E.V."

Notre application est un menu personnalisé qui contient sept (03) fonctions jugées pertinentes (voir Figure (06)):

- Résistivité;
- Profondeur;
- Epaisseur.

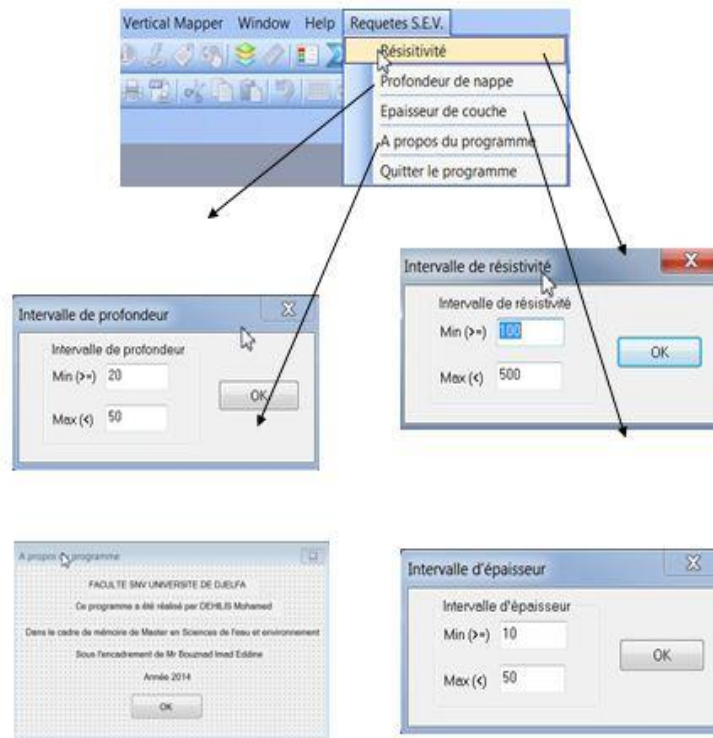


Fig.06: Structure de l'application développée

Cette application permet d'accéder facilement à l'information voulue et de visualiser des intervalles jugés utiles de résistivité, profondeur et épaisseur. Ces intervalles peuvent nous aider à prendre des décisions judicieuses. Il est possible aussi d'utiliser les autres fonctionnalités de MapInfo pour acquérir l'information, l'accéder, l'archiver, faire l'analyse et l'afficher.

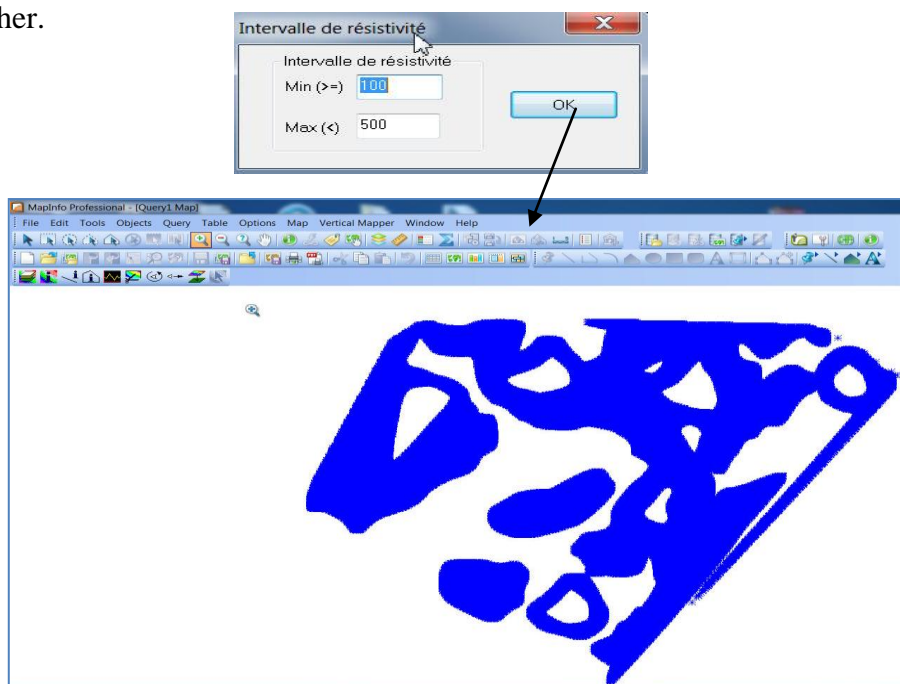


Fig.07: Résultat de la fonction intervalle de résistivité

## **V. Conclusion**

Pour le choix final des points de forage à réaliser de nombreux paramètres déterminent les options.

-Le degré des besoins en eau et d'étude des nappes aquifères.

-L'aspect local (topographie, proximité, accès...).

- Les liaisons fonctionnelles (électricité, adduction, raccordement, route...).

Par manque de données diverses, nos propositions ne sont basées que sur les paramètres physiques des formations géologiques (résistivités et épaisseurs).

Le maître de l'ouvrage peut opter pour d'autres choix en tenant compte des paramètres précédents et de ses capacités financières.

## **Références bibliographique**

**AIDAOUIS (1994)** : Ressources en eau et aménagement hydro agricole dans la région de Biskra. Thèse de doctorat. Université de Nancy.(297 P).

**BERSLM, et MASSIOUN.Y (2011)** : Identification géoélectrique des potentialités aquifères des zones steppiques (Ksar Chellala, Taguine), projet de recherche, Université Houari boumedién Alger (USTHB).

**BOUZNAD.I, Sakta.H (2000)** : Etude géoélectrique par sondage électrique vertical de la région de CHETMA (W.Biskra), mémoire d'ingénieur, université d'Annaba.

**CAMPOS DANIEL (2004)** : Une étude de la caractérisation de la structure interne d'une halde à stérile par méthode géophysique.

**CHAPELLIER & Mari:** cours en ligne de géophysique, université de Lausanne.

**ENAGEO (2002)** : étude géophysique par sondage électrique vertical de la région de Ain Oussera (W de Djelfa), projet de recherche.

**Jacques Dubois, Michel Diament, Jean-Pascal Cogné** : Cours et exercices corrigés Géophysique 4e édition